



FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Reabilitação do ponto de vista térmico em pavimentos

—

Actuais exigências, novos materiais e tecnologias construtivas

Fernando Jorge Ramos Teixeira

Relatório de Projecto submetido para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES CIVIS

Orientador: Professor Doutor Vítor Abrantes

Setembro DE 2008

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2007/2008

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2007/2008 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2008.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos os que permitiram possível a realização deste trabalho, pelo apoio demonstrado e pelo conhecimento partilhado. Sem a ajuda de todos os que se encontram aqui referidos, mas também aqueles que não o estão (por mero esquecimento), não seria possível a conclusão deste trabalho.

Assim, o meu sincero agradecimento:

Ao Eng. Tiago Ilharco, pela ajuda prestada no campo das madeiras.

Ao Eng. Pedro Pinto, por mais uma vez, ter demonstrado o seu conhecimento e a sua dedicação à engenharia.

À minha família, pelo apoio demonstrado por todos, incluindo a minha sobrinha, que sempre foi uma fonte de inspiração.

À Mariana, pela paciência insuperável demonstrada, uma organização que nem sempre foi correspondida e pela motivação adicional e incondicional que sempre me transmitiu.

Aos amigos, Ana Puga, António Serra, Luís Monteiro, Luís Salvaterra, Mónica Santos, Nuno Gonçalves, Ricardo Rocha, Rui Ribeiro, que directa ou indirectamente contribuíram para a finalização deste trabalho.

RESUMO

A entrada em vigor do novo Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios – RCCTE em Julho de 2006 veio promover acima de tudo uma melhoria da eficiência energética dos edifícios. De modo a conseguir alcançar esse objectivo, este regulamento abrange uma série de novos pontos que até então tinham ficado esquecidos, como é o caso dos pavimentos.

Os pavimentos sendo responsáveis por cerca de 20% das perdas térmicas no interior de uma habitação, têm de ser protegidos para que a energia não se perca ou não seja necessário aumentar a sua produção para que o conforto interior não seja descurado.

Este trabalho foi elaborado para que sejam estudadas propostas que tentem eliminar ao máximo as trocas térmicas entre o interior e o exterior do edifício, particularmente através dos pavimentos.

Com esse intuito, tentou-se estudar os pavimentos existentes que mais carecem de reabilitação do ponto de vista térmico, tendo-se focado o trabalho em pavimentos com necessidades de intervenção térmica na zona do Porto em edifícios construídos no século XX. O que abrange uma panóplia variada de pavimentos.

Definidos os pavimentos e caracterizado o seu comportamento térmico, foi necessário proceder a um levantamento das medidas que poderiam ser adoptadas para que a sua eficiência térmica fosse melhorada. Neste campo, pelas suas características térmicas os materiais isolantes, são determinantes para um bom desempenho da envolvente opaca de um edifício.

Dentro dos materiais isolantes a variedade é grande, existindo vários tipos para melhor corresponderem às exigências necessárias. Deste modo, tentou-se aliar da melhor maneira as características térmicas às económicas de cada um, uma vez que a diferença de preços também é grande entre eles.

Seleccionado um grupo de materiais com as características que lhe eram pedidas, procedeu-se à sua adaptação a cada pavimento de modo a que estas pudessem corresponder da melhor forma a cada solicitação. Deste modo, pôde-se assim chegar a várias soluções capazes de proporcionar um excelente nível de conforto térmico sentido por todos os ocupantes do interior da habitação.

Conforto térmico sim, mas a que preço? Esta questão foi o ponto de partida de um estudo “termo-económico”, para que se verificassem, se as alterações seriam apenas ao nível do conforto, ou também seriam capazes de obter um retorno económico.

PALAVRAS-CHAVE: reabilitação, comportamento térmico, pavimentos, isolamentos, retorno económico.

ABSTRACT

The new Regulation of the thermic behavior on buildings – RCCTE, of July 2006, has come to promote a much better energetic efficiency on buildings. To reach these goals, this stretches over various points that had been forgotten until now, such as floors.

Floors are responsible for about 20% of the thermic energy losses in the interior of houses, and therefore must be protected so that that energy is neither lost nor an increase of its production is necessary so that the well being of the interior isn't forgotten.

This study was made to prove the maximum elimination of heat exchanges between the interior and exterior of buildings and the outdoor trough pavements.

To reach this goal, was accomplished through its study of the existing floors which had the most need of thermic, a focus was placed on in the Oporto area on buildings built in the XX century, this allowed for a great range of floors.

After the pavements were well studied and their thermic behavior was characterized, it became necessary to make a check list of the measures that could be adopted so that the energetic efficiency of the floors was improved. In this area, due to its material characteristics, isolation materials have an important key to get a good behavior by the surrounding buildings.

When considering isolation materials, there are various types and in each type there are several kinds that produce the best result for each demand. Rewriting in the best way, the thermic characteristics of each and its global cost, seeing that the prices in the different types of isolation materials are a lot of different.

Selecting a group of materials with thermic characteristics to best fit in each pavement so it could reach its best performance for each request. In this way, it was possible to reach several solutions so that they could produce an excellent thermic comfort level for all people in the interior of a building.

Of course everybody wants the best thermic comfort, but at what cost? This was the starting question so that a thermo-economic study was necessary to find out if these alterations produced in this study were just on an comfort level or if the economic effort made would be easily reformable.

KEY-WORDS: rehabilitation, thermic behavior, pavements, material isolations, economical come back.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. MOTIVAÇÕES	1
1.2. OBJECTIVOS	2
2. REABILITAÇÃO	3
2.1. INTRODUÇÃO	3
2.2. REABILITAÇÃO URBANA	5
2.3. REABILITAÇÃO EM PORTUGAL	6
3. EXIGÊNCIAS DE CONFORTO TÉRMICO	9
3.1. INTRODUÇÃO	9
3.2. ENQUADRAMENTO REGULAMENTAR	10
3.3. EXIGÊNCIAS TÉCNICAS	13
4. PAVIMENTOS	17
4.1. INTRODUÇÃO	17
4.2. REVESTIMENTOS	18
4.3. CARACTERIZAÇÃO DOS PAVIMENTOS EXISTENTES	20
4.3.1 INTRODUÇÃO	20
4.3.2. LAJES DE MADEIRA	20
4.3.3. LAJES MACIÇAS	23
4.3.4. LAJES MISTAS	23
4.3.5. LAJES ALIGEIRADAS	25
4.3.6. OBSERVAÇÕES GERAIS	26
4.4. REVESTIMENTOS + PAVIMENTOS	26

5. REABILITAÇÃO TÉRMICA	33
5.1. INTRODUÇÃO	33
5.2. ISOLANTES TÉRMICOS	35
5.2.1 INTRODUÇÃO	35
5.2.2. MATERIAIS DE ISOLAMENTO TÉRMICO	38
5.2.2.1 Poliestireno expandido moldado (EPS).....	38
5.2.2.2 Poliestireno expandido extrudido (XPS).....	41
5.2.2.3 Lã mineral (MW) / Lã de Vidro.....	44
5.2.2.4. Cortiça	47
5.2.2.5. Fibra de Côco	49
5.2.2.6. Poliisocianurato (PIR) ou de poliuretano (PUR).....	50
5.2.2.7. Telas reflectoras	51
5.2.2.8. FOAMGLAS.....	52
5.2.2.9. Tectos-Falsos	54
5.2.3. OBSERVAÇÕES	54
5.2.3.1. Isolamento na zona inferior do pavimento	54
5.2.3.2. Isolamento na zona superior do pavimento	55
5.2.3.3. Isolamento na zona intermédia do pavimento.....	55
5.3. REABILITAÇÃO TÉRMICA DE PAVIMENTOS	56
5.3.1. INTRODUÇÃO	56
5.3.2. PAVIMENTOS EM CONTACTO COM O SOLO.....	57
5.3.2.1. Pavimentos de Madeira	57
5.3.2.2. Pavimentos Mistos	59
5.3.2.3. Pavimentos Maciços.....	60
5.3.2.4. Lajes Aligeiradas	60
5.3.3. PAVIMENTOS EM CONTACTO COM O EXTERIOR.....	62
5.3.4. PAVIMENTOS EM CONTACTO COM ZONAS NÃO-AQUECIDAS.....	64
5.3.5. CONCLUSÕES	67
6. ESTUDO TERMO-ECONÓMICO	71
6.1. INTRODUÇÃO	71
6.2. CUSTO INICIAL (C_0)	72
6.3. CUSTO DE EXPLORAÇÃO (C_{EXP})	72

6.3.1. NECESSIDADES NOMINAIS DE AQUECIMENTO	72
6.3.2. CUSTO DE ENERGIA (C_E)	75
6.4. RETORNO ECONÓMICO	76
7. CONCLUSÃO	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1 – Nível de qualidade de um edifício	5
Fig. 2.2 – Edifícios e Fogos Concluídos de construções novas para habitação familiar	7
Fig. 2.3 – Reabilitação em Portugal e na Europa	7
Fig. 2.4 – Reabilitação / Construção Nova em Portugal	8
Fig. 3.1 – Coeficientes de transmissão térmica de referência e máximos.....	10
Fig. 4.1 – Localização dos pavimentos tipo em estudo	17
Fig. 4.2 – Esquema de pavimento interior sobre espaços não-úteis e exteriores	21
Fig. 4.3 – Esquema de Piso Térreo.....	22
Fig. 4.4 – Laje Mista	24
Fig. 4.5 – Coeficiente de Transmissão Térmica de Pavimentos + Revestimentos em pisos em contacto com zonas não aquecidas	28
Fig. 4.6 – Coeficiente de Transmissão Térmica dos Pavimentos + Revestimentos em pisos em contacto com zonas exteriores.....	29
Fig. 4.7 – Coeficiente de Transmissão Térmica dos Pavimentos + Revestimentos em pisos térreos	30
.....	30
Fig. 5.1 – Zonas a Isolar.....	36
Fig 5.2 – Isolamento sob pavimento flutuante	40
Fig. 5.3 – Isolamento sob laje	40
Fig. 5.4 – Isolamento na laje	41
Fig. 5.5 – EPS Grafite	41
Fig. 5.6 – Isolante aplicado sobre laje ou soleira	43
Fig. 5.7 – Isolante aplicado sobre o terreno	43
Fig. 5.8 - Isolante aplicado sob pavimento flutuante.....	46
Fig. 5.9 - Aplicação de isolante para pavimentos em contacto com o exterior.....	47
Fig. 5.10. - Aplicação de isolante para pavimentos em contacto com o exterior.....	47
Fig. 5.11 – Cortiça	47
Fig. 5.12 e 5.13 – Aplicação de regranulado de cortiça expandida no preenchimento de caixas-de-ar ...	49
.....	49
Fig. 5.14 – Fibra de côco prensada.....	49
Fig. 5.15 – Tela reflectora	51
Fig. 5.16 – FOAMGLAS	53
Fig. 5.17 – Custo de isolamento em pavimentos térreos para 100 m ²	57

Fig. 5.18 – Coeficiente de Transmissão Térmica em pavimentos de madeira para cada zona a isolar ..	58
Fig. 5.19 – Coeficiente de Transmissão Térmica em pavimentos mistos para cada zona a isolar	60
Fig. 5.20 – Coeficiente de Transmissão Térmica em pavimentos aligeirados para cada zona a isolar ...	61
Fig. 5.21 – Custo de isolamento em pavimentos em contacto com o exterior para 100m ²	62
Fig. 5.22 – Coeficiente de Transmissão Térmica em pavimentos em contacto com zonas exteriores para cada zona a isolar	64
Fig. 5.23 – Custo de isolamento em pavimentos em contacto com espaços não-aquecidos para 100m ²	66
5.24 – Reabilitação Térmica de pavimentos em contacto com espaços não-aquecidos	67
5.25 – Custo médio do isolamento térmico em pavimentos	69
5.26 – Reabilitação Térmica de pavimentos	69
Fig. 6.1 – Necessidades nominais de aquecimento em pavimentos em contacto com o terreno	73
Fig. 6.2 – Necessidades nominais de aquecimento em pavimentos em contacto com zonas exteriores	74
Fig. 6.3 – Necessidades nominais de aquecimento em pavimentos em contacto com espaços não-úteis	74
Fig. 6.4 – Previsão do custo de electricidade em Portugal	75
Fig. 6.5 – Custos Globais Acumulados para pavimentos de madeira sobre o terreno	76
Fig. 6.6 – Custos Globais Acumulados para pavimentos mistos em contacto com zonas não-aquecidas	77
Fig. 6.7 – Custos Globais Acumulados em pavimentos maciços em contacto com o terreno	77
Fig. 6.8 - Custos Globais Acumulados em pavimentos aligeirados em contacto com o exterior	77
Fig 6.9 – Custos Globais Acumulados em pavimentos aligeirados sobre zonas não-úteis ($C_0 = (C_i).A$)	78

ÍNDICE DE QUADROS (OU TABELAS)

Quadro 3.1 – Pavimentos em contacto com espaços não úteis.....	11
Quadro 3.2 – Pavimentos em contacto com o solo	12
Quadro 3.3 – Pavimentos interiores.....	12
Quadro 4.1 - Classificação de pavimentos	18
Quadro 4.2 – Condutibilidade Térmica dos Revestimentos.....	20
Quadro 4.3 – Coeficiente de Transmissão Térmica de Pavimentos interiores de madeira sobre espaços não-úteis	21
Quadro 4.4 – Coeficiente de Transmissão Térmica de Pavimentos interiores de madeira sobre zonas exteriores.....	22
Quadro 4.5 – Coeficiente de Transmissão Térmica de Pavimentos Têrreos de madeira	22
Quadro 4.6 – Coeficiente de Transmissão Térmica de lajes maciças.....	23
Quadro 4.7 – Coeficiente de Transmissão Térmica de lajes mistas.....	24
Quadro 4.8 – Coeficiente de Transmissão Térmica de lajes aligeiradas	26
Quadro 4.9 – Pavimentos + Revestimentos em contacto com zonas não aquecidas.....	28
Quadro 4.10 – Pavimentos + Revestimentos em contacto com zonas exteriores	29
Quadro 4.11 – Pavimentos + Revestimentos em contacto com o terreno	30
Quadro 5.1 – Soluções de reforço do isolamento térmico de pavimentos sobre espaços exteriores, sobre locais não-aquecidos e sobre o terreno	36
Quadro 5.2 – Características do EPS	39
Quadro 5.3 – Características do XPS	42
Quadro 5.3 – Características da Lã de Vidro	44
Quadro 5.4 – Características da Lã de Rocha.....	45
Quadro 5.5 – Características dos isolantes de cortiça.....	48
Quadro 5.6 – Características da fibra de côco.....	50
Quadro 5.7 – Características do PIR e PUR.....	51
Quadro 5.8 – Características das telas reflectoras	52
Quadro 5.9 – Características do FOAMGLAS	53
Quadro 5.10 – Isolantes para colocação na zona inferior do pavimento.....	54
Quadro 5.11 – Isolantes para colocação na zona superior do pavimento.....	55
Quadro 5.12 – Isolantes a granel para colocação na zona intermédia do pavimento.....	56
Quadro 5.13 – Isolantes para colocação na zona intermédia do pavimento.....	56
Quadro 5.14 – Reabilitação Térmica de Pavimentos de Madeira	58

Quadro 5.15 – Coeficiente de Transmissão Térmica em pavimentos mistos para cada zona a isolar	59
.....	59
Quadro 5.16 – Reabilitação Térmica de Pavimentos Maciços.....	60
Quadro 5.17 – Reabilitação Térmica de Pavimentos Aligeirados.....	61
Quadro 5.18 – Reabilitação Térmica de Pavimentos de Madeira.....	63
Quadro 5.19 – Reabilitação Térmica de Pavimentos Mistos	63
Quadro 5.20 – Reabilitação Térmica de Pavimentos Maciços.....	63
Quadro 5.21 – Reabilitação Térmica de Pavimentos Aligeirados.....	63
Quadro 5.22 – Reabilitação Térmica de Pavimentos de Madeira.....	65
Quadro 5.23 – Reabilitação Térmica de Pavimentos Mistos	65
Quadro 5.24 – Reabilitação Térmica de Pavimentos Maciços.....	65
Quadro 5.25 – Reabilitação Térmica de Pavimentos Aligeirados.....	66

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

A – área [m^2]

C_e – custo do kWh para a electricidade [€/kWh]

C_{exp} – Custo de Exploração [€/ano]

C_g – Custo global de um determinado ano [€]

C_{g-1} – Custo Global do ano anterior [€]

C_{gacum} – Custo global acumulado [€]

C_i – Custo do isolante [€/m²]

C_{int} – Custo da intervenção [€/m²]

C_0 – Custo inicial [€]

ΔT – diferença entre temperaturas [°C]

λ – Condutibilidade Térmica [W/(m.°C)]

λ_D – Condutibilidade Térmica declarada [W/(m.°C)]

R – Resistência Térmica [m.°C/W]

U – Coeficiente de Transmissão Térmica [W/(m².°C)]

U_{max} – coeficiente de transmissão térmica máximo admissível [W/m².°C]

U_{ref} – coeficiente de transmissão térmica de referência [W/m².°C]

EUROSTAT – Organismo Estatístico Europeu

INE – Instituto Nacional de Estatística

CE – Comunidade Europeia

EC8 – Eurocódigo 8

PME – Pequena e média empresa

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

N_i – máximo das necessidades nominais de energia útil para aquecimento

N_{ic} - necessidades nominais de energia útil para aquecimento

N_v - máximo das necessidades nominais de energia útil para arrefecimento

N_{vc} - necessidades nominais de energia útil para arrefecimento

N_a – máximo das necessidades de energia útil para produção e de água quente sanitária

N_{ac} - necessidades de energia útil para produção e de água quente sanitária

N_t – máximo das necessidades nominais globais de energia primária de um edifício

N_{tc} - necessidades nominais globais de energia primária de um edifício

Msi – Massa superficial útil
Mad – Lajes de Madeira
Mis – Lajes Mistas
Mac – Lajes Maciças
Alig – Lajes Aligeiradas
BB – Blocos de Betão Normal
BC – Blocos Cerâmicos
LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil
DH – Documento Homologado
DA – Documento de Aplicação
EOTA – European Organization for Technical Approvals
EPS – Placas de poliestireno expandido moldado
XPS – Placas de poliestireno expandido extrudido
MW – Placas e mantas de lã mineral
Cort – Cortiça
ICB – Placas de aglomerados de cortiça expandida
Sup – Colocação de isolante na zona superior
Int – Colocação de isolante na zona intermédia
Inf – Colocação de isolante na zona inferior
PIR – Espuma rígida de poliisocianurato
PUR – Espuma rígida de poliuretano
IARC – Agência Internacional de Cancro

1

INTRODUÇÃO

1.1. MOTIVAÇÕES

A construção em Portugal ainda está a tentar sair de uma das suas piores crises, mas nem sempre foi assim, e o grande volume de construção verificado desde os fins da década de 80 até cerca de 2001 pode prová-lo muito bem. No entanto, quantidade não significa obviamente qualidade, mas sim quantidades enormes de construções realizadas em que na maioria das vezes a qualidade era a palavra mais descuidada. Este tipo de construção pode ter sido benéfica para alguns, mas deixou no entanto marcas nos edifícios que não são fáceis de apagar. O conforto, ou antes, o desconforto interior das habitações é um dos cunhos deixados pela construção em massa, tendo agora de ser alvo de reabilitações profundas para que os níveis possam atingir patamares de conformidade com o que é exigido pela população actual.

Por estas razões, e apesar do parque habitacional português não ser um parque muito envelhecido, existem cerca de 326 mil fogos muito degradados, 190 mil residências habituais que necessitam de obras imediatas, 78 mil casas arrendadas a precisarem de reparações ou 1.6 milhões de casas a necessitarem de pequenas ou médias intervenções. O parque habitacional português chegou a este ponto porque a reabilitação até então foi uma área esquecida em Portugal.

Normalmente quando se fala em reabilitação, a primeira opção é a de uma reabilitação ao nível da estrutura do edifício. No entanto, quando se fala em reabilitação, não se pode falar apenas numa reabilitação estrutural, mas também a que existe para melhorar o conforto interior, ou seja, o sentido pelos utentes de um edifício. Neste ponto encontra-se a reabilitação térmica, cujo objectivo principal é melhorar o nível de conforto térmico de quem reside na habitação, proporcionando-lhe níveis de conforto mais elevado, mas também ser capaz de diminuir os gastos energéticos que uma habitação normal possui.

A política de reabilitação no nosso país tem que mudar mas para isso também é necessário o apoio de todos os envolvidos no sector. Desse modo e caminhando todos no mesmo sentido, Portugal será capaz de alcançar os níveis de reabilitação europeus.

Dadas as preocupações que todos temos de ter no sector da reabilitação, este trabalho foi realizado com o intuito de poder acrescentar algo de novo a esta área, mais especificamente, ao nível da reabilitação térmica de pavimentos. Assim, com o objectivo de encontrar as técnicas mais adequadas para um tratamento térmico eficaz foi desenvolvido este trabalho. No entanto, o aspecto económico da reabilitação foi um dos pontos que não foi esquecido, daí a realização de um estudo “termo-económico” para que as técnicas mais eficazes do ponto de vista térmico sejam também as mais económicas.

1.2.OBJECTIVOS

O objectivo final deste trabalho foi o de este poder vir a ser considerado como um manual prático da reabilitação térmica em pavimentos, quase como manual de bolso. Isto porque, tentou-se abranger todos os pontos relacionados com os pavimentos e com a reabilitação destes, mas sempre com um sentido útil e prático.

Em primeiro lugar, tentou-se definir o que é a reabilitação, para que serve, quais os seus objectivos principais. Em seguida, vamos tentar situar o estado da reabilitação e dos edifícios em Portugal, comparando o comportamento da reabilitação no nosso país com a situação da Europa, de modo a se poderem perspectivar medidas a tomar ou a precaver para que os erros do passado não sejam repetidos.

Para que exista uma reabilitação eficaz, em primeiro lugar é necessário fazer um ponto da situação actual. Isto é, caracterizar o estado dos pavimentos existentes no século XX. Após a sua caracterização, fez-se uma análise das características técnicas e térmicas com maior necessidade de serem alvo de intervenção e aquelas onde as melhorias seriam mais significativas. Deste modo, pôde-se aplicar o tratamento mais eficaz para cada situação, fazendo uma optimização dos recursos utilizados em função dos proveitos obtidos.

Para que exista reabilitação térmica eficaz, a obrigatoriedade da introdução de materiais isolantes nos pavimentos é um ponto que não pode ser contornado. No mercado actual, existe uma grande variedade de materiais isolantes, o que permite aliar as melhores características de cada um às diferentes exigências. Afim de se fazer uma melhor avaliação sobre o isolante mais adequado para cada situação, irá-se recorrer à conjugação do factor térmico com o factor custo, tentando fazer com que a melhor solução não seja a mais dispendiosa, mas sim a mais eficaz.

Indo de encontro aos objectivos fundamentais (térmicos e económicos), irá ser efectuado um estudo “termo-económico”. Este estudo servirá para se saber se as medidas de intervenção térmica, apenas servirão como melhoria do conforto térmico, ou se serão capazes de fornecer um retorno económico pela diminuição da factura energética. Ou seja, o investimento inicial de uma intervenção deste tipo será capaz de justificar os recursos económicos utilizados ou este tipo de intervenção será apenas uma medida teórica e com uma aplicação prática diminuta.

2

REABILITAÇÃO

2.1. INTRODUÇÃO

A reabilitação deve ser encarada como um ramo da construção para a conservação e melhoria de todo o património construído e não apenas o património histórico. Deverão ser alvo de reabilitação e manutenção não apenas os edifícios com valor patrimonial ou histórico mas todos aqueles que serão capazes de ser úteis tendo em conta as exigências da população actual.

“O conceito de reabilitação de uma construção aparece, invariavelmente, ligado ao conceito de utilidade dessa construção.” [1], o que a meu ver define a melhor maneira de olhar para a reabilitação. Cada edifício a reabilitar deve ser visto e abordado de maneira diferente e com objectivos diferentes, sendo que nem todos precisarão de uma reabilitação estrutural profunda, mas por certo à maioria não basta que seja apenas a sua fachada a ser reabilitada, como acontece na maioria das vezes. A história do edifício tem de ser tida em conta, sendo que nos casos de edifícios com valor patrimonial, a reabilitação não poderá obstruir e impedir a percepção da importância que esse edifício teve numa época e o que é suposto este passar às gerações vindouras. *“...não podemos aceitar a destruição ou substituição sistemática da substância física daquilo que pretendemos conservar. Caso contrário, o futuro que tentamos assegurar para esses testemunhos passará a estar alicerçado numa “mentira”. Um monumento na aparência semelhante mas construtivamente violentado”. “É ainda frequente a convicção de que se “a aparência exterior” é a mesma o “resto” não interessa. É ignorar o conhecimento da concepção global original, e tentar generalizar um tipo de intervenção que reduz o património a uma fachada. Será melhor então aprender a fazer cenário.”* [1].

De acordo com esta postura, as intervenções devem ocorrer fundamentalmente a três níveis [1]:

- Desempenho da envolvente ou invólucro exterior (fachadas e coberturas);
- Condições de habitabilidade e conforto (abrangendo ou não as instalações e sistemas);
- Comportamento estrutural;

Infelizmente, na maioria dos casos o único tipo de intervenção a que os edifícios são sujeitos é o primeiro, em que se tenta apenas “lavar a cara” ao edifício, também porque deverá ser a intervenção mais barata das três e o aspecto exterior tem bastante importância para compradores e investidores.

O segundo e o terceiro níveis deveriam ser aqueles em que as obras de reabilitação mais se focassem, indo de encontro às necessidades e melhoria do bem-estar dos utentes dos edifícios, mas acima de tudo permitindo ao edifício responder de forma segura e eficaz às novas exigências deste.

O comportamento estrutural deveria ser o principal responsável pela maioria das obras de reabilitação, no entanto assim não acontece, porque apesar dos novos métodos e materiais existentes no mercado para este tipo de intervenção, o custo das medidas necessárias está sobrevalorizado na mentalidade das pessoas, uma vez que não estão bem informadas acerca das condições necessárias para se realizar uma reabilitação deste tipo. Para além deste factor, o facto destas intervenções interromperem ou perturbarem a normal utilização dos edifícios, é outro dos pontos que leva ao adiamento de uma reabilitação estrutural.

A reabilitação ideal será aquela que atravesse os três níveis anteriormente indicados, mas que também seja capaz de responder afirmativamente aos requisitos da salvaguarda para um monumento propostos pelo Eurocódigo 8 (EC8), embora para o nível ideal de reabilitação, estes requisitos sejam praticados em todos os edifícios e não apenas nos monumentos. Segundo o EC8, os critérios aplicados durante o preenchimento dos requisitos da salvaguarda dos monumentos devem ser os seguintes [2]:

- **Eficácia:** a intervenção deve ser eficaz, e a sua eficácia deve ser demonstrada por provas quantitativas;
- **Compatibilidade:** A intervenção deve ser compatível com a estrutura original e os seus materiais, do ponto de vista químico, mecânico, tecnológico e arquitectónico;
- **Durabilidade:** A intervenção deve ser realizada usando materiais e técnicas cuja durabilidade seja comprovadamente comparável com a dos outros materiais do edifício. É aceitável uma intervenção menos durável, se se prevê uma substituição periódica;
- **Reversibilidade:** A intervenção deve ser tão reversível quanto possível, para que possa ser removida, se uma decisão diferente for tomada no futuro;
- **Eficiência:** A intervenção deve ser feita com o menor consumo possível de recursos, e, sempre que possível, com o menor custo;

No final, para que uma obra de reabilitação possa ser considerada como bem sucedida, após as intervenções de reabilitação, estas devem permitir ao utente uma segurança estrutural, condições de habitabilidade, conforto e se possível uma fachada renovada. Numa intervenção deste género, devem ser sempre aplicados os critérios da eficácia, compatibilidade, durabilidade, reversibilidade e eficiência. No entanto, este tipo de obra deverá ser sempre revestido de uma autenticidade elevada para que o edifício consiga traduzir a forma e a função para a qual foi criado, mas também de uma qualidade bem vincada de modo a que os erros do passado não se repitam no futuro e para que esta obra não acabe por trazer mais prejuízos do que aqueles que preveniu.

Na figura 2.1 apresenta-se um diagrama que tenta representar o nível de qualidade de um edifício em função do tempo. Com o avançar do tempo o nível da qualidade do edifício vai diminuindo, sendo que quando sofre pequenas remodelações ou reabilitações de pequena natureza o seu nível aumenta novamente para perto dos valores iniciais. Quando o edifício é alvo de sucessivas melhorias, estas dotam o edifício de uma qualidade superior à do início de vida.

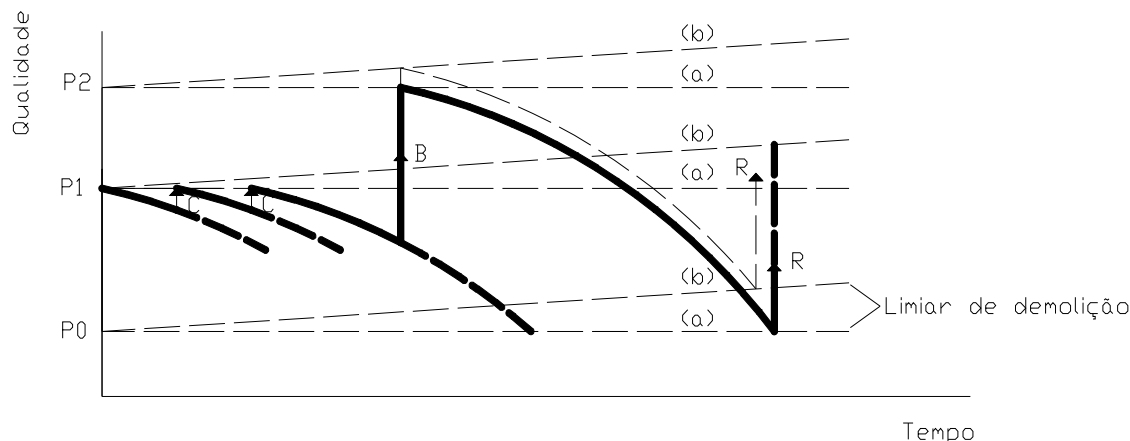


Fig. 2.1 – Nível de qualidade de um edifício [3]

2.2 REABILITAÇÃO URBANA

“Reabilitação Urbana define-se como uma nova política urbana que procura a nova cidade existente, mediante estratégias e acções destinadas a potenciar os valores socioeconomicos, ambientais e funcionais de determinadas áreas urbanas para elevar a qualidade de vida das populações residentes, melhorando as condições físicas do parque edificado, os níveis de habitabilidade e equipamentos comunitarios, infraestruturas, instalações e espaços livres.” [1]

No entanto a reabilitação urbana, ainda é considerada por muitos como uma mera opção ideológica, em que a oposição da recuperação e revitalização da cidade com a do crescimento da periferia é uma constante e nem sempre positiva. Isto porque, considerar os recursos gastos numa obra de reabilitação como bem empregues nem sempre é bem visto por todos, e na maioria das vezes é considerado como um mero capricho governamental. No entanto, esta revitalização da cidade, não pode ser considerada apenas como um investimento público, tendo os privados um papel fundamental neste processo, uma vez que são deles a maioria dos edifícios a necessitar de obras de reabilitação.

Este problema deve ser encarado por todos e para todos, e não pode de maneira alguma ser considerado como um problema linear, mas sim como a resultante de várias décadas de processos complexos de urbanização. O problema foi-se criando e deixado arrastar por todos (inquilinos, autarquias e senhorios) e por isso deve ser resolvido por todos, de maneira a que a cultura de geração de oferta urbanística, procura, recuperação e reconversão urbanística sejam também eles reabilitados e nesta renovação não se pode esquecer que também ela tem de ser feita por todos os envolvidos neste processo, sejam eles administradores autárquicos, promotores, compradores e bancos.

