



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR

DESENVOLVIMENTO DE ESTRUTURAS MULTICAMADA PARA REVESTIMENTO DE PAREDES INTERIORES NA REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS

Maria da Graça Correia de Oliveira Bonifácio Sottomayor Pizarro

Dissertação para obtenção de Grau de Mestre em

Engenharia Têxtil

(2º ciclo de estudos)

Orientadora: Professora Doutora Isabel Cristina Aguiar de Sousa e Silva Gouveia

Coorientador: Mestre José de Almeida Morgado

Covilhã, Outubro de 2014

Às minhas filhas, Carolina e Mariana...

...Para que nunca deixem de colocar a vocês mesmas desafios e metas que vos permitam superarem-se e crescerem...

“Tudo parece impossível até que seja feito.”

Nelson Mandela

Agradecimentos

Gostaria de expressar o meu sincero agradecimento às pessoas e à entidade que de alguma forma contribuíram para a concretização desta dissertação:

À minha orientadora Prof. Dr.^a Isabel Cristina Aguiar de Sousa e Silva Gouveia, pelo apoio prestado, incentivo, encorajamento, sentido crítico e conhecimento transmitido, sem os quais não seria possível a realização deste trabalho.

Ao meu coorientador, Mestre José de Almeida Morgado, pelo apoio técnico no desenvolvimento do trabalho experimental, pela total disponibilidade e paciência com que ouviu as minhas dúvidas e pelo encorajamento nos momentos mais difíceis.

Ao CITEVE, por ter acolhido a realização desta dissertação e me ter proporcionado os meios físicos e humanos necessários para a sua concretização.

Aos meus colegas da Engenharia de Produto e do Laboratório Têxtil, que de uma ou outra forma me apoiaram e ajudaram ao longo deste ano, em particular à Eng.^a Cristina Oliveira, Eng.^o Filipe Rodrigues, Eng.^o João Bessa, Eng.^a Ana Paula Fonte e Eng.^o Rui Martins.

Um agradecimento muito especial à minha colega Eng.^a Ana Florinda Ramôa, por tudo, pela disponibilidade, paciência, companheirismo e amizade, que foi fundamental.

À minha mãe, que embora não esteja presente fisicamente, com o seu exemplo me fez acreditar que é sempre possível. E ao meu pai...

Ao meu marido, que timidamente se foi envolvendo nesta aventura, e teve paciência e amor para me compreender, apoiar e incentivar a não desistir.

Por fim, às minhas filhas Carolina e Mariana, porque fui uma mãe ausente durante estes meses, porque nem sempre tive a paciência que deveria ter tido e nem sempre vos dei a atenção que mereciam, obrigada por me apoiarem incondicionalmente e serem como são.

Resumo

Apesar do ritmo elevado de construção nova, o parque edificado português, em particular o residencial está genericamente envelhecido. Dos edifícios existentes em 2001, 80% eram anteriores a 1990, sendo 21% da década de 70, quando a construção não contemplava a otimização energética dos edifícios. Para manter o conforto térmico dentro destas habitações é necessário aumentar o seu consumo energético. Atualmente os edifícios são responsáveis por 40% do consumo energético mundial, sendo que a energia gasta em climatização é em grande parte perdida devido ao mau isolamento dos edifícios. Dado o imperativo de reduzir o consumo energético, estabelecido pelo Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), tem havido uma aposta na reabilitação do edificado.

É neste contexto que surge a motivação para o desenvolvimento de um produto têxtil técnico para aplicação como revestimento de paredes na remodelação/ reabilitação de edifícios, que conjugue a função decorativa com a função técnica de isolamento térmico, permitindo aumentar a eficiência energética sem necessidade de alterações estruturais do edifício.

O objetivo deste trabalho é assim o desenvolvimento de uma estrutura compósita/ multicamada para revestimento de paredes interiores, que permita colmatar as deficiências existentes no que se refere ao isolamento térmico.

A metodologia de investigação consistiu em realizar a pesquisa bibliográfica de materiais convencionais e não convencionais utilizados no isolamento térmico de edifícios, assim como matérias utilizados no revestimento de paredes. Com base nesta pesquisa definiram-se os requisitos técnicos da estrutura.

Foram desenvolvidas várias estruturas têxteis, resultantes da conjugação de diferentes materiais têxteis e não têxteis de elevada performance térmica, nomeadamente da Fibra Δ (resíduo de fibras inorgânicas não têxteis usadas no isolamento convencional de edifícios), e de diferentes processos, tendo sido avaliado o seu desempenho.

Foram seguidas duas abordagens técnicas. A primeira consistiu no revestimento de uma tela 100% Poliéster com pastas à base de Fibra Δ e posterior laminagem com um não-tecido. Os resultados de resistência térmica desta amostra ($0,065 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$) são baixos relativamente ao objetivo proposto para este estudo ($0,500 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$), pelo que esta abordagem foi abandonada.

A segunda abordagem consistiu no desenvolvimento de um não-tecido Fibra Δ /Poliéster. Ao longo deste desenvolvimento verificou-se o incremento da resistência térmica e homogeneidade das estruturas desenvolvidas.

Desta investigação concluiu-se que a estrutura obtida apresenta características de isolamento térmico que não se verifica em outros materiais para revestimento de paredes, e que este

efeito está diretamente relacionado com a espessura da estrutura e com a sua composição. A investigação provou ainda a viabilidade da produção de não-tecidos com base na conjugação da Fibra Δ com fibras têxteis (poliéster) e que a primeira aumenta a resistência térmica até uma proporção de 70% na mistura, a partir da qual o não-tecido deixa de ter coesão e o efeito de aumento da resistência térmica sofre uma inversão.

O valor de resistência térmica (R_{ct}) do protótipo final foi $0,161 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ para uma espessura de 3,41 mm. Este valor ficou aquém do pretendido, mas a espessura obtida é inferior ao valor máximo esperado (10 mm), pelo que em futuras otimizações do não-tecido se poderá aumentar a sua espessura e com isso aproximar o valor de R_{ct} da estrutura final do valor requerido, uma vez que existe uma relação direta entre estes parâmetros.

Palavras-chave

Estrutura têxtil multicamada; Não-tecidos; Isolamento térmico; Condutibilidade térmica; Resistência térmica; Revestimento de paredes; Reabilitação de edifícios.

Abstract

Despite the high rate of new construction, the Portuguese buildings, mainly the residential ones, are generally aged.

From the existing buildings in 2001, 80% were prior to 1990, with 21% were from the seventies, when construction did not comprise energy optimization. To maintain thermal comfort inside these buildings is necessary to increase the energy spent. Currently buildings are responsible for 40% of global energy consumption and the energy consumed in air conditioning is mostly lost due to poor buildings insulations. Given the imperative to reduce energy consumption established by the “Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE)”, there has been a focus on building rehabilitation.

It is in this context that the ambition for the development of an innovative technical textile product for application as wall covering in the rebuilding/restoration of buildings arises. Combining the decorative function with thermal insulation technical function, it will allow increasing energy efficiency without the need for structural changes in the building.

The key objective of this work is to develop a composite/ multilayer structure for wall covering in interior building spaces that will allow overcoming shortcomings regarding thermal insulation.

The research methodology used consisted of bibliographic research regarding conventional and unconventional materials used for buildings thermal insulation, as well as materials used in wall covering. Based on this research the technical requirements of the structure were defined.

Several textile structures have been developed, resulting from the combination of different textiles and non-textile materials with high thermal performance, namely Δ Fiber (waste from inorganic fibers used in conventional building insulation) using different technical approaches. The performance of the structures was evaluated.

The first technological approach used consisted in processing Δ Fiber into a coating over a 100% polyester woven fabric, which was afterwards laminated with a 100% polyester non-woven. The thermal resistance value obtained was low ($0,065 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$) comparing with the intended ($0,500 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$), so this approach was abandoned.

The other technique used was the development of a non-woven Δ Fiber/ polyester. Throughout the development there was an increase in thermal resistance and homogeneity of the developed structures.

This research permitted to conclude that the multilayer structure obtained has thermal insulation characteristics which were not observed in other materials for interior wall coverings, and that this effect is directly related to the thickness of the structure and its composition.

The research also proved the feasibility of producing non-woven based on the blend of Δ Fiber with textile fibers (polyester) and that the Δ Fiber increase the thermal resistance up to a proportion of 70% in the mixture, from which the non-woven no longer has cohesion and the thermal resistance effect decreases.

The final prototype (industrialized) thermal resistance value was 0,161 m².K/W, with 3,41mm thickness. This value fell short of the desired, but as the thickness obtained is lower than the maximum expected value, (10 mm), whereby in future optimization of the non-woven it is possible to increase its thickness and thus approximate the thermal resistance value of the industrial prototype to the desired, since there is a direct connection between these parameters.

Keywords

Multilayer textile structure; Non-Woven; Thermal Insulation; Thermal Conductivity; Thermal resistance; Wall covering; Buildings rehabilitation.