O aspecto da reabilitação tem de ser encarado por todas as entidades públicas e privadas como uma medida necessária para a melhoria das condições de vida da população e não apenas como uma maneira de embelezar a fachada pública (fachadismo). As estratégias Nacionais e Municipais, mas também o enquadramento legislativo têm de ser revistas e clarificadas; a revisão dos projectos de reabilitação tem de ser minuciosa para que não se repitam os erros do passado e para que a qualidade na reabilitação seja um ponto necessário; a celeridade dos projectos de reabilitação tem de ser melhorada, para que estes não sejam esquecidos; a existência de uma base de dados sobre patologias, para que possa ser feita uma tipificação de soluções. Estas medidas devem ser tomadas para que a

reabilitação em Portugal ultrapasse uma fase menos conseguida e atinja um patamar de excelência, mas também para que a construção mais recente não repita os erros cometidos anteriormente.

O investimento público e privado é fundamental, mas isso só acontecerá quando o interesse dos compradores, moradores, comerciantes e hoteleiros for o suficiente para que o investimento se justifique, no entanto, estes não irão demonstrar interesse se as condições continuarem as mesmas, ou seja, sem o investimento inicial. Não há oferta sem procura e instalou-se um ciclo vicioso. Como ninguém tem tomado a iniciativa, a expectativa criada por ambos os lados criou um sentimento de descontentamento e paralisia no desenvolvimento no centro da cidade. Neste ponto, as Sociedades de Reabilitação Urbana, podem ter um papel fulcral, funcionando como um elemento capaz de romper este ciclo despoletando iniciativas de oferta e canalizando manifestações de procura através de zonas de reabilitação e não apenas pequenos focos.

2.3. REABILITAÇÃO EM PORTUGAL

Em Portugal, nos últimos 50 anos, a adopção de medidas que favoreciam a construção nova em detrimento das intervenções de reabilitação e conservação de imóveis, foi ponto comum em todo o território nacional mas também face às dificuldades criadas pelos organismos que deveriam promover a reabilitação. A dificuldade em obter as mais-valias tradicionais da actividade imobiliária, em que através da transformação de terrenos rústicos adquiridos a preços relativamente baixos transformando-os em urbanos com a construção de uma parte da área do terreno, valorizando-o e permitindo um lucro considerável, apresenta-se como outro dos factores propícios à proliferação de construções novas ao invés das obras de reabilitação, requerendo uma avaliação técnica da legislação existente em Portugal nos últimos 40 anos.

No final da década de 60 verificava-se um défice no número de habitações, défice este que foi suprimido graças a um acréscimo de 68% no número de fogos destinados a habitação permanente após essa data. Sendo que até 1974 o mercado de arrendamento se apresentava como o grande destino das habitações existentes, ocupando cerca de 50% das habitações totais. No entanto o congelamento das rendas, acompanhado de uma elevada inflação, gerou a falta de confiança dos agentes do mercado, determinando a ausência de fogos para esse mercado, sendo preferível manter as habitações vagas, mas a valorizarem-se. Assim criou-se um elevado número de fogos deixados ao abandono, que se viriam a degradar pela falta de manutenção, necessitando agora de um reabilitação imediata.

Advindo deste conjunto de factores o parque habitacional Português tornou-se num parque relativamente recente, em que 40% das habitações têm menos de 30 anos e 48% menos de 40 anos, mas a necessitar de serem reabilitadas. De acordo com os Censo 2001, cerca de 800.000 fogos necessitavam de obras de recuperação, destes, cerca de 325.000 encontravam-se degradados ou muito degradados. Para além da necessidade de reabilitação estrutural, o facto das exigências de conforto térmico ou acústico serem bem diferentes das praticadas há cerca de 40 anos, conduzindo a elevados gastos energéticos e desconforto, requer um outro tipo de reabilitação [5].

Estes não são os únicos factores para que o parque habitacional tenha de ser reabilitado, pois o “boom” verificado na construção portuguesa até 2001, em que a construção portuguesa cresceu muito para além das necessidades de mercado, nem sempre levou a que o desempenho da construção dessa época tenha sido o esperado (Figura 2.2).

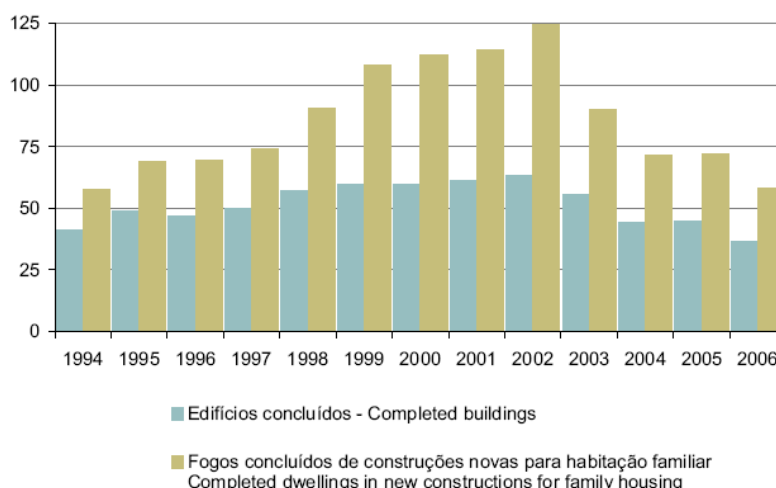


Fig. 2.2 – Edifícios e Fogos Concluídos de construções novas para habitação familiar [6]

O crescimento da economia portuguesa não parecia abrandar, a política de construção continuava a ser muito virada para a nova construção, identificando a reabilitação como sendo uma área menor, desprezando-a. Outro dos factores que contribuíram para um número escasso de obras de reabilitação foi a inexistência de uma economia de aluguer rentável o que impedia os donos das habitações obterem qualquer tipo de rendimento ao efectuarem melhorias nas suas habitações, tal como já tinha acontecido anteriormente.

De acordo com a Euroconstruct (organização constituída por um grupo europeu de institutos que se dedicam à investigação, análise e previsão económica do Sector da Construção), em Portugal a percentagem de reabilitação de edifícios situa-se à volta dos 23 % da construção total, o que se verifica ser consideravelmente inferior à maioria dos países pertencentes à Euroconstruct (todos os analisados no gráfico inferior), sendo que apenas 3 dos 19 países analisados apresentam uma taxa de reabilitação inferior à portuguesa, enquanto que em 7 dos países analisados a sua taxa de reabilitação é superior à média dos 19 países da Euroconstruct e em 3 a sua taxa é superior a 50% (Figura 2.3). Estes dados revelam bem o caminho que ainda falta a Portugal percorrer até alcançar os países mais desenvolvidos da Europa [6].

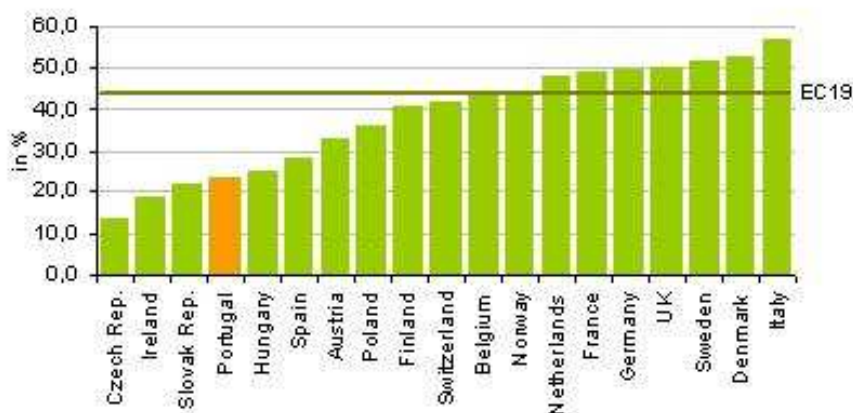


Fig. 2.3 – Reabilitação em Portugal e na Europa [6]

De acordo com a mesma fonte, a evolução da percentagem de construção de raiz tem sido claramente superior à da percentagem de obras de reabilitação, tendo também ela sofrido uma regressão a partir de 2001, com um máximo de regressão atingido no ano de 2003 num valor próximo dos 20 %, enquanto a construção recente apenas regrediu a uma taxa próxima dos 2,5 %, esta diferença de crescimento fez com que a diferença entre o volume de obras de reabilitação e de obras novas aumentasse. No entanto a partir dessa data, a taxa de crescimento tem sido muito idêntica em ambos os sectores com um crescimento um pouco mais acentuado para o sector da reabilitação.



Fig. 2.4 – Reabilitação / Construção Nova em Portugal [6]

De acordo com o INE (Instituto Nacional de Estatística), a construção nova foi o tipo de obra preponderante com 82,7 % dos edifícios concluídos em 2006, porém, denota-se que a reabilitação na edificação é uma aposta crescente no sector da construção, com as Alterações, Ampliações e Reconstruções a ganharem importância relativa face aos anos anteriores, (18,9 % do total, face aos 17,8 % em 2005) [8].

Nos últimos anos, a reabilitação de edifícios como alternativa à construção nova, passou a estar presente na agenda política, com objectivos de largo alcance: criar habitações em zonas sem população residente, mudar a imagem do património imobiliário degradado e otimizar os equipamentos e infra-estruturas existentes. Apesar da vontade política e da actualidade do tema, o caminho a percorrer continua difícil e a velocidade é inferior à desejada.

As acções de reabilitação de edifícios têm sido, nos últimos anos, objecto de vários programas de apoio financeiro público orientados para a conservação e recuperação do património edificado, os quais, por constrangimentos vários, não têm sido capazes de promover, de forma acelerada, os processos de reabilitação urbana. Como tal, o Governo pretende reforçar as medidas de incentivo às PME's envolvidas neste sector através de incentivos fiscais, lembrando no entanto que não basta o investimento público designadamente dos municípios, para se alterarem as tendências. A iniciativa privada é imprescindível, normalmente motivada por incentivos económicos e valorização da qualidade pelos consumidores.

3

EXIGÊNCIAS DE CONFORTO TÉRMICO

3.1. INTRODUÇÃO

O Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), Decreto-Lei nº 40/90 de 6 de Fevereiro, foi o primeiro instrumento legal em Portugal a impor requisitos aos projectos de edifícios novos e de grandes remodelações, de forma a salvaguardar as necessidades de conforto térmico sem recurso a consumos excessivos de energia, assim como garantir a minimização de efeitos patológicos derivados de condensações nos elementos da envolvente. No entanto, a alteração de alguns pressupostos que serviram de base a este diploma (tal como o aumento de exigências a nível de conforto e o crescente recurso a equipamentos de climatização), assim como a necessidade de melhorar a qualidade dos edifícios de forma a reduzir os seus consumos de energia e consequentes emissões de gases que contribuem para o aquecimento global, levaram a que este regulamento fosse revisto sendo as exigências actualizadas para o contexto energético actual. Esta revisão é também um requisito da directiva 2002/91/CE do parlamento europeu referente à eficiência energética dos edifícios.

Até à entrada em vigor, em Julho de 2006, da nova versão do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios – RCCTE, decreto-lei nº 80/06, de 4 de Abril, que obriga a que todos os novos edifícios sujeitos a licenciamento ou promovidos pelo Estado satisfaçam os requisitos mínimos de qualidade térmica, o estudo da térmica nos pavimentos nunca tinha sido alvo de grandes considerações, uma vez que não era necessário o uso de qualquer tipo de isolante nestes. Contudo, após a entrada do novo RCCTE, os pavimentos, tal como as restantes envolventes, foram sujeitos a um maior detalhe nas considerações com o objectivo de se diminuírem consumos de energia durante o Inverno, e um maior conforto térmico durante o Verão, evitando que o interior dos edifícios atinja as temperaturas exteriores.

Existem quatro artigos fundamentais para o bom cumprimento do Regulamento actual permitindo a estes uma gestão eficaz dos recursos energéticos utilizados:

- Artigo 5.º – Limitação das necessidades nominais de energia útil para aquecimento;
- Artigo 6.º – Limitação das necessidades nominais de energia útil para arrefecimento;
- Artigo 7.º – Limitação das necessidades de energia útil para produção e de água quente sanitária;
- Artigo 8.º – Limitação das necessidades nominais globais de energia primária de um edifício

Estes quatro artigos têm o objectivo fundamental de limitar ao máximo os gastos de energia supérfluos tanto para aquecimento, como arrefecimento. Assim, pretende-se que haja uma consciencialização e racionalização das energias gastas.

Relativamente aos pavimentos, uma vez que estes são responsáveis por cerca de 20 % das perdas térmicas totais de uma habitação, serão uma parte importante para que exista uma melhoria do conforto térmico e uma limitação dos gastos energéticos.

Até à entrada do novo RCCTE, devido à inexistência de regulamentação que obrigasse a uma gestão dos isolantes térmicos no pavimento, a inutilização destes nos projectos térmicos de um edifício era comum. Deste modo a evolução sentida na área dos isolantes deste tipo foi quase nula, tendo sido adaptados os isolantes usados nas coberturas e paredes de fachadas para esta envolvente a partir da entrada em vigor do novo RCCTE.

Com a entrada do novo RCCTE, outra das várias alterações apresentadas foram novos valores de transmissão térmica (U) para os pavimentos de acordo com a Zona Climática em que se encontra o edifício, que são indicados no Anexo IX do RCCTE [12].

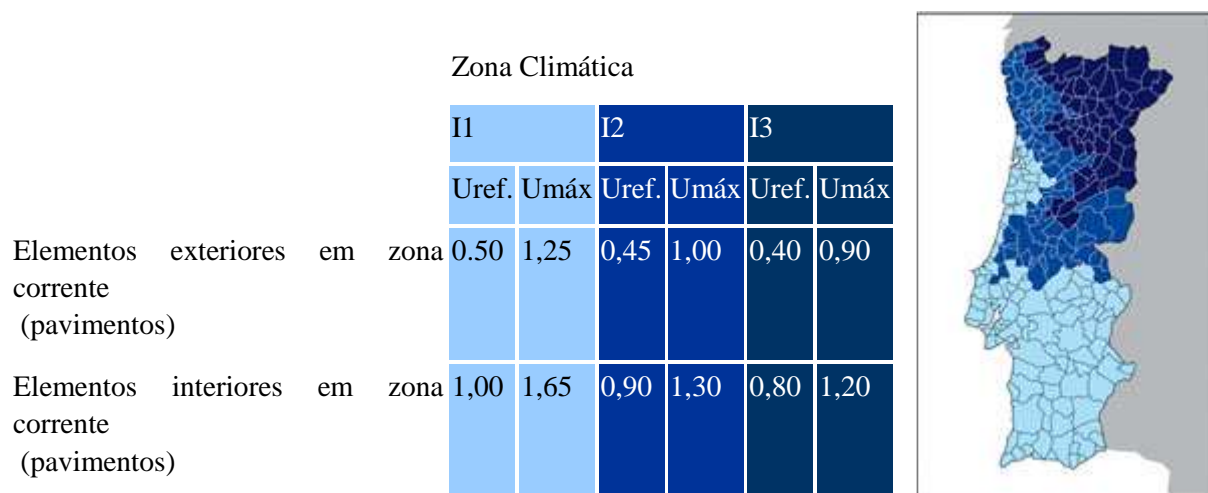


Fig. 3.1 – Coeficientes de transmissão térmica de referência e máximos [13]

3.2. ENQUADRAMENTO REGULAMENTAR

Tal como tinha sido referido anteriormente as perdas térmicas através do pavimento representam um valor efectivamente importante e que justifica um cuidado especial em relação ao comportamento térmico dos pavimentos, quer sejam pavimentos em contacto com o terreno, sobre espaços de ar ventilados, directamente sobre espaços não-úteis ou exteriores.

A temperatura superficial do solo poderá ser bastante inferior à temperatura ambiente interior de conforto, o que provoca, em edifícios com pavimentos não isolados, falta de conforto e aumenta consideravelmente o risco de condensação superficial.

A forma mais fácil e eficiente de evitar o desconforto e o risco de condensações consiste em isolar termicamente o pavimento com um material de isolamento térmico adequado para esta aplicação.

Para a aprovação do Artigo 5º, os pavimentos têm um papel preponderante na aprovação ou não do artigo, na medida em que nas perdas pela envolvente exterior contribuem os pavimentos exteriores e pavimentos em contacto com o solo e relativamente às perdas associadas à envolvente interior intervêm os pavimentos em contacto com as zonas não aquecidas. Deste modo, um pavimento com um coeficiente de transmissão térmica elevado, dará um excelente contributo para que o artigo 5º seja cumprido.

Neste artigo, relativamente às perdas associadas à envolvente interior, intervém o coeficiente τ e a Inércia Térmica.

O coeficiente τ , relaciona as diferenças de temperatura interior e do local não aquecido, com a temperatura interior e a do ambiente exterior. No entanto, dada a dificuldade em conhecer com precisão o valor da temperatura do local não aquecido, adoptaram-se valores convencionais estabelecidos numa tabela de acordo com o coeficiente da área do elemento que separa o espaço útil do não útil com a Área do elemento que separa o espaço não útil do ambiente exterior. O valor do τ para que as perdas térmicas sejam as menores possíveis, deve ser o mais próximo possível de 0, eliminando assim as perdas térmicas pelo interior.

A inércia térmica interior de um edifício é função da capacidade de armazenamento de calor que os locais apresentam e depende da massa superficial útil de cada um dos elementos da construção. Sendo a massa superficial útil (M_{si}) de cada elemento de construção interveniente na inércia térmica é função da sua localização no edifício e da sua constituição, nomeadamente do posicionamento e das características das soluções de isolamento térmico e de revestimento superficial. [12]

O RCCTE separa assim os elementos em três categorias principais:

- Elementos de construção em contacto com outra fracção autónoma ou com espaços não úteis (EL1);
- Elementos em contacto com o solo (EL2);
- Elementos interiores da fracção autónoma em estudo (paredes e pavimentos interiores) (EL3);

Nos quadros 3.1, 3.2 e 3.3 está representado o modo de calcular o valor da massa superficial útil para cada elemento da habitação, em que m_i representa a massa situada do lado interior do isolamento, m_e a massa total do elemento e m_e a massa situada do lado exterior do isolamento.

Quadro 3.1 – Pavimentos em contacto com espaços não úteis

EL1	
Isolamento	
Sim	Não
$\lambda < 0,065 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$	$\lambda > 0,065 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$
$R > 0,30 \text{ m.}^\circ\text{C/W}$	$R < 0,30 \text{ m.}^\circ\text{C/W}$
M_{si}	m_i
	$\frac{m_i + m_e}{m_i + m_e < 150 \text{ kg/m}^2} m_i/2$

Quadro 3.2 – Pavimentos em contacto com o solo

EL2	
Isolamento	
Sim	Não
$M_{si} \frac{m_i}{m_i < 150 \text{ kg/m}^2} 150 \text{ kg/m}^2$	

Quadro 3.3 – Pavimentos interiores

EL3			
Isolamento			
Envolvente		Interiores	
0,14 < R < 0,3 m.°C/W		R > 14 m.°C/W	
0,5*m _t		1 face	2 faces
M _{si}		0,75*m _t	0,5*m _t
m _t < 300 kg/m ²			

Deste modo é possível determinar a massa superficial útil, que permitirá o cálculo da massa superficial útil por metro quadrado de área de pavimento – inércia térmica interior.

$$I_t = \frac{\sum M_{Si} S_i}{A_p} \quad (1) \quad [12]$$

Sendo que:

- S_i – área da superfície interior do elemento;
- A_p – área útil de pavimento (m²);

Deste modo, se percebe a importancia da existência ou não, de isolamento nos pavimentos de uma habitação;

Relativamente ao Artigo 6º, a influência desta envolvente já não é tão importante, uma vez que não é uma zona com incidência directa da luz solar. No entanto tem alguma importância, uma vez que é uma zona por onde existem perdas térmicas e assim contribuem para o arrefecimento do ambiente interior. Neste caso, o valor desejado para o coeficiente de transmissão térmica seria o menor possível, contrariando o artigo anterior. Sendo assim, se o valor de Nic/Ni for reduzido e o valor de Nvc/Nv for superior a 1, poder-se-ão efectuar ajustes ao valor do isolante colocado para a estação de aquecimento.

Para a aprovação do Artigo 8º, a influência dos pavimentos não será directa, uma vez que o valor das necessidades nominais globais de energia primária (Ntc) e o valor máximo das necessidades nominais globais de energia primária (Nt) são calculados com base nos valores obtidos de Ni, Nic, Nv, Nvc, Na, Nac afectados de ponderações e no ponto 1 e 2 do artigo 18º, deste modo o isolamento dos pavimentos não irá ser um ponto fundamental para a aprovação deste artigo.

3.3. EXIGÊNCIAS TÉCNICAS

Para uma gestão energética interior, consciente e eficaz, torna-se necessário ter em atenção a selecção exigencial dos materiais de construção utilizados. Para uma escolha correcta dos materiais é necessário que haja uma caracterização correcta e exaustiva das características dos materiais e a quantificação do desempenho dos componentes e sistemas, nos quais os materiais se inserem.

Devido à importância dos isolantes no comportamento térmico da envolvente opaca, as suas propriedades como a condutibilidade térmica e resistência térmica são fulcrais para um desempenho térmico adequado. Para a determinação destas características, enumeram-se algumas das normas que lhes são aplicáveis.

Para a determinação da Condutibilidade Térmica podem ser realizados vários testes, sendo que a escolha do teste dependerá das características do elemento a analisar. Segundo a norma EN ISO 10456 [14], são apresentados três métodos laboratoriais para determinação dos valores de condutibilidade térmica para materiais de construção termicamente homogéneos. O valor da condutibilidade térmica de um determinado material, pode ser obtidos a partir de valores declarados, valores medidos ou valores tabelados. Os valores declarados representam um valor expectável da condutibilidade térmica de um material ou produto enquanto que os valores medidos são calculados laboratorialmente.

Para a determinação dos valores medidos, são aplicados os seguintes métodos:

- “Guarded Hot Plate”;
- “Heat Flow Meter”;
- “Hot Box”;

O “Guarded Hot Plate” calcula a quantidade de fluxo de calor a partir da medição da potência aplicada na unidade de aquecimento na zona de medição. O valor da condutibilidade térmica de um determinado material é calculado com recurso à fórmula seguinte:

$$\lambda = \frac{\phi \times d}{A \times (T_1 - T_2)} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{C}/\text{W}] \quad (2) \quad [14]$$

sendo:

- Φ – média de potência aplicada na unidade de aquecimento;
- T_1 – temperatura média do lado quente da(s) amostra(s);
- T_2 – temperatura média do lado frio da(s) amostra(s);

- A – área de medição, no caso do teste ser realizado com duas amostras a área deverá ser multiplicada por dois;
- d – espessura média da amostra;

O método “Heat Flow Meter” mede o fluxo de calor através de um ou dois medidores de fluxo de calor, colocados contra a amostra. As configurações dos aparelhos baseados neste método, podem variar bastante mas a configuração geral definida na norma, consiste em: uma unidade de aquecimento, um ou dois medidores do fluxo de calor, uma ou duas amostras e uma unidade de arrefecimento. Segundo este método, a obtenção do valor de condutibilidade térmica dum determinado material, é conseguido através da seguinte fórmula:

$$\lambda = \frac{f \times e_h \times d}{T_1 - T_2} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{°C/W}] \quad (3) \quad [14]$$

sendo:

- f – factor de calibração do medidor do fluxo de calor;
- e_h – resultado obtido pelo medidor do fluxo de calor;
- T_1 – temperatura média do lado quente da(s) amostra(s);
- T_2 – temperatura média do lado frio da(s) amostra(s);
- d – espessura média da amostra.

Relativamente ao método “Hot Box”, existem dois métodos de cálculo: “guarded hot box” e o “calibrated hot box”. Ambos os métodos são usados à temperatura ambiente, para medir o desempenho térmico dos elementos da envolvente do edifício e ambos medem o fluxo de calor que passa através de estruturas heterogéneas e de grandes dimensões.

Partindo duma amostra com determinadas dimensões e com uma forma de construção típica, procede-se à instrumentação em cada superfície com sensores de temperatura dispostos a fornecer um distribuição da temperatura representativa de toda a superfície do painel. A amostra é colocada entre as câmaras fria e quente que funcionam em condições controladas de temperatura, humidade relativa e fluxo de ar. Sensores de temperatura são colocados em posições opostas, aos que são colocados na amostra, para assim se obter a correspondente temperatura do ar. A energia necessária para manter a diferença de temperatura entre os ambientes externos, é medida em conjunto com as temperaturas do ar, com as temperaturas das superfícies em troca por radiação com a amostra e com as temperaturas da superfície da amostra.

No caso da ‘guarded hot box’, uma caixa central de medição que abrange uma área representativa do painel, é rodeada por uma caixa de guarda exterior (daí o nome guarded). A temperatura do ar e as condições de fluxo dentro da caixa de guarda, estão dispostos de modo a reduzir o fluxo de calor através das paredes da caixa de medição para níveis desprezáveis.

No caso da ‘calibrated hot-box’ não há caixa de medição interior. As paredes exteriores da câmara quente são feitas com uma grande espessura de isolamento, de modo a minimizar as perdas por condução. Idealmente, os dois tipos de aparelhos devem ser concebidos de modo a que as medições podem ser feitas em com uma série de orientações, a fim de incluir os importantes efeitos de convecção, que podem ser significativos no contexto das transferências de calor.

Para efectuar a caracterização das respectivas condutibilidades técnicas é utilizada a norma EN 12667, que é a norma mais utilizada pelos fabricantes de isolamentos térmicos, pois fornece todas as informações necessárias para testes de rotina no que se refere aos métodos “heat flow meter” e “guarded hot plate”.

Os requisitos pormenorizados para todas as condições de teste possíveis da resistência térmica de qualquer amostra compatível plana, são dados nas:

- ISO 8302 e EN 1946-2 para o método “guarded hot plate” [15];
- ISO 8301 e EN 1946-3 para o método “heat flow meter” [16];

Esta norma providencia a informação geral sobre os aparelhos, todos os limites impostos para o equipamento e respectivo manuseamento, e também fornece as especificações dos procedimentos de teste para materiais que possuam uma resistência térmica média e alta.

Especifica também, os princípios e os procedimentos de teste para a determinação, através dos métodos “heat flow meter” e “guarded hot plate” da resistência térmica de amostras com resistências térmicas não menores a $0,5 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$. Por outro lado, não fornece procedimentos gerais de concepção dos equipamentos, análise de erros, verificação da performance dos equipamentos nem a avaliação da precisão dos equipamentos.

Tanto o método “guarded hot plate” como o “heat flow meter”, têm a intenção de estabelecer dentro de amostras homogéneas com superfícies planas paralelas, uma quantidade de fluxo de calor unidireccional e constante. A zona do aparelho onde isto acontece com aceitável precisão, é junto ao centro, daí os aparelhos serem divididos numa secção central onde as medições são efectuadas, e uma circundante de guarda.

Com o estabelecimento dum estado estacionário na zona de colocação da amostra a quantidade de fluxo de calor, q , é determinada pela medição do fluxo de calor, Φ , e a área que o fluxo de calor atravessa, A .

A diferença de temperatura que ocorre na amostra, ΔT , é medida através de sensores de temperatura fixados na superfície do aparelho em contacto com a amostra e/ou nas próprias amostras, quando for apropriado.

A aplicação destes métodos é limitada pela capacidade do aparelho em manter uma quantidade de fluxo de calor unidireccional e constante na amostra, associada à capacidade para medir a potência temperatura e dimensões para o limite de precisão requerido. Está também limitada pela forma da(s) amostra(s) e pelo grau de semelhança de espessura e uniformidade da sua estrutura.

A norma EN 12939, serve como complemento à norma EN 12667, pois refere-se especificamente a problemas que ocorrem em testes, nomeadamente o “heat flow meter” e o “guarded hot plate”, quando se testam produtos espessos de média e alta resistência térmica.

Esta norma indica os procedimentos para a determinação da resistência térmica de produtos com uma espessura que excede a espessura máxima permitida nos aparelhos destes métodos.

Neste documento são fornecidas as orientações para a avaliação da relevância do efeito da espessura, isto é, estabelecem-se as condições para que a resistência térmica de um produto espesso possa ou não ser calculada, como a soma de resistências térmicas de secções cortadas a partir do produto. Estas orientações complementam as indicações fornecidas na ISO 8302.

Esta norma descreve ainda, as condições dos testes que previnem a ocorrência de convecção, que pode ocorrer em certos materiais dentro de determinadas gamas de temperatura e de espessura.

Para o cálculo da resistência térmica dos elementos a norma EN ISO 6946 indica o método de cálculo da resistência térmica e do coeficiente de transmissão térmica de elementos construtivos dum edifício, excluindo portas, janelas e vidros e componentes que envolvam transferência de calor para o solo.

O método de cálculo previsto na norma, baseia-se na concepção adequada das condutibilidades térmicas dos materiais e produtos envolvidos, cujo modo de determinação se viu mais atrás, e aplica-se aos elementos constituídos por camadas termicamente homogéneas (incluindo camadas de ar), mas também fornece um método aproximado que pode ser utilizado para elementos que contenham camadas não homogéneas.

4

PAVIMENTOS

4.1. INTRODUÇÃO

Os pavimentos, no século XX sofreram várias alterações de ordem técnica e construtiva indo de encontro às necessidades da população aplicando novas técnicas construtivas. Essas alterações levaram a que o comportamento térmico também tenha sido modificado. Até à entrada em vigor do novo Regulamento Térmico, as características térmicas dos pavimentos eram desprezadas e por isso as alterações construtivas introduzidas ao longo do século não foram com o intuito de imprimir uma melhoria no conforto térmico. Deste modo, após a entrada em vigor do novo RCCTE, a distinção entre os vários tipos de pavimentos tornou-se premente, uma vez que a localização do pavimento irá ter uma influência directa nas perdas térmicas do local onde este se encontra. A optimização do local e do tipo de isolante a colocar tornou-se numa preocupação obrigatória e constante.

A classificação dos pavimentos normalmente pode-se fazer de acordo com o tipo de utilização e carregamento efectuado podendo-se diferenciar em Pavimentos Residenciais ou Pavimentos Industriais. Neste trabalho, apenas os Pavimentos Residenciais foram alvo de estudo.

Dentro dos Pavimentos Residenciais, de acordo com a sua localização estes podem ser divididos em pavimentos exteriores e interiores. Os pavimentos exteriores são aqueles que se encontram em contacto com zonas exteriores (P1). Os interiores são divididos em pavimentos intermédios em contacto com espaços não úteis (P2), pavimentos em contacto com o solo (pisos térreos) (P3) e pavimentos intermédios em contacto com zonas aquecidas, não havendo necessidade de optimização térmica neste último caso (Figura 4.1).

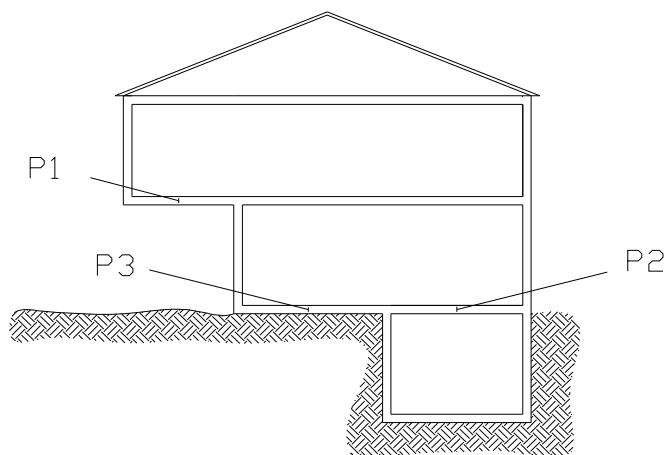


Fig. 4.1 – Localização dos pavimentos tipo em estudo

O trabalho efectuado recaiu essencialmente sobre pavimentos em edifícios do século XX, até à década de 80, abrangendo deste modo grande parte do parque habitacional português com necessidade de reabilitação térmica e podendo assim encontrar alguns pavimentos tipo de modo a fazer uma caracterização e reabilitação destes. Assim, procedeu-se a uma subdivisão de quatro grupos de lajes analisados: lajes de madeira, lajes mistas, lajes maciças e lajes aligeiradas.