Índice

Agradecimentos	ii
Resumo	iii
Palavras-chave	v
Abstract	vi
Keywords	viii
Índice	ix
Índice de Figuras	xi
Índice de Tabelas	xiii
Lista de acrónimos	xv
Capítulo 1 - Enquadramento	16
Capítulo 2 - Revisão da Literatura	20
2.1 Conceitos sobre isolamento térmico	20
2.2 Regulamentação e marcação CE	22
2.3 Soluções para Isolamento térmico de edifícios	27
2.3.1 Materiais de base têxtil aplicados ao isolamento térmico de edifícios	29
2.3.2 Materiais convencionais para isolamento térmico de edifícios	37
2.3.3 Materiais não convencionais para isolamento térmico de edifícios	42
2.3.4 Análise comparativa dos diversos materiais	45
2.4 Materiais para revestimento de paredes (decoração de interiores)	50
Capítulo 3 - Justificação e Objetivos do Trabalho	57
Capítulo 4 - Parte Experimental	59
4.1 Identificação dos requisitos do produto	59
4.2 Procedimento Experimental	60
4.2.1 Primeira abordagem	60
4.2.1.1 Materiais	61
4.2.1.2 Equipamentos	62
4.2.1.3 Desenvolvimento da estrutura	62
4.2.2 Segunda abordagem	65

4.2.2.1	Materiais	66
4.2.2.2	Equipamentos.....	66
4.2.2.3	Desenvolvimento da estrutura.....	67
4.2.2.3.1	Estudo da viabilidade da formação de uma manta de não-tecidos com fibra Δ ..	67
4.2.2.3.2	Melhoria da homogeneização e coesão da manta	68
4.2.2.3.3	Estudo da melhor proporção Fibra Δ / Poliéster	70
4.2.2.3.4	Desenvolvimento do 1º Protótipo	71
4.2.2.3.5	2ª Protótipo: Scale-up industrial	73
4.3	Cálculo do custo da estrutura multicamada	76
Capítulo 5 - Resultados e Discussão		77
5.1	Primeira abordagem: Revestimento e laminagem.....	77
5.2	Segunda abordagem: Formação de não-tecido e laminagem	79
5.2.1	Estudo da viabilidade da formação da manta de não-tecidos com fibra Δ	79
5.2.2	Estudo da melhor proporção Fibra Δ / Poliéster	81
5.2.3	Desenvolvimento dos Protótipos	84
5.2.4	Cálculo da condutibilidade térmica da estrutura multicamada	87
Capítulo 6 - Conclusões e Perspetivas futuras.....		89
6.1	Conclusões	89
6.2	Perspetivas futuras.....	91
Bibliografia.....		92
Anexos I: Fichas Técnicas de produtos para isolamento térmico e de produtos para revestimento de paredes		98
Anexos II: Tabelas com os resultados dos ensaios de resistência térmica, massa por unidade de superfície e espessura		105

Índice de Figuras

Capítulo 1 - Enquadramento

Figura 1: Construção nova versus Reabilitação do edificado em Portugal, entre 1995 e 2011 17

Capítulo 2 - Revisão da Literatura

Figura 2: Mecanismos de transmissão de calor: condução, convecção e radiação 21

Figura 3: Sistema Euroclasses 25

Figura 4: Classificação de materiais de isolamento térmico 28

Figura 5: Classificação de materiais de isolamento térmico 28

Figura 6: Locais de aplicação de isolamentos térmicos..... 29

Figura 7: Fibra de coco 31

Figura 8: Produtos de isolamento em fibra de coco 33

Figura 9: Manto em lã de ovelha aplicado na construção de edifícios 33

Figura 10: Tipos de desperdício estudados: (a) WFW (Woven fabric waste) Desperdício de tecidos; (b) WFS (Woven fabric sub-waste) Sub- desperdício de tecidos..... 35

Figura 11: Modelo de parede externa dupla de alvenaria 36

Figura 12: Poliestireno expandido 39

Figura 13: Aplicação do Poliestireno extrudido 40

Figura 14: Aglomerado de cortiça 41

Figura 15: Aplicações da cortiça em edifícios 42

Figura 16: Aplicação do Decorativo Rústico..... 50

Figura 17: Aplicação do produto Wicanders® DekWall em paredes interiores..... 51

Figura 18: Tecnologia Corktech (estruturas multicamada)..... 51

Figura 19: (a) *Newsworthy*; (b) Aplicação do *Newsworthy* como revestimento de paredes interiores..... 52

Figura 20: Parede revestida com Burel 53

Figura 21: Paredes revestidas com feltro (Anne Kyyro Quinn)..... 54

Figura 22: Não-tecido para revestimento de paredes 55

Figura 23: (a) Serapilheira como revestimento de paredes interiores; (b) Rolos de Serapilheira 55

Capítulo 3 - Justificação e Objetivos do trabalho

Figura 24: Evolução das fachadas em Portugal ao longo do tempo 57

Capítulo 4 - Parte Experimental

Figura 25: Fluxograma do processo desenvolvido na primeira abordagem 60

Figura 26: Aplicação das pastas por revestimento em máquina de coating laboratorial e secagem e fixação em secadeira..... 63

Figura 27: Amostra Q - Tela 2 + 5% Fibra Δ triturada 64

Figura 28: Laminagem da amostra V com o Não-Tecido 4.....	64
Figura 29: Fluxograma do processo desenvolvido na segunda abordagem.....	65
Figura 30: Equipamento laboratorial utilizado na produção das mantas de não-tecido com fibra Δ	67
Figura 31: Desenvolvimento das primeiras mantas de não-tecidos com a Fibra Δ	68
Figura 32: Tela 2 + Manta/ não tecido Fibra Δ / PES	68
Figura 33: Manta de não-tecido final, resultante da junção das duas mantas 50% Fibra Δ / 50%Pes	69
Figura 34: Esquema ilustrativo da estrutura final da amostra Z	70
Figura 35: (1) Produção da manta 70% Fibra Δ / 30%Poliéster; (2) Manta de Não-tecido 70% Fibra Δ / 30% Poliéster já formada.....	71
Figura 36: Representação esquemática da produção da manta de não-tecido final (dupla)...	72
Figura 37: Amostra do 1º protótipo desenvolvido por combinação de tecnologias	72
Figura 38: Fluxo produtivo do não-tecido à escala industrial.....	73
Figura 39: Processo de mistura e uniformização da Fibra Δ com o Poliéster	73
Figura 40: Processamento na carda	74
Figura 41: Processo de formação e consolidação da manta não-tecido 70% Fibra Δ / 30%Poliéster	74
Figura 42: Tela de não-tecido agulhado à saída da máquina de agulhagem	74
Figura 43: Protótipo final do não-tecido 70% Fibra Δ / 30%Poliéster agulhado	75
Figura 44: Amostra final (2º protótipo)	75

Capítulo 5 - Resultados e Discussão

Figura 45: Valor médio do Rct e Desvio Padrão dos materiais utilizados e amostras desenvolvidas na primeira abordagem.....	77
Figura 46: Valores médios de Rct, massa/unidade de superfície e espessura dos materiais utilizados e amostras desenvolvidas na primeira abordagem.....	78
Figura 47: Valor médio de Rct e Desvio Padrão das amostras Y (2ª abordagem) e V1 (1ª abordagem).....	79
Figura 48: Valores médios de Rct, massa/unidade de superfície e espessura (amostras Y e V1)	80
Figura 49: Valor médio do Rct e Desvio Padrão das amostras desenvolvidas para estudo da melhor proporção Fibra Δ / Poliéster.....	82
Figura 50: Resultados dos ensaios de resistência térmica e espessura das amostras desenvolvidas para estudo da melhor proporção Fibra Δ / Poliéster	83
Figura 51: Resultados dos ensaios de resistência térmica realizados aos dois protótipos	84
Figura 52: Resultados dos ensaios de Rct, massa/unidade superfície e espessura realizados aos protótipos	85

Índice de Tabelas

Capítulo 2 - Revisão da Literatura

Tabela 1: Classificação em Euroclasses.....	25
Tabela 2: Classificação da libertação de fumos.....	26
Tabela 3: Classificação do gotejamento.....	26
Tabela 4: Características técnicas do isolamento Ecopeg 39	37
Tabela 5: Condutibilidade térmica e massa volúmica de materiais de isolamento térmico ...	46
Tabela 6: Síntese da aplicação dos materiais de isolamento térmico na envolvente dos edifícios	49

Capítulo 4 - Parte Experimental

Tabela 7: Características de produtos comerciais e dos objetivos a alcançar com o produto desenvolvido.....	59
Tabela 8: Propriedades dos materiais selecionados para o desenvolvimento da estrutura multicamada.....	61
Tabela 9: Equipamentos utilizados na primeira abordagem	62
Tabela 10 : Receituário (pastas de revestimento) por amostra	62
Tabela 11: Condições de processamento das amostras	63
Tabela 12: Condições de laminagem da Amostra V.....	64
Tabela 13: Fibras utilizadas no desenvolvimento do não-tecido (2ª abordagem).....	66
Tabela 14: Outros Materiais utilizados para o desenvolvimento da estrutura multicamada (2ª abordagem).....	66
Tabela 15: Equipamentos utilizados na segunda abordagem	66
Tabela 16: Condições de laminagem das amostras Y.....	68
Tabela 17: Formulação das mantas de Não-tecido	69
Tabela 18: Condições de laminagem das amostras Z: Tela 2 + não-tecido (manta dupla) +Tela 2	70
Tabela 19: Amostras da manta produzidas com diferentes composições quantitativas (Fibra Δ / Poliéster).....	70
Tabela 20: Custo por kg do não-tecido Fibra Δ / Pes	76
Tabela 21: Custo não-tecido e laminagem em €/ kg	76
Tabela 22: Custo da estrutura multicamada estampada desenvolvida.....	76

Capítulo 5 - Resultados e Discussão

Tabela 23: Resultados dos ensaios resistência térmica das amostras desenvolvidas para estudo da melhor proporção Fibra Δ / Poliéster	81
---	----

Tabela 24: Resultados dos ensaios de Rct, massa/m² e espessura das amostras desenvolvidas para estudo da melhor proporção Fibra Δ / Poliéster 83

Anexo II - Resultados dos ensaios de resistência térmica, massa por unidade superfície e espessura

Tabela 25: Ensaios de Rct aos materiais utilizados e desenvolvidos na primeira abordagem. 106

Tabela 26: Resultados dos ensaios de Rct, massa/unidade de superfície e espessura dos materiais utilizados e amostras desenvolvidas na primeira abordagem 106

Tabela 27: Resultados dos ensaios de resistência térmica realizados na amostra Y..... 107

Tabela 28: Resultados dos ensaios de resistência térmica, massa/unidade superfície e espessura realizados na amostra Y 107

Tabela 29: Resultados dos ensaios de resistência térmica realizados aos dois protótipos 107

Tabela 30: Resultados dos ensaios de massa por unidade de superfície e espessura realizados aos dois protótipos 108

Tabela 31: Resultados dos ensaios de Rct, massa/unidade superfície e espessura realizados aos protótipos 108