Quadro 4.1 – Classificação de pavimentos

Utilização e carregamento efectuado	Localização	Contacto	Tipo
Pavimentos Industriais	-	-	-
Pavimentos Residenciais	Exteriores	Zonas exteriores	Lajes Madeira
			Lajes Mistas
	Lajes Maciças		
			Lajes Aligeiradas
	Interiores	Zonas aquecidas	-
		Zonas não aquecidas Terreno	Lajes Madeira
			Lajes Mistas
			Lajes Maciças
			Lajes Aligeiradas
- Sem interesse para o estudo efectuado			

4.2. REVESTIMENTOS

Os revestimentos dos pavimentos têm sofrido um grande desenvolvimento em diversos aspectos. Para poderem responder às diversas exigências do utilizador actual, mas também devido à forte concorrência de mercado. Nos últimos 40 anos os revestimentos dos pavimentos sofreram um grande desenvolvimento, conseguindo deste modo adaptar-se ao aparecimento de novos materiais e uma legislação mais apertada. O conjunto dos factores verificados, permitiu que deste modo o ambiente no interior das habitações fosse melhorado, através de um melhor isolamento térmico e acústico, para além de uma estanquidade e impermeabilização mais eficazes.

Para além das propriedades já mencionadas, alguns dos revestimentos usados possuem ainda propriedades térmicas que não podem ser desprezadas. Estes materiais apesar de não serem preponderante para um ambiente térmico excelente contribuem para a sua melhoria.

Entre os revestimentos mais comuns encontram-se, a Marmorite, os Cerâmico / Grés, Pedras Naturais e Têxteis, sendo os últimos os mais utilizados até então.

A marmorite é essencialmente uma argamassa que consiste na mistura de cimento e mármore granulado. A sua maleabilidade, estanquidade à água, a extensa variedade de cores texturas e feitios e uma durabilidade notável fizeram com que este fosse um revestimento de eleição nas habitações portuguesas, sendo que hoje em dia já não é tão comum encontrarmos esse tipo de revestimento nas habitações, no entanto a sua utilização ainda é bastante vasta em espaços públicos.

A Condutibilidade Térmica deste material, uma vez que este não se encontra descrito no ITE50, foi calculada através da média aritmética entre o valor do betão normal – $1.65 \text{ W}/(\text{m}.\text{°C})$ e o da Mármore – $3,5 \text{ W}/(\text{m}.\text{°C})$ uma vez que este material é constituído por estas duas componentes.

Os revestimentos Cerâmicos ou em Grés tais como o Porcelanato Vidrado são produzidos em forma de pasta branca prensada a seco pelo processo de monocozedura. Este tipo de material tem a possibilidade de ser utilizado, tanto em exteriores como em interiores e destaca-se pela sua qualidade, sofisticação, design. Possui ainda características técnicas, tais como uma elevada resistência ao gelo, às manchas, produtos químicos, à abrasão mas sendo de fácil limpeza e manutenção, que fizeram com que este produto ainda continue a ser um dos mais procurados e com maior aceitação no mercado até aos dias de hoje. A evolução da tecnologia permitiu que existisse uma grande variedade de revestimentos com vários formatos, cores, decorações, combinações diversificadas e inovadoras.

A madeira deve ter sido o primeiro material a ser utilizado como pavimento e a promover maior conforto estético, acústico e ambiental, tendo sido por isso usado em larga escala e permanecido actual ao longo do tempo. A sua durabilidade, o facto de ser um produto natural e o facto de não ser alérgico são outros dos factores que fazem deste material um dos materiais mais nobres na construção. Apesar de durante algum tempo a madeira ter sido substituída por outros tipos de revestimento, este material tem vindo a recuperar o lugar de destaque como produto de eleição.

As pedras naturais, apesar de não conseguirem fornecer um conforto, térmico e acústico semelhante ao proporcionado pelos pavimentos de madeira, conseguem níveis de estanquidade, resistência química e manutenção superiores aos destes.

Devido ao elevado número de pedras existentes no mercado não havia necessidade de se fazer uma separação do valor da Condutibilidade Térmica de todas, sendo que o seu valor rondará sempre os $3 \text{ W}/(\text{m}.\text{°C})$, adoptou-se este como um valor aceitável.

Os produtos têxteis, tendo sido muito utilizados nas até à década de 80 foi caindo em desuso, sendo que agora a utilização deste material se encontra mais reduzida. No entanto, a versatilidade, formas e feitios permite uma abrangência de mercado bastante vasta continuando a ser um dos produtos mais utilizados na construção. Apesar das vantagens destes materiais, estudos recentes indicam que a utilização de têxteis traz efeitos prejudiciais para a saúde, nomeadamente em relação a alergias e problemas respiratórios. No entanto, esses problemas advêm na maioria das vezes pela acumulação de pó e resíduos de outros materiais na superfície dos têxteis, do que por este material em si.

Quadro 4.2 – Condutibilidade Térmica dos Revestimentos

Material	λ [W/(m.°C)]	Espessura [m]	R [(m ² .°C)/W]
Marmorite	Betão	1,65	2,58
	Marmorite	3,5	
Cerâmico / Grés	1,3	0,030	0,023
Madeiras	0,18	0,030	0,167
Pedras Naturais	3	0,050	0,017
Têxteis	0,06	0,020	0,333

Do Quadro 4.2, nota-se que apenas os valores dos têxteis e das madeiras poderão ser úteis no auxílio de conforto térmico, sendo que os outros não terão um contributo apreciável para a obtenção deste. No entanto, a espessura dos têxteis não costuma ser elevada e por isso o seu contributo apesar de não poder ser desprezado não é um factor essencial para o conforto térmico interior.

4.3. CARACTERIZAÇÃO DOS PAVIMENTOS EXISTENTES

4.3.1. INTRODUÇÃO

Para que se possa efectuar uma reabilitação em qualquer tipo de pavimento, terá de se efectuar sempre o estudo das suas características técnicas e térmicas para que assim se possa alcançar o melhor objectivo possível. Objectivo esse que passará sempre por uma melhoria das condições térmicas do edifício.

Para o presente estudo, foram seleccionados uma série de pavimentos capazes de abranger o universo existente no século XX. Assim efectuou-se uma distinção entre pavimentos de madeira, mistos, maciços e aligeirados. Para cada tipo de pavimento, e de modo a poder existir uma caracterização térmica de cada um foi necessário efectuar uma distinção tal como o exemplificado na Figura 4.1.

4.3.2. LAJES DE MADEIRA

Apesar de já se encontrar em desuso, esta prática ainda se encontrava em algumas habitações dos anos 60, nomeadamente em habitações do tipo unifamiliar, apresentando-se dois tipos de solução, uma mais simples, possuindo apenas as tábuas de soalho sustentadas pelas vigas aplicadas transversalmente a estas, ou outra mais complexa mas bastante comum, em que as vigas principais são dispostas na mesma direcção das tábuas de soalho e entre estas são colocadas vigas secundárias transversalmente às anteriores. Na cidade do porto este último caso aparece apenas esporadicamente e por isso o estudo não recairá sobre eles.

As vigas eram normalmente constituídas por pinho, tendo uma largura que variava normalmente entre 8 e 12 cm e uma altura que variava entre 18 e 24 cm, sendo normalmente espaçadas de 40 a 60 cm, dependendo do vão entre as paredes aonde se iriam apoiar.

Em pavimentos em contacto com zonas exteriores e em contacto com espaços não-úteis (não-aquecidos), a disposição construtiva era normalmente a da Figura 4.2, sendo diferente dos pisos intermédios entre duas zonas aquecidas, uma vez que nestes a camada de estuque aplicado na zona inferior das vigas serviria como isolante, mas principalmente permitiria que existisse uma caixa-de-ar entre as ripas de madeira que seguram o estuque e as tábuas de soalho formada na zona das vigas.

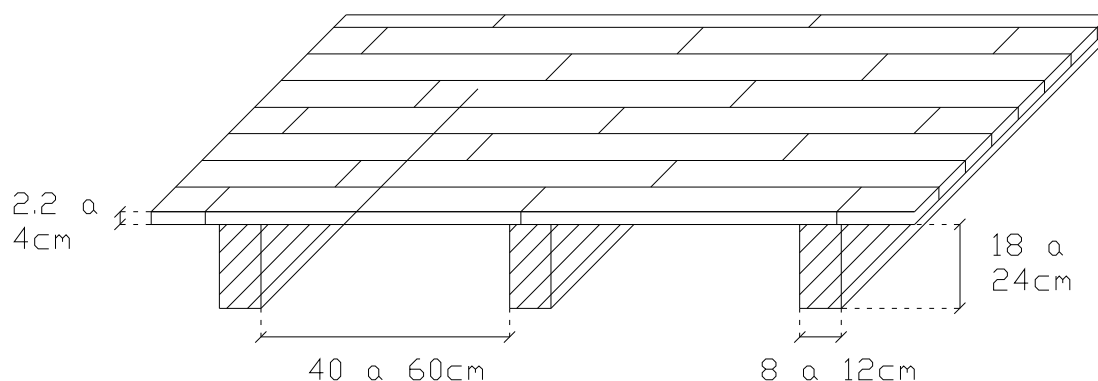


Fig. 4.2 – Esquema de pavimento interior sobre espaços não-úteis e exteriores

Como seria de esperar, o comportamento térmico deste tipo de pavimento não é o ideal, sendo que o regulamento apresenta os valores de 1.65, 1.30 e 1.20 W/(m².°C), para Invernos tipo I1, I2 e I3 respectivamente como limites para o Coeficiente de Transmissão Térmica. Os valores apresentados por este tipo de pavimento são da ordem dos 1.78, 1.97 e 2.16 W/(m².°C), para espessuras de soalho de 2.2, 3 e 4 cm respectivamente, sendo que todos se apresentam acima de qualquer um dos limites impostos pelo RCCTE (Quadro 4.3).

Quadro 4.3 – Coeficiente de Transmissão Térmica de Pavimentos interiores de madeira sobre espaços não-úteis

Material	λ [W/(m.°C)]	Espessura [m]	R [(m ² .°C)/W]	U [W/(m ² .°C)]
Soalho (Pinho)	0,1800	0,022	0,1222	2,16
		0,030	0,1667	1,97
		0,040	0,2222	1,78

Em relação ao seu comportamento em pisos em contacto com zonas exteriores, como seria de esperar não é o melhor, muito pelo contrário, uma vez que o valor da resistência térmica superficial exterior (0,04 m².°C/W) já é diferente da interior, enquanto nos pisos em contacto com espaços não-úteis esse valor era igual (0,17 m².°C/W).

Quadro 4.4 – Coeficiente de Transmissão Térmica de Pavimentos interiores de madeira sobre zonas exteriores

Material	λ [W/(m.°C)]	Espessura [m]	R [(m ² .°C)/W]	U [W/(m ² .°C)]
Soalho (Pinho)	0,1800	0,022	0,1222	3,01
		0,030	0,1667	2,65
		0,040	0,2222	2,31

Nos pavimentos em contacto com o solo, o comportamento térmico, com a existência de uma caixa-de-ar entre o pavimento e o solo é melhorado, no entanto esta melhoria não serve para que o conforto térmico interior seja sentido de forma significativa. O valor limite regulamentar apesar de mais próximo, continua incapaz de abranger este tipo de pavimentos para as exigências actuais.

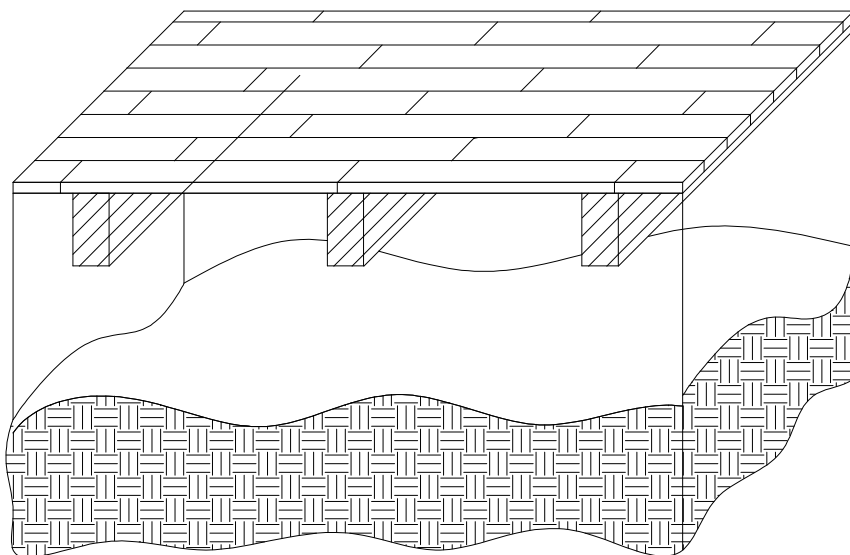


Fig. 4.3 – Esquema de Piso Térreo

Quadro 4.5 – Coeficiente de Transmissão Térmica de Pavimentos Têrreos de madeira

Material	λ [W/(m.°C)]	Espessura [m]	R [(m ² .°C)/W]	U [W/m ² .°C]
Soalho (Pinho)	0,1800	0,022	0,1222	2.16
		0,030	0,1667	1.97
		0,040	0,2222	1,78
Caixa-de-ar	-	0,500	0,2100	

Apesar de alguns inconvenientes, os pavimentos de madeira apresentam vantagens que não devem de modo algum ser descuradas, tais como: uma resistência à tracção que o betão não possui. O facto de na altura em que a sua aplicação teve maior impacto, este tipo de estrutura ser economicamente rentável e

bastante testada, os preços da mão-de-obra e materiais não serem os praticados actualmente e o “know-how” que fora adquirido durante esse tempo acerca das estruturas de madeira permitiam a previsão de um bom comportamento estrutural e a capacidade de possuir características que eram inigualáveis para os materiais existentes até então.

Com a evolução dos preços, a falta de rigidez, a fraca resistência ao fogo e o aparecimento de novas matérias (que nem sempre apresentavam as melhores características técnicas para o fim a que se destinavam), este tipo de pavimento foi caindo em desuso.

4.3.3. LAJES MACIÇAS

Tentando fazer face aos inconvenientes das lajes de madeira, estas foram sendo substituídas por lajes maciças, constituídas por betão armado. Este tipo de lajes apesar de responderem positivamente a alguns pontos que até então falhavam, tais como: a falta de rigidez e a resistência ao fogo, introduziram novos problemas que não aconteciam com as lajes de madeira.

Uma sobrecarga causada pelo peso do betão armado, que é incomparavelmente superior ao da madeira, com uma massa volumica de 2300 – 2400 kg/m³ para o betão armado em comparação com uma de 565 – 750 kg/m³ para a madeira de Pinho (a mais usada neste tipo de estruturas), provoca uma penalização na estrutura e na segurança global do edifício. A “*descaracterização das construções antigas, o que pode representar uma perda irreversível do seu valor patrimonial e arquitectónico*” [12].

Quadro 4.6 – Coeficiente de Transmissão Térmica de lajes maciças

Contacto	U [W/(m ² .°C)]
Locais não aquecidos	1,89
Superfícies Exteriores	2,50
Terreno	1.89

As lajes maciças termicamente não apresentam vantagens, dado a condutibilidade do betão armado que é bastante elevada, e apesar das espessuras utilizadas o Coeficiente de Transmissão Térmica mantém-se elevado (Quadro 4.6).

4.3.4. LAJES MISTAS

Este tipo de Lajes, foi a solução encontrada para tentar compatibilizar as melhores características do betão e da madeira, combinando a resistência, rigidez e a protecção ao fogo proporcionada pelo betão, com um material leve como a madeira. Deste modo obteve-se um tipo de laje com excelentes desempenhos estruturais e estéticos. O recurso a esta técnica permite rentabilizar todo o material já existente nas lajes de madeira, uma vez que as vigas continuam a ter uma importante função estrutural e as tábuas de soalho são utilizadas como cofragem natural para a lajeta de betão [19].

“A capacidade resistente inicial poderá ser duplicada a sua resistência à flexão três a quatro vezes e a rigidez no seu plano pode agora ser considerada como infinita. Para além do aumento da resistência, a transformação em lajes mistas tem outras vantagens: diminuição das vibrações (os

ruídos incomodativos dos soalhos tradicionais são eliminados); bom isolamento acústico (60 dB); protecção ao fogo (F30, F60 e F90) e protecção da madeira, à acção da água, conferida pelo betão” [19].

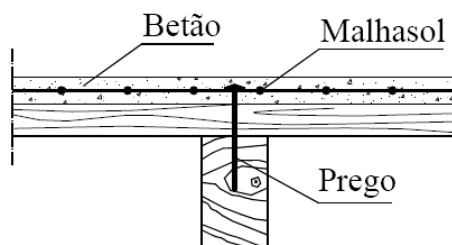


Fig. 4.4 – Laje Mista [33]

Do ponto de vista térmico, este tipo de lajes permite aliar as melhores características do betão às da madeira, servindo o betão também para funcionar como camada protectora ao clima exterior, o que apenas com a madeira se tornava muito difícil de acontecer, uma vez que as placas de soalho não são contínuas como as de pavimento flutuante existentes nos dias de hoje, existindo falhas entre as ripas de madeira do soalho.

Quadro 4.7 – Coeficiente de Transmissão Térmica de lajes mistas

Contacto	Material	λ [W/(m.°C)]	Espessura [m]	R [m ² .°C)/W]	Espessura do Soalho [m]	U [W/(m ² .°C)]
Locais não aquecidos					0,022	2,01
					0,030	1,84
					0,040	1,67
Superfícies Exteriores	Betão Normal	1,6500	0,0600	0,0364	0,022	2,71
					0,030	2,42
					0,040	2,13
Terreno					0,022	2,01
					0,030	1,84
					0,040	1,67

Um pavimento com este, através da combinação betão/madeira permite que o limite para a zona climática II seja cumprido em caso de lajes mistas em contacto com o terreno, com uma espessura de soalho maiores do que 2.7 cm. Para este tipo de piso com uma espessura de soalho de 4 cm sob uma laje de betão, os valores dos Coeficientes de Transmissão Térmica aproximam-se aos permitidos legalmente pelo RCCTE para a zona climática I2 (1.3 W/m².°C).

4.3.5. LAJES ALIGEIRADAS

As lajes aligeiradas terão sido o último tipo de pavimento a entrar no mercado, aliando um conjunto de características técnicas inigualáveis por parte dos outros tipos de laje. Um pavimento deste género possui as melhores características do betão e adicionou-lhes o facto de serem muito mais leves do que as lajes maciças, com a introdução de blocos (cerâmicos e de betão normal) permitindo assim a criação de espaços de ar na laje, contribuindo para um desempenho térmico mais favorável. A introdução deste tipo de blocos permitiu que as lajes de madeira pudessem ser eliminadas, sem que houvesse um aumento significativo do esforço suportado pela estrutura, não pondo em causa o risco de segurança global do edifício. O crescente aumento do preço da madeira, também terá sido outro dos factores a facilitar a entrada no mercado deste tipo de lajes. Contudo, as lajes aligeiradas em obras de reabilitação não são as mais aconselháveis, uma vez que tal como acontecia com as lajes maciças, também com estas existe uma *“descaracterização das construções antigas, o que pode representar uma perda irreversível do seu valor patrimonial e arquitectónico”* [19].

Termicamente, este tipo de lajes apresentam um desempenho superior ao das lajes estudadas anteriormente, sendo que até o limite permitido no RCCTE para a zona climática I3 é cumprido para lajes em contacto com locais não aquecidos constituídas por blocos cerâmicos com espessuras entre os 33 e os 35 cm (Quadro 4.8).

Para a zona climática I2, este tipo de laje encontra-se abaixo do limite para pavimentos em contacto com locais não aquecidos constituídas quer por blocos cerâmicos quer por blocos de betão normal, quando em ambos os casos, os blocos têm espessuras entre os 33 e os 35 cm (Quadro 4.8).

Numa zona climática como a I1, o limite estabelecido pelo regulamento encontra-se abaixo ou é igual em todos os pavimentos em contacto com locais não aquecidos, excepto lajes constituídas por blocos de betão normal com espessura entre os 13 e os 15 cm. Em pavimentos em contacto com superfícies exteriores e com o terreno, o limite de $1,65 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ imposto pelo RCCTE apenas é cumprido nas situações em que os blocos (cerâmicos ou de betão) tenham espessuras fixadas entre os 33 e os 35 cm (Quadro 4.8).

A partir dos dados fornecidos pelo Quadro 4.8, poderemos concluir que o desempenho térmico das lajes constituídas por blocos cerâmicos é superior ao das lajes constituídas por blocos de betão normal e como seria de esperar a utilização de blocos com espessuras entre os 33 e os 35cm também é preferível aos blocos com espessuras inferiores.

Quadro 4.8 – Coeficiente de Transmissão Térmica de lajes aligeiradas

Contacto	Blocos	Espessura [m]	U [W/(m ² .°C)]
Locais não aquecidos	Cerâmicos	0,13 - 0,15	1,65
		0,33 - 0,35	1,18
	Betão Normal	0,13 - 0,15	1,71
		0,33 - 0,35	1,33
Superfícies exteriores	Cerâmicos	0,13 - 0,15	2,10
		0,33 - 0,35	1,40
	Betão Normal	0,13 - 0,15	2,20
		0,33 - 0,35	1,60
Terreno	Cerâmicos	0,13 - 0,15	1,65
		0,33 - 0,35	1,18
	Betão Normal	0,13 - 0,15	1,71
		0,33 - 0,35	1,33

4.3.6. OBSERVAÇÕES GERAIS

A observação dos coeficientes de transmissão térmica obtidos para todos os tipos de pavimento, levou a concluir que as lajes aligeiradas são aquelas que oferecem um conforto térmico mais elevado, no entanto a sua espessura também é a maior. Dentro das lajes aligeiradas, o desempenho dos blocos cerâmicos será o ideal para efeitos térmicos.

As lajes de madeira, são aquelas que obtêm uma eficiência térmica menor, apesar do baixo coeficiente de condutibilidade térmica da madeira, no entanto a sua espessura não permite que este tipo de pavimento obtenha desempenhos superiores.

Entre as lajes maciças e as lajes mistas, relativamente ao desempenho térmico a escolha recairá para as lajes mistas, uma vez que estas permitem combinar a condutibilidade térmica da madeira com as características do betão. Enquanto as lajes maciças, sendo constituídas por betão armado com um coeficiente de condutibilidade térmica de 2,3 W/(m.°C), se apresentam como a pior escolha para um bom aproveitamento térmico.

4.4. PAVIMENTO + REVESTIMENTOS

Apesar de em alguns casos, os pavimentos no século XX não possuírem qualquer tipo de revestimento (em especial os de madeira), os revestimentos não devem ser esquecidos relativamente ao cálculo térmico de um pavimento, uma vez que a sua contribuição térmica aliada a alguns tipos de pavimento será capaz de cumprir o limite imposto no RCCTE para os Coeficientes de Transmissão Térmica.

Adoptando-se espessuras para os revestimentos que se consideram razoáveis e como prática comum na sua utilização actual, efecturam-se os cálculos para determinar a influência de cada tipo de revestimento e se essa influência seria suficiente para a aprovação dos limites impostos legalmente

pelo Regulamento para os Coeficientes de Transmissão Térmica (1.65, 1.3 e 1.2 W/(m².°C) – para as zonas climáticas I1, I2 e I3 respectivamente) em função da localização e do tipo de pavimento utilizado. Para a Marmorite e Pedras Naturais, adoptaram-se 5 cm de espessura, 3 cm para as Madeiras e Cerâmico e 2 cm para os têxteis, existem variações para estes valores, no entanto estes tentam representar a influência que os revestimentos podem ter no conforto térmico dentro de uma habitação.

Para cada tipo de pavimento, apenas se efectuou o caso mais e menos gravoso, para que se pudesse ter um intervalo de valores capazes de fornecer informações acerca do cumprimento do Regulamento para as diferentes zonas climáticas.

- Lajes de Madeira – Pavimento com soalho entre os 2,2 e 4 cm.
- Lajes Mistas – Pavimento com espessura de soalho entre 2,2 e 4 cm e 6 cm de betão sobre este.
- Lajes Maciças – Pavimento de betão armado com 10 a 20 cm de espessura.
- Lajes Aligeiradas – Pavimento de blocos de betão normal com espessura entre os 13 a 15 cm e blocos cerâmicos de 33 a 35 cm.

Como já se tinha referido anteriormente, o revestimento têxtil, nomeadamente alcatifas, classificam-se como o melhor revestimento para um bom conforto térmico e na maioria dos casos este tipo de revestimento basta para que o Coeficiente de Transmissão Térmica do conjunto Pavimento + Revestimento seja inferior a alguns dos limites dos coeficientes de transmissão térmica. Os revestimentos de Marmorite, Cerâmicos e Pedras Naturais, apesar de serem constituídos por uma espessura maior, a Condutibilidade Térmica destes é muito elevada e como tal o seu desempenho é francamente mau. A madeira apresenta-se como uma boa alternativa aos têxteis, que apesar de obterem valores do Coeficiente de Transmissão Térmica mais elevados do que este e da sua espessura também ser superior, não apresentam os inconvenientes dos têxteis para a saúde.

Nos gráficos e nos quadros apresentados, tentou-se fazer uma comparação entre os diferentes tipos de revestimentos aliados aos diferentes tipos de pavimentos em cada localização destes.

Nos gráficos as linhas horizontais que se encontram representam os limites para os coeficientes de transmissão térmica para cada zona climática. A linha vermelha representa o limite para uma zona climática I3 (menos rigoroso), a amarela para um tipo I2 e a verde para um tipo I1 (mais rigoroso). A escolha das cores advém do facto de pavimentos com Coeficientes de Transmissão Térmica superiores aos do limite imposto para a zona climática I3 são pavimentos que apresentam um comportamento térmico muito abaixo das exigências que devem ser praticadas.

Conforme se pode observar na Figura 4.5 e no Quadro 4.9, o limite de 1.2 W/(m².°C) apenas nos têxteis é cumprido por todos à excepção de pavimentos de madeira com uma espessura de 2.2 cm.

Para o cumprimento do imposto regulamentar para zonas climáticas I2, é cumprido por todos os pavimentos com revestimento têxtil e por todas as lajes aligeiradas com blocos cerâmicos de 33 a 35 cm de espessura.

O valor de 1.65 W/(m².°C) é cumprido para todos os pavimentos com revestimento de madeira ou têxtil. Para lajes aligeiradas com blocos cerâmicos ou mistas com soalho de 4 cm, os valores também se encontram todos abaixo dos 1.65 W/(m².°C), enquanto que em lajes aligeiradas com blocos de betão, no caso de ter revestimento de marmorite, cerâmico ou pedra natural, este limite não é cumprido mas encontra-se muito próximo.

Quadro 4.9 – Pavimentos + Revestimentos em contacto com zonas não aquecidas

Pavimento	Revestimento				
	Marmorite	Cerâmico	Madeira	Pedra Natural	Têxtil
Lajes de Madeira – 2,2 cm	2,08	2,06	1,59	2,09	1,26
Lajes de Madeira – 4 cm	1,72	1,71	1,37	1,73	1,12
Lajes Mistas (2,2 cm Mad.)	1,93	1,92	1,50	1,94	1,20
Lajes Mistas (4 cm Mad.)	1,62	1,61	1,31	1,63	1,07
Lajes Maciças	1,82	1,81	1,44	1,83	1,16
Lajes Aligeiradas – BB 13-15	1,66	1,65	1,33	1,66	1,09
Lajes Aligeiradas – BC 33-35	1,16	1,15	0,99	1,16	0,85

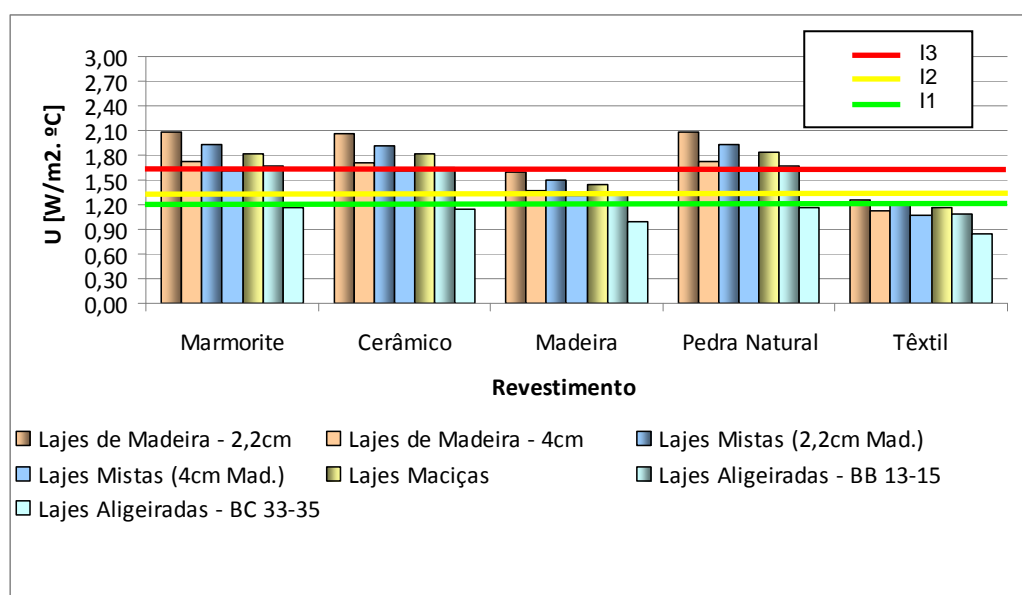


Fig. 4.5 – Coeficiente de Transmissão Térmica de Pavimentos + Revestimentos em pisos em contacto com zonas não aquecidas

Para pavimentos em contacto com zonas exteriores o limite imposto pelo Regulamento Térmico para a zona climática I3 não é cumprido por nenhum tipo de pavimento com revestimento com a excepção das lajes aligeiradas revestidas com material têxtil.

Para zonas climáticas I2, o limite máximo de 1.3 W/(m².°C) apenas é cumprido para lajes aligeiradas com blocos cerâmicos com revestimento de madeira e têxtil, lajes aligeiradas de blocos de betão e lajes mistas (4 cm de Madeira) quando revestidas com têxteis.

Relativamente ao limite de 1.65 W/(m².°C), este é cumprido com qualquer tipo de pavimento com revestimento têxtil, mas também para lajes aligeiradas com revestimento de madeira. Para pavimentos em contacto com o exterior os valores dos Coeficientes de Transmissão Térmica para pavimentos com

revestimentos de marmorite, cerâmicos ou pedras naturais têm um desempenho francamente mau, sendo que nalguns casos o valor é de mais do dobro do limite para invernos tipo I3.