Lista de acrónimos

AIPEX - Associação Ibérica de Poliestireno Extrudido
AREAM - Agência Regional da Energia e Ambiente da Região Autónoma da Madeira
ASTM Standard - Norma ASTM - American Society for Testing and Materials
AVAC - Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
CEE - Comunidade Económica Europeia
CFC - Clorofluorcarbono
CO₂ - Dióxido de carbono
COV - Composto Orgânico Volátil
CUAP - Commum Understanding of Approval Process
DIM - Material de isolamento dinâmico
DPC - “Diretiva comunitária dos Produtos de Construção”.
EOTA - European Organization for Technical Approval
EPB - “Energy Performance of Buildings”
EPS - Poliestireno expandido
ETA-Europeen Technical Approval
ETAG - Guias de Orientação elaborados pela EOTA
GFP: Painéis preenchidos com gás
HCFC - hidro fluorcarbonos
InCI-Instituto da construção e do Imobiliário
INE - Instituto Nacional de Estatística
ITE 50 - Informação Técnica de Edifícios
JOCE - Jornal Oficial das Comunidades Europeias
LNEG - Laboratório Nacional de Engenharia Civil
NIM - Materiais de isolamento nano
PCM - Phase Change Material
PET - Polietilenotereflato,
PUR - Espuma de Poliuretano
RCCTE - Regulamento das Características do Comportamento Térmico de Edifícios
R_{ct} - Resistência térmica.
NZEB - “nearly zero energy buildings”
RSECE - Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios
SCE - Sistema Certificação Energética dos Edifícios
UE - União Europeia
VIP - Painéis de isolamento a vácuo
XPS - Poliestireno extrudido

Capítulo 1 - Enquadramento

A construção em Portugal, nas últimas décadas, tem sido claramente excessiva, sendo que entre 1991 e 2011 foram construídos mais de 80 000 alojamentos por ano. Este número corresponde a construir uma cidade maior do que Coimbra, por ano, durante 20 anos. [1]

Segundo os Resultados Preliminares dos CENSOS 2011, Portugal tem, hoje, perto de 1 900 000 alojamentos sem ocupação permanente. No entanto, na última década o crescimento do número de alojamentos foi inferior ao verificado nas décadas anteriores. A quebra verificada abrange quer as novas construções, quer as obras de reabilitação do edificado. [2]

Reabilitação do edificado

De acordo com o INE, Estatísticas da Construção e Habitação 2011 (2012) “O conceito de requalificação urbana compreende processos de renovação, reestruturação ou reabilitação urbana, que promovem a valorização ambiental e a melhoria do desempenho funcional do tecido urbano”. O conceito abordado neste trabalho é um conceito mais restrito da reabilitação do edificado, que se prende com obras de alteração, ampliação e reconstrução (denominadas obras de reabilitação do edificado). [2, 3]

Comparando o número de edifícios, para habitação familiar, em que foram realizadas obras de reabilitação e os de construção nova, é possível verificar que a proporção entre ambos a nível nacional apresenta um valor médio de 21,6% no período compreendido entre 2001 e 2011, registando-se um aumento progressivo desta proporção nos últimos anos. Assim e no seu conjunto as obras de reabilitação do edificado (alterações, ampliações e reconstruções) tiveram um comportamento crescente ao longo da década, tendo o nº total de licenças para obras de reabilitação aumentado significativamente entre 2001 e 2011. Em 2001 por cada 100 licenças para construções novas existiram 21,1 licenças para obras de reabilitação, enquanto em 2011 este valor foi de 45,8 correspondendo ao valor mais elevado no período em análise. [2]

Como detalhado nas *Estatísticas da Construção e Habitação 2011 (2012)*, em 2011 foram concluídos 27 790 edifícios em Portugal, em que cerca de 25% dizem respeito à reabilitação do edificado, conforme se verifica na Figura 1, o que face ao ano de 2010 se traduz num aumento de 3,1% do número de edifícios reabilitados. [2]

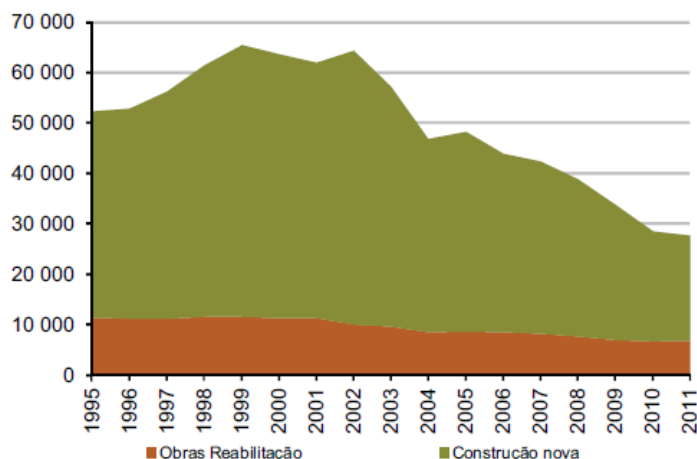


Figura 1: Construção nova versus Reabilitação do edificado em Portugal, entre 1995 e 2011

Fonte: [2]

Segundo o INE. *Estatísticas da Construção e Habitação 2012, (2013)* a reabilitação tem aumentado a sua importância relativa no sector da construção. [4]

De fora dos indicadores do INE (Instituto nacional de Estatística) ficam as obras de reabilitação do edificado que não necessitem de licença municipal, de acordo com a aplicação do regime jurídico da urbanização e da edificação (obras de conservação, de reconstrução ou alteração que não impliquem modificações na estrutura de estabilidade, das cêrceas, da forma das fachadas e da forma dos telhados), o que por si só pressupõe que o número de obras de reabilitação será significativamente superior aos dados fornecidos pelo INE.

Para além do caso português e de acordo com estimativas publicadas pelo *Euroconstruct - Portugal*, a atividade de reabilitação de edifícios na Europa representa, em média, cerca de 45% do volume total de investimento na construção. [5]

Assim a reabilitação de edifícios tem vindo a assumir um papel cada vez mais importante no panorama da atividade de construção tanto em Portugal como na Europa, substituindo em boa parte o investimento que nos últimos dez anos foi feito na área da construção nova. [2, 3, 6]

Por outro lado e muito embora se tenha verificado nas últimas décadas um elevado ritmo de construção nova, o parque edificado português, em particular o do sector residencial, mesmo o de construção mais recente, ainda é genericamente um parque envelhecido, sendo que uma parte significativa desse parque se encontra bastante degradado. [7]

Reportando a 2007, o parque habitacional português foi estimado em 3,4 milhões de edifícios, sendo que 80% dos edifícios existentes em 2001 têm uma data de construção anterior a 1990, dos quais 21% são da década de 70 [8]. Nesta década, a construção de edifícios não contemplava nem a sua otimização energética nem a minimização dos seus efeitos ambientais, motivos pelos quais os mesmos apresentam baixas performances energéticas.

Assim, para manter o conforto térmico dentro destas habitações é necessário aumentar consumo energético do edifício. [8]

Segundo o STOROPET PROJECT, atualmente os edifícios são responsáveis por 40% do consumo energético mundial e por quase metade das emissões de gases de estufa, contribuindo para este problema mais do que as emissões dos meios de transporte. Quando se analisa o consumo de energia dos edifícios o que se verifica é que a energia gasta em aquecimento, arrefecimento e ventilação é em grande parte perdida graças ao mau isolamento térmico dos edifícios, sendo previsível que nos próximos anos este consumo aumente consideravelmente. [9]

As recomendações do último Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) vão no sentido de governos, empresas e pessoas individuais reduzirem drasticamente a energia gasta em edifícios, na ordem dos de 60% até 2050, com o objetivo de reduzir a pegada de carbono relacionada com o consumo energético. [9]

Nesse sentido a União Europeia (UE) criou legislação adequada à situação. Em Março de 2007, o Conselho Europeu traçou como objetivo a redução em 20% do consumo total de energia e das emissões de gases de estufa até 2020. Em 2010 foi adotada a diretiva 2010/31/EU, "Energy Performance of Buildings" (EPB) que melhora os regulamentos nacionais acerca da eficiência energética de edifícios novos e reabilitados, com *standards* muito ambiciosos e metas obrigatórias. Também inclui um quadro de requisitos nacionais relacionados com aquecimento/ arrefecimento e ventilação. [9]

De acordo com esta diretiva "o certificado de desempenho energético deve fornecer informações sobre o impacto real do aquecimento e arrefecimento nas necessidades energéticas do edifício, no seu consumo de energia primária e as suas emissões de dióxido de carbono ". Por outro introduz um novo termo "*nearly zero energy buildings*" (NZEB), que é um conceito teórico complexo, pois contempla projetos de construção com design eficiente em termos de energia, materiais de construção, sistemas técnicos e equipamentos que minimizem o consumo de energia elétrica e a redução das emissões de CO₂. Desde Julho de 2013 que a nova diretiva está implementada. [9]

As novas abordagens para o design sustentável e eficiência energética não só têm metas para diminuir o consumo de energia, mas também para aplicar materiais de construção naturais e disponíveis, mantendo os custos de construção o mais baixo possível. [10]

Dado o imperativo de reduzir o consumo de energia dos edifícios, estabelecido inicialmente pelo Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de Abril) e mais recentemente pelo Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto, tem sido evidente a aposta na reabilitação do edificado. [8]

A reabilitação térmica e energética de edifícios constitui assim uma das vias mais promissoras para a correção de situações de inadequação funcional, proporcionando a melhoria da qualidade térmica e, assim, das condições de conforto dos seus habitantes. Esta melhoria

permite, por outro lado, reduzir o consumo de energia para climatização, contribuindo deste modo para o objetivo estratégico de redução das necessidades energéticas. [7]

Abrandamento na Atividade económica

Tal como a maioria dos países que integram o universo do *Euroconstruct*, o desempenho geral de Portugal no que se refere à engenharia civil em 2012, foi bastante débil, o que se prevê continuar na próxima década.