Quadro 4.10 – Pavimentos + Revestimentos em contacto com zonas exteriores

Pavimento	U [W/m ² .°C]	Revestimento				
		Marmorite	Cerâmico	Madeira	Pedra Natural	Têxtil
Lajes de Madeira – 2,2 cm		2,84	2,81	2,00	2,87	1,50
Lajes de Madeira – 4 cm		2,21	2,20	1,67	2,23	1,31
Lajes Mistas (2,2 cm Mad.)		2,58	2,55	1,87	2,60	1,42
Lajes Mistas (4 cm Mad.)		2,05	2,03	1,57	2,06	1,25
Lajes Maciças		2,38	2,36	1,76	2,40	1,36
Lajes Aligeiradas – BB 13-15		2,11	2,09	1,61	2,12	1,27
Lajes Aligeiradas – BC 33-35		1,36	1,36	1,14	1,37	0,95

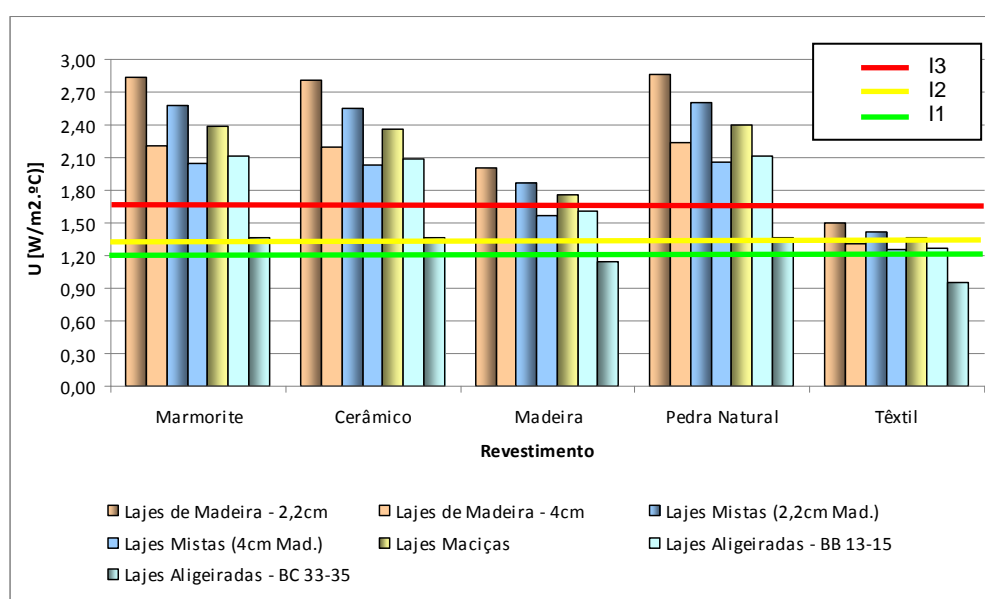


Fig. 4.6 – Coeficiente de Transmissão Térmica dos Pavimentos + Revestimentos em pisos em contacto com zonas exteriores

De acordo com a Figura 4.7 e o Quadro 4.11, todas as lajes aligeiradas com blocos cerâmicos cumprem este o limite para zonas climáticas II. O Coeficiente de Transmissão Térmica é inferior a 1.2 W/(m².°C) em todos os pavimentos revestidos com têxteis, à excepção dos pavimentos de madeira com 2.2 cm de espessura, que apesar de tudo não se encontra muito acima deste valor (1.26 W/(m².°C)).

Relativamente a zonas climáticas I2, o limite é cumprido por todos os pavimentos com revestimento têxtil ou pavimentos aligeirados com blocos cerâmicos.

O limite de $1.65 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ é cumprido por todas as lajes mistas com 4 cm de soalho de madeira e aligeiradas de blocos cerâmicos e em todos os pavimentos com revestimento têxtil ou de madeira. No caso das lajes aligeiradas com blocos de betão este limite apenas é cumprido no caso de terem revestimento de madeira ou têxtil, sendo que nos restantes casos os valores encontram-se bastante próximos deste limite.

Quadro 4.11 – Pavimentos + Revestimentos em contacto com o terreno

Pavimento	U $[\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}]$	Revestimento				
		Marmorite	Cerâmico	Madeira	Pedra Natural	Têxtil
Lajes de Madeira – 2,2 cm		2,08	2,06	1,59	2,09	1,26
Lajes de Madeira – 4 cm		1,72	1,71	1,37	1,73	1,12
Lajes Mistas (2,2 cm Mad.)		1,93	1,92	1,50	1,94	1,20
Lajes Mistas (4 cm Mad.)		1,62	1,61	1,31	1,63	1,07
Lajes Maciças		1,82	1,81	1,44	1,83	1,16
Lajes Aligeiradas – BB 13-15		1,66	1,65	1,33	1,66	1,09
Lajes Aligeiradas – BC 33-35		1,16	1,15	0,99	1,16	0,85

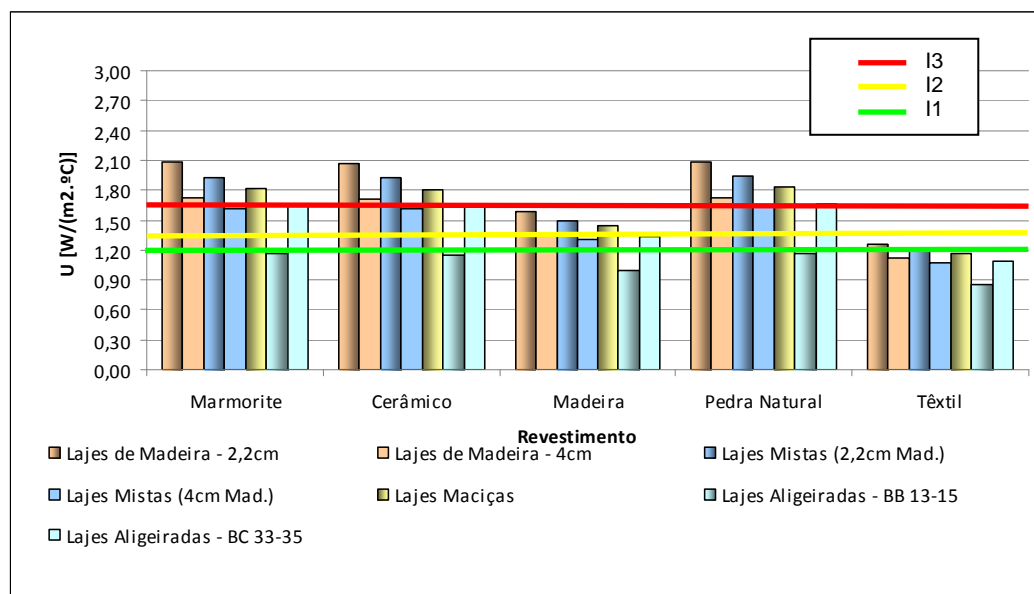


Fig. 4.7 – Coeficiente de Transmissão Térmica dos Pavimentos + Revestimentos em pisos térreos

Pela observação das Figuras 4.5, 4.6 e 4.7 e dos Quadros 4.9, 4.10 e 4.11, conclui-se que o revestimento mais apropriado para as melhorias das condições térmicas interiores é o tipo têxtil, sendo que apenas em pavimentos em contacto com o exterior o seu desempenho não é suficiente para o cumprimento de todos os limites impostos pelo regulamento.

Os revestimentos Cerâmicos, de Marmorite e Pedra Natural, apresentam-se como revestimentos com um comportamento térmico inadequado, sendo que a sua utilização em pavimento em contacto com o

exterior, a sua utilização deve ser substituída por revestimentos capazes de proporcionar um conforto mais adequado.

A madeira como revestimento, apesar de ter de ter uma espessura maior do que os têxteis deve continuar a ser considerada como uma hipótese muito válida uma vez que o seu comportamento é satisfatório, com a excepção de pavimentos em contacto com o exterior.

5

REABILITAÇÃO TÉRMICA

5.1. INTRODUÇÃO

Com o objectivo de se adoptar um sistema energético a nível europeu e com o propósito de diminuir a dependência dos combustíveis fósseis e diminuição das emissões de carbono para a atmosfera, foi publicada em 2003 a Directiva Comunitária n.º 2002/91/CE, que obriga os estados membros a melhorar o desempenho energético das construções, ao nível do conforto térmico e do consumo de águas quentes, tendo sido adoptada na legislação portuguesa através do decreto-lei 80/2006 de 4 de Abril. Deste modo pretende-se assim melhorar a eficiência energética dos edifícios a construir e a reabilitar, quer se trate de edifícios de habitação, quer de serviços. Para das novas exigências, têm de ser aplicadas medidas de correcção térmica para que os edifícios possam corresponder assim às necessidades actuais e para que o objectivo europeu esteja mais próximo de ser alcançado.

Para que esse objectivo possa ser cumprido, recorrem-se maioritariamente a quatro tipos de intervenções:

- Reforço da protecção térmica conferida pela envolvente dos edifícios;
- Controlo das infiltrações;
- Recurso a tecnologias solares, passivas e activas;
- Melhoria de eficiência dos sistemas e equipamentos energéticos;

O ideal seria a aplicação e coordenação conjunta das diferentes medidas com o objectivo de alcançar uma optimização energética, sendo que algumas das medidas só vêm o seu objectivo no caso da aplicação conjunta com outras.

Estas medidas devem ser tomadas para que se atinjam quatro propósitos fundamentais [3]:

- Redução das necessidades de energia de aquecimento ou arrefecimento;
- Melhoria das condições de conforto nos edifícios;
- Redução da potência dos equipamentos dos sistemas de climatização a instalar ou a reabilitar;
- Redução das emissões de CO₂, CO, NO_x e SO₂, que tem um impacte ambiental e para a saúde muito positivo;

Para a realização deste trabalho, foram estudadas as medidas necessárias para que existisse um reforço da protecção térmica conferida pela envolvente dos edifícios, nomeadamente em pavimentos. Sendo que os pavimentos se encontram subdivididos em pavimentos em contacto com zonas não aquecidas, pavimentos sobre o exterior e pavimentos em contacto com o terreno.

A reabilitação dos pavimentos, tornou-se um ponto obrigatório após a entrada do novo regulamento térmico que os tornou um dos alvos a necessitar de intervenção, uma vez que os pavimentos existentes na maioria das habitações não permite cumprir os limites máximos preconizados no RCCTE (ver Figura 3.1, Capítulo 3)

Os pavimentos nem sempre são o alvo preferido para uma reabilitação térmica uma vez que a colocação de alguns isolantes nem sempre é fácil devido às condições da construção existente ao elevado custo de investimento inicial. A colocação de qualquer isolante é sempre mais fácil aquando da construção do edifício, tornando-se mais complicada após a finalização deste e utilização diária, não sendo um trabalho de elevado nível de dificuldade, requer sempre alguns cuidados acrescidos e transtorno causado aos utilizadores.

Ao nível do reforço da protecção térmica obtida pelos pavimentos podem efectuar-se três tipos de intervenções:

- Reabilitação destrutiva: reabilitação em que a totalidade ou grande parte da estrutura é destruída, permanecendo apenas a fachada intacta, tendo de se realizar uma estrutura nova, sendo que a realização de novos pavimentos é ponto assente.
- Reabilitação parcialmente destrutiva: neste tipo de reabilitação as lajes não necessitam de ser totalmente removidas, tendo apenas de se efectuar rasgos ou aberturas para a introdução de material isolante.
- Reabilitação não destrutiva: neste caso os pavimentos permanecem inalterados, tendo de se encontrar modos mais expeditos para a colocação de isolantes.

A utilização de isolantes térmicos numa reabilitação é essencial, uma vez que normalmente são materiais com um valor bastante baixo de condutibilidade térmica e por isso não necessitam de grandes espessuras para que se obtenha uma boa eficácia obtendo-se assim um excelente desempenho a preços controlados. A utilização crescente deste tipo de material deve-se também ao facto da existência de uma crescente preocupação e notoriedade que tem sido dada a estes pelo desempenho nas paredes e coberturas, que já tinha permitido demonstrar a sua eficácia.

Na maioria das vezes este tipo de obras não se realiza porque as pessoas pensam que são muito dispendiosas, demoram muito tempo causando muitos transtornos e o proveito obtido não compensa os males causados por este tipo de intervenção. No entanto, as crescentes despesas energéticas necessárias para manter um nível de conforto elevado na habitação serão sempre superiores àquelas produzidas numa habitação com um isolamento térmico adequado. Apesar das despesas com o aquecimento e arrefecimento serem inferiores após uma intervenção deste género, o custo inicial destas também é bastante superior. Assim, antes de qualquer intervenção convém saber o nível de conforto pretendido, o custo inicial que esse conforto produzirá e se a diminuição na factura energética será suficiente para que exista um retorno económico da intervenção.

5.2. ISOLANTES TÉRMICOS

5.2.1. INTRODUÇÃO

Para que se possa considerar um material como um isolante, este tem de ter a função de isolar o interior do exterior, no caso de isolantes térmicos a sua principal propriedade tem de ser a capacidade que este tem de criar uma barreira à transmissão de temperatura entre o exterior e o interior e isso traduz-se na resistência térmica dos pavimentos e no seu coeficiente de condutibilidade térmica (λ) de todos os seus componentes. Este coeficiente representa a quantidade de calor (expressa em [W] por unidade de área [m^2]) que atravessa uma espessura unitária ([m]) de um material, quando entre duas faces planas e paralelas se estabelece uma diferença unitária de temperatura ($1^\circ C$ ou 1 K). Um material só é considerado isolante quando o valor da condutibilidade térmica for inferior a $0.065 W/(m \cdot ^\circ C)$.

Para que exista uma uniformização das informações fornecidas pelos fabricantes adoptou-se a designação λ_D , que representam os valores declarados pelos fabricantes dos isolantes que se apresentam com um nível de confiança de 90 %, em média não são ultrapassados por 90 % do produto colocado no mercado. Os valores de base são referenciados a uma temperatura média de ensaio de $10^\circ C$, e a um teor de água de equilíbrio num ambiente com $23^\circ C$ de temperatura e 50% de humidade relativa. A vida útil assumida é de 25 anos sendo que alguns produtos perderão as suas características ao longo do tempo. [21]

Para o trabalho efectuado, utilizaram-se os valores da Condutibilidade Térmica fornecidos pelos fabricantes dos isolantes, adoptando-se os valores convencionais de cálculo para os restantes materiais que não foram analisados tão profundamente que são valores presentes na normalização europeia, complementados com a informação presente noutros países comunitários. Os valores convencionais de cálculo são valores que têm em conta os agravamentos resultantes das condições específicas da utilização prevista em conjunto com os obtidos a partir dos correspondentes valores declarados.

Para a realização deste trabalho recorreram-se apenas a produtos ou sistemas que estivessem de acordo com os seguintes pressupostos [21]:

- Produtos ou sistemas dispendo de marcação CE;
- Sistemas detentores de uma apreciação técnica idónea, nomeadamente um Documento de Homologação (DH) ou de Aplicação (DA) emitidos pelo LNEC, ou uma Aprovação Técnica Europeia (ETA) emitida por um organismo membro da EOTA (European Organization for Technical Approvals);
- Produtos ou sistemas objecto de certificação ou de comprovação de qualidade efectuadas por entidade reconhecida;

Os valores da Condutibilidade Térmica são de uma importância extrema para a quantificação de um bom isolante, no entanto se a sua Resistência Térmica for inferior a $0.030 m^2 \cdot ^\circ C/W$ este não pode ser considerado um bom isolante. Isto quer dizer que se a sua espessura não for suficiente para que o valor da Resistência Térmica seja superior a $0.030 m^2 \cdot ^\circ C/W$, o material não poderá ser considerado com um bom isolante. Deste modo convém utilizar um isolante que possua uma condutibilidade térmica bastante baixa ($<0.065 W/(m \cdot ^\circ C)$) para que o valor da espessura não tenha de ser muito elevada para compensar essa condutibilidade térmica.

No caso do estudo efectuado ter recaído sobre os pavimentos, os isolantes colocados nestes têm de possuir características diferentes dos aplicados noutras zonas da envolvente e essas características também têm de diferir dependendo da zona aonde vão ser aplicados em relação ao pavimento

(Inferior, Superior ou Intermédia). Em todos os casos deveremos ter em conta a capacidade que os materiais têm para resistir ao fogo e à humidade.

Quadro 5.1 – Soluções de reforço do isolamento térmico de pavimentos sobre espaços exteriores, sobre locais não-aquecidos e sobre o terreno

Localização do isolamento térmico em relação ao pavimento	Tipos de soluções	
Inferior	Sistemas compósitos de isolamento térmico pelo exterior	Revestimentos espessos de ligantes minerais, armados (rebocos armados), sobre isolante
		Revestimentos delgados de ligantes sintéticos, ou mistos, armados, sobre isolante
	Revestimentos isolantes	Revestimentos prefabricados isolantes descontínuos
		Rebocos Isolantes
		Projecção de espumas isolantes
Tectos falsos	Tectos falsos suportando uma camada de isolante térmico	
Superior	Camada de isolante de betão leve entre o pavimento resistente e o revestimento de piso	
Intermédio	Preenchimento dos vazios entre vigotas de pavimentos de madeira com um isolante térmico	

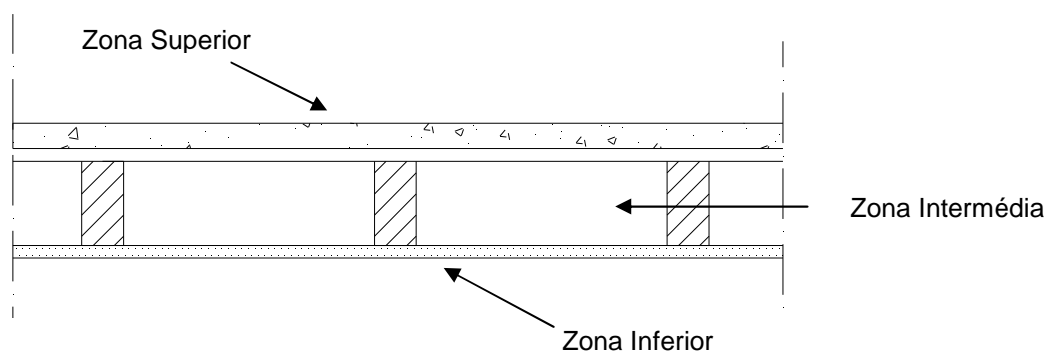


Fig. 5.1 – Zonas a Isolar

Atendendo à figura 5.1 faz-se uma descrição do sistema de isolante mais adequado para as três soluções possíveis:

- Isolante aplicado na zona inferior;

- Isolante aplicado na zona intermédia;
- Isolante aplicado na zona inferior;

Para isolamentos aplicados na zona inferior do pavimento que podem ou não preencher a totalidade do espaço existente entre o revestimento exterior e a base do pavimento têm de ser usados isolantes que apresentem uma rigidez apropriadas para este tipo de aplicação não sendo tão exigente como em soluções com os pavimentos pelo interior mas também devem possuir características de acordo com a segurança contra incêndio que deverão ser da categoria Euroclasse E, segundo a norma EN 13501-1, higiene, saúde e resistência às humidades provenientes do terreno, condensação mas também de construção que poderiam provocar um aumento da condutibilidade térmica.

No caso de não haver necessidade de destruir o pavimento, este tipo de solução será sempre o mais indicado, no entanto para que isso possa acontecer, a zona inferior do pavimento tem que ser acessível, sendo que em pavimentos em contacto com o terreno é difícil acontecer essa situação. Outra das desvantagens em pavimentos em contacto com zonas não aquecidas é a perda de pé-direito.

Segundo o ITE50, a solução recai na maioria das vezes por:

- Placas de poliestireno expandido moldado (EPS);
- Placas de poliestireno expandido extrudido (XPS);
- Placas e mantas de lã mineral (MW) – as mantas têm de estar apoiadas no tecto falso;
- Placas de aglomerados de cortiça expandida (ICB);
- Espuma rígida de poliisocianurato (PIR) ou de poliuretano (PUR);
- FOAMGLASS;
- Fibra de Côco;

Apesar de não poder ser considerado como material isolante, os tectos falsos são utilizados na grande maioria das intervenções térmicas pelas suas propriedades mas também pelo facto se servirem de apoio a alguns isolantes que não possam ser colados ou fixados ao pavimento.

Nos casos em que se pretende uma colocação do material na zona superior do pavimento, a necessidade deste ter de aguentar um elevado número de cargas faz com que deva ser capaz de manter o seu comportamento e durabilidade de todas as suas propriedades ao longo do tempo. Muitas vezes neste tipo de aplicação, os isolantes têm de suportar o peso próprio da solução de protecção mecânica e de revestimento de piso, mas também as cargas permanentes e sobrecargas adicionais associadas à utilização prevista para o espaço interior, daí a importância da capacidade de resistência a cargas que este tipo de isolante apresente. Uma adequada resistência à compressão permitirá a manutenção da sua espessura, factor determinante para uma resistência térmica homogénea ao longo da sua vida útil..

Este tipo de solução é normalmente utilizada em casos de reabilitação de edifícios não destrutivos, sendo que no entanto este tipo de aplicação irá reduzir o pé direito da habitação, a inércia térmica interior aliados a um custo mais elevado.

Neste tipo de situação, a gama de produtos é normalmente a seguinte:

- Placas de aglomerado de cortiça expandida (ICB);
- Regranulado de Cortiça Expandida com cimento e areia;

- Placas de poliestireno expandido moldado (EPS) ou extrudido (XPS);
- Placas e mantas de lã mineral (MW);
- Espuma rígida de poli-isocianurato (PIR) ou de poliuretano (PUR);
- Telas reflectoras;
- FOAMGLASS;
- Fibra de côco;

Para uma colocação na zona intermédia do pavimento, a rigidez dos materiais apesar de importante não é um pormenor fundamental tal como a resistência ao fogo e humidades, uma vez que este material estará protegido pelo pavimento e revestimentos superiores e inferiores.

Em situações de reabilitação destrutiva, a substituição dos blocos cerâmicos ou de betão por blocos de poliestireno expandido tem vindo a crescer e com resultados positivos. A utilização de isolamentos a granel permite a introdução deste tipo de material numa reabilitação parcialmente destrutiva não sendo deste modo necessária a destruição total do pavimento ou revestimento.

Para este tipo de solução utilizam-se materiais como:

- Grânulos de argila, de vermiculite ou de perlite expandidas;
- Regranulado de cortiça expandida;
- Lã mineral a granel;
- Espuma rígida de poliisocianurato (PIR) ou de poliuretano (PUR);
- Fibra de côco;
- Abobadilhas de EPS;

5.2.2. MATERIAIS DE ISOLAMENTO TÉRMICO

5.2.2.1. Poliestireno Expandido Moldado (EPS)

Este plástico celular rígido isolante, correntemente denominado por EPS é uma espuma de poliestireno moldada, constituída por um aglomerado de grânulos que se pode apresentar sob várias formas.

Para além destas características, o EPS é resistente ao envelhecimento o que quer dizer que todas as propriedades do EPS mantêm-se inalteradas ao longo da vida do material, que é pelo menos tão longa quanto a vida da construção de que faz parte. Também não tem qualquer valor nutritivo para os roedores e outros organismos. As placas de EPS não são afectadas por bolores ou outras eflorações.

Quadro 5.2 – Características do EPS

Tipo de EPS	EPS 30	EPS 60	EPS 100	EPS 150	ISOPOR	TERMOPOR	Abobadilha
λ [W/m°C]	0.04 4	0.04 0	0.038	0.036	0,034	0,032	0.037
Densidade [kg/m ³]	12	15	20	25	-	20	-
Res. Comp. – def. 10% [KPa]	30	60	100	150	-	-	-
Res. Comp. – def. 2% [KPa]	5	15	25	35	60	100	100
Res. Fle. [KPa]	50	100	150	200	100	150	150
Ws [Kg/m ²]	<2	<2	<2	<1	-	-	-
Res. difusão do vapor de água [μ]	20 – 40	20 – 40	30 – 70	30 – 70	-	-	-
Reacção ao fogo	M1 Euroclasse E						
Coefficiente de dilatação térmica linear [°C ⁻¹]	5 – 7×10 ⁵					-	
Estabilidade de forma à temperatura [°C]	85						
Preço (€/m ³ - €/ml)	45.0	60.0	84.0	116.0	-	-	3.0

Em pavimentos este tipo de material normalmente é utilizado de três maneiras distintas:

- Isolamento sob pavimento flutuante;
- Isolamento aplicado sob laje;
- Isolamento na laje;

Para uma aplicação sob pavimento flutuante, coloca-se uma placa de EPS sobre o pavimento e sobre o isolante é colocada a lajeta de betão que posteriormente terá sobre esta o revestimento do piso. É importante que o EPS envolva a lajeta lateralmente de modo a desligá-la dos restantes elementos do edifício para que deste modo o pavimento possa ter um bom comportamento térmico mas também acústico. Para a aplicação do material isolante, o suporte deste deverá estar desempenado, as placas de EPS devem ter um encosto perfeito, a camada de EPS deve ser protegida com um filme impermeável (ex. folha de polietileno) antes de colocar a betonilha e deve-se ter cuidado em não danificar o EPS e o filme impermeável durante a operação de colocação da betonilha (Figura 5.2).

Se o principal objectivo fosse o de eliminar os problemas acústicos o tipo de EPS a utilizar deveria ser mais exigente, no entanto para soluções térmicas deve ser utilizado EPS 60 com uma espessura mínima de 30 mm.

Em obras de reabilitação, este tipo de solução apenas poderá ocorrer aquando da destruição total da laje do pavimento e poderá ser utilizado em todos os tipos de pavimento sendo que aquando da sua

aplicação sobre o solo este funciona como uma barreira efectiva contra a humidade. Para além do bom comportamento térmico, acusticamente este tipo de solução apresenta um comportamento bastante eficaz reduzindo em cerca de 32 dB os sons de percussão.

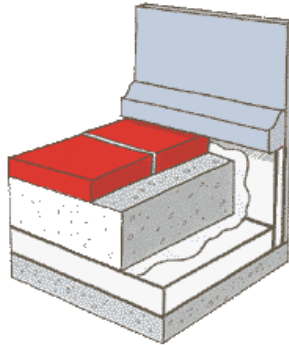


Fig 5.2 – Isolamento sob pavimento flutuante [26]

Para a aplicação do EPS sob a laje deve se fixar por colagem, mecanicamente por pregos ou parafusos de modo a que este não se separe da laje. No caso de ser colado deverá ser utilizada uma cola apropriada e o suporte deverá estar limpo, seco e desempenado. No caso de fixação mecânica, esta deverá ser apropriada para o EPS, sendo que caso o suporte não ofereça garantia de integridade deverão ser feitos ensaios de modo a verificar qual o sistema de fixação apropriado. Posteriormente este pode ser pintado ou revestido com materiais apropriados. Se o material de revestimento não for incombustível, poderá ser aplicado um tipo de EPS não inflamável (Figura 5.3).

Este tipo de solução pode ser utilizado tanto para obras de reabilitação destrutiva como não destrutivas, revelando-se economicamente rentável permitindo que o pavimento passe a ter o comportamento térmico desejado. O EPS a utilizar poderá ser de qualquer tipo desde que superior a EPS 60.

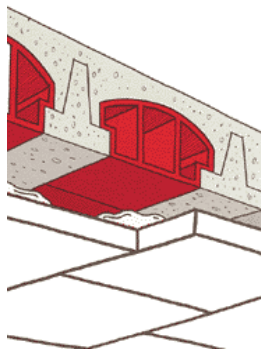


Fig. 5.3 – Isolamento sob laje [27]

Com a colocação do isolamento na laje, permite perfeitamente substituir os blocos cerâmicos ou de betão normal em qualquer tipo de pavimento e a sua aplicação efectua-se do mesmo modo que a dos restantes blocos, sendo que existem dois tipos de abobadilhas: normais e com abas que cobrem a parte inferior da viga permitindo assim a formação de um elemento contínuo. Para além das propriedades térmicas muito superiores às restantes soluções para lajes aligeiradas, esta permite o peso da laje também seja reduzido (Figura 5.4).

Uma solução deste tipo só poderá ser utilizada em obras de reabilitação destrutiva.

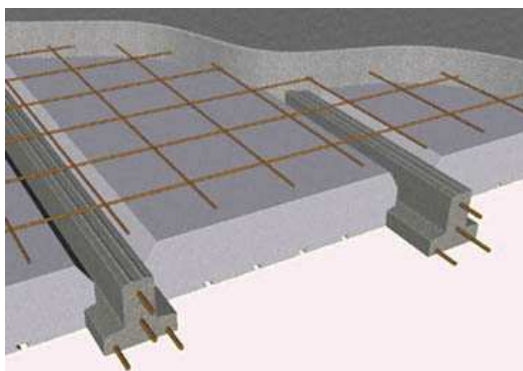


Fig. 5.4 – Isolamento na laje [28]

O EPS Grafite é uma variante do EPS tradicional com um aditivo de grafite, o que permite absorver a radiação infravermelha e suprimir a radiação térmica, permitindo assim que este material obtenha excelentes desempenhos com espessuras inferiores às dos restantes materiais isolantes (Figura 5.5).



Fig. 5.5 – EPS Grafite [29]

Este material normalmente é aplicado sob a laje e por isso a sua utilização em obras de reabilitação não destrutiva é uma mais-valia para este material

5.2.2.2 Poliestireno expandido extrudido (XPS)

Espuma plástica, obtida por extrusão, com carácter termoplástico, de estrutura rígida e uniforme de pequenas células fechadas e sem CFC's ou HCFC's. Tem boa resistência mecânica e excelente resistência à água. A sua estrutura confere-lhe óptimas características como isolamento térmico. Ao nível da resistência ao fogo, as placas de XPS são combustíveis e ardem rapidamente, mas para que isso aconteça têm de estar sujeitas a fogo intenso, porque se estiverem apenas sujeitas a uma ignição acidental não ardem, uma vez que na sua composição têm um aditivo retardante. As suas propriedades não são alteradas aquando da presença de ciclos repetidos de gelo-degelo e o tempo de vida útil deste material é pelo menos igual ao do edifício aonde é colocado.

Para a análise deste material, adoptaram-se isolantes da marca DOW uma vez é uma marca que corresponde a todos os critérios estipulados no ITE50 para a escolha de materiais isolantes e porque a colaboração com estes nos permitiu obter mais informações acerca dos seus materiais.

Quadro 5.3 – Características do XPS

Tipo de XPS	FLOORMATE 200-A	FLOORMATE 500-A e 700-A	WALLMATE IB-A	ROOFMATE PT-A
λ [W/m°C]	0.035	0.036	0.035	0.035
Densidade [kg/m ³]	30	38 -45	30	35
Res. Comp. – def. 10% [KPa]	200	500 - 700	250	300
Res. Comp. – def. 2% [KPa]	60	180 - 250	-	130
Res. Tra. [KPa]		-		
Ws [Kg/m ²]		<0.7		
Res. difusão do vapor de água [μ]	80 - 180	150 - 220	80 - 180	100 - 200
Reacção ao fogo		Euroclasse E		
Coeficiente de dilatação térmica linear [°C-1]		0.07		
Estabilidade de forma à temperatura [°C]		-50 / +75		
Preço (€/m ³)	195.5	-	278.0	210.0

Este isolante normalmente é aplicado de três maneiras diferentes:

- Isolamento aplicado sob a laje;
- Isolante aplicado sobre laje ou soleira;
- Isolante aplicado sobre o terreno;

Quando se pretende colocar o isolante térmico sob a laje, em pavimentos em contacto com o exterior ou com zonas não-úteis, o tipo de isolante considerado será o WALLMATE IB-A ou o ROOFMATE PT-A, no caso de ser com revestimento aderente ou não aderente (tecto-falso) respectivamente. A aplicação de qualquer um destes isolantes em pavimentos só é possível, uma vez que nesta situação os materiais isolantes não sofrerão directamente as cargas aplicadas no pavimento. Esta solução é muito útil para obras de reabilitação não destrutivas.

Para pavimentos em contacto com o solo, deve ser utilizado um isolante tipo FLOORMATE fixado à face inferior da laje através de quatro fixações mecânicas por placa (adequadas para poliestireno extrudido – XPS).

Nos casos em que se aplica o isolante sobre a soleira ou sobre a laje, as placas de FLOORMATE não necessitam de qualquer fixação. Deverão ficar bem juntas para que não existam juntas abertas, e ser dispostas com juntas transversais desencontradas. A superfície de apoio das placas não deve apresentar irregularidades que impeçam a sua correcta aplicação. Quando necessário, poder-se-á estender uma camada de pequena espessura de areia fina para regularização. Esta camada de areia pode também ter

a função de nivelar o piso em caso de passagem de canalizações ou tubagens. Nos pavimentos com acabamento aderido, é necessária a aplicação de um filme de polietileno (ou similar) sobre as placas de isolamento para evitar a passagem de aguadilhas de argamassa que, em contacto com o suporte, formariam pontes térmicas. Nos casos de acabamentos assentes em argamassas ou betonilhas, esta camada de assentamento deverá ter 40 mm como espessura mínima. Nos casos de acabamentos ligeiros ou colados recomenda-se a execução de uma argamassa de 30 mm de espessura armada com uma malha de 220 g/m² (Figura 5.6) [13].

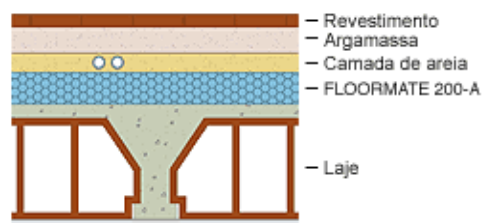


Fig. 5.6 – Isolante aplicado sobre laje ou soleira [30]

Quando o isolante é aplicado sobre o terreno, este deve estar bem compactado. Nas situações em que existam camadas drenantes compostas por gravilha (ou materiais similares) deve ser executada uma superfície regular e contínua de recepção às placas de isolamento, que poderá ser em areia fina. As placas FLOORMATE são dispostas bem juntas e com juntas transversais desencontradas. Os eventuais sistemas de impermeabilização ou barreira à humidade ascensional devem ser executados sobre a superfície de isolamento de forma a estarem na zona “quente” do edifício (zona isolada termicamente). Deve ser confirmada a compatibilidade destes sistemas e a sua forma de aplicação com o poliestireno extrudido (XPS) [17].

Dos isolantes considerados, note-se que o WALLMATE IB-A e o ROOFMATE PT-A são isolantes designados para situações de isolamento de paredes, podendo no entanto ser considerados para este tipo de solução quando não estiverem a ser sujeitos a cargas elevadas (no caso de estarem sob a laje). O isolante FLOORMATE 200-A será o isolante adequado para situações de isolamento em edifícios habitacionais ou de comércio, enquanto que os FLOORMATE 500-A e FLOORMATE 700-A pela capacidade resistente que possuem são utilizados para pavimentos industriais com circulação de veículos ligeiros e pesados respectivamente.

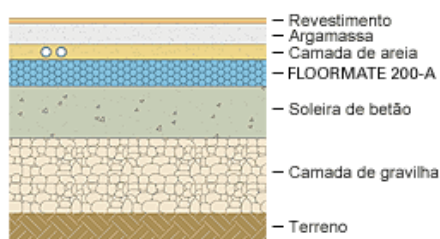


Fig. 5.7 – Isolante aplicado sobre o terreno [30]

5.2.2.3. Lã mineral (MW) / Lã de Vidro

A lã mineral normalmente é utilizada sobre duas formas mas com características muito semelhantes:

- Lã de Vidro;
- Lã de Rocha;

A lã de vidro é uma fibra mineral inorgânica composta por um entrelaçado de filamentos de vidro aglutinados com uma resina que evita a combustão o que permite a este material obter uma elevada resistência ao fogo mas também evitar a sua propagação, suportando temperaturas até 450 °C. As características térmicas e acústicas este material é amplamente utilizada no sector da construção civil e obras públicas.

Este isolante para obter um desempenho de qualidade tem que possuir espessuras maiores do que 8cm e deve ser colocada uma barreira de vapor em papel kraft asphaltado.

A lã de vidro encontra-se em rolo com diferentes densidades e espessuras mas também pode ser fornecido em forma de mantas ou painéis, com diferentes revestimentos.

Ao contrário do que tem sido afirmado, este material não se encontra classificado como não cancerígeno uma vez que a sua comercialização no espaço europeu implica a sua conformidade com a nota “Q” da Directiva Europeia 97/69/CE assim como também tem de seguir os critérios da Agência Internacional de Cancro (IARC).

Quadro 5.3 – Características da Lã de Vidro

Tipo de MW	PF Arena – ISOVER	P4222 – URSA GLASSWOOL
λ [W/m°C]	0,032	0,036
Densidade [kg/m ³]	-	-
Res. Comp. – def. 10% [Kpa]	-	-
Res. Comp. – def. 2% [Kpa]	-	-
Res. Tra. [Kpa]	-	-
Ws [Kg/m ²]	-	-
Res. Difusão do vapor de água [μ]	-	-
Reacção ao fogo	Euroclasse A2	Euroclasse A2
Coefficiente de dilatação térmica linear [°C ⁻¹]	-	-
Estabilidade de forma à temperatura [°C]	-	-
Preço (€/m ³)	350.0	50.2

A fraca ou nula resistência à compressão deste material leva a que este não seja o mais utilizado sobre os pavimentos, preferindo-se a sua colocação sob estes e apoiados no tecto falso. Apesar deste inconveniente, um isolante como este para além de possuir valores bastante baixos para a

condutibilidade térmica, o que lhe confere um bom desempenho a este nível, também permite obter grandes reduções acústicas, conseguindo assim aliar dois bons motivos para uma reabilitação no conforto interior da habitação conseguindo-se uma redução dos ruídos de impacto na ordem dos 30dB e cerca de 60dB relativamente a ruídos aéreos.

O material PF Arena – ISOVER apesar da sua resistência à compressão não ser declarada também pode ser utilizado na face superior do pavimento, tendo de existir tabiques com cerca de duas polegadas a separar a camada de forma do revestimento, deste modo impede-se que o isolante seja carregado.

O P4222 – URSA GLASSWOOL é um isolante para ser utilizado quando existe um tecto-falso, permitindo que o isolante fique apoiado na estrutura deste.

A lã de rocha é uma fibra mineral composta por fibras siliciosas obtidas por centrifugação a altas temperaturas: provém de fibras minerais de rocha vulcânica aquecidas a uma temperatura de cerca de 1600° C sendo capaz de suportar temperaturas elevadas sem que as suas características sejam alteradas. As características e aplicações deste material são muito semelhantes às da lã de vidro.

A lã de rocha é indeformável com o passar dos anos e não serve de propagação a micro organismos nem de alimento para roedores.

Quadro 5.4 – Características da Lã de Rocha

Tipo de MW	MN 230 - SOTECNISOL	LF 110 - SOTECNISOL	Rocksol-E 501 – ROCKWOOL	Alpharock-E 225 – ROCKWOOL	Granel
λ [W/m°C]	0.038	0.035	0.041	0.034	0.035
Densidade [kg/m ³]	30	110	90	70	110
Res. Comp. – def. 10% [KPa]			-		
Res. Comp. – def. 2% [KPa]			-		
Res. Tra. [KPa]	8	125		-	
Ws [Kg/m ²]		1		-	
Res. difusão do vapor de água [μ]			1.3		-
Reacção ao fogo			Euroclasse A1		M0
Coeficiente de dilatação térmica linear [°C-1]			-		
Estabilidade de forma à temperatura [°C]	23 – 90% HR	23 – 90% HR 70 – 50% HR		-	
Preço (€/m ³)	42.0	262.25	255.0	181.0	70

O MN 230 da SOTECNISOL é utilizado somente em superfícies horizontais constituída por aglomerados flexíveis (densidade 25/30 Kg/m³), de espessura uniforme, constituídos de fibras de lã de rocha aglutinadas com resina sintética, sem revestimento, revestidas com papel kraft ou com alumínio dependendo da aplicação requerida, no entanto estas mantas não resistem às forças que têm de ser suportadas por um isolante nesta zona e por isso só deve ser colocado na zona inferior do pavimento apoiado em tecto-falso. O LF 110 da SOTECNISOL é utilizado em placas e sem revestimento e por isso pode ser utilizado na parte superior do pavimento.

A aplicação deste tipo de isolante pode ser efectuada através de quatro técnicas:

Isolante aplicado no tecto falso sob a superfície exterior do pavimento – Neste caso pode ser usado o MN 230 – SOTECNISOL de modo idêntico ao que se faz com a lã mineral.

Isolante aplicado sob pavimento flutuante – Para uma aplicação deste tipo podem ser utilizados os isolantes LF 110 da SOTECNISOL ou o Rocksol-E 501 da ROCKWOOL. A aplicação neste caso é efectuada conforme as indicações do fabricante e do mesmo modo da aplicação que é feita com o EPS (Figura 5.8).

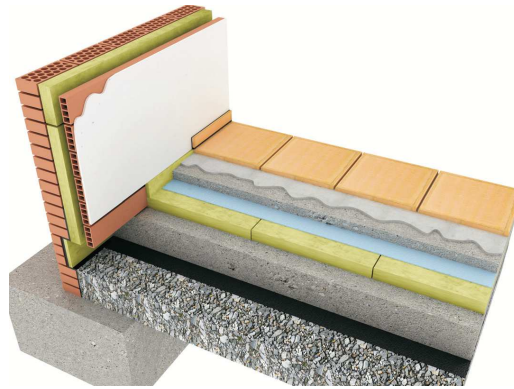


Fig. 5.8 – Isolante aplicado sob pavimento flutuante [31]

Isolante aplicado sobre e sob a laje – Esta situação utiliza-se quando se pretende efectuar um isolamento térmico e acústico de um pavimento em contacto com o exterior ou em contacto com zonas não aquecidas. Deste modo, reforça-se a zona inferior do pavimento com um isolante do tipo Alpharock-E 225 – ROCKWOOL que pode ser fixado mecanicamente ou com um material aderente de acordo com o isolante. Na parte superior do pavimento a estrutura pode ser a mesma da utilizada no ponto anterior (pavimento flutuante) e poder-se-á utilizar o LF 110 da SOTECNISOL ou o Rocksol-E 501 da ROCKWOOL. Para pavimentos em contacto com o exterior terá de ser colocada uma superfície que separe fisicamente o material isolante dos agentes externos, esta superfície poderá ser composta por materiais cerâmicos fixados à laje de pavimento e nunca ao isolante uma vez que este não consegue suportar as cargas. Em pavimentos em contacto com zonas não-úteis não será necessário recorrer a esta superfície e poderá ficar o isolante à vista desarmada ou ser ter um revestimento ligeiro (Figuras 5.9 e 5.10).



Figs. 5.9 e 5.10 – Aplicação de isolante para pavimentos em contacto com o exterior e com espaços não-úteis [31]

Isolante nas caixas-de-ar – Este material pode ser utilizado em caixas-de-ar se estiver em granel, sendo assim possível que este material consiga preencher os espaços de ar existentes em pavimentos de madeira entre as vigas que pode ser feito através de injeção ou manualmente, dependendo do tamanho da zona por onde se pretenda efectuar o enchimento.

5.2.2.4. Cortiça

Este produto totalmente de origem natural e ecológica, pode ser apresentado sob duas formas principais, cada um com características particulares:

- Aglomerado expandido;
- Regranulado expandido;

Sob a forma de aglomerado é produzido a partir da aglutinação natural dos grânulos com a sua própria resina, o aglomerado de cortiça expandida é um material com capacidade e características de isolamento térmico, acústico e antivibrático, mantendo todas as suas propriedades indefinidamente.



Fig. 5.11 – Cortiça [35]

Quadro 5.5 – Características dos isolantes de cortiça

Tipo de Cortiça	Aglomerado Expandido	Regranulado Expandido com cimento e areia*	Regranulado Expandido
λ [W/m°C]	0,045	0.13 - 0.60	0.045
Densidade [kg/m ³]	120	400 - 1100	65 - 70
Res. Comp. – def. 10% [KPa]	20	200 - 1700	-
Res. Comp. – def. 2% [KPa]	-	-	-
Res. Fle. [KPa]	180	350 - 700	-
Ws [Kg/m ²]		-	-
Res. difusão do vapor de água [μ]	5 – 30	-	-
Reacção ao fogo	Euroclasse A2-s1	-	Euroclasse E
Coefficiente de dilatação térmica linear [°C ⁻¹]	25 – 50x10 ⁻⁶	-	-
Estabilidade de forma à temperatura [°C]	-200/130	-	-
Preço (€/m ³)	188.5	-	80

*Depende dos volumes cimento / areia / regranulado utilizados

O aglomerado de cortiça expandida normalmente é mais utilizado no isolamento de câmaras frigoríficas, sendo capaz de impedir infiltrações de água ou de migrações de vapor através das paredes, tectos ou pavimentos, sejam de betão ou alvenarias, que possam provocar um aumento de percentagem de humidade, já que esta diminui a sua resistência térmica. Este produto como tem um baixo valor de condutibilidade térmica, uma durabilidade ilimitada sem alterações das características técnicas, boa resistência mecânica, estabilidade dimensional face a bruscas mudanças de temperatura, comportamento positivo a várias temperaturas e é facilmente reciclável após utilização tem de ser tido em conta para um contributo positivo para a área.

Para a aplicação deste material deve-se colocar:

- 1ª Camada de Aglomerado com uma colagem betuminosa em toda a área da placa.
- 2ª Camada de aglomerado com colagem desta e posterior fixação mecânica.
- Protecção com argamassa de regularização para protecção mecânica e higrométrica.
- Pavimento, verificando o bom comportamento mecânico do sistema.

O regranulado de cortiça é utilizado normalmente em coberturas ou em pavimentos decorativos. A sua aplicação em pavimentos interiores não é tão comum e muito menos com o objectivo de reduzir os inconvenientes térmicos. A aplicação destes em coberturas é possível graças às propriedades da cortiça aliadas às do cimento e da areia, deste modo consegue-se uma solução capaz de resistir a tráfegos intensos. O aspecto estético é um dos pontos fortes deste tipo de pavimento, contudo para uma intervenção térmica esse não será o principal motivo da sua.

Com o objectivo de tentar melhorar as características térmicas, o regranulado sem a adição de cimento ou areia, pode ser utilizado no preenchimento de espaços vazios existente nos pavimentos (Figuras 5.12 e 5.13).

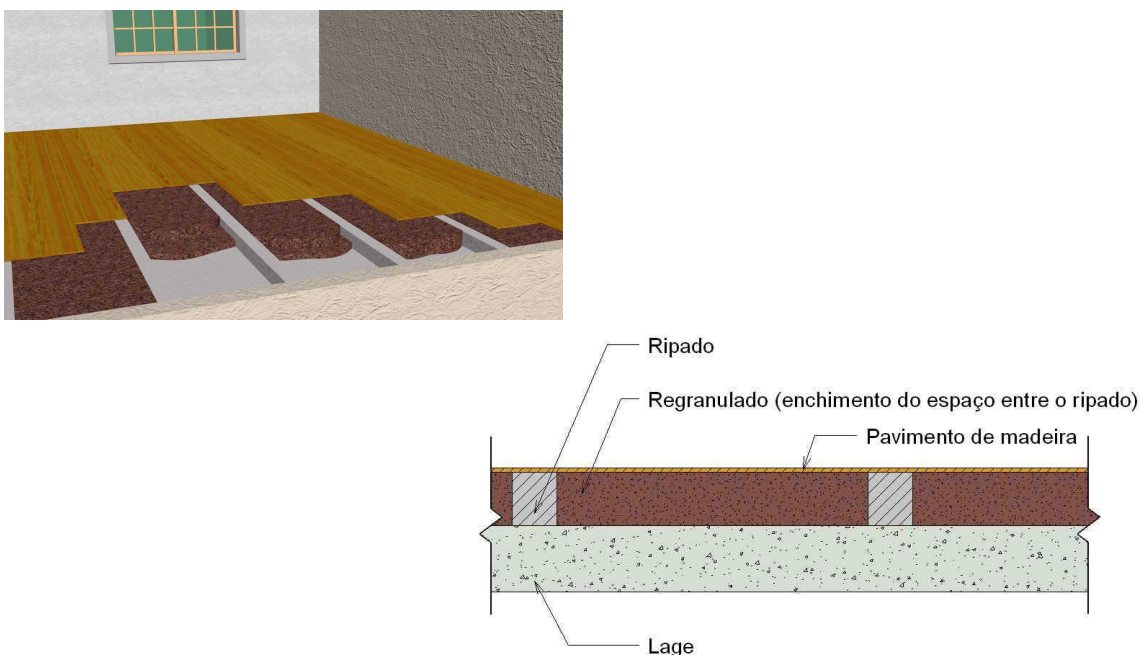


Fig. 5.12 e 5.13 – Aplicação de regranulado de cortiça expandida no preenchimento de caixas-de-ar [36]

5.2.2.5. Fibra de Côco

Esta fibra é obtida de um produto 100% natural e biológico existente em quantidades ilimitadas no mundo, que já era utilizado como material de isolamento desde a chegada dos portugueses à Índia, embora apenas de modo artesanal. Com o desenvolvimento das tecnologias aplicadas, este pode ser um dos isolantes utilizados no mercado actual como isolamento térmico mas principalmente acústico. As suas características permitem que este material seja utilizado tanto na parte superior como inferior do pavimento, ou ainda na intermédia se for em granel.

Este material, devido aos seus componentes orgânicos, consegue obter elevados índices de rigidez e dureza sendo assim capaz de responder às necessidades de conforto térmico e acústico por um longo período de tempo.



Fig. 5.14 – Fibra de côco prensada [37]

Quadro 5.6 – Características da fibra de côco

	Fibra de Côco
λ [W/m°C]	0.043 – 0.045
Densidade [kg/m ³]	85 - 120
Res. Comp. – def. 10% [KPa]	-
Res. Comp. – def. 2% [KPa]	-
Res. Fle. [KPa]	-
Ws [Kg/m ²]	-
Res. difusão do vapor de água [μ]	-
Reacção ao fogo	Euroclasse B2
Coefficiente de dilatação térmica linear [°C-1]	-
Estabilidade de forma à temperatura [°C]	-
Custo (€/m ³)	-

5.2.2.6. Poliisocianurato (PIR) ou de poliuretano (PUR)

A aplicação destes dois materiais é normalmente feita sobre a forma de espuma, sendo que as "bolhas" da espuma (células) permanecem fechadas aprisionando ar dentro delas, conferindo-lhes assim uma condutibilidade térmica baixa. A espuma pode estar em placas, ser projectada in-situ ou estar entre paramentos metálicos (painéis sanduíche), sendo que estes últimos destinam-se apenas a fachadas e coberturas.

Este material em alta densidade é impermeável à água, tem baixo peso, uma longa duração e não é degradável. Possui uma grande flexibilidade, grande resistência à compressão e elasticidade entre os 40 e 200 Kp/cm², tendo no entanto uma boa estabilidade dimensional.

Na projecção in-situ, este material formado por dois componentes – polioli e isocianato – que se misturam com um equipamento ou máquina adequada. A espuma rígida assim obtida é formada por células fechadas. Quando projectado in-situ este isolante permite que se desenvolva um isolamento contínuo sem a necessidade de haver juntas de dilatação permitindo também a eliminação de pontes térmicas.

Uma vez que este material possui uma condutibilidade térmica muito baixa, a espessura necessária para obter bons desempenhos térmicos não é tão elevada como noutros isolantes existentes no mercado e a possibilidade de este ser projectado in-situ, permite eliminar as pontes térmicas, uma vez que não existem juntas entre as placas, formando uma superfície continua de isolamento.

A resistência à compressão deste material e a sua versatilidade permitem que este tipo de material possa ser utilizado em todas as situações de reabilitação (destrutiva, parcialmente destrutiva e não-destrutiva) e em todas as zonas do pavimento (superior, inferior e preenchimento de espaços de ar entre as vigas).

Quadro 5.7 – Características do PIR e PUR

	PIR	PUR
λ [W/m°C]	0.018	0.018 – 0.020
Densidade [kg/m ³]	40	35 - 70
Res. Comp. – def. 10% [KPa]	180	110 - 220
Res. Comp. – def. 2% [KPa]	-	-
Res. Tra. [KPa]	-	-
Ws [Kg/m ²]	-	-
Res. difusão do vapor de água [μ]	4.6	2.8 – 5.1
Reacção ao fogo	M1	M4
Coefficiente de dilatação térmica linear [°C-1]	5.5	5.6 - 6
Estabilidade de forma à temperatura [°C]	130	110
Custo (€/m ³)	-	-

5.2.2.7. Telas reflectoras

As telas reflectoras consistem numa estrutura semi-rígida e uniforme de pequenas células fechadas, o ar permanece hermeticamente fechado nos alvéolos compostos por folhas de alumínio, plástico, bolha de ar de polietileno e espuma de polietileno, o que confere aos produtos características únicas. Estas características permitem a este material ser capaz de fazer um isolamento por reflexão, evitar a criação de condensações e proporcionar um conforto térmico no Inverno e no Verão. Este material não é tóxico, nem cancerígeno e tem uma durabilidade elevada não necessitando de qualquer tipo de manutenção.

As telas reflectoras, por serem constituídas por alumínio, retardam a chama e assim são evitados problemas aquando de alguma ignição accidental. No entanto, os materiais são combustíveis se expostos a fogo intenso, devido a conterem plástico na sua composição. Estas também não devem ser expostas a contacto directo com substâncias ou materiais que contenham componentes voláteis, devendo ter-se sempre o cuidado de ver as recomendações do fabricante. Quando expostas a altas temperaturas por longo período de tempo as telas sofrem alterações, sendo que a temperatura mínima deve ser de 15°C e máxima de 80°C. Devido à sua composição a capilaridade é nula neste tipo de isolante



Fig. 5.15 – Tela reflectora [38]

Quadro 5.8 – Características das telas reflectoras

	142 Boltherm	143 Boltherm
λ [W/m°C]	0.040	0.024
Densidade [kg/m ³]	85 - 120	130
Res. Comp. – def. 10% [KPa]	10	7.5
Res. Comp. – def. 2% [KPa]		-
Res. Fle. [KPa]		-
Ws [Kg/m ²]		-
Res. difusão do vapor de água [μ]		-
Reacção ao fogo	Euroclasse E	Euroclasse E
Coefficiente de dilatação térmica linear [°C ⁻¹]		-
Estabilidade de forma à temperatura [°C]	-40/80	-25/85
Preço (€/m ³)	375	5250

Para a aplicação das telas reflectoras, a superfície onde irá ser colocada deve estar totalmente limpa, para que não existam elementos que possam danificar a tela. Esta deve ser estendida em toda a superfície do pavimento, sobrepondo-se cada faixa cerca de 10 a 15 cm e junto às paredes deve subir-se a tela até à altura do rodapé para evitar pontes térmicas e acústicas. Se esta for colocada correctamente não existirão riscos de ocorrência de irregularidades ou desníveis no revestimento aplicado sobre a tela, mantendo-se como uma estrutura inalterável.

Para que não ocorram condensações, deverá existir sempre uma câmara-de-ar em ambos os lados da lâmina e a ventilação dos espaços a isolar deve ser suficiente, uma vez que a existência de choques térmicos entre as superfícies deverá existir.

Um isolante deste tipo só poderá ser utilizado na superfície interior do pavimento, uma vez que tem necessidade de ter uma câmara-de-ar em ambas as superfícies, desse modo o pé-direito fica consideravelmente reduzido, no entanto, em obras em que esse não seja um problema de maior, esta deverá ser uma opção a ter em conta.

5.2.2.8. FOAMGLAS

O FOAMGLAS é um isolamento de vidro celular que possui excelentes qualidades de longevidade e estabilidade. Este isolante é produzido a partir de vidro fundido e carbono e inclui milhões de bolhas de ar hermeticamente seladas que lhe fornecem características isolantes.

O vidro celular é incombustível devido à sua composição a partir do vidro puro. É resistente ao ataque de parasitas e produtos corrosivos, possui uma elevada resistência à compressão e um baixo coeficiente de dilatação linear. O seu manuseamento e corte são fáceis. É impermeável aos líquidos e vapores de qualquer espécie. A capacidade isoladora deste material mantém-se constante em toda a sua vida útil uma vez que o coeficiente de resistência à difusão do vapor de água é infinito, mantendo-se assim o material sempre seco.



Fig. 5.16 – FOAMGLAS [40]

Para além das suas características técnicas, este produto também é um material ecológico. O seu processo de fabrico é feito com recurso com matérias-primas naturais mas também aquando do fim de vida útil, é um material que não é poluente e tem inúmeras possibilidades de reciclagem e reutilização em: fundações de estradas, arranjos paisagísticos, fundações de areia para condutas, isolamento térmico solto em pavimentos e paredes de galerias e quando triturado pode-se tornar em pó de sílica para ser utilizado no fabrico de tijolos.

Quadro 5.9 – Características do FOAMGLAS

Tipos de FOAMGLAS	FLOOR BOARD	FLOOR BOARD F
λ [W/m°C]	0,042	0,050
Densidade [kg/m ³]	120	175
Res. Comp. – def. 10% [KPa]	700	1600
Res. Comp. – def. 2% [KPa]	-	-
Res. Fle. [KPa]	-	-
Ws [Kg/m ²]	-	-
Res. difusão do vapor de água [μ]	∞	∞
Reacção ao fogo	EUROCLASE A	EUROCLASE A
Coefficiente de dilatação térmica linear [°C ⁻¹]	-	-
Estabilidade de forma à temperatura [°C]	-260 a +430°	-260 a +430°
Preço (€/m ³)	300	355

O isolante do tipo FOAMGLAS pode ser instalado tanto na parte superior como na inferior do pavimento, sendo que a sua capacidade de resistência à compressão é um ponto importante. Nas utilizações correntes, o isolante FLOOR BOARD com um coeficiente de condutibilidade mais baixo será a escolha mais óbvia, enquanto para pavimentos com cargas mais acentuadas a escolha recairá sobre o FLOOR BOARD F que apresenta uma resistência à compressão na ordem dos 1600 Kpa.

Este isolante poderá ser utilizado em todas as situações de reabilitação, sendo que a sua colocação em situações de reabilitação não-destrutiva e totalmente destrutiva. Este material é usado em forma de placas e em reabilitação parcialmente destrutiva terá de ser triturado para poder preencher os espaços. Quando usado em placas, se for colocado na parte superior do pavimento deverá ser aplicado sobre

uma superfície de regularização e entre este e o revestimento deverá existir uma folha de separação. Se for aplicado sob a superfície inferior do pavimento, só será necessário aplicar uma superfície de regularização entre este e o isolante para que adiram melhor

5.2.2.9. Tectos-falsos

Apesar de não ser nem poder ser considerado como um material isolante, este tipo de estrutura é muitas vezes um grande auxílio na colocação dos materiais isolantes. Para além de poder servir de suporte ao isolante, os tectos-falsos também contribuem para a melhoria das condições térmicas. Deste tipo de material apenas foi seleccionado apenas um da marca Armstrong que se apresenta como a melhor relação qualidade/preço. O OASIS BOARD apresenta um preço de 5.39 €/m².

5.2.3. OBSERVAÇÕES

Observando as características e os preços de cada um dos isolantes, seleccionou-se um isolante de cada material atendendo à zona aonde iriam ser colocados (zona inferior, superior ou intermédia). Os preços estão em €/m³, sendo que para a obtenção do custo de cada isolante por m² terá de se multiplicar pela sua espessura (m).

5.2.3.1. Isolamento na zona inferior do pavimento

Se o isolamento for para ser colocado na zona inferior do pavimento e se esta for uma zona acessível, a espessura do isolamento não trará grandes problemas e incómodos para a sua colocação. No entanto, com a utilização de isolamento nesta zona, a perda de pé-direito será uma variável a ter em conta. No caso do pé-direito anterior ter uma altura considerável e a sua diminuição não cause incómodos, esta será sempre a melhor opção, térmica e de facilidade de colocação. Deste modo, no caso de um isolante ser empregue nesta situação poder-se-á optar por um material com espessuras maiores permitindo assim que se escolham isolantes com coeficientes de condutibilidade térmica mais elevados, o que não será tão dispendioso.

No Quadro 5.10 apresentam-se os isolantes seleccionados dentro de cada tipo de acordo

Quadro 5.10 – Isolantes para colocação na zona inferior do pavimento

Isolante	Tipo	Espessura [mm]	λ [W/m°C]	R [(m ² .°C)/W]	Custo [€/m ²]
EPS	EPS 60 - SOTECNISOL	100	0.040	2.500	6.03
XPS	FLOORMATE - 200 A - DOW	40	0.035	1.143	7.82
MW	P4222 - URSA	100	0.036	2.778	5.02
Cortiça	ICB - AMORIM	150	0.045	3.333	28,28
FOAMGLASS	FLOORBOARD	100	0.042	2,381	30.00
Fibra de Côco	T25 - AMORIM	25	0.044	0.568	-

De acordo com o Quadro 5.10 a escolha da Cortiça, FOAMGLASS e Fibra de Côco, parece afastada à partida, uma vez que o custo acarretado por estes aliados às suas características térmicas não os torna capazes de concorrer com o EPS, XPS e Lã Mineral. A lã de vidro tipo P4222 da URSA apresenta-se como solução com maior probabilidade de ser eficaz, apesar de que para isso tenham que ser colocadas duas camadas sobrepostas deste tipo.

5.2.3.2. Isolamento na zona superior do pavimento

Para a escolha de um isolante que seja capaz de suportar as cargas impostas pela utilização corrente de uma habitação e que não necessite de grandes espessuras para obter desempenhos adequados a um bom isolamento térmico, o material a adoptar terá de possuir condutibilidades térmicas mais baixas o que normalmente conduz a um aumento do custo. Assim, no Quadro 5.11 apresentam-se algumas das hipóteses escolhidas que sejam capazes de desempenhar essas funções que estarão de acordo com os isolantes presentes no Anexo para este tipo de situação.

Quadro 5.11 – Isolantes para colocação na zona superior do pavimento

Isolante	Tipo	Espessura [mm]	λ [W/m°C]	R [(m ² .°C)/W]	Custo [€/m ²]
EPS	EPS 150 - SOTECNISOL	50	0.036	1.389	6.03
XPS	FLOORMATE - 200 A - DOW	40	0.035	1.143	7.82
MW	LF 110 - SOTECNISOL	50	0.035	1.429	10.49
Cortiça	ICB - AMORIM	50	0.045	1.111	9.43
FOAMGLASS	FLOORBOARD	50	0.042	1.190	15.00
Fibra de Côco	T25 - AMORIM	25	0.044	0.568	-
Telas Reflectoras	BOLTHERM 143	6	0.024	0.550	2.25

Dos isolantes utilizados no isolamento de pavimentos na sua superfície superior, a Cortiça, a Fibra de Côco, o FOAMGLASS e as Telas Reflectoras não apresentam argumentos térmicos suficientes para que continuem a ser considerados como opção, apesar da excelente condutibilidade térmica que as telas reflectoras apresentam e da existência de 10 mm de caixa-de-ar de cada lado da tela reflectora, a sua espessura muito pequena não permite o valor da resistência térmica seja mais elevada. A lã de rocha apesar de ter o melhor desempenho térmico, também é o que apresenta o custo mais elevado relativamente ao EPS e XPS.

5.2.3.3. Isolamento na zona intermédia do pavimento

Para a colocação de um isolante na zona intermédia nunca se consegue que o pavimento se mantenha intacto, isto é, tem que existir ou uma reabilitação destrutiva ou parcialmente destrutiva para que o isolamento seja introduzido no pavimento.

Caso se opte por uma solução parcialmente destrutiva, é necessário levantar parte do revestimento para que no espaço existente por baixo se introduza o isolante. Neste tipo de situação e de modo a que a totalidade do espaço seja preenchido opta-se pela utilização de isolante a granel.

No caso de uma reabilitação destrutiva, o isolante pode ser colocado desde logo na formação da laje, com a aplicação de abobadilhas de EPS que substituem os blocos cerâmicos ou de betão normal, aligeirando ainda mais a laje e reforçando-a termicamente. Também pode ser utilizado EPS a granel para adicionar ao betão de modo a que este fique mais leve e termicamente mais eficaz. Com a adição de isolantes o betão torna-se menos resistente e por isso só deve ser utilizado para efectuar enchimentos de baixo peso, tais como a regularização de superfícies, a formação de pendentos em terraços ou o isolamento de tubagens. A condutibilidade térmica desta solução dependerá das porções betão/areia/EPS que se utilizem.

Quadro 5.12 – Isolantes a granel para colocação na zona intermédia do pavimento

Isolante	Tipo	λ [W/m°C]	Custo [€/m ³]
MW	Granel - SOTECNISOL	0.040	70
Cortiça	Granel - AMORIM	0.045	80
EPS	Granel - SOTECNISOL	0.06 – 0.25	44.11

Apesar do Coeficiente de Condutibilidade Térmica da Lã Mineral ser superior ao da Cortiça, o seu preço é inferior ao desta, sendo que uma solução mais barata e menos eficaz termicamente pode-se revelar a melhor solução de modo a evitar-se um investimento inicial tão avultado com um retorno mais arriscado.