O sector enfrenta uma conjuntura desfavorável, estando a fazer-se ajustamentos face aos excessos da construção nova em Portugal nas últimas duas décadas, que se traduz numa retração da construção. Esta retração é consideravelmente menor no caso da reabilitação de edifícios (-1,4%) quando comparada com a construção nova (-10,5%). [11]

Por todas as razões apresentadas é expectável uma grande aposta no mercado da reabilitação de edifícios, sendo este o caminho que apresenta maior sustentabilidade económica.

No entanto a construção de novo edificado é caracterizada por alguma liberdade no uso de novos sistemas construtivos e novos sistemas de redução de consumos energéticos, o mesmo não ocorre com a reabilitação do edificado já existente devido a restrições estruturais e económicas na implementação de novas soluções.

Face a estas necessidades é imperativo encontrar soluções construtivas de aplicação fácil e económicas que promovam a eficiência energética do edificado existente, permitindo assim reduzir os seus consumos energéticos de climatização sem prejudicar o conforto dos seus ocupantes.

Outro fator importante é que as soluções existentes atualmente no mercado para isolamento térmico de edifícios são maioritariamente direcionadas para o isolamento pelo exterior e das fachadas ou para o interior em isolamento entre paredes, interiores de tetos e pavimentos, sendo assim mais vocacionadas para as novas construções, não existindo soluções de isolamento térmico adequadas para o revestimento das paredes interiores dos edifícios. Estas soluções são particularmente importantes no caso da reabilitação.

É neste contexto que surge a motivação para o desenvolvimento de um produto têxtil para a aplicação na construção civil, nomeadamente na remodelação/ reabilitação de edifícios, que conjugue em simultâneo a função decorativa com a função técnica de isolamento térmico.

As soluções a desenvolver serão baseadas na utilização de substratos e acabamentos têxteis e materiais não têxteis. Serão utilizadas fibras e estruturas com funções específicas que em complementaridade com diferentes processos permitirão obter a estrutura pretendida.

Capítulo 2 - Revisão da Literatura

Neste capítulo é apresentada a revisão da literatura científica no que se refere a materiais têxteis e materiais de construção civil para isolamento térmico de edifícios e matérias aplicados na decoração de paredes interiores. Foi ainda revista literatura referente aos conceitos relacionados com o isolamento térmico dos materiais. Acresce a este capítulo o estado da arte dos materiais para isolamento térmico de edifícios.

2.1 Conceitos sobre isolamento térmico

Isolamento térmico

De acordo com Barros H. (2009, p.45), “O isolamento térmico tem como função principal o aumento da resistência térmica da envolvente do edifício, de forma a reduzir as trocas de calor entre o edifício e o exterior, reduzindo as necessidades de aquecimento e arrefecimento, assim como o risco de condensações”. [12]

Os materiais para isolamento térmico são materiais ou combinações de materiais que, quando devidamente aplicados diminuem a taxa de fluxo de calor por condução, convecção e radiação. Estes materiais retardam a passagem de fluxos de calor para o interior ou para o exterior dos edifícios, devido à sua resistência térmica. Assim, a interação dos três modos de transferência de calor determina a eficácia global do isolamento. [13]

A propriedade principal de um material de construção/ solução para isolamento térmico é a sua condutibilidade térmica, sendo que para se obter um bom isolamento térmico, a condutibilidade térmica deve ser tão baixa quanto possível. [14]

Transferências de calor

As trocas de energia num edifício dão-se maioritariamente através da sua envolvente, isto é do conjunto dos materiais que separam o interior do exterior, podendo também ocorrer dentro do próprio edifício fruto da existência de compartimentos com diferentes temperaturas. A transmissão de calor ocorre quando se estabelece uma diferença de temperatura, passando o fluxo de calor da temperatura mais alta para a mais baixa. [15, 16]

As trocas de calor podem efetuar-se de três formas, Condução, Convecção e Radiação.

Segundo Afonso J. (2009) “A condução é a forma de transferência de calor que geralmente ocorre nos sólidos. O fenómeno de condução surge como resultado das colisões entre moléculas de uma dada substância e da sua subsequente energia cinética. Para tal, é necessário que as partículas que formam o corpo se encontrem muito próximas umas das outras.” [16]

A convecção é a passagem de calor de uma zona para outra através de um fluido (líquido ou gás) em consequência do transporte das suas partículas. É responsável pela troca de calor entre superfícies sólidas e gases ou líquidos, ou entre estes dois últimos. [15, 16]

O processo de transmissão de calor por radiação dá-se pela emissão de energia da superfície de um corpo sob a forma de ondas eletromagnéticas. Ao contrário do que acontece nos processos anteriores para que a transferência de energia aconteça não é necessário qualquer meio material, dado esta se propagar no vácuo ou meio transparente. [12, 16]

Em geral todos os corpos sólidos, líquidos ou gasosos emitem, absorvem e transmitem radiação, sendo que cada superfície possui uma determinada capacidade de emissão, característica à qual se chama emissividade (ϵ). Teoricamente os valores de emissividade podem variar entre 0 (corpo não emite energia) e 1 (corpo emite toda a energia). [12, 16]

A Figura 2 ilustra as diferentes formas de transmissão de calor:

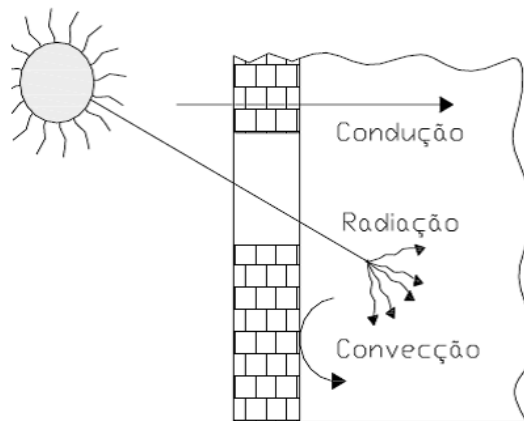


Figura 2: Mecanismos de transmissão de calor: condução, convecção e radiação

Fonte: [15, 16]

Condutibilidade térmica

ASTM Standard C168-97 (*cit em* Al-Homoud M. (2005)) define condutibilidade térmica (λ) como o fluxo de calor estável (ΔQ) que passa através de uma unidade de área (A) de material homogéneo de 1m de espessura (L), por unidade de tempo (Δt), na direção perpendicular aos planos isotérmicos, devido a uma variação de 1 unidade de temperatura na amostra (ΔT). No sistema internacional a condutibilidade térmica é expressa em W/m.K. [13]

A condutibilidade térmica é uma medida de eficácia de um material conduzir calor, sendo uma característica específica de cada material que depende da temperatura e da pureza do mesmo. Em geral, os materiais tornam-se melhores condutores de calor com o aumento da temperatura. [13]

Assim, o conhecimento dos valores de condutibilidade térmica permite fazer uma comparação quantitativa da eficácia de diferentes materiais no que se refere à capacidade de isolamento térmico ou de dissipação térmica. [13]

Segundo Jelle, B. uma condutibilidade térmica baixa permite a aplicação de envoltivos dos edifícios relativamente finos mas com uma alta resistência térmica. [14]

Resistência térmica

Resistência térmica é uma medida da resistência à passagem do fluxo de calor, como resultado da supressão da condução, convecção e radiação. É função da condutibilidade térmica de material, da sua espessura e densidade. O valor da Resistência térmica, R, é expressa em $m^2.K/W$. [13]

A resistência térmica é determinada pelo quociente entre a espessura do material (E) e a sua condutibilidade térmica (λ) de acordo com a Equação 1:

$$R \left(m^2 \times \frac{K}{W} \right) = \frac{E \left(m \right)}{\lambda \left(\frac{W}{m \times K} \right)} \quad (1)$$

Equação 1: Expressão matemática da Resistência Térmica (adaptado de [17])

Quanto menor for a condutibilidade térmica e maior a espessura do material, maior é a resistência térmica e mais eficaz será o isolamento térmico. [18]

2.2 Regulamentação e marcação CE

Como já foi largamente referido, o sector da construção enfrenta problemas referentes à sustentabilidade, já que a maioria da energia consumida provém das casas (cerca de 40% de acordo com a Comissão Europeia). [19]

Só em Portugal e segundo o LNEG (cit por Mendes P., 2012, p. 6) os edifícios representam cerca de 30% dos consumos globais do País e cerca de 60% do consumo elétrico. [15]

Desta forma a atenção está agora voltada para as políticas de sustentabilidade e para a regulamentação governamental imposta quer pela Comissão Europeia, quer pelos EUA. [19]

Segundo Rosado et al., (2011) os esforços para reduzir a energia consumida com o aquecimento, ventilação e ar condicionado têm vindo a ser progressivamente redirecionados para a aplicação de sistemas de isolamento térmico eficientes. Também ao nível da arquitetura se verifica uma crescente preocupação em criar ambientes bioclimáticos onde os requisitos de isolamento são minimizados pelo *design* do edifício. Por outro lado, a otimização do comportamento energético edifícios tem sido reforçada através dos debates científicos e públicos. [19]

Até aos anos 90 não existia regulamentação térmica em Portugal. Com a entrada na CEE surgiu o Decreto-Lei 40/90 que estabelece o primeiro Regulamento das Características do Comportamento Térmico de Edifícios (RCCTE). A introdução do regulamento em Portugal conduziu a melhorias significativas na construção. [15, 16]

Em 1998 surge um segundo Regulamento (Decreto-Lei 118/98) que toma em consideração os sistemas de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC), designado Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE). [15]

Como refere Mendes P. (2012), no início do Século XXI a legislação existente revelou-se insuficiente face ao crescimento do consumo energético e aos compromissos assumidos pelo Protocolo de Quioto no que se refere à redução de emissões de dióxido de carbono.

Assim em 2002, surge a Diretiva 2002/91/CE relativa ao desempenho energético dos edifícios que introduziu o “Certificado de desempenho energético de um edifício”. [19]

Esta diretiva foi revista em 2010 dando origem à Diretiva 2010/31/CE.