Quadro 5.13 – Isolantes para colocação na zona intermédia do pavimento

Isolante	Tipo	Altura [mm]	λ [W/m°C]	R [(m ² .°C)/W]	Custo [€/ml]
EPS	Abobadilhas - SOTECNISOL	100 - 200	0.037	2.7 – 5.4	3.0

As abobadilhas consideradas têm uma largura total de 440 mm, um peso de 12kg e são normais, ou seja, não têm abas.

5.3. REABILITAÇÃO TÉRMICA DE PAVIMENTOS

5.3.1. INTRODUÇÃO

Em todos os pavimentos é possível efectuar os três tipos de reabilitação existentes e já enunciadas anteriormente. No entanto, a dificuldade em colocar o isolante nalgumas zonas, os transtornos criados, a valorização obtida e o custo que uma transformação desse tipo acarretará condicionamentos à opção a tomar, o tipo e solução adoptada para que se consiga atingir a melhor solução possível para cada tipo de pavimento.

Para o cálculo da área do custo total do pavimento considerou-se como se fosse uma habitação com uma área de 100 m² e consideraram-se 10% de desperdício de material uma vez que não existem habitações quadradas.

5.3.2. PAVIMENTOS EM CONTACTO COM O SOLO

Num pavimento deste tipo, por vezes existe uma grande dificuldade em aceder à parte inferior do pavimento e quando isso acontece opta-se pela colocação do isolante na parte superior. Se a zona inferior permitir a colocação do material isolante esta será sempre a melhor opção, uma vez que não trará tantos incómodos aos residentes da habitação e também não existirá o problema da redução do pé-direito.

Na Figura 5.17 apresenta-se o custo para 100 m² de pavimento dos vários tipos de isolantes considerados para pavimentos em contacto com o solo, tendo em conta a sua localização.

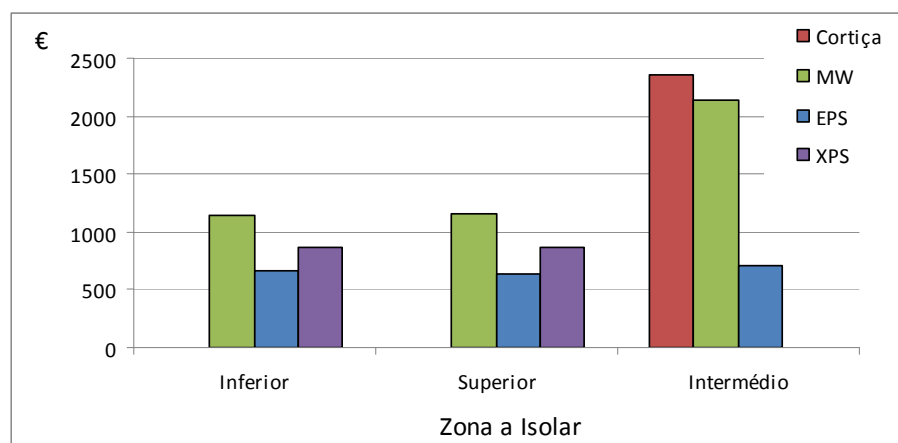


Fig. 5.17 – Custo de isolamento em pavimentos térreos para 100 m²

5.3.2.1. Pavimentos de Madeira

No Quadro 5.14 apresentam-se as soluções encontradas, assim como o custo dos isolantes e elas associadas.

No pavimento considerou-se que o revestimento tem 3 cm de espessura e as vigas 20 cm. Para a colocação da lã mineral e dos isolantes a granel tem que existir uma estrutura de tecto-falso fixada às vigas para servir de apoio a estes.

Quadro 5.14 – Reabilitação Térmica de Pavimentos de Madeira

Zona a Isolar	Isolante	Espessura [mm]	U [W/(m ² .°C)]	Custo [€]
Inferior	EPS	100	0,333	663
	XPS	40	0,606	860
	MW + Tecto Falso	100	0,285	1145
Superior	EPS	50	0,528	640
	XPS	40	0,606	860
	MW	50	0,517	1154
Intermédio	MW + Tecto Falso	200	0,218	2133
	Cortiça + Tecto Falso	200	0,159	2353

Note-se que os valores dos coeficientes de transmissão térmica no caso de existir tecto-falso são muito mais baixos do que os restantes, e isso deve-se ao facto da colocação do isolamento não ocupar o espaço todo existente entre o soalho e o tecto-falso na colocação do isolamento na zona inferior do pavimento e porque os isolantes a granel preenchem a totalidade do espaço existente entre o soalho e o tecto-falso. Este, apesar de ajudar a diminuir o valor do coeficiente de transmissão térmica aumenta consideravelmente o custo total da intervenção (Figura 5.18).

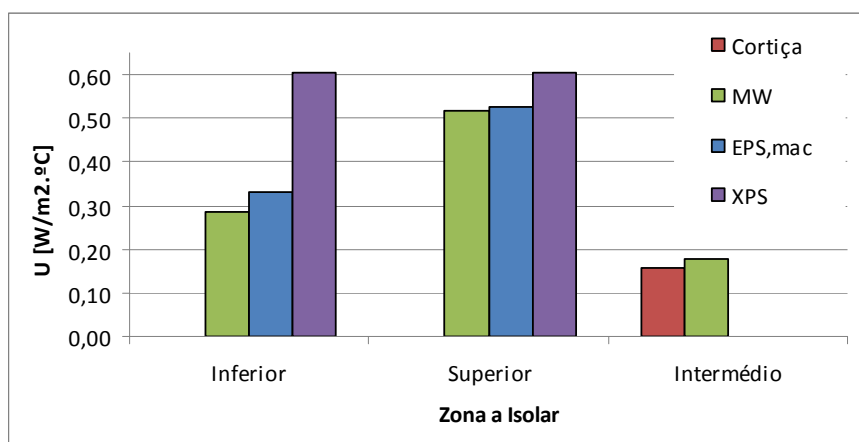


Fig. 5.18 – Coeficiente de Transmissão Térmica em pavimentos de madeira para cada zona a isolar

Através do Quadro 5.14 e das Figuras 5.17 e 5.18 pode-se observar que apesar do valor muito mais baixo do Coeficiente de Transmissão Térmica aquando da colocação dos isolantes a granel o seu custo sobe bastante, atingindo mais do dobro de qualquer isolante no caso da Cortiça e quase o dobro para a Lã Mineral.

Com a observação dos mesmos dados pode-se concluir que o Poliestireno Expandido Extrudido (XPS), não será a melhor escolha para nenhuma destas situações, uma vez que possui um Coeficiente de Transmissão Térmica e um Custo mais elevado do que o EPS, não havendo qualquer vantagem em relação a este último.

A colocação de Lã Mineral também fica algo comprometida uma vez que apesar do excelente comportamento térmico demonstrado aquando da sua colocação na zona inferior do pavimento, a necessidade de ser colocado um tecto-falso para suportar o isolante acresce bastante o custo. No caso de este ser colocado na superfície superior do pavimento o seu comportamento é pouco melhor que o do EPS mas acarreta custos bastante elevados sendo de se excluir a sua utilização nestes casos.

Após a observação do Quadro 5.14 e das Figuras 5.17 e 5.18 a utilização do XPS em todos os casos e da Lã Mineral quando colocada sobre a superfície superior do pavimento foi rejeitada, uma vez que os Custos/Benefícios demonstraram que existem hipóteses mais viáveis do que estas.

5.3.2.2. Pavimentos Mistos

Considerando a estrutura de pavimento como a já estudada anteriormente, com vigas de 20cm de altura e soalho com 3cm de espessura e uma camada de betão por cima deste com 6cm efectuou-se o estudo do comportamento térmico das soluções ainda em estudo. As soluções de isolamento são as mesmas do ponto anterior, sendo assim, o custo associado a elas também já se encontra no Quadro 5.14 e na Figura 5.17.

No Quadro 5.15, pode-se observar que os coeficientes de transmissão térmica dos pavimentos mistos não são muito diferentes dos apresentados pelos pavimentos de madeira, tal como já tinha sido dito anteriormente, essa diferença é apenas provocada pela espessura do betão existente que nas lajes de madeira não existe.

Quadro 5.15 – Coeficiente de Transmissão Térmica em pavimentos mistos para cada zona a isolar

Zona a Isolar	Isolante	Espessura [mm]	U [W/(m ² .°C)]	Custo [€]
Inferior	EPS	100	0,329	663
	MW + Tecto Falso	100	0,282	1145
Superior	EPS	50	0,518	640
	MW + Tecto Falso	200	0,178	2133
Intermédio	Cortiça + Tecto Falso	200	0,158	2353

Observando-se a Figura 5.19, pode-se notar que depois das exclusões feitas anteriormente, as soluções ainda presentes, dependendo da zona a isolar, não apresentam valores muito díspares e a única solução que parece viável para o isolamento sobre a zona superior do pavimento é o EPS, que apesar de tudo ainda apresenta valores muito superiores às das restantes zonas.

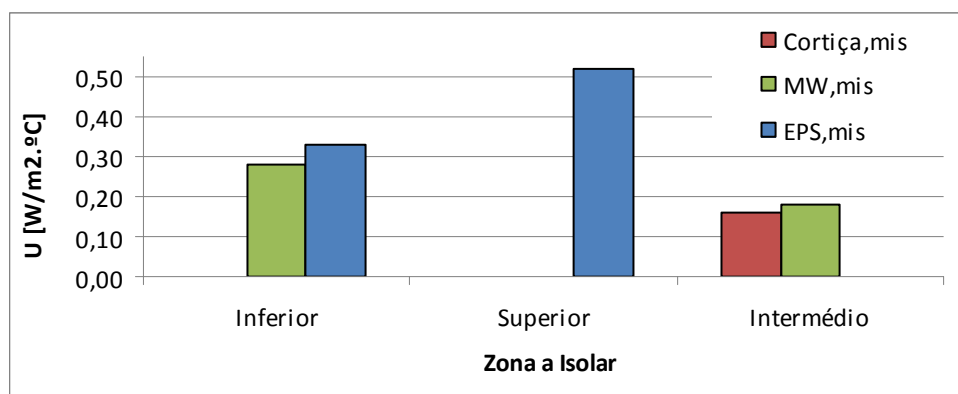


Fig. 5.19 – Coeficiente de Transmissão Térmica em pavimentos mistos para cada zona a isolar

5.3.2.3. Pavimentos Maciços

Os pavimentos maciços foram considerados com uma espessura média de 15cm e como se nenhum deles tivesse tecto-falso antes das operações de reabilitação. Após a reabilitação, só se considerou a inclusão de tecto-falso quando necessário à colocação do isolamento. O tecto-falso considerado para servir de apoio à Lã Mineral possui uma caixa-de-ar de 20 cm, sendo por isso que o isolante a ocupa apenas parcialmente.

Neste tipo de pavimento a colocação de qualquer material isolante na zona intermédia do pavimento é impossível e como tal não foi considerada essa hipótese.

Quadro 5.16 – Reabilitação Térmica de Pavimentos Maciços

Zona a Isolar	Isolante	Espessura [mm]	U [W/(m².°C)]	Custo [€]
Inferior	EPS	100	0,335	663
	MW + Tecto Falso	100	0,286	1145
Superior	EPS	50	0,534	640

Após serem realizadas as medidas de reabilitação térmica, os dados que foram recolhidos mostram mais uma vez as diferenças encontradas para os Coeficientes de Transmissão Térmica neste tipo de pavimento não diferem muito dos anteriores.

5.3.2.4. Lajes Aligeiradas

Para as lajes aligeiradas foram consideradas várias combinações possíveis, com blocos cerâmicos (1) ou blocos de betão normal (2), espessura entre 13 e 15 cm (a) ou entre os 33 e 35 cm e colocação de blocos de EPS em substituição dos tradicionais. Para a colocação destes últimos, a intervenção teria de ser destrutiva, enquanto que para a colocação das restantes não seria necessário destruir qualquer parte do pavimento existente. Mais uma vez a colocação da Lã Mineral na zona inferior foi feita com um tecto-falso de modo a sustentar esta.

Os blocos utilizados em EPS têm uma altura de 150mm e um custo de 0,228 €/ml, o que em 100 m² dará cerca de 711 € uma vez que a largura de cada bloco é de 440 mm. A área considerada manteve-se

nos 100 m² mas contando já com os desperdícios, uma vez que numa habitação com esta área nunca seriam utilizados 100 m² de abobadilhas de EPS.

No Quadro 5.17 e na Figura 5.20 mostra-se os Coeficientes de Transmissão Térmica com a colocação dos diferentes isolantes para as diferentes soluções consideradas e dependendo da zona a colocar o isolante.

Quadro 5.17 – Reabilitação Térmica de Pavimentos Aligeirados

Zona a Isolar	Blocos	Isolante	Espessura [mm]	U [W/(m ² .°C)]	Custo [€]
Inferior	Blocos Cerâmicos	EPS1a	100	0,332	663
		EPS1b	100	0,306	663
		MW1a + Tecto Falso	100	0,297	1145
		MW1b + Tecto Falso	100	0,276	1145
Superior		EPS1a	50	0,527	640
		EPS1b	50	0,463	640
Inferior	Blocos de Betão Normal	EPS2a	100	0,336	663
		EPS2b	100	0,319	663
		MW2a + Tecto Falso	100	0,300	1216
		MW2b + Tecto Falso	100	0,287	1216
Superior		EPS2a	50	0,535	640
		EPS2b	50	0,495	640
Intermédio	Abobadilhas	EPS	150	0,228	711

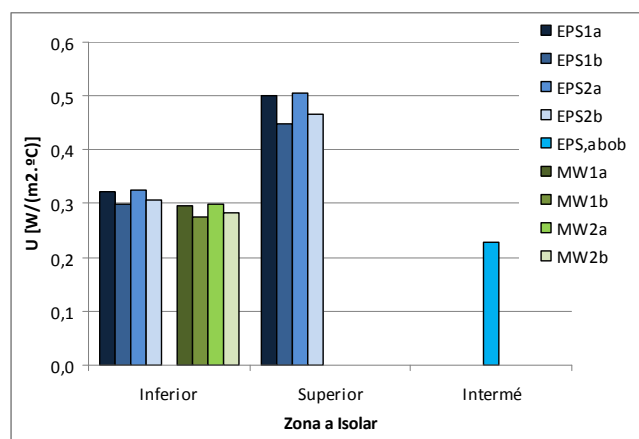


Fig. 5.20 – Coeficiente de Transmissão Térmica em pavimentos aligeirados para cada zona a isolar

Tal como já tinha sido referido anteriormente, este tipo de pavimento é o que possui o melhor comportamento térmico, sendo que aqueles que são constituídas por blocos de betão normal com espessuras entre os 13 e os 15 cm os mais críticos e os de blocos cerâmicos com espessuras entre os 33 e os 35 cm são os que menos necessitam de intervenções de ordem térmica.

Analisando o Quadro 5.17 e a Figura 5.20, pode-se ver que o conforto térmico sentido no interior dos compartimentos com qualquer uma destas soluções já é bastante grande. Quando existir uma reabilitação destrutiva, ou seja, quando os pavimentos forem construídos de raiz, a opção de substituir os blocos tradicionais pelos de EPS revela-se uma solução com um comportamento térmico acima de qualquer uma das outras em estudo e o seu custo não é muito mais elevado do que a maioria das restantes soluções.

5.3.3. PAVIMENTOS EM CONTACTO COM O EXTERIOR

5.3.3.1. Introdução

Neste tipo de pavimento, a facilidade em colocar o isolante pelo lado inferior é muito maior do que nos pisos térreos, no entanto, devido à presença constante dos agentes meteorológicos externos, os isolantes a ser colocados devem ser sempre protegidos por uma camada de recobrimento para que não se deteriorem ou danifiquem. O facto de não se poderem colocar tectos-falsos em contacto com o exterior, exclui a aplicação de Lã Mineral na superfície inferior do pavimento. Deste modo, para as aplicações para a zona inferior ou superior, a única opção em estudo é a do EPS. A aplicação dos isolantes a granel nos pavimentos de madeira e mistos também fica excluída por esta razão.

Devido às condições térmicas serem bastante mais rigorosas neste tipo de pavimentos a camada de isolamento inferior passa a ser de 15 cm na inferior e 10 cm na superior nos pavimentos maciços e aligeirados. Nos pavimentos de madeira e mistos, o isolamento colocado na parte inferior passa a ser de 20 cm, para que ocupe toda a altura das vigas de madeira e assim o recobrimento possa proteger todas as superfícies mais facilmente.

Os preços dos isolantes aplicados neste tipo de situação estão presentes na figura 5.21, sendo que na colocação inferior podem existir duas espessuras distintas (200 e 150 mm) e na superior apenas uma (100 mm). Para as abobadilhas foram adoptadas as mesmas do ponto anterior mas com uma espessura superior (200 mm).

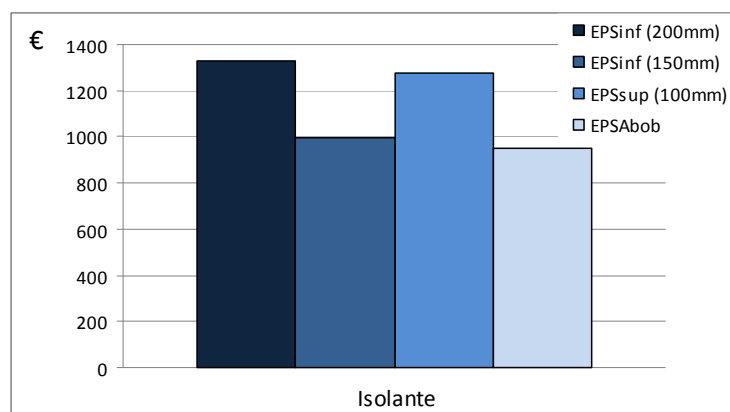


Fig. 5.21 – Custo de isolamento em pavimentos em contacto com o exterior para 100m²

Apesar do aumento da espessura nas abobadilhas de EPS, o seu custo não teve aumentos muito grandes, continuando a ser um isolante a ter em conta. No caso do EPS superior, a maior espessura trouxeram como seria de esperar um aumento no custo significativo, tal como aconteceu com o EPS de 200 mm. No entanto neste último caso o isolante duplicou a sua espessura, pelo que será um aumento justificado.

No quadro 5.18, 5.19 e 5.20 apresentam-se os valores dos coeficientes de transmissão térmica e os respectivos custos em pavimentos de madeira, mistos e maciços, após serem alvo de reabilitação.

Quadro 5.18 – Reabilitação Térmica de Pavimentos de Madeira

Zona a Isolar	Isolante	Espessura [mm]	U [W/(m ² .°C)]	Custo [€]
Inferior	EPS	200	0.186	1327
Superior	EPS	100	0.335	1279

Quadro 5.19 – Reabilitação Térmica de Pavimentos Mistos

Zona a Isolar	Isolante	Espessura [mm]	U [W/(m ² .°C)]	Custo [€]
Inferior	EPS	200	0.180	1327
Superior	EPS	100	0.301	1279

Quadro 5.20 – Reabilitação Térmica de Pavimentos Maciços

Zona a Isolar	Isolante	Espessura [mm]	U [W/(m ² .°C)]	Custo [€]
Inferior	EPS	150	0.236	994
Superior	EPS	100	0.307	1279

A análise dos pavimentos aligeirados cingiu-se apenas àqueles com blocos de betão normal, uma vez que serão os mais exigentes termicamente e as diferenças para com os de blocos cerâmicos após serem alvos de reabilitação não são muito significativas. As espessuras dos blocos mantiveram-se como “a” (13 – 15 cm) e “b” (33 – 35 cm). A espessura das abobadilhas também aumentou, o que levou a um acréscimo no seu custo de cerca de 200 €.

Quadro 5.21 – Reabilitação Térmica de Pavimentos Aligeirados

Zona a Isolar	Blocos	Isolante	Espessura [mm]	U [W/(m ² .°C)]	Custo [€]
Inferior	Blocos de Betão Normal	EPSa	150	0,236	994
		EPSb	150	0,228	994
EPSa		100	0,307	1279	
EPSb		100	0,293	1279	
Intermédio	Abobadilhas	EPS	200	0,174	952

Na figura 5.22 apresentam-se os valores dos Coeficientes de Transmissão Térmica de todos os pavimentos em estudo que estejam em contacto com o exterior.

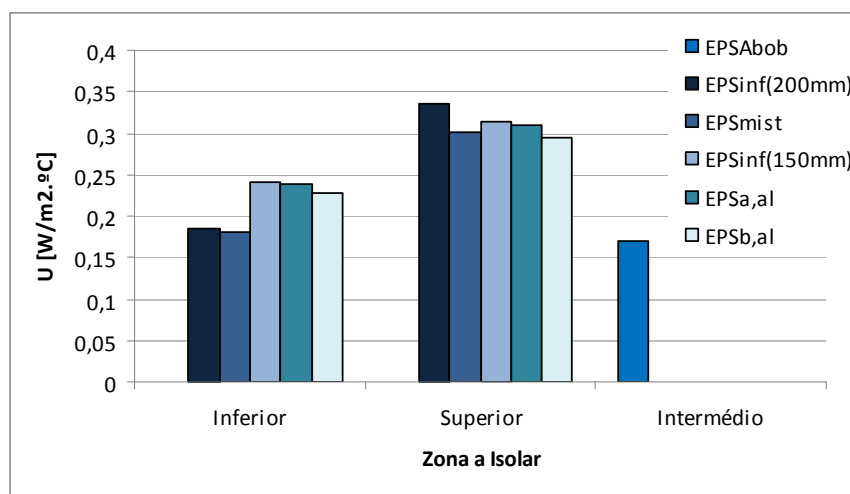


Fig. 5.22 – Coeficiente de Transmissão Térmica em pavimentos em contacto com zonas exteriores para cada zona a isolar

Através da figura anterior podemos verificar que a aposta num isolamento na zona inferior em detrimento do de um na superior é uma aposta ganha e apesar do aumento substancial deste nos pavimentos de madeira e mistos, o seu custo não foi muito superior ao colocado na zona superior com metade da espessura.

Com o aumento da espessura das abobadilhas de EPS, o custo também aumentou ficando quase ao mesmo preço do EPS com 100 mm colocado na zona inferior, contudo, o seu comportamento térmico também melhorou substancialmente sendo essa a solução com melhor comportamento térmico.

5.3.4. PAVIMENTOS EM CONTACTO COM ZONAS NÃO-AQUECIDAS

Neste tipo de pavimento, a facilidade em aceder à parte inferior é muito maior do que nos pavimento em contacto com o terreno o que facilita bastante quer a colocação de isolamentos, quer de tectos-falsos. A colocação de tectos falsos, normalmente é uma questão importante nestas situações, uma vez que os espaços não-úteis são normalmente local de passagem de pessoas e o acabamento destes é superior ao da colocação de um reboco sobre o isolante. Deste modo, optou-se pela colocação de tectos-falsos em todas os casos em que se aplique o isolamento pela zona inferior. Com isto a colocação de isolamentos a granel e de lã mineral torna a ser uma hipótese viável.

Todas as espessuras dos isolantes são iguais às usadas para os pavimentos em contacto com o terreno.

Nos quadros 5.22, 5.23, 5.24 e 5.25 são apresentados os valores dos coeficientes de transmissão térmica e custos, após reabilitação térmica em pavimentos em contacto com zonas não-aquecidas, para pavimentos de madeira, mistos, maciços e aligeirados respectivamente.

Quadro 5.22 – Reabilitação Térmica de Pavimentos de Madeira

Zona a Isolar	Isolante	Espessura [mm]	U [W/(m ² .°C)]	Custo [€]
Inferior	EPS + Tecto-Falso	100	0,326	1256
	MW + Tecto-Falso	100	0,299	1145
Superior	EPS	50	0,528	640
Intermédio	MW + Tecto-Falso	200	0,178	2133
	Cortiça + Tecto-Falso	200	0,158	2353

Quadro 5.23 – Reabilitação Térmica de Pavimentos Mistos

Zona a Isolar	Isolante	Espessura [mm]	U [W/(m ² .°C)]	Custo [€]
Inferior	EPS + Tecto-Falso	100	0,306	1256
	MW + Tecto-Falso	100	0,282	1145
Superior	EPS	50	0,518	640
Intermédio	MW + Tecto-Falso	200	0,178	2133
	Cortiça + Tecto-Falso	200	0,158	2353

Quadro 5.24 – Reabilitação Térmica de Pavimentos Maciços

Zona a Isolar	Isolante	Espessura [mm]	U [W/(m ² .°C)]	Custo [€]
Inferior	EPS + Tecto-Falso	100	0,306	1256
	MW + Tecto-Falso	100	0,282	1145
Superior	EPS	50	0,518	640
Intermédio	MW + Tecto-Falso	200	0,178	2133
	Cortiça + Tecto-Falso	200	0,158	2353

Quadro 5.25 – Reabilitação Térmica de Pavimentos Aligeirados

Zona a Isolar	Blocos	Isolante	Espessura [mm]	U [W/(m ² .°C)]	Custo [€]
Inferior	Blocos de Betão Normal	EPS2a	100	0,327	1256
		EPS2b	100	0,312	1256
		MW2a +Tecto Falso	100	0,300	1145
		MW2b + Tecto Falso	100	0,287	1145
Superior		EPS2a	50	0,535	640
		EPS2b	50	0,495	640
Intermédio	Abobadilhas	EPS	150	0,228	711

Os valores dos Coeficientes de Condutibilidade Térmica e o seu custo associado a cada pavimento representado nos quadros 5.22 a 5.25 encontra-se resumido nas figuras 5.23 e 5.24 tentando facilitar a observação das tabelas.

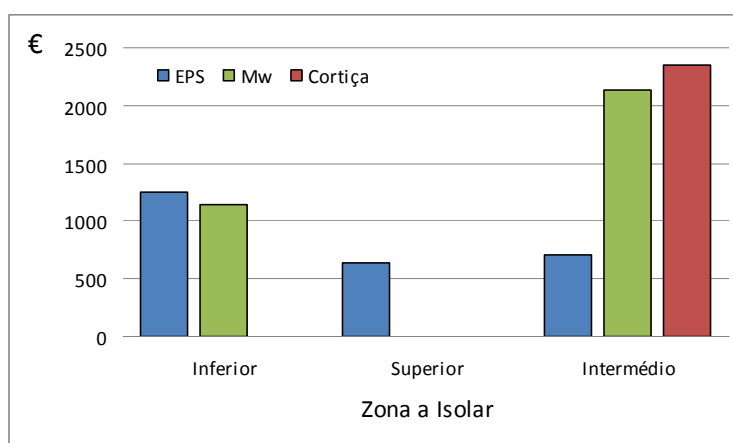


Fig. 5.23 – Custo de isolamento em pavimentos em contacto com espaços não-aquecidos para 100 m²

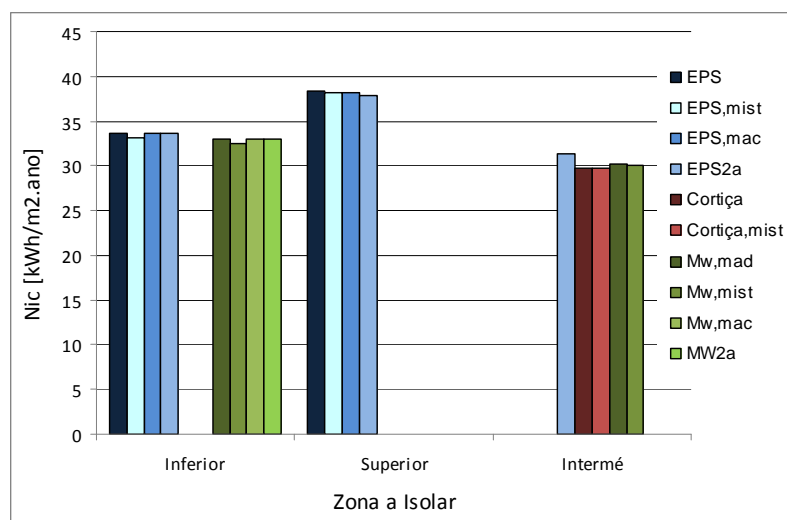


Fig. 5.24 – Reabilitação Térmica de pavimentos em contacto com espaços não-aquecidos

Observando as figuras 5.23 e 5.24, pode-se ver que com a introdução de tectos-falsos em todos os isolantes na zona inferior dos pavimentos a Lã Mineral tornou-se mais económica do que o EPS e que as contrapartidas térmicas obtidas também são favoráveis. Deste modo, pode-se concluir que aquando da necessidade de colocar tectos-falsos o melhor isolamento será aquele com Lã Mineral.

O comportamento térmico deste tipo de pavimento quando o isolante é colocado na parte superior deste, é igual ao dos pavimentos em contacto com o terreno mas neste caso, o custo é o mais baixo de todas as hipóteses.

Na colocação de isolantes na zona intermédia, o custo associado às abobadilhas de EPS é substancialmente inferior ao da Cortiça e da Lã Mineral, no entanto os benefícios térmicos também o são. O preço a pagar por um isolante como a cortiça é maior do que o da Lã Mineral, no entanto o Coeficiente de Condutibilidade Térmica é inferior ao desta. O mesmo se aplica em relação a estes isolantes e aos restantes colocados na zona superior e inferior, o custo é maior nestes casos mas os proveitos térmicos também o são.

5.3.4 CONCLUSÕES

Apesar da existência no mercado de um vasto leque de isolantes térmicos, estes nem sempre correspondem da melhor maneira ao objectivo proposto, tentando na maioria das vezes aliar o tratamento térmico e acústico num só. Esse princípio é o ponto de partida para uma boa política de isolamento em Portugal, no entanto a dificuldade em aliar os dois tratamentos é grande e na maioria das vezes quando se obtém mais de um perde-se no outro.

Tentando-se fazer uma análise das propostas térmicas possíveis em pavimentos, foram seleccionados 8+1 (isolantes + tecto-falso) de início para as diferentes zonas a isolar (inferior, superior e intermédia). A partir desse ponto partiu-se para uma análise do comportamento térmico e económico que cada um deles teria nos diferentes pavimentos (madeira, mistos, maciços e aligeirados) e nas diferentes zonas onde são colocados (em contacto com o terreno, em contacto com zonas exteriores e em contacto com zonas não-úteis). Desses isolantes foram excluídos logo à partida 4 (Fibra de Côco, FOAMGLAS, Telas Reflectoras e a espuma de Poliisocianurato ou de Poliuretano), os primeiros três porque o seu

preço em função do custo era facilmente superado pelos restantes e o último porque não foi possível saber o custo deste isolante.

Após uma análise aos restantes materiais (EPS, XPS, MW e Cortiça + Tectos-Falsos), conclui-se que a viabilidade económica e técnica do XPS em qualquer uma das aplicações e da Lã Mineral na parte superior do pavimento era reduzida ou nula. Deste modo optou-se apenas por considerar o EPS como uma aposta viável para qualquer uma das zonas. Na zona intermédia as opções que obtiveram um desempenho termo-económico mais favorável foram: substituição das abobadilhas tradicionais por abobadilhas de EPS e colocação a granel de Lã Mineral e de Cortiça no preenchimento do espaço entre as vigas de madeira. Aquando da colocação de isolamento na zona inferior do pavimento, para além da hipótese do EPS, também foi considerado o emprego de Lã Mineral em conjunto com tectos-falsos.

Dependendo da zona aonde o pavimento se encontrava, as espessuras dos isolantes foram-se adaptando, de maneira a poder corresponder da melhor maneira às exigências regulamentares.

As espessuras utilizadas para o EPS variam entre os seguintes valores:

- 50 mm – zonas superiores de pavimentos em contacto com espaços não-úteis ou em pisos térreos;
- 100 mm – zonas inferiores de pavimentos em contacto com espaços não-úteis, pisos térreos ou superiores em pavimentos em contacto com o exterior;
- 150 mm – zonas inferiores de pavimentos térreos maciços ou aligeirados ou em zonas intermédias em pavimentos em contacto com zonas não-aquecidas ou pisos térreos;
- 200 mm – zonas inferiores de pavimentos térreos de madeira e mistos ou na zona intermédia de pavimentos em contacto com o exterior;

A espessura da MW varia entre os 100 e os 200 mm no caso de ser na zona inferior ou intermédia do pavimento.

A cortiça, uma vez que apenas se coloca na zona intermédia de pavimentos de madeira ou mistos foi sempre considerada com uma espessura de 200 mm.

A partir destas espessuras e da área de um apartamento que se adoptou como sendo de 100m² pôde-se calcular os custos inerentes a cada isolante, sendo que se admitiu um desperdício de 10% de material para todos os isolantes à excepção das abobadilhas de EPS que não se consideraram desperdícios, uma vez que esta não cobriria toda a área de pavimento. Os custos médios obtidos em cada pavimento encontram-se representados no gráfico da figura 5.25.

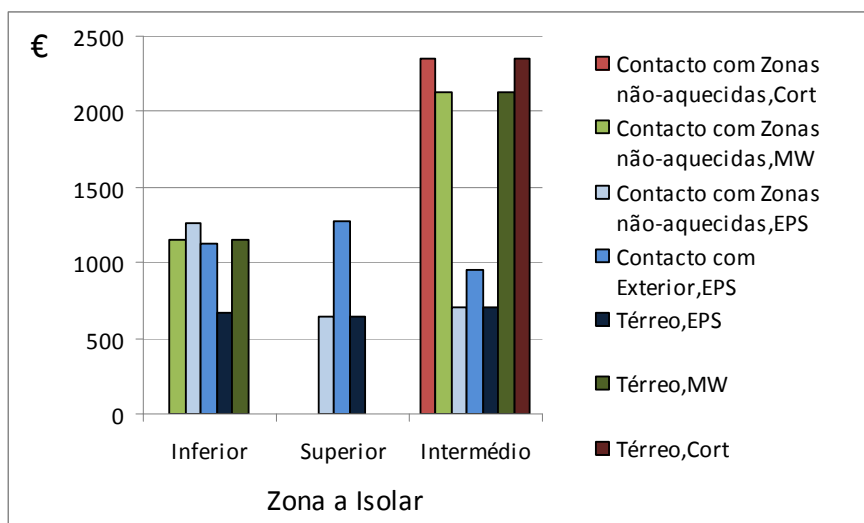


Fig. 5.25 – Custo médio do isolamento térmico em pavimentos

Atendendo na figura anterior pode-se ver que os custos acarretados pelos isolantes a granel são muito mais elevados do que os restantes, no entanto isso também se deve ao facto destes terem espessuras de 200 mm. O material EPS é sempre o mais barato à excepção de pavimentos em contacto com zonas não-aquecidas. Uma vez que a espessura dos isolantes colocados na zona superior do pavimento é mais delgada, o custo também será menor com a excepção de pavimentos em contacto com o exterior em que se duplicou a sua espessura e o seu valor também duplicou.

Relativamente ao comportamento térmico das soluções, pode-se observar na figura 5.26 que o comportamento dos pavimentos na zona superior é sempre o pior com a excepção dos pavimentos em contacto com o exterior em que se duplicou a sua espessura tal como já tinha sido referido. As características térmicas dos isolantes intermédios são consideravelmente melhores do que as restantes, também por culpa da maior espessura, no entanto essa espessura obrigará a um esforço financeiro maior.

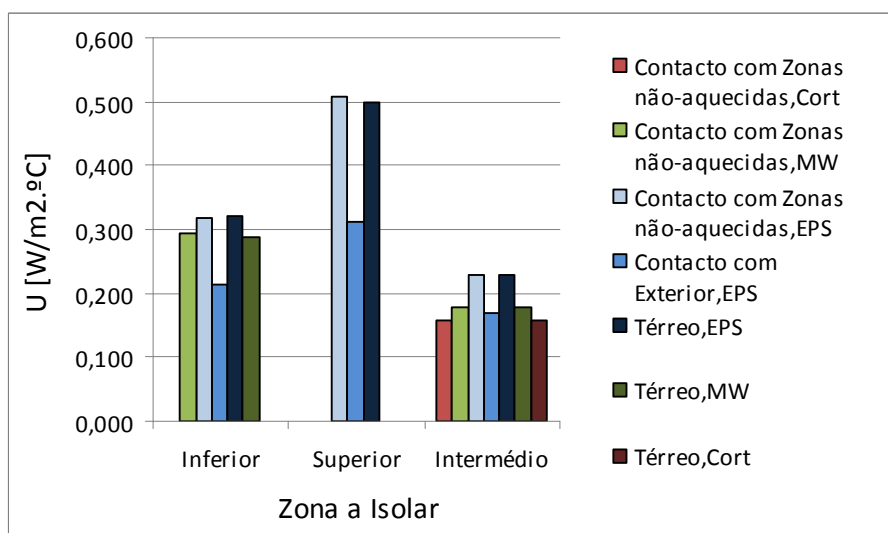


Fig. 5.26 – Reabilitação Térmica de pavimentos

Para a zona inferior do pavimento e nas soluções em que não seja necessária a utilização de tectos-falsos, o isolante com a melhor relação preço/qualidade térmica é o EPS 60 da SOTECNISOL. Nos casos em que a utilização de tectos-falsos seja necessária, como é o caso considerado de pavimentos sobre espaços não-aquecidos a Lã de Vidro P4222 da URSA consegue ter um preço e características térmicas melhores.

Para a zona superior do pavimento a relação preço/qualidade do EPS 150 da SOTECNISOL ficou aquém do desejável, uma vez que a gama de espessuras é limitada não deixando aumentar a qualidade ou a utilização de outro tipo de EPS.

Na zona intermédia, as abobadilhas da SOTECNISOL serão sempre uma boa solução na realização de uma reabilitação destrutiva, uma vez que o seu custo é bastante inferior ao dos isolantes a granel e os valores dos Coeficientes de Reabilitação Térmica não são muito superiores aos destes. Os custos da Lã Mineral da SOTECNISOL e da Cortiça da Amorim a granel são bastante elevados mas o seu comportamento térmico também é superior ao destes.

6

ESTUDO TERMO-ECONÓMICO

6.1. INTRODUÇÃO

As medidas de reabilitação térmica são tomadas com o objectivo essencial de melhoria do conforto térmico. Para que se consiga atingir esse objectivo, podem ser aumentados ou melhorados os equipamentos capazes de aquecer ou arrefecer a habitação, no entanto esses equipamentos aumentam em muito os consumos energéticos. Outra das maneiras possíveis de melhorar as condições térmicas interiores, é através da realização de intervenções ao nível das envolventes do edifício, promovendo uma melhoria substancial nesse aspecto e permitindo uma economia da energia dispendida para o conforto necessário. No entanto, para que o investimento inicial, seja capaz de se tornar economicamente rentável, é necessário um estudo “Termo-Económico”, para que as intervenções sejam adaptadas às necessidades energéticas de cada caso e o investimento inicial não se torne um apenas uma despesa, sem que seja capaz de produzir qualquer proveito económico.

Um estudo deste género, pretende analisar as condições térmicas de cada pavimento antes de ser realizado qualquer tipo de intervenção. Após serem conhecidas as medidas possíveis de intervenção, serão estudados os benefícios térmicos que cada solução será capaz de proporcionar. Para que as estas soluções sejam economicamente viáveis será necessário efectuar um estudo acerca do custo inicial que será dispendido para cada solução e as vantagens económicas, que cada uma das propostas será capaz de proporcionar a longo prazo.

Um estudo deste género, permitirá saber antes do início dos trabalhos, os benefícios introduzidos por cada intervenção, quais os custos inerentes a esta e dentro de quanto tempo esse investimento se tornará economicamente rentável.

Para que uma avaliação deste género possa ser feita, tem que existir uma comparação entre os custos acarretados pelo facto da habitação não possuir qualquer tipo de isolamento, tanto nos pavimentos como nas fachadas e aqueles que a introdução de isolamento nos pavimentos são capaz de eliminar e introduzir.

Para a situação inicial, ou seja, inexistência de qualquer tipo de isolamento nas envolventes do edifício, os custos serão apenas aqueles associados às necessidades de aquecimento do ambiente interior. Após a reabilitação térmica, existirá um Custo Global, que resultará da soma dos custos iniciais produzidos pelos isolantes e do custo de exploração.

$$C_g = C_0 + C_{exp} \text{ [€]} \quad (1)$$

sendo:

- C_g – Custo Global do pavimento [€];
- C_0 – Custo Inicial da solução adoptada que resulta da composição do custo do isolamento térmico escolhido e do custo da intervenção a ele associado [€];
- C_{exp} – Custo de Exploração que corresponde as necessidades de aquecimento do ambiente interior associado à solução adoptada [€];

6.2. CUSTO INICIAL (C_0)

O custo inicial representa o custo dos isolantes, acrescido do valor das obras necessárias para a sua colocação. O custo inicial será calculado através da equação seguinte:

$$C_0 = (C_i + C_{int}) \cdot A \quad (2)$$

sendo,

- C_i – Custo do isolamento [€/m²];
- C_{int} – Custo da intervenção [€/m²];
- A – área do pavimento considerado [m²];

O custo da intervenção será diferente, dependendo do tipo de reabilitação necessária à colocação do isolamento. Deste modo existirão três custos diferenciados para cada tipo de reabilitação [45]:

- Reabilitação destrutiva – $C_{int} = 50$ €/m²;
- Reabilitação semi-destrutiva – $C_{int} = 30$ €/m²;
- Reabilitação não-destrutiva – $C_{int} = 25$ €/m²;

6.3. CUSTO DE EXPLORAÇÃO (C_{EXP})

O Custo de exploração foi calculado de acordo com a seguinte fórmula:

$$C_{exp} = N_{ic} \times C_e \times A \text{ [€/ano]} \quad (3)$$

em que,

- N_{ic} – valor das necessidades nominais de aquecimento, obtidas a partir das folhas de cálculo do RCCTE [kWh/m².ano];
- C_e – custo do kWh para a electricidade [€/kWh]
- A – área do apartamento considerado [m²]

6.3.1. NECESSIDADES NOMINAIS DE AQUECIMENTO

Para o cálculo das necessidades nominais de aquecimento foram utilizadas as folhas de cálculo do RCCTE e considerou-se um apartamento com as seguintes características:

- Área = 100m² (12.5×8);
- Pé-direito = 2.6m;
- 2 Frentes, 2× (8×2.6), Norte e Sul;
- Paredes laterais em contacto com edifícios adjacentes;
- 4 Janelas, 4× (1.5×1) de vidro simples com dois vidros de 6mm;
- Paredes duplas de tijolo furado (0.11 + 0.15) sem isolamento térmico;
- Zona habitável por cima do apartamento;
- Inércia térmica do edifício Média;

De acordo com estas características foram obtidas as necessidades nominais de aquecimento, que se encontram nas figuras 6.1, 6.2 e 6.3 e nas tabelas no Anexo A3.

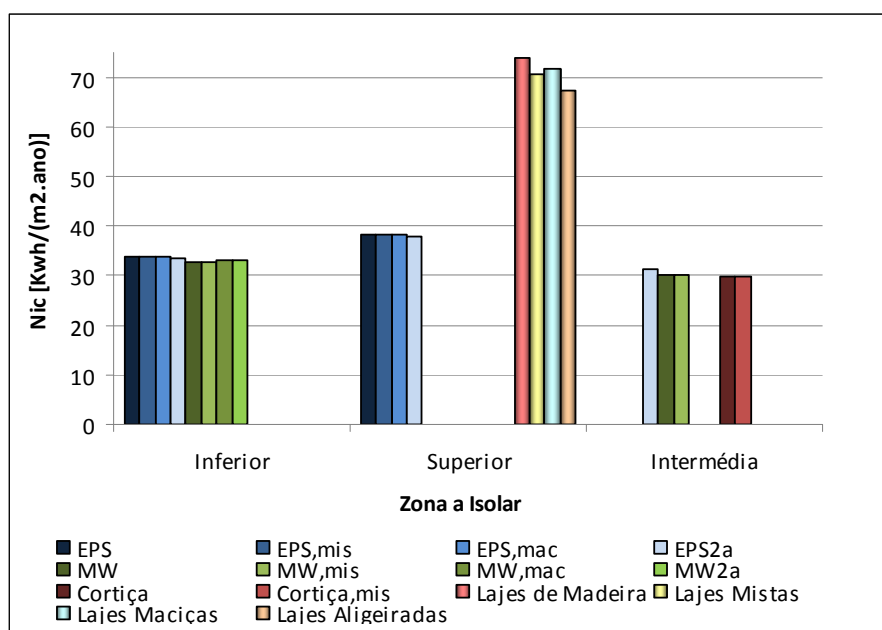


Fig 6.1 – Necessidades nominais de aquecimento em pavimentos em contacto com o terreno

Dependendo da zona aonde serão colocados os isolantes, o valor das necessidades nominais de aquecimento não irá variar muito em função do isolante utilizado, variando apenas em cerca de 1 kWh/m².ano. Quando se comparam as diferentes zonas aonde o isolante foi colocado, as diferenças aumentam, sendo o valor mais baixo encontrado com 29.67 kWh/m².ano para o caso de uma laje mista com a colocação de 20 cm na zona intermédia de aglomerado de cortiça e o mais alto para de 38.40 kWh/m².ano para o caso de colocação de EPS na zona superior num pavimento de madeira.

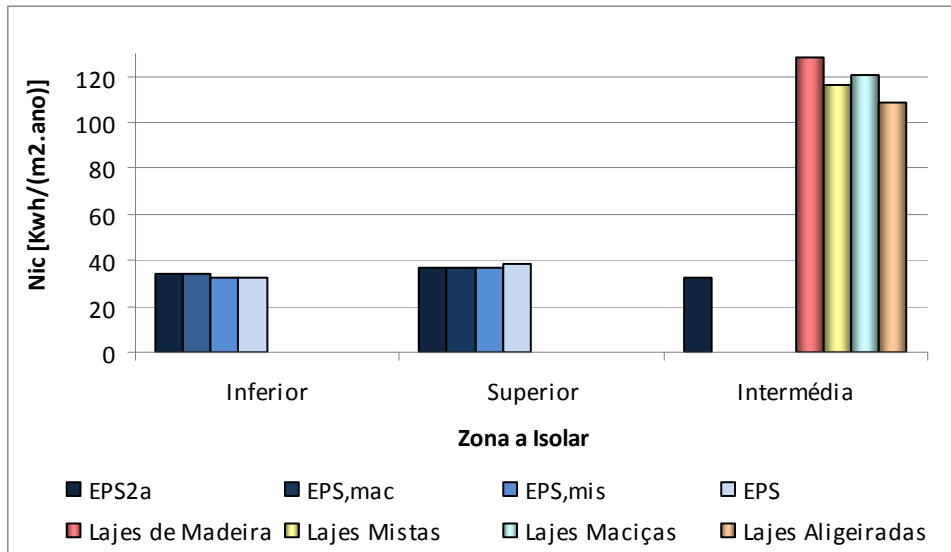


Fig 6.2 – Necessidades nominais de aquecimento em pavimentos em contacto com zonas exteriores

Tal como acontece para os pavimentos em contacto com o terreno, neste tipo de pavimentos a variação das necessidades nominais de aquecimento também serão da mesma ordem de grandeza. Quando se altera a zona a isolar, as diferenças não são tão acentuadas como no caso anterior, uma vez que nestes o isolante é sempre o mesmo, neste tipo de pavimentos a diferença máxima é apenas de 5 kWh/m².ano.

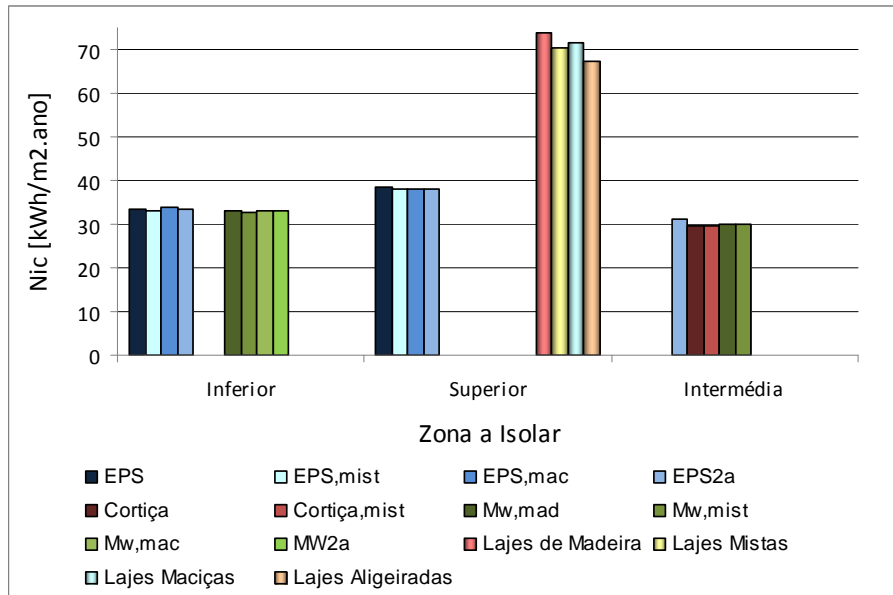


Fig 6.3 – Necessidades nominais de aquecimento em pavimentos em contacto com espaços não-úteis

Analisando as figuras 6.1, 6.2 e 6.3 pode-se observar que em todos os casos as necessidades nominais de aquecimento antes de sofrerem intervenções térmicas são muito superiores às obtidas após a realização das medidas de correcção térmica.

6.3.2. CUSTO DE ENERGIA (C_E)

Para o cálculo deste custo foi apenas considerada a energia eléctrica, uma vez que é a fonte mais utilizada nas habitações portuguesas para o aquecimento. Para que o valor do custo energético alcançado fosse plausível, este foi calculado através da taxa de inflação actual, sendo que esta aproximação é grosseira, uma vez que os valores atingidos pelo petróleo não param de alcançar novos máximos.

A taxa de inflação admitida foi de 3 %, uma vez que as previsões actuais apontam para valores entre os 2.5 e os 3 %, deste modo tentou-se compensar de algum modo o custo crescente dos combustíveis. A previsão foi feita para um horizonte de 25 anos, uma vez que as pessoas quando adquirem e fazem obras na habitação pretendem permanecer nela durante um longo período de tempo, mas uma vez que estas são habitações já com alguns anos, não pareceu aceitável pretender que existisse um retorno económico depois dos 25 anos.

Na figura 6.4 apresenta-se a previsão da evolução do preço da electricidade em Portugal, que foi efectuada partindo das tarifas em vigor pela EDP [46], que até 13.80 KVa de potência contratada tem um custo de 0.118 €/KWh. Esta previsão foi efectuada aplicando apenas uma taxa de inflação de 3 %. Deste modo a electricidade atingirá um custo de 0,247 €/KWh após 25 anos.

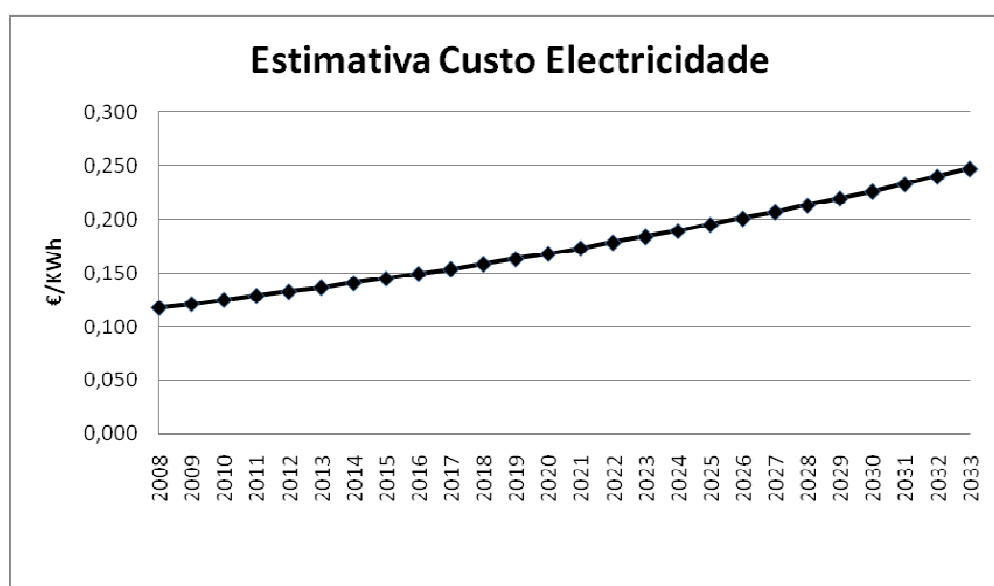


Fig.6.4 – Previsão do custo de electricidade em Portugal

Esta previsão do custo de energia permitiu fazer uma previsão do Custo de Exploração para uma habitação com 100 m² de acordo com as medidas de reabilitação efectuadas e com as necessidades nominais e aquecimento. Este custo de exploração permitiu alcançar o Custo Global para esta habitação.

6.4. RETORNO ECONÓMICO

De modo a poder-se fazer uma previsão de quanto tempo é que o investimento inicial nas obras de reabilitação iriam demorar a ter um retorno económico para os ocupantes da habitação, foi necessário calcular o Custo Global Acumulado (C_{gacum}) que é igual a:

$$C_{gacum} = C_{g-1} + C_g \quad (4)$$

Sendo que:

- C_{g-1} – Custo Global do ano anterior;
- C_g – Custo global de um determinado ano;

Através dos valores dos custos globais para cada uma dos tipos de pavimento, zona a isolar, tipo de isolante e espessura foi possível identificar o isolamento mais económico a utilizar em cada opção.

Através das rectas obtidas dos custos globais acumulados, foi possível interceptá-las e ver o ponto em que o investimento inicial se justificaria economicamente, uma vez que a melhoria ao nível do conforto seria imediato. Esses pontos em que as rectas dos custos globais de um isolante interceptam a recta inicial (pavimento sem nenhum tipo de isolamento) são os Pontos de Retorno Económico.

Na figura 6.5 está representada a evolução do custo acumulado em pavimentos de madeira sobre o terreno até ao Ano de 2025, sendo possível identificar os pontos de retorno económico para cada solução. Nas figuras 6.6 6.7 e 6.8 estão identificados alguns exemplos das rectas dos custos globais até ao ano de 2034.

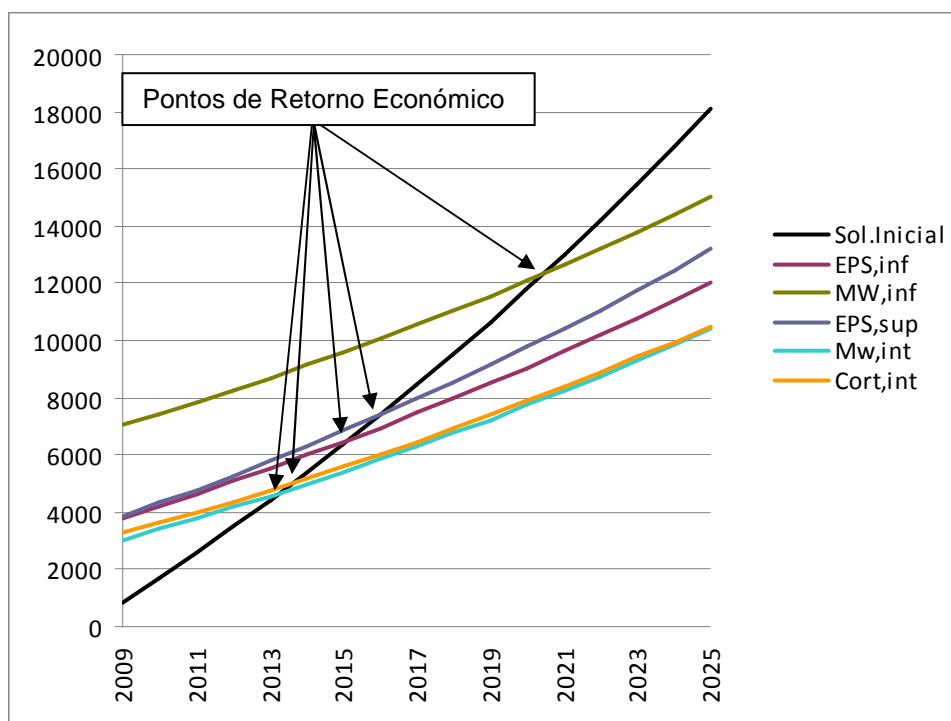


Fig.6.5 – Custos Globais Acumulados para pavimentos de madeira sobre o terreno

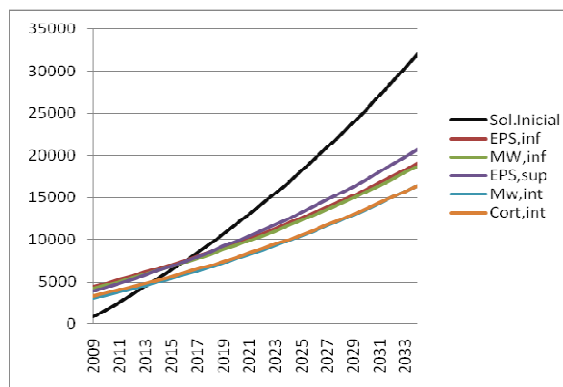


Fig.6.6 – Custos Globais Acumulados para pavimentos mistos em contacto com zonas não-aquecidas

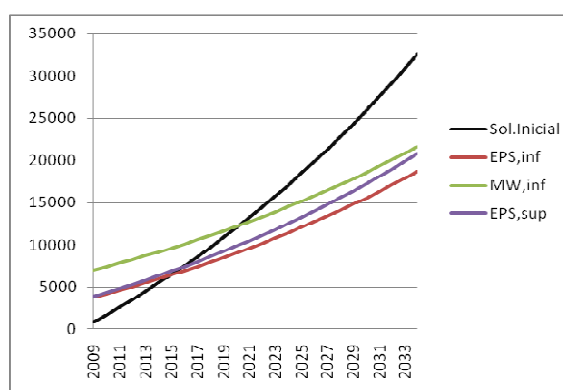


Fig 6.7 – Custos Globais Acumulados em pavimentos maciços em contacto com o terreno

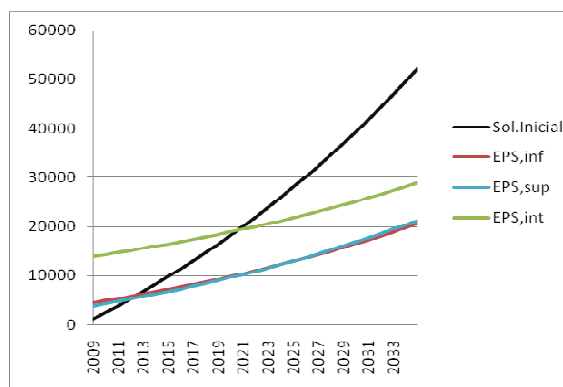


Fig 6.8 – Custos Globais Acumulados em pavimentos aligeirados em contacto com o exterior

No Anexo A4 estão todos os valores dos custos globais no primeiro ano, os custos globais no ano 25 e o ano em que o retorno se tornou evidente (Ano de Retorno) e os custos globais acumulados para pavimentos aligeirados em contacto com o exterior, apenas para servir de exemplo.

Através dos quadros presentes nos anexos e nas figuras 6.5, 6.6, 6.7 e 6.8 veremos que as diferenças nos custos que serão necessários para manter um bom nível de conforto interior entre pavimentos apenas dependerão do nível e do tipo de isolante que se utilizar, pelo que as diferenças entre

pavimentos de tipos diferentes não serão muito grandes se estes estiverem bem isolados. Se o isolamento for nulo ou fraco, os custos subirão muito e provoca um menor conforto no interior da habitação.

O investimento inicial no isolamento dependerá de dois factores essenciais:

- Nível de conforto pretendido;
- Tempo que se pretende usufruir da habitação;

Se o nível de conforto pretendido for elevado, o investimento inicial com o isolamento também será mais elevado, mas como se pode observar nos quadros presentes nos anexos, esse investimento tem um retorno mais rápido. No limite máximo 23 anos, com a colocação de EPS na zona intermédia, isto acontece porque, a necessidade de ser uma reabilitação destrutiva encarece em muito o investimento inicial. Nos casos em que apenas é necessário efectuar uma reabilitação semi-destrutiva ou não-destrutiva o ponto de retorno económico é bastante mais rápido. Para este tipo de reabilitações, os pontos de retorno económico acontecerão no máximo 15 anos após o investimento inicial, no entanto para algumas soluções bastarão apenas 4 anos para que isso aconteça.

Se após as obras de reabilitação, a intenção for a de usufruir da habitação durante mais de 25 anos, a aposta num bom sistema de isolamento tornar-se-á fundamental, uma vez que essa despesa inicial será amortizada em pouco tempo e anos mais tarde o retorno económico obtido através de um bom isolamento será bastante superior ao de um médio.

Se considerarmos que irá existir uma reabilitação totalmente destrutiva, independente da introdução do isolante, o custo inicial para a colocação do isolamento térmico será apenas o custo de cada isolante. Na figura 6.9, encontra-se a reabilitação de pavimentos aligeirados sobre zonas um espaço não aquecido (a título de exemplo), em que:

$$C_0 = C_i.A \quad (5)$$

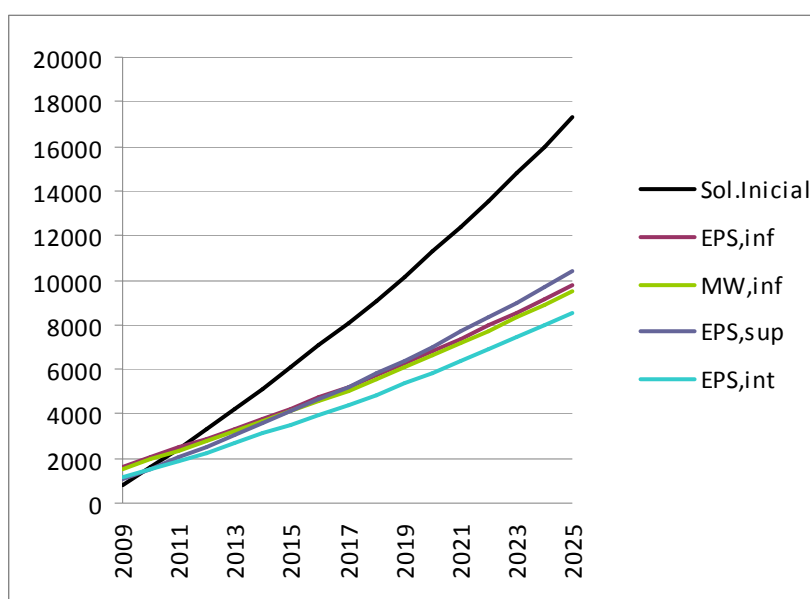


Fig 6.9 – Custos Globais Acumulados em pavimentos aligeirados sobre zonas não-úteis ($C_0 = C_i.A$)

Neste caso, uma vez que o custo inicial não sofrerá a interferência do custo da intervenção, pode-se observar que a colocação de EPS na zona intermédia do pavimento é aquela com um investimento mais baixo e aquele que, a longo prazo, tem o custo acumulado mais baixo. Concluindo-se deste modo que, quando existir uma reabilitação destrutiva independente da colocação do isolamento, a colocação de EPS na zona intermédia será sempre a opção mais válida.

7

CONCLUSÕES

Sendo o objectivo final a melhoria das condições térmicas no interior de uma habitação através de alterações efectuadas ao nível dos pavimentos, este é facilmente conseguido através da introdução de materiais isolantes. Após serem alvo de intervenção térmica, facilmente poderemos concluir que o comportamento térmico dos pavimentos foi claramente melhorado, aumentando assim o conforto interior.