A Diretiva 2010/31/CE foi transposta para a lei nacional através do Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto e visa assegurar e promover a melhoria do desempenho energético através do Sistema Certificação Energética dos Edifícios (SCE). [20]

Marcação CE

De acordo com o LNEG (2014) “a marcação CE é o passaporte para a livre circulação dos produtos no mercado único europeu”. A aposição da marcação CE nos produtos representa a evidência da conformidade desses produtos com o disposto nas diretivas comunitárias que lhes são aplicáveis. [21]

A Diretiva Comunitária dos Produtos de Construção (DPC) - Diretiva 89/106/CEE, de 21 de Dezembro de 1988, alterada pela Diretiva 93/68/CEE, de 22 de julho de 1993 estabelece que, para serem colocados no mercado, os produtos de construção definidos, de acordo com o seu artigo número 1.º, como “todos os produtos destinados a ser permanentemente incorporados numa obra de construção, incluindo as obras de construção civil e de engenharia civil” devem estar aptos ao uso a que se destinam, devendo por isso apresentar características tais que as obras onde venham a ser incorporados satisfaçam às exigências essenciais, tais como resistência mecânica e estabilidade, segurança em caso de incêndio, higiene, saúde e proteção do ambiente, segurança na utilização, proteção contra o ruído e economia de energia e isolamento térmico. [22]

Esta diretiva foi transposta para a legislação Portuguesa pelo Decreto-Lei nº 113/93 de 10 de Abril, sucessivamente alterado dando origem Decreto-Lei nº 4/2007 de 8 de janeiro. [21, 22, 23]

Este Decreto-Lei determina a obrigatoriedade da Marcação CE, pelo fabricante ou seu mandatário na União Europeia, de forma visível, legível e indelével, no produto, num rótulo nele fixado, na respetiva embalagem ou nos documentos comerciais de acompanhamento, antes da colocação no mercado. [24]

Como citado pelo Aipex (P.23), desde Maio de 2003, os fabricantes e aplicadores de isolamentos térmicos são obrigados a usar a Marcação CE, de acordo com a sua conformidade com as normas harmonizadas EN. [25]

De acordo com Camões e Ferreira (2006) (cit em Mendes P. p.44), quando um produto de construção é inovador e caso não existam normas harmonizadas aplicáveis e não possa ser elaborada uma norma europeia para o produto em causa, o fabricante deve solicitar a elaboração de uma aprovação técnica europeia (ETA-Europeen Technical Approval) a um organismo aprovado (Ex. LNEG). Este documento tem como objetivo avaliar o desempenho provável do produto face às suas condições de aplicabilidade. A elaboração da ETA segue os princípios estabelecidos nos Guias de Orientação (ETAG) elaborados pela European Organization for Technical Approval (EOTA) para famílias de produtos, ou, quando não se justifica a elaboração de um ETAG, a EOTA pode elaborar um Commum Understanding of Approval Process (CUAP), específico para o produto em causa.

Classificação Europeia de reação ao fogo

Alguns produtos usados na construção podem ser adequados a uma ou mais aplicações finais (por exemplo: revestimentos de paredes, tetos ou pisos). A utilização final do produto e as suas características influenciam a contribuição que o mesmo poderá ter na deflagração ou propagação de um incêndio. Desta forma a classificação de reação ao fogo de um produto pode ser diferente de acordo com a aplicação. [26]

O sistema europeu de classificação dos produtos de construção, no que respeita ao desempenho e eficácia em matéria de reação ao fogo foi objeto de decisão da Comissão Europeia de acordo com a Diretiva 2000/147/CE de 8 de Fevereiro publicada no Jornal Oficial das Comunidades Europeias (JOCE), tendo sido alterada pela decisão de 26 de Agosto, Diretiva 2003/632/CE. [26, 27]

A reação ao fogo é medida através de testes *standardizados* que pretendem avaliar a reação dos materiais no que se refere a libertação de calor, propagação das chamas, produção de fumo, gases tóxicos e taxa de produção de partículas / gotículas inflamáveis. [28]

Atualmente o sistema de classificação da reação ao fogo dos materiais apoia-se sobre ensaios concebidos e desenvolvidos para a harmonização europeia.

De acordo com este sistema os produtos de construção estão divididos em duas grandes famílias: os revestimentos de pavimentos e os outros produtos.

Para as duas famílias existem três níveis de solicitação desde a formação de uma pequena chama até a fase de deflagração generalizada, e sete classes de classificação (A1, A2, B, C, D, E e F) denominadas Euroclasses, conforme Figura 3: [26]

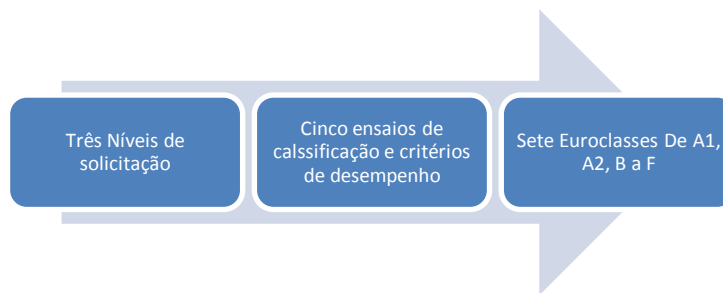


Figura 3: Sistema Euroclasses

Fonte: [26]

A classificação em Euroclasses tem dois extremos: as Classes A1 e A2, pouco ou muito pouco combustíveis até aos produtos combustíveis, que contribuem grandemente para a deflagração generalizada, as Classes E e F (não classificado ou reprovado no teste menos severo). No meio ficam as classes B, C e D, que contribuem de forma limitada para a deflagração generalizada. Os níveis de solicitação térmica vão desde o “Ataque pela pequena chama” até ao “Fogo plenamente desenvolvido na peça”.

A Tabela 1 apresenta a classificação em Euroclasses para produtos de construção exceto pavimentos, tendo em conta a produção de fumos e de gotículas:

Tabela 1: Classificação em Euroclasses

Cenário	Classe	Libertação de fumos	Gotejamento	Performance	Produtos
Fogo plenamente desenvolvido num espaço	A1	---	---	Não contribui para o fogo	Lã de vidro, lã de rocha, cimento, vidro, tijolo, materiais metálicos
	A2	s1	d0	Não contribui para o fogo	Materiais similares aos da classe A1, incluindo pequenas quantidades de compostos orgânicos
		s1	d1		
		s2	d0		
		s3	d1		

Cenário	Classe	Libertação de fumos	Gotejamento	Performance	Produtos
Solicitação por um objeto em fogo ou fogo plenamente desenvolvido num espaço vizinho	B	s1	d0	Contribuição muito limitada para o fogo	Placas de gesso com diferentes acabamentos de superfície
		s2	d1		
		s3	---		
	C	s1	d0	Contribuição limitada para o fogo	Placas de gesso com diferentes acabamentos de superfície mais espessas que as da classe B, espumas fenólicas
		s2	d1		
		s3	---		
D	s2	d1	Contribuição significativa para o fogo	Produtos de madeira com espessura inferior a 10 mm e densidade superior a 400 kg/m ³ dependendo do uso	
	s3	---			
Ataque pela pequena chama	E	---	---	Contribuição significativa para o fogo	Placas de fibras de baixa densidade; materiais de isolamento plásticos
	F	---	---	Nenhuma exigência de desempenho	Materiais não testados

Fonte: Adaptado de [26, 28]

Relativamente ao gotejamento a Euroclasse E pode também aparecer sem indicação (de acordo com a tabela) ou com a indicação d2.

A libertação de fumos é classificada em s1 a s3, de acordo com a quantidade de fumo libertada, conforme Tabela 2:

Tabela 2: Classificação da libertação de fumos

	s1	s2	s3
Libertação de fumos	Liberta pouco ou nenhum fumo	Liberta bastante fumo	Libertação substancial de fumo

Fonte: Adaptado de [28]

A libertação de gotas ou gotejamento é classificada em d0 a d2, de acordo com a quantidade, conforme Tabela 3:

Tabela 3: Classificação do gotejamento

	d0	d1	d2
Gotejamento	Não goteja num período de 10 min	Liberta algumas gotículas num período inferior a 10s	Gotejamento substancial

Fonte: Adaptado de [28]

2.3 Soluções para Isolamento térmico de edifícios

De acordo com a URSA Insulation (2009) na União Europeia (UE), a maior parte do consumo total de energia advém dos edifícios verificando-se que 64% é gasto em aquecimento e arrefecimento do mesmo. Assim estes oferecem grande potencial de redução do consumo de energia.

Segundo Nunes J. (2008, P. 9), “O adequado isolamento térmico dos edifícios é um dos principais meios para minimizar as perdas de energia e aumentar o conforto no interior dos espaços climatizados”. [29]

Também a URSA Insulation (2009), refere que o isolamento é um dos métodos para a redução do consumo de energia e de emissão de gases, sendo uma das principais alternativas para a melhoria da eficiência energética na construção, com uma boa relação custo-benefício.

Assim a utilização de materiais isolantes na construção civil é essencial tanto para corresponder aos padrões de qualidade exigidos pelos utilizadores, como para corresponder às normas atualmente em vigor. [15, 19, 30]

No domínio dos materiais de construção os últimos 20 anos têm sido marcados predominantemente pelo desenvolvimento de materiais e técnicas de isolamento térmico mais eficientes. [15]

Jelle B. 2011 defende que as propriedades essenciais dos materiais para isolamento térmico são a condutibilidade térmica, a resistência mecânica, proteção ao fogo, as emissões de fumo e gases tóxicos durante um incêndio, a robustez, a vulnerabilidade à perfuração, adaptabilidade e capacidade de corte no local onde decorre a obra de construção civil, a durabilidade ao envelhecimento provocado pelo clima, a resistência a ciclos de gelo-degelo, resistência à água, os custos e o impacto ambiental. [14]

De acordo com Rosado K. et al. 2011, ao selecionar um material de isolamento para uma aplicação deve sempre considerar-se a condutibilidade térmica. [19]

Segundo o ITE 50 (2006, pág.3) convencionalmente são considerados isolantes térmicos, materiais que apresentem uma condutibilidade térmica $\leq 0.065 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ e uma Resistência térmica superior a $0,030 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$. [51] Barros H. (2009, p.45) também defende que são considerados bons isolantes os materiais que possuem $\lambda \leq 0.065 \text{ W/m} \cdot \text{K}$.