Para assegurar que exista uma melhoria do conforto térmico, a qualidade, o tipo e a espessura do isolamento são características preponderantes. A diversidade de materiais existentes no mercado, capazes de responder a essas características é grande e desse modo houve a necessidade de fazer uma selecção dos mais indicados para cada situação. Seleccionando-se assim um isolante de cada tipo, tendo em conta o fim a que este se destinava, fazendo-se a distinção da zona a isolar (zona superior, zona inferior ou intermédia). Observando-se os quadros 5.10 a 5.13 do Capítulo 5 e por comparação directa facilmente se percebeu que alguns isolantes, pelo seu elevado preço ou condutibilidade térmica elevada, não possuíam características capazes de proporcionar uma melhoria térmica a um custo competitivo.

Após uma primeira selecção, foram apenas estudados o EPS, o XPS, a MW em placas e em granel e a Cortiça granulada. Por observação do quadro 5.14 do Capítulo 5, o XPS também acabaria excluído, uma vez comparado com o EPS, o seu preço era superior ao do EPS e o coeficiente de condutibilidade térmica também era superior ao deste.

A Lã Mineral, apesar de possuir uma condutibilidade térmica inferior à do EPS apresenta algumas limitações não permitindo a sua utilização em todas as situações, como no caso de pavimentos em contacto com o exterior, em que a impossibilidade de existir um tecto-falso para servir de apoio a este material torna a sua colocação posta de parte, utilizando-se apenas o EPS. Em pavimentos sobre o terreno ou sobre locais não-aquecidos, as características da Lã Mineral permitem que esta seja utilizada em granel na zona intermédia dos pavimentos e sendo por isso uma hipótese muito viável.

O EPS, destacou-se pelo seu baixo custo e pela sua versatilidade, dado que é o único material que pode ser aplicado em todos os pavimentos e inclusivamente sob a forma de abobadilhas na zona intermédia dos pavimentos.

A Cortiça, utilizada na superfície inferior ou superior do pavimento sob a forma de placas revelou-se uma má opção, uma vez que a necessidade de utilização de grandes espessuras, aumenta consideravelmente o seu custo. Enquanto que a granel, permite a sua colocação na zona intermédia do pavimento, tendo desempenhos térmicos bastante positivos.

Para efectuar estas medidas de reabilitação foram consideradas três hipóteses: reabilitação totalmente destrutiva, semi-destrutiva e não-destrutiva, sendo que cada uma será utilizada conforme o isolante a

colocar, a zona a colocar e a acessibilidade para o colocar. O investimento inicial para cada uma das opções também irá diferir.

Os isolantes apesar de poderem ser colocados na zona superior, inferior ou intermédia. A melhor opção (quando acessível), é a de colocar o isolante na parte inferior do pavimento, uma vez que não causará transtornos com a elevação de pavimento e apesar de diminuída a altura do pé-direito, esta redução não se nota tanto como se o pavimento fosse elevado.

Um estudo de reabilitação térmica, só ficará completo quando for acompanhado de uma avaliação económica, para que se averigue a viabilidade das aplicações estudadas. Sendo que uma opção só será uma boa escolha quando se conseguir obter retorno económico do esforço financeiro realizado mas em tempo útil (máximo 25 anos).

O estudo termo-económico realizado revelou que qualquer uma das opções podem ser consideradas boas opções, uma vez que em todas elas é possível reaver o investimento efectuado ao em menos de 25 anos. Em todos os casos, quando se pretender reaver o investimento inicial rapidamente a melhor opção será aquela em que o custo inicial for o mais baixo. No caso de se pretender um investimento a médio-longo prazo aquela em que o investimento no isolante seja mais avultado, sem que seja necessário efectuar uma reabilitação destrutiva. Deste modo, e apesar de não permitir um retorno tão rápido, os proveitos económicos irão aumentar com o passar dos anos.

No caso de pavimentos em contacto com o solo, e de acordo com o anexo A4, a melhor opção será a da colocação de Lã Mineral na zona intermédia do pavimento. Quando possível a colocação de EPS na zona intermédia, também permite excelentes desempenhos.

Em pavimentos em contacto com o exterior a melhor opção será sempre a de colocar o EPS na zona inferior.

Em pavimentos em contacto com espaços não-úteis a melhor opção será a de colocar MW na zona intermédia, no caso de não ser possível a sua colocação na zona inferior será aquela que mais proveito terá.

No final pode-se concluir que a utilização de um isolamento com Lã Mineral a granel na zona intermédia será a melhor opção. Contudo a sua utilização nem sempre é possível, sendo que nesses casos tanto o EPS como a Lã Mineral na zona inferior permitem excelentes desempenhos. Os benefícios trazidos por uma intervenção deste tipo (reabilitação térmica) serão sempre superiores aos prejuízos causados (incómodo nos utentes e investimento inicial), na medida em que a diminuição da factura energética e o conforto térmico interior superarão facilmente esses incómodos.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Córias, Victor; *Reabilitação estrutural de edifícios antigos: alvenaria, madeiras, técnicas pouco intrusivas*, Lisboa 2007.
- [2] CEN – Eurocódigo 8: *Projecto de estruturas resistentes à acção sísmica.*, Bruxelas, 2003.
- [3] Paiva, J. Vasconcelos, *Medidas de reabilitação energética em edifícios*, Lisboa 2000.
- [4] http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_publicacoes&PUBLICACOESpub_bou_i=136904&PUBLICACOESmodo=2. Fevereiro de 2008.
- [5] Instituto Nacional de Estatística, *Estatísticas da Construção de edifícios*, 2001, 2003.
- [6] http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page?_pageid=1090,30070682,1090_33076576&_dad=portal_al&_schema=PORTAL. Fevereiro de 2008.
- [7] http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_publicacoes&PUBLICACOESpub_bou_i=11796801&PUBLICACOESmodo=2. Fevereiro de 2008.
- [8] Instituto Nacional de Estatística, *Anuário estatístico de Portugal*; 2007.
- [9] http://ler.letras.up.pt/site_uk/default.aspx?qry=id06id133&sum=sim. Fevereiro de 2008.
- [10] Santos, Pina dos; Paiva, J. Vasconcelos, *Caracterização térmica de pavimentos prefabricados*, Lisboa 1986.
- [11] Cabrita, António Reis; Alho, Carlos, *Reabilitação de edifícios de habitação*, Lisboa 1987.
- [12] *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios* (Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de Abril). Diário da Republica n.º 67, I SÉRIE-A, pp. 2468 a 2513.
- [13] <http://building.dow.com/styrofoam/europe/pt/insulate/thermal/floors/project/term.htm>. Março de 2008.
- [14] CEN / ISO – *Building materials and products – Hygrothermal properties – Tabulated design values and procedures for determining declared and design thermal values*, 1999. EN ISO 10456.
- [15] ISO – *Thermal insulation – Determination of steady-state thermal transmission properties – Guarded hot plate apparatus*, 1991. ISO 8302.
- [16] CEN – *Thermal performance of building products and components – Specific criteria for the assessment of laboratories measuring heat transfer properties – Part 3 – Measurements by guarded hot plate methods*, 1998. EN 1946-3.
- [17] CEN – *Thermal performance of building materials and products – Determination of thermal resistance by means of guarded hot plate and heat flow methods – Products of high and medium thermal resistance*, 2001. EN 12667
- [18] CEN – *Thermal performance of building products and components – Specific criteria for the assessment of laboratories measuring heat transfer properties – Part 2 – Measurements by guarded hot plate methods*, 1999. EN 1946-2.
- [19] <http://repositorium.sdum.uminho.pt/>. Março de 2008.
- [20] Natterer, J. et al., *Construire en Bois 2*, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, 2ª edição, (1998).

- [21] Santos, Pina dos; Matias, Luís, *Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios*, Lisboa, 2008.
- [22] Serra e Sousa, Augusto Vaz; Freitas, Vasco Peixoto; Silva, J. A. Raimundo Mendes da, *Manual de aplicação de revestimentos cerâmicos*, 2003.
- [23] <http://www.jular.pt/>. Março de 2008.
- [24] <http://www.wicanders.com/>. Março de 2008.
- [25] <http://www.seu-website.com/pavimentos/>. Março de 2008.
- [26] http://www.acepe.pt/construc/cons_main.asp?id=9. Abril de 2008.
- [27] http://www.acepe.pt/construc/cons_main.asp?id=10. Abril de 2008.
- [28] <http://www.isosfer.pt/isosfercenter.htm>. Abril de 2008
- [29] <http://www.isosfer.pt/isosfercenter.htm>. Abril de 2008.
- [30] <http://building.dow.com/styrofoam/europe/pt/insulate/thermal/floors/esp.htm>. Abril de 2008.
- [31] <http://www.rockwool.es/sw65423.asp>. Abril de 2008.
- [32] <http://www.rockwool.es/sw1785.asp>. Abril de 2008.
- [33] <http://www.termolan.pt/termolan/PortalRender.aspx?PageID={31dd3f34-9690-11dc-b170-001bfc6f18b}>. Abril de 2008.
- [34] <http://www.ursa.es/1879.htm>. Abril de 2008.
- [35] <http://www.revoeste.com/produtos.htm>. Abril de 2008.
- [36] <http://www.isocor.pt/pt/regranulado.pdf>. Abril de 2008.
- [37] <http://www.deflor.com.br/portugues/produtos.html>. Abril de 2008.
- [38] <http://www.spacereflex.pt/content.asp?startAt=2&categoryID=210>. Abril de 2008.
- [39] <http://www.kdb-isolation.com/fr/page.php?id=12>. Abril de 2008.
- [40] <http://www.foamglas.es/>. Abril de 2008.
- [41] <http://www.vitoria.com.pt/>. Abril de 2008.
- [42] http://www.sotecnisol.pt/materiais-de-construcao.php?area_id=4#. Abril de 2008.
- [43] <http://ure.aream.pt/main.php/aream/ure/domestico/equip/isolamento.html>. Abril de 2008.
- [44] <http://www.polirigido.com/produtos/poliuretano/index.php>. Abril de 2008.
- [45] Manso, Armando Costa; Fonseca, Manuel dos Santos; Espada, J. Carvalho, *Informação sobre custo: fichas de rendimentos – Volume I e II*, Lisboa: LNEC 2004.
- [46] <http://www.edp.pt/EDPI/Internet/PT/Group/AboutEDP/default.htm>. Maio de 2008. Maio de 2008.

ANEXOS

A1. COEFICIENTES DE CONDUTIBILIDADE TÉRMICA EM PAVIMENTOS EM CONTACTO COM NÃO-ÚTEIS, ZONAS EXTERIORES E TERRENO

Pavimentos em contacto com zonas não-úteis

Pavimentos	Material	λ [W/(m.°C)]	Espessura [m]	R [(m ² .°C)/W]	U [W/m ² .°C]
Madeira	Soalho (Pinho)	0,1800	0,0220	0,1222	2,16
			0,0300	0,1667	1,97
			0,0400	0,2222	1,78
Mistos	Betão Normal + Madeira	1,6500	0.06+0.022	0,0364+0.1222	2,01
			0.06+0.03	0,0364+0.1667	1,84
			0.06+0.04	0,0364+0.2222	1,67
Maciços	Betão Armado	-	-	-	1,89
Aligeirados	Blocos Cerâmicos	-	0,13 - 0,15	-	1,65
			0,33 - 0,35	-	1,18
	0,13 - 0,15		-	1,71	
	Blocos de Betão Normal		0,33 - 0,35	-	1,33

Pavimentos em contacto com zonas exteriores

Pavimentos	Material	λ [W/(m.°C)]	Espessura [m]	R [(m ² .°C)/W]	U [W/m ² .°C]
Madeira	Soalho (Pinho)	0,1800	0,0220	0,1222	3,00
			0,0300	0,1667	2,70
			0,0400	0,2222	2,30
Mistos	Betão Normal + Madeira	1,6500	0.06+0.022	0,0364+0.1222	2,70
			0.06+0.03	0,0364+0.1667	2,40
			0.06+0.04	0,0364+0.2222	2,10
Maciços	Betão Armado	-	-	-	2,50
Aligeirados	Blocos Cerâmicos	-	0,13 - 0,15	-	2,10
			0,33 - 0,35	-	1,40
	0,13 - 0,15		-	2,20	
	Blocos de Betão Normal		0,33 - 0,35	-	1,60

Pavimentos em contacto com terreno

Pavimentos	Material	λ [W/(m.°C)]	Espessura [m]	R [(m ² .°C)/W]	U [W/m ² .°C]
Madeira	Soalho (Pinho)	0,1800	0,0220	0,1222	2,1635
			0,0300	0,1667	1,9737
			0,0400	0,2222	1,7787
Mistos	Betão Normal + Madeira	1,6500	0.06+0.022	0,0364+0.1222	2,0057
			0.06+0.03	0,0364+0.1667	1,8415
			0.06+0.04	0,0364+0.2222	1,6706
Maciços	Betão Armado	-	-	-	1,8868
Aligeirados	Blocos Cerâmicos	-	0,13 - 0,15	-	1,6496
			0,33 - 0,35	-	1,1844
	0,13 - 0,15		-	1,7107	
	Blocos de Betão Normal		0,33 - 0,35	-	1,3245

A2. COEFICIENTES DE CONDUTIBILIDADE TÉRMICA EM PAVIMENTOS EM CONTACTO COM NÃO-ÚTEIS, ZONAS EXTERIORES E TERRENO +REVESTIMENTOS

Pavimentos em contacto com zonas não-úteis

Pavimento		Revestimento				
		Marmorite	Cerâmico	Madeira	Pedra Natural	Têxtil
Lajes de Madeira - 2,2 cm	U [W/m ² .°C]	2,08	2,06	1,59	2,09	1,26
Lajes de Madeira – 4 cm		1,72	1,71	1,37	1,73	1,12
Lajes Mistas (2,2 cm Mad.)	U [W/m ² .°C]	1,93	1,92	1,50	1,94	1,20
Lajes Mistas (4 cm Mad.)		1,62	1,61	1,31	1,63	1,07
Lajes Maciças	U [W/m ² .°C]	1,82	1,81	1,44	1,83	1,16
Lajes Aligeiradas - BB 13-15	U [W/m ² .°C]	1,60	1,59	1,29	1,61	1,06
Lajes Aligeiradas - BC 33-35		1,29	1,29	1,08	1,30	0,92

Pavimentos em contacto com zonas exteriores

Pavimento		Revestimento				
		Marmorite	Cerâmico	Madeira	Pedra Natural	Têxtil
Lajes de Madeira - 2,2 cm	U [W/m ² .°C]	2,84	2,81	2,00	2,87	1,50
Lajes de Madeira – 4 cm		2,21	2,20	1,67	2,23	1,31
Lajes Mistas (2,2 cm Mad.)	U [W/m ² .°C]	2,58	2,55	1,87	2,60	1,42
Lajes Mistas (4 cm Mad.)		2,05	2,03	1,57	2,06	1,25
Lajes Maciças	U [W/m ² .°C]	2,38	2,36	1,76	2,40	1,36
Lajes Aligeiradas - BB 13-15	U [W/m ² .°C]	1,36	1,36	1,14	1,37	0,95
Lajes Aligeiradas - BC 33-35		1,55	1,54	1,26	1,56	1,04

Pavimentos em contacto com terreno

Pavimento		Revestimento				
		Marmorite	Cerâmico	Madeira	Pedra Natural	Têxtil
Lajes de Madeira - 2,2 cm	U [W/m ² .°C]	2,58	2,55	1,87	2,60	1,42
Lajes de Madeira – 4 cm		2,05	2,03	1,57	2,06	1,25
Lajes Mistas (2,2 cm Mad.)	U [W/m ² .°C]	2,58	2,55	1,87	2,60	1,42
Lajes Mistas (4 cm Mad.)		2,05	2,03	1,57	2,06	1,25
Lajes Maciças	U [W/m ² .°C]	1,82	1,81	1,44	1,83	1,16
Lajes Aligeiradas - BB 13-15	U [W/m ² .°C]	1,16	1,15	0,99	1,16	0,85
Lajes Aligeiradas - BC 33-35		1,66	1,65	1,33	1,66	1,09

A3. CARACTERÍSTICAS DOS PAVIMENTOS EM CONTACTO COM TERRENO, ZONAS NÃO-AQUECIDAS E EXTERIORES

Pavimentos em contacto com o terreno

Pavimento	Material	Área [m ²]	Espessura [m]	λ [W/(m.°C)]	R [(m ² .°C)/W]	U [W/m ² .°C]	Custo [€/m ² ;€/m ³ ;€/ml]	Custo [€]	Nic [Kwh/(m ² .ano)]	U,antes [W/m ² .°C]	Nic,antes [Kwh/(m ² .ano)]
Lajes de Madeira											
	Soalho		30	0,180	0,167						
	EPS	110	100	0,040	2,500	0,333	6,03	663	33,7	1,97	73,81
	XPS	110	40	0,035	1,143	0,606	7,82	860			
Inferior	MW	110	100	0,036	2,778	0,285	5,02	1145	32,63	1,97	73,81
	Tecto-Falso	110	20	0,250	0,080		5,39				
	Ar	110	100		0,150						
	EPS	110	50	0,036	1,389	0,528	5,82	640	38,4	1,97	73,81
Superior	XPS	110	40	0,035	1,143	0,606	7,82	860			
	MW	110	50	0,035	1,429	0,517	10,49	1154			
	MW	110	200	0,040	5,000	0,179	70,00	2133	30,16	1,97	73,81
Intermédio	Cortiça	110	200	0,035	5,714	0,159	80,00	2353	29,69	1,97	73,81

Pavimento	Material	Área [m ²]	Espessura [m]	λ [W/(m.°C)]	R [(m ² .°C)/W]	U [W/m ² .°C]	Custo [€/m ² ;€/m ³ ;€/ml]	Custo [€]	Nic [Kwh/(m ² .ano)]	U,antes [W/m ² .°C]	Nic,antes [Kwh/(m ² .ano)]
Lajes Mistas											
	Betão		60	1,65	0,036						
Inferior	EPS,mis	110	100	0,040	2,500	0,329	6,03	663	33,67	1,84	70,49
	MW,mis	110	100	0,036	2,778	0,282	5,02	1145	32,57	1,84	70,49
Superior	EPS	110	50	0,036	1,389	0,518	5,82	640	38,16	1,84	70,49
	MW	110	200	0,040	5,000	0,178	70,00	2133	30,13	1,84	70,49
Intermédio	Cortiça,mis	110	200	0,035	5,714	0,158	80,00	2353	29,67	1,84	70,49
Lajes Maciças											
	Betão		150	1,05	0,143						
Inferior	EPS,mac	110	100	0,040	2,500	0,330	6,03	663	33,7	1,89	71,73
	MW,mac	110	100	0,036	2,778	0,302	5,02	1145	33,04	1,89	71,73
Superior	EPS	110	50	0,036	1,389	0,521	5,82	640	38,24	1,89	71,73

Pavimento	Material	Área [m ²]	Espessura [m]	λ [W/(m.°C)]	R [(m ² .°C)/W]	U [W/m ² .°C]	Custo [€/m ² ;€/m ³ ;€/ml]	Custo [€]	Nic [Kwh/(m ² .ano)]	U,antes [W/m ² .°C]	Nic,antes [Kwh/(m ² .ano)]
Lajes Aligeiradas											
	Blocos Cerâmicos		0,13 - 0,15		0,17						
			0,33 - 0,35		0,43						
Inferior	EPS1a	110	100	0,040	2,500	0,322	6,03	663			
	EPS1b	110	100	0,040	2,500	0,299	6,03	663			
	MW1a	110	100	0,036	2,778	0,296	5,02	1145			
	MW1b	110	100	0,036	2,778	0,276	5,02	1145			
Superior	EPS1a	110	50	0,036	1,389	0,501	5,82	640			
	EPS1b	110	50	0,036	1,389	0,448	5,82	640			

Pavimento	Material	Área [m2]	Espessura [m]	λ [W/(m.°C)]	R [(m2.°C)/W]	U [W/m2.°C]	Custo [€/m2;€/m3;€/ml]	Custo [€]	Nic [Kwh/(m ² .ano)]	U,antes [W/m2.°C]	Nic,antes [Kwh/(m ² .ano)]
Lajes Aligeiradas											
	Blocos de Betão Normal		0,13 - 0,15		0,14						
			0,33 - 0,35		0,29						
Inferior	EPS2a	110	100	0,040	2,500	0,324	6,03	663	33,56	1,71	67,27
	EPS2b	110	100	0,040	2,500	0,307	6,03	663		1,32	
	MW2a	110	100	0,036	2,778	0,297	5,02	1145	32,92	1,71	67,27
	MW2b	110	100	0,036	2,778	0,283	5,02	1145		1,32	
Superior	EPS2a	110	50	0,036	1,389	0,507	5,82	640	37,9	1,71	67,27
	EPS2b	110	50	0,036	1,389	0,466	5,82	640		1,32	
Blocos de EPS											
Intermédio	EPS,abob	100	150	0,037	4,054	0,228	3,13	711	31,3		

Pavimentos em contacto com zonas não-aquecidas

Pavimento	Material	Área [m ²]	Espessura [m]	λ [W/(m.°C)]	R [(m ² .°C)/W]	U [W/m ² .°C]	Custo [€/m ² ;€/m ³]	Custo [€]	Nic [Kwh/(m ² .ano)]	U, antes [W/m ² .°C]	Nic, antes [Kwh/(m ² .ano)]
Lajes de Madeira											
	Soalho		30	0,180	0,167						
	EPS	110	100	0,040	2,500	0,326	11,42	1256	33,6	1,974	73,81
Inferior	Mw	110	100	0,036	2,778	0,299	10,41	1145	32,97	1,974	73,81
	Tecto-Falso	110	20	0,250	0,080		5,39				
	Ar	110	100		0,150						
Superior	EPS, mad	110	50	0,036	1,389	0,528	5,82	640	38,4	1,974	73,81
Intermédio	Mw, mad	110	200	0,040	5,000	0,179	70,00	2133	30,16	1,974	73,81
	Cortiça	110	200	0,035	5,714	0,159	80,00	2353	29,69	1,974	73,81
Lajes Mistas											
	Betão		60	1,65	0,036						
Inferior	EPS	110	100	0,040	2,500	0,306	11,42	1256	33,13	1,84	70,49
	Mw	110	100	0,036	2,778	0,282	10,41	1145	32,57	1,84	70,49
Superior	EPS	110	50	0,036	1,389	0,518	5,82	640	38,16	1,84	70,49
Intermédio	Mw	110	200	0,040	5,000	0,178	70,00	2133	30,13	1,84	70,49
	Cortiça	110	200	0,035	5,714	0,158	80,00	2353	29,67	1,84	70,49

Pavimento	Material	Área [m ²]	Espessura [m]	λ [W/(m.°C)]	R [(m ² .°C)/W]	U [W/m ² .°C]	Custo [€/m ² ;€/m ³]	Custo [€]	Nic [Kwh/(m ² .ano)]	U, antes [W/m ² .°C]	Nic, antes [Kwh/(m ² .ano)]
Lajes Maciças											
	Betão		150	1,05	0,143						
Inferior	EPS	110	100	0,040	2,500	0,330	11,42	1256	33,7	1,89	71,73
	Mw	110	100	0,036	2,778	0,302	10,41	1145	33,04	1,89	71,73
Superior	EPS	110	50	0,036	1,389	0,521	5,82	640	38,24	1,89	71,73
Lajes Aligeiradas											
	Blocos de Betão Normal		0,13 - 0,15		0,14						
			0,33 - 0,35		0,29						
Inferior	EPS2a	110	100	0,040	2,500	0,324	11,42	1256	33,56	1,71	67,27
	EPS2b	110	100	0,040	2,500	0,307	11,42	1256		1,32	
	MW2a	110	100	0,036	2,778	0,297	10,41	1145	32,92	1,71	67,27
	MW2b	110	100	0,036	2,778	0,283	10,41	1145		1,32	
Superior	EPS2a	110	50	0,036	1,389	0,507	5,82	640	37,9	1,71	67,27
	EPS2b	110	50	0,036	1,389	0,466	5,82	640		1,32	
Blocos de EPS											
Intermédio	EPS	100	150	0,037	4,054	0,228	3,13	711	31,3		67,27

Pavimentos em contacto com o exterior

Pavimento / Zona a Isolar	Material	Área [m ²]	Espessura [m]	λ [W/(m.°C)]	R [(m ² .°C)/W]	U [W/m ² .°C]	Custo [€/m ² ;€/m ³ ;€/ml]	Custo [€]	U,antes [W/m ² .°C]	Nic,antes [Kwh/(m ² .ano)]	Nic [Kwh/(m ² .ano)]
Lajes de Madeira											
	Soalho		30	0,180	0,167						
Inferior	EPS	110	200	0,040	5,000	0,186	12,06	1327	2,7	128,22	32,67
Superior	EPS	110	100	0,036	2,778	0,335	11,63	1279	2,7	128,22	38,1
Lajes Mistas											
	Betão		60	1,65	0,036						
Inferior	EPS	110	200	0,040	5,000	0,180	12,06	1327	2,4	116,67	32,45
Superior	EPS	110	100	0,036	2,778	0,301	11,63	1279	2,4	116,67	36,85
Lajes Maciças											
	Betão		150	1,05	0,143						
Inferior	EPS	110	150	0,040	3,750	0,241	9,04	994	2,5	120,52	34,48
Superior	EPS	110	100	0,036	2,778	0,315	11,63	1279	2,5	120,52	37,07

Pavimento / Zona a Isolar	Material	Área [m ²]	Espessura [m]	λ [W/(m.°C)]	R [(m ² .°C)/W]	U [W/m ² .°C]	Custo [€/m ² ;€/m ³ ;€/ml]	Custo [€]	U,antes [W/m ² .°C]	Nic,antes [Kwh/(m ² .ano)]	Nic [Kwh/(m ² .ano)]
Lajes Aligeiradas											
	Blocos de Betão Normal		0,13 - 0,15		0,14						
			0,33 - 0,35		0,29						
Inferior	EPSa	110	150	0,040	3,750	0,238	9,04	994	2,2	108,97	34,55
	EPSb	110	150	0,040	3,750	0,229	9,04	994	1,6	85,93	
Superior	EPSa	110	100	0,036	2,778	0,309	11,63	1279	2,2	108,97	37,15
	EPSb	110	100	0,036	2,778	0,294	11,63	1279	1,6	85,93	
	Blocos de EPS										
Intermédio	EPSAbob	100	200	0,037	5,405	0,171	4,19	952			32,23

A4. RETORNO ECONÓMICO EM PAVIMENTOS

Pavimentos em contacto com o terreno

Pavimentos	Zona a Isolar	Isolamento	C ₀ [€]	Nic [Kwh/(m ² .ano)]	C _{q1} [€]	C _{g25} [€]	Ano de Retorno
Madeira	-	-	-	73,81	871	33578	-
	Inferior	EPS	3413	33,70	3811	18744	2015
		MW	3895	32,63	4280	18739	2016
	Superior	EPS	3390	38,40	3843	20859	2016
	Intermédia	MW	2683	30,16	3039	16404	2013
		Cortiça	2903	29,69	3253	16410	2014
Mistos	-	-	-	70,49	832	32068	-
	Inferior	EPS	3413	33,67	3810	18730	2016
		MW	6645	32,57	7029	21462	2021
	Superior	EPS	3390	38,16	3840	20750	2016
	Intermédia	MW	2683	30,13	3039	16390	2014
		Cortiça	2903	29,67	3253	16401	2014
Maciços	-	-	-	71,73	846	32632	-
	Inferior	EPS	3413	33,70	3811	18744	2015
		MW	6645	33,04	7035	21676	2021
	Superior	EPS	3390	38,24	3841	20786	2015
Aligeirados	-	-	-	67,27	794	30603	-
	Inferior	EPS	3413	33,56	3809	18680	2016
		MW	3895	32,92	4283	18871	2017
	Superior	EPS	3390	37,90	3837	20632	2017
	Intermédia	EPS	13283	31,30	13652	27522	2031

Pavimentos em contacto com o exterior

Pavimentos	Zona a Isolar	Isolamento	C ₀ [€]	Nic [Kwh/(m ² .ano)]	C _{g1} [€]	C _{g25} [€]	Ano de Retorno
	-	-	-	128,22	1513	61594	-
Madeira	Inferior	EPS	4077	32,67	4463	19771	2012
	Superior	EPS	4029	38,10	4479	22331	2012
Mistos	Nenhuma	-	-	116,67	1377	59045	-
	Inferior	EPS	4077	32,45	4460	19665	2012
	Superior	EPS	4029	36,85	4464	21731	2013
Maciços	Nenhuma	-	-	120,52	1422	57895	-
	Inferior	EPS	3744	34,48	4151	20307	2012
	Superior	EPS	4029	37,07	4466	21836	2012
Aligeirados	Nenhuma	-	-	108,97	1286	52346	-
	Inferior	EPS	4006	34,55	4414	20603	2013
	Superior	EPS	3390	37,15	3828	21236	2012
	Intermédia	EPS	13548	32,23	13928	29030	2021

Pavimentos em contacto com espaços não-úteis

Pavimentos	Zona a Isolar	Isolamento	C ₀ [€]	Nic [Kwh/(m ² .ano)]	C _{g1} [€]	C _{g25} [€]	Ano de Retorno
Madeira	-	-	-	73,81	871	33578	-
	Inferior	EPS	4006	33,60	4402	19292	2016
		MW	3895	32,97	4284	18894	2016
	Superior	EPS	3390	38,40	3843	20859	2016
	Intermédia	MW	2683	30,16	3039	16404	2013
		Cortiça	2903	29,69	3253	16410	2014
Mistos	Nenhuma	-	-	70,49	832	32068	-
	Inferior	EPS	4006	33,13	4397	19078	2017
		MW	3895	32,57	4279	18712	2016
	Superior	EPS	3390	38,16	3840	20750	2016
	Intermédia	MW	2683	30,13	3039	16390	2014
		Cortiça	2903	29,60	3253	16401	2014
Maciços	Nenhuma	-	-	71,30	846	32632	-
	Inferior	EPS	4006	33,70	4404	19337	2017
		MW	3895	33,04	4285	18926	2016
	Superior	EPS	3390	38,24	3841	20786	2016
Aligeirados	Nenhuma	-	-	67,27	794	30603	-
	Inferior	EPS	4006	33,56	4402	19083	2017
		MW	3895	32,92	4283	18716	2017
	Superior	EPS	3390	37,90	3837	20747	2017
	Intermédia	EPS	1328 3	31,30	13652	27004	2030

A5. RETORNO ECONÓMICO EM LAJES ALIGEIRADAS EM CONTACTO COM ZONAS EXTERIORES

Ano	Custo electricidade	Ano 0	EPS,inf	EPS,sup	EPS,int
	Nic [Kwh/(m2.ano)]	108,97	34,55	37,15	32,23
	C0	0	4006	3390	13548
2009	0,118	1286	4414	3828	13928
2010	0,122	2610	4834	4280	14320
2011	0,125	3974	5266	4745	14724
2012	0,129	5380	5712	5224	15139
2013	0,133	6827	6170	5717	15567
2014	0,137	8317	6643	6226	16008
2015	0,141	9853	7130	6749	16462
2016	0,145	11434	7631	7288	16930
2017	0,149	13063	8148	7843	17412
2018	0,154	14741	8680	8415	17908
2019	0,159	16469	9228	9005	18419
2020	0,163	18249	9792	9611	18945
2021	0,168	20082	10373	10236	19488
2022	0,173	21970	10972	10880	20046
2023	0,178	23915	11589	11543	20621
2024	0,184	25919	12224	12226	21214
2025	0,189	27982	12878	12930	21824
2026	0,195	30107	13552	13654	22453
2027	0,201	32296	14246	14400	23100
2028	0,207	34551	14961	15169	23767
2029	0,213	36874	15697	15961	24454
2030	0,220	39266	16456	16776	25162
2031	0,226	41729	17237	17616	25890
2032	0,233	44267	18041	18482	26641
2033	0,240	46881	18870	19373	27414
2034	0,247	49573	19724	20290	28210