Existem, no mercado, variadíssimos materiais para isolamento térmico, que podem ser classificados de diferentes formas, dependendo da sua natureza, origem química, constituição e apresentação. [19, 30]

De acordo com Santos e Paiva (1990), Santos (1994) e Lopes (1994) (cit, em Mendes P. (2012) p.45) os isolantes térmicos subdividem-se em isolantes vegetais, isolantes sintéticos, isolantes minerais e Isolantes mistos, conforme Figura 4:

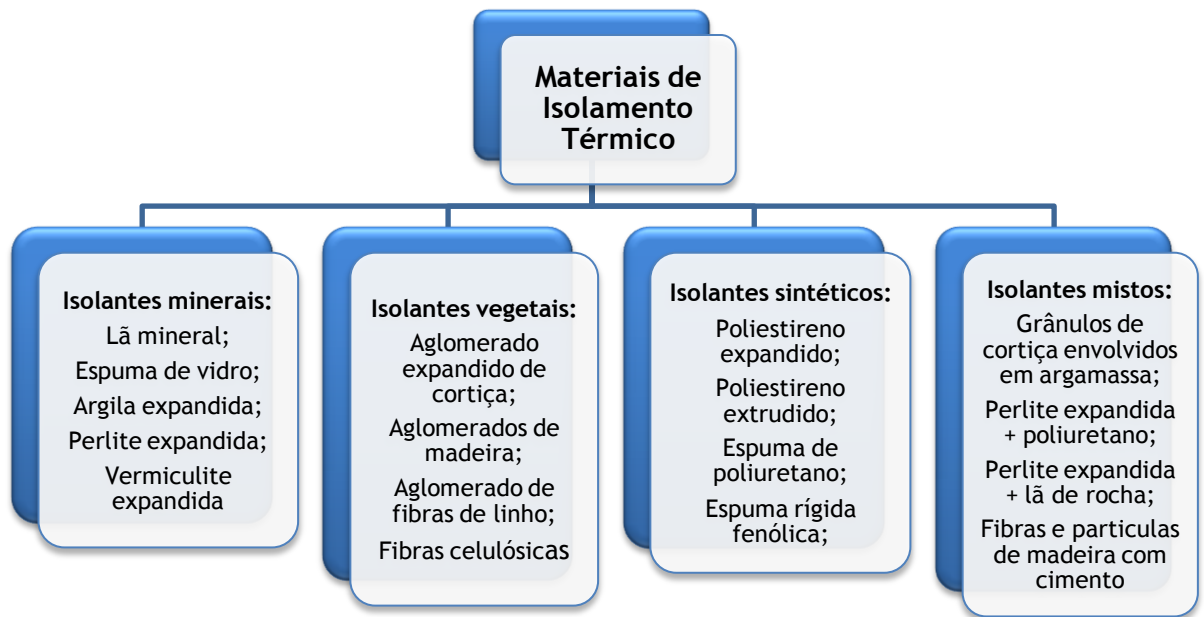


Figura 4: Classificação de materiais de isolamento térmico

Fonte: Adaptado de [15]

Mais recentemente Agham Rahul D. (2012), classificou os materiais de isolamento térmico de acordo com a Figura 5 abaixo.

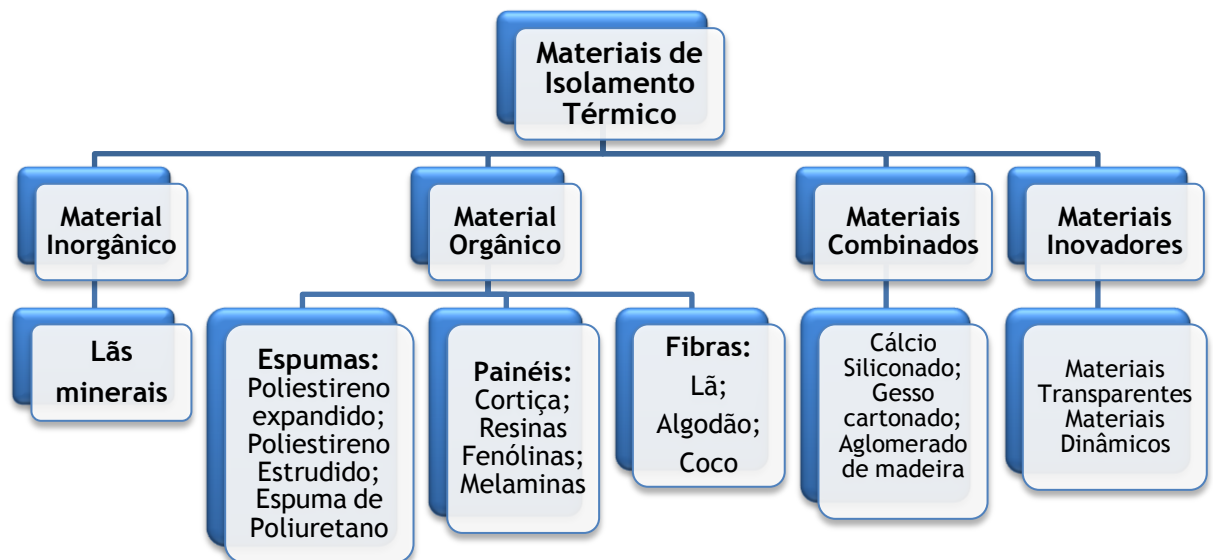


Figura 5: Classificação de materiais de isolamento térmico

Fonte: Adaptado de [31]

Os materiais para isolamento térmico podem ser aplicados em diferentes locais dos edifícios/ construções, como telhados, chãos, paredes, entre outros, de acordo com a Figura 6:

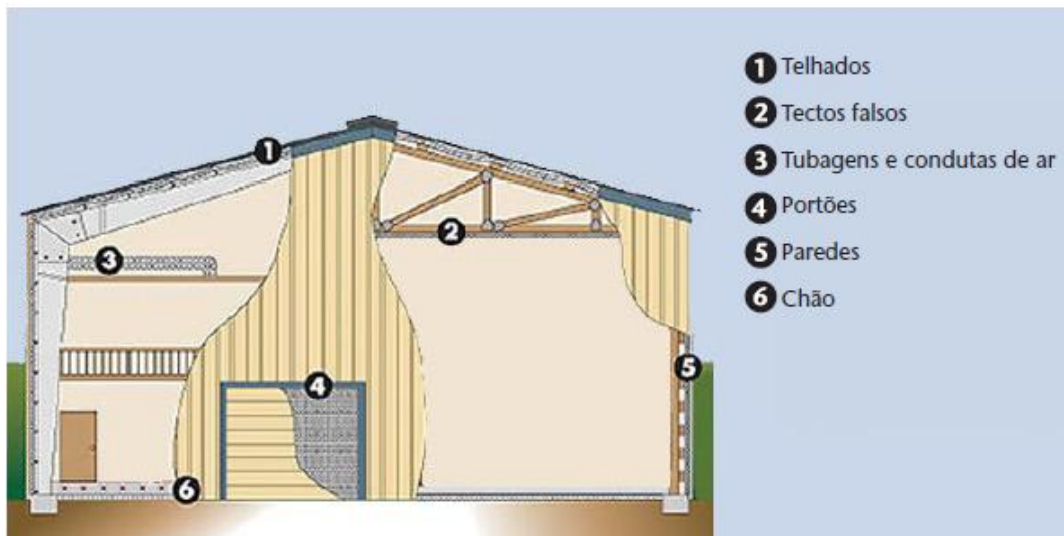


Figura 6: Locais de aplicação de isolamentos térmicos

Fonte: www.radiantbarrier.com [28, 29]

No âmbito desta dissertação são alvo de análise diferentes materiais de isolamento térmico, que foram agrupados em materiais de base têxtil aplicados ao isolamento térmico de edifícios, materiais de isolamento térmico tradicionais e materiais não convencionais.

2.3.1 Materiais de base têxtil aplicados ao isolamento térmico de edifícios

A investigação, no que respeita aos materiais de isolamento térmico, tem vindo a centrar-se em materiais alternativos. Segundo Rosado *et al.*, a procura de materiais de alto desempenho para enfrentar os novos desafios do setor de construção, nomeadamente no que se refere à sustentabilidade e ecologia, levou à investigação de materiais fibrosos e à perceção do seu alto potencial de desempenho na construção civil. [19, 31]

As propriedades dos materiais fibrosos incluem porosidade, capacidade de incorporar elevado volume de ar, resistência mecânica, baixa densidade, hidrofobicidade, leveza, resistência aos fungos e ao apodrecimento. Para além disso, os materiais inorgânicos fibrosos apresentam resistência a altas temperaturas o que está diretamente relacionada com a proteção ao fogo. Estes materiais possuem valores baixos de condutibilidade, inferiores a $0.04W/m.K$. [19, 31]

Outra vantagem de utilizar materiais fibrosos é que estes podem adotar diferentes formas (mantas, painéis rígidos, flocos, espumas e outros) satisfazendo diversas necessidades. [31]

O facto de serem matérias-primas recicláveis, renováveis e terem técnicas de produção com baixos recursos, contribui para a sustentabilidade da construção.

Entre os materiais fibrosos utilizados como isolamento térmico de edifícios distinguem-se as mantas de fibras inorgânicas de origem mineral (lã de vidro e lã de rocha) e os materiais orgânicos de origem natural. [19, 31]

Atualmente existem vários estudos sobre a utilização de materiais orgânicos têxteis no isolamento térmico de edifícios aplicados entre paredes. Fibras como coco, algodão, lã, têm vindo a ser exploradas, com algum sucesso. Também as fibras liberianas como o linho, cânhamo e a juta têm vindo a ser estudadas como materiais de isolamento térmico. [19, 31]

Os materiais inorgânicos são tradicionalmente usados no isolamento térmico de edifícios pelo que serão alvo de análise no ponto 2.3.2, deste capítulo.

Celulose:

A celulose compreende materiais para isolamento térmico produzidos a partir de papel reciclado, nomeadamente papel de jornal ou polpa de fibra de madeira, sendo utilizado em diversos países. [14, 15]

De acordo com Rocha (2000) (cit. em Mendes P., 2012, p.52) a celulose é um composto orgânico, complexo, constituído por carbono, oxigênio e hidrogénio. As suas fibras apresentam uma estrutura que incha quando impregnada com água, formando uma polpa flutuante, que quando separada e espremida, as fibras auto aderem criando o seu próprio aglutinador. [15]

O processo de produção baseia-se na trituração do papel, transformando-o em partículas fibrosas mais pequenas. O produto final tem uma consistência semelhante à de materiais produzidos com lã. Para melhorar as propriedades do produto são adicionados retardantes de chama, sob a forma de pó e produtos de proteção ao mofo, insetos e roedores. [14, 15, 31],

Os isolamentos de celulose são utilizados como material de enchimento de cavidades e espaços, mas também existem sob a forma de mantos e placas de celulose, que podem ser perfurados, cortados e ajustados na obra, sem qualquer perda de resistência térmica. [14]

Os seus valores de condutibilidade térmica típicos são 0,040 a 0,050 W/m.K, no entanto esta varia com a temperatura, humidade e densidade. [14]

O produto Isofloc (de origem alemã) é líder europeu em isolamentos de celulose, tanto do ponto de vista térmico, como acústico. O Isofloc é produzido a partir de papel de jornal triturado (92%) ao qual são adicionados 8% de aditivos (hidróxido de alumínio), obtendo-se um produto com elevadas características isolantes termo acústicas, ecológico partindo de um material reciclado. Além destas características este produto tem a capacidade de absorver e regular a humidade no interior da habitação, mantendo um ambiente agradável. A sua condutibilidade térmica é 0,0307 W/m.K. (10°C a 23°C / 50% de humidade do ar). [32]

Este produto pode ser utilizado tanto em novas construções, como em reabilitações de edifícios, podendo ser projetado, injetado ou insuflado (o que permite a adaptação às formas dos espaços vedando todos os orifícios, fendas ou pontos de descontinuidade proporcionando um bom isolamento). Pode ser aplicado em paredes exteriores e interiores, nomeadamente paredes de gesso cartonado, pavimentos, isolamento de coberturas e telhados. Este produto é utilizado tanto no isolamento térmico de edifícios como no isolamento acústico de restaurantes, salas de cinema estúdios de gravação e outros locais onde é necessário haver atenuação do ruído. [15, 32, 33]

Casca de coco:

A casca de coco é um material proveniente de resíduos de coco seco, estando disponível em grandes quantidades. Na Figura 7 apresentam-se as fibras de coco: [31]



Figura 7: Fibra de coco

Fonte: [31]

Segundo Satta P. e Fotios S. (Cit. em Agham Rahul D., 2012) a casca do coco é composta por 30% de fibra e 70% de medula, sendo ambas extremamente ricas em lenhina e compostos fenólicos. A lenhina pode ser usada como resina intrínseca na produção de placas, não necessitando de aglutinador. [31, 34]

Mendonça (2005) (Cit. em Mendes P. 2012, p.50) menciona que as fibras de coco pertencem à família das fibras duras, tendo como principais componentes a celulose e o lenho que lhe conferem elevados índices de rigidez e dureza, podendo ser utilizada como isolamento térmico e acústico, considerando-se um produto com elevada eficácia quando agregado a um aglomerado de cortiça expandido.

Labrincha (2006, p.31) (Cit. em Mendes P. 2012, p.50) refere que as principais vantagens deste produto são a resistência, durabilidade e resiliência, rigidez e dureza; é ecológico e facilmente reciclável; reduz os níveis sonoros. Por outro lado requer cuidados especiais aquando da colocação, devido à rigidez e dureza é difícil cortar, causando forte desgaste nas lâminas de corte e brocas convencionais e é combustível.

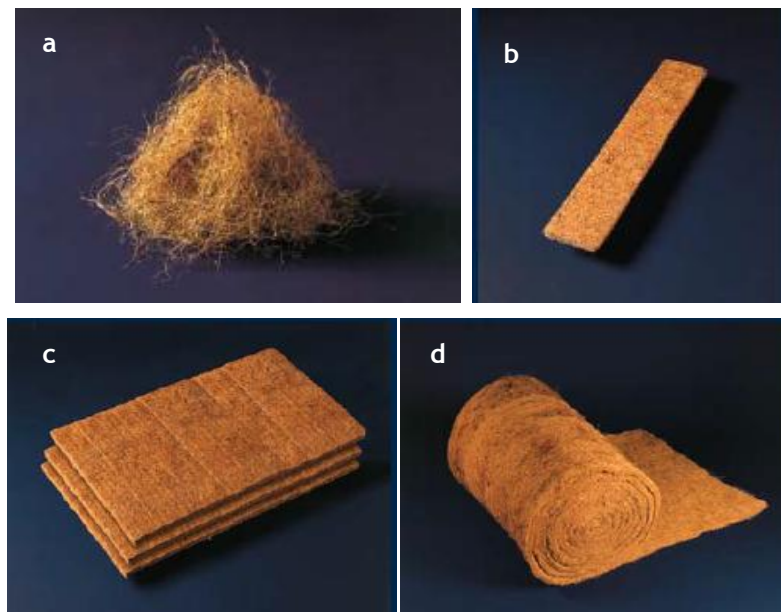
Segundo Samagaio (2006 p. 28) (Cit. em Mendes P. 2012, p.50), a fibra de coco “é um recurso natural e sustentável, é resistente à humidade; pode ser manuseado sem perigo para a saúde, tem um tempo de vida grande; é ambientalmente seguro e biodegradável.”

Satta P. e Fotios S. (2011) estudaram o desenvolvimento de placas de isolamento térmico com base em fibras de coco sem utilização de glúten. As fibras utilizadas foram cortadas com tamanhos entre 8 a 10 mm. A proporção da fibra e medula de casca de coco para a produção das placas de isolamento foi de 80:20, em peso. [34]

Dos estudos realizados verificou-se que as propriedades mecânicas destas placas melhoram com o aumento da densidade, tempo e temperatura de prensagem. Quanto à condutibilidade térmica os valores são próximos dos materiais convencionais 0,046-0,068 W/m.K (massa volumétrica de 250-350 kg/m³). Durante o estudo verificou-se que as placas incham com a água, o que pode condicionar a sua utilização. [31, 34]

Antes da introdução destas placas no mercado será necessário resolver problemas como resistência ao crescimento de fungos, proteção contra insetos, controle de humidade e absorção de água (uma solução possível é envolver a placa de isolamento em materiais impermeáveis). A Análise do Ciclo de Vida deste produto é essencial de forma a conhecer os impactos ambientais e na saúde, sendo se prevê que sejam mais amigas do ambiente do que os materiais convencionais, uma vez são feitas a partir de materiais naturais e sem utilização de aglutinantes químicos. [31, 34]

No que se refere a produtos comerciais a Amorim Isolamentos possui soluções para isolamento térmico e acústico em fibra de coco que define como “sendo altamente eficaz”. A gama de produtos é diversa existindo ainda soluções compósitas com cortiça designadas Corkoco, como se pode verificar na Figura 8: (a) fibra de coco, (b) tiras, (c) placas, (d) rolos, (e) Corkoco 1+1 e (f) Corkoco 2a+1. Estes produtos existem em diferentes espessuras e dimensões. [35]



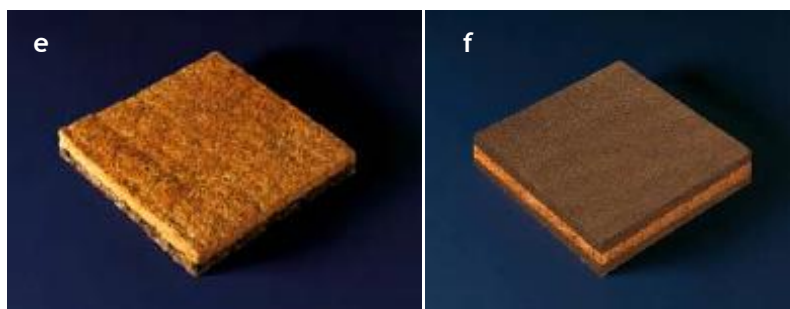


Figura 8: Produtos de isolamento em fibra de coco

Fonte: [35]

As soluções Corkoco possuem excelentes performances não só do ponto de vista do isolamento térmico, mas também acústico, permitindo reduzir os níveis sonoros.

Este material produzido à base de coco e aglomerado de cortiça expandida beneficia do comportamento da cortiça em termos de estabilidade dimensional e elasticidade, sendo uma solução técnica que pode ter diferentes aplicações, como tetos, paredes e pavimentos. [35]

Lã de ovelha:

De acordo com Zacha J. *et al* (2012), a lã de ovelha é um material renovável, reciclável e amigo do ambiente. É constituída em média por 60% de fibras proteicas, 15% de humidade, 10% de gordura, 10% de suarda e 5% de impurezas. [10, 31]

Zacha J. *et al* investigaram a sua capacidade de isolamento térmico. Para isso, a lã em cru foi lavada com sabão e água, para remover a gordura até um teor máximo de 1%. As amostras de teste foram preparadas colocando camadas de lã cardada de forma perpendicular até formar um manto com espessuras entre 40 a 80 mm sem a utilização de aglutinadores. Os mantos foram presos mecanicamente a um material de reforço para os fortalecer. A Figura 9 apresenta a aplicação de um manto de lã de ovelha na construção de edifícios:



Figura 9: Manto em lã de ovelha aplicado na construção de edifícios

Fonte: [10, 31]

Os mantos produzidos foram submetidos a vários testes, nomeadamente de isolamento térmico e acústico, concluindo-se que devido às suas propriedades naturais, a lã de ovelha é um excelente material de isolamento térmico, com características comparáveis às das lãs minerais (a condutibilidade térmica durante o estudo variou entre 0.034 e 0.050 W/m.K, em função da massa volúmica e espessura do material e da temperatura da envolvente). Verificou-se ainda que se trata de um excelente material de isolamento acústico, com vantagens como o desempenho ambiental, facilidade de uso, baixo impacto negativo na saúde durante a sua manipulação e a sua produção é energeticamente eficiente. [10, 31]

A lã de ovelha é caracterizada principalmente por uma alta capacidade de absorver a humidade, que chega até 35%, o que evita a condensação, regula a humidade e cria uma atmosfera interior agradável. [10]

No que se refere a produtos comerciais, existe o Isowool da Ibérica Feltros Industriais Lda. De acordo com o Diário de Notícias (2009) o Isowool é uma manta em lã para isolamento térmico e acústico. Para a produção dos mantos a lã é lavada e branqueada e são adicionados produtos de acabamento com propriedades anti fogo e anti traça. Os mantos podem ser produzidos a partir de lã virgem ou reciclada com espessuras que vão dos 10 aos 40mm. Possuem uma excelente condutibilidade térmica, 0,021 W/m.k e têm a vantagem de serem amigos do ambiente e 100% recicláveis. [36, 37]

A ficha técnica do Isowool encontra-se em anexo (anexo I).

Fibras liberianas

As fibras liberianas como o linho e o cânhamo são utilizados como matérias-primas para isolamentos térmicos desde há muitos anos. Trata-se de plantas de fibra lenhosa anuais. [38]

A estopa de linho e de cânhamo tem sido tradicionalmente usado em faixas de isolamento entre madeiras, mas durante a última década vários tipos de enchimentos de fibra solta e mantos de diferentes espessuras foram desenvolvidos e são atualmente produtos comerciais utilizados para o isolamento de casas modernas. A estrutura porosa das fibras liberianas torna-as adequados para utilização em isolamentos térmicos, uma vez que permite aprisionar grandes quantidades de ar. [38]

A condutibilidade térmica dos materiais de isolamento produzidos com estas fibras aproxima-se da dos isolamentos convencionais, variando entre 0,038 a 0,075 W/m.K para mantos de fibra de linho, 0,040 a 0,082 W/m.k para mantos de cânhamo macerado e 0,033 a 0,060 W/m.K para mantos de linho e cânhamo. Estes valores variam com a espessura e tipologia do material (manto ou fibra solta) e também com o estado da fibra.

De acordo com Kymalainen H. (2007) (cit. em Hanna-Riitta, 2008) um dos problemas destas fibras é a baixa resistência ao fogo havendo estudos realizados em que se verificou a necessidade de se utilizar compostos de ácido bórico para evitar a fusão das fibras. Outra

questão importante é o risco de contaminações microbianas e eventuais problemas causados pela humidade.

Apesar das suas propriedades térmicas e características ecológicas, nomeadamente a biodegradabilidade, e do interesse crescente em materiais ecológicos e renováveis, os isolamentos térmicos à base de fibras liberianas têm pouca expressão no mercado, entre outras razões porque o seu preço é, aproximadamente, duas vezes superior ao da lã mineral. [38]

O Biofib Duo - Flax and Hemp Wool Insulation é um isolamento térmico comercial produzido a partir de fibras de linho e cânhamo da empresa GreenTec Eco Homes, especializada em construção passiva e eco - construção. A gama Biofib Duo combina as qualidades do cânhamo e linho, conferindo boa eficiência térmica e acústica. Outras características deste isolamento são ser natural, antialérgico e não produzir compostos orgânicos voláteis. É fácil de instalar, não sendo irritável para as mãos e os olhos. [39]

A mesma empresa tem um isolamento fabricado a partir de fibras de cânhamo em forma de placas, mas também em rolos tornando-o um substituto para o isolamento em fibra de vidro, pois como um produto natural, pode ser bem tolerado pela pele e não causa irritação. As suas principais características são alta resistência térmica, capacidade de absorver e liberar a humidade sem afetar o desempenho térmico, excelente proteção ao fogo, é leve e fácil de manusear, flexível e fácil de instalar. [39]

Resíduos Têxteis:

Briga-Sá, A. *et al* (2012) realizaram um estudo que visa analisar o potencial de aplicação de resíduos têxteis como materiais de isolamento térmico para a construção civil. [31, 40]

Neste âmbito foram estudados dois tipos de resíduos têxteis, resíduos de tecidos (a) (WFW - Woven Fabric Waste) e resíduos dos resíduos de tecido (b), denominados sub-resíduos (WFS - Woven Fabric Sub Waste), conforme Figura 10. Ambos os materiais utilizados são tecidos e fios retirados de tecidos 100% acrílico. [31, 40],

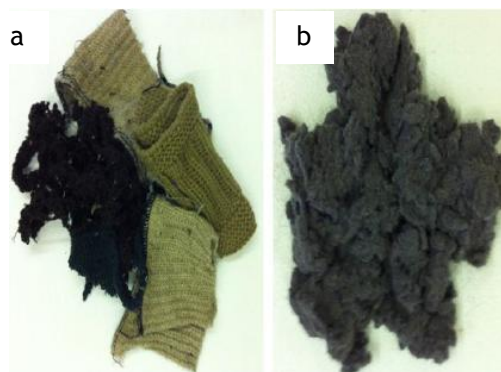


Figura 10: Tipos de desperdício estudados: (a) WFW (Woven fabric waste) Desperdício de tecidos; (b) WFS (Woven fabric sub-waste) Sub- desperdício de tecidos

Fonte: [31, 40]

O estudo foi desenvolvido utilizando uma parede dupla externa com a caixa-de-ar preenchida com estes dois tipos de resíduos, de acordo com a Figura 11:

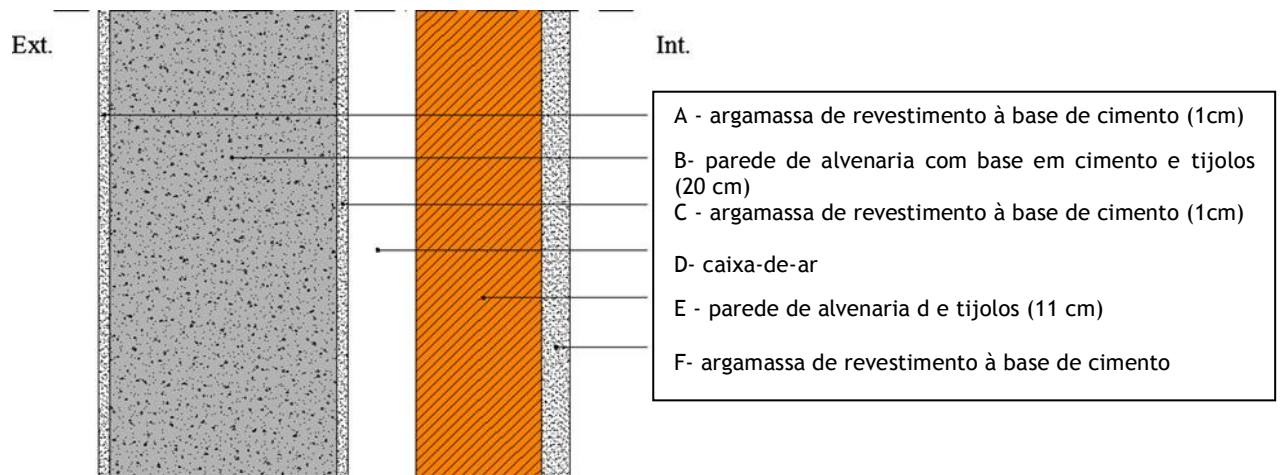


Figura 11: Modelo de parede externa dupla de alvenaria

Fonte: [40]

Dois medidores de fluxo de calor e quatro sensores de temperatura de superfície foram colocadas sobre a superfície da parede para determinar a condutibilidade térmica dos resíduos. Os resultados obtidos mostram que usando os WFW e os WFS, o comportamento térmico foi melhorado em 56% e 30%, respetivamente, verificando-se que os resíduos de WFW apresentam melhores resultados do que os de WFS. [31, 40]

O WFW apresenta uma condutibilidade térmica de 0,044 W/mk, similar à do poliestireno expandido (EPS), do poliestireno extrudado (XPS) e da lã mineral, enquanto o WFS apresenta uma condutibilidade térmica de cerca de 0,103 W/mk, aproximadamente igual ao valor dos grânulos de argila, vermiculita ou perlita expandida. O estudo permitiu concluir que a utilização de resíduos têxteis como material de isolamento térmico é viável e tem vantagens ambientais, sustentáveis e económicas. [31, 40]

Apesar dos resultados obtidos, para desenvolver um produto comercial é necessário estudar aspetos como a resistência à compressão, à água, ao vapor de água, o comportamento do fogo e isolamento acústico. Relativamente à forma de apresentação do produto prevê-se a produção de um acolchoado à base de retalhos destes resíduos, mas também neste campo é necessária investigação que valide os resultados obtidos. [40]

Fibra de caules de algodão:

Segundo um estudo de Zhou X. *et al*, (2010) (Cit. em Agham Rahul D. - 2012) foram produzidos mantos de fibras, sob a forma de placa, a partir de caules de algodão sem adição de aglutinantes por prensagem a quente com alta frequência. [31]

No que se refere à capacidade de isolamento térmico, placas com uma massa volúmica de 150-450 kg/m³ obtiveram valores de condutibilidade térmica entre 0,0585 a 0,0815 W/m.K, próximos dos valores da perlite expandida e da vermiculite com a mesma massa volúmica, mas longe das lãs minerais, poliestireno expandido e extrudido. Uma vantagem destes materiais é serem naturais e renováveis. [31]

Não-tecidos de Poliéster:

Existem no mercado mantas de não-tecido de poliéster para isolamento térmico de edifícios. Uma das marcas comerciais é da PEG, com o produto Ecopeg 39. Trata-se de um produto em poliéster em que 65% das fibras de poliéster provêm de garrafas PET recicladas. A sua massa volúmica é 17.50 kg/m³ e a condutibilidade térmica 0.038 W/mK. Relativamente à resistência térmica e reação ao fogo os valores típicos deste material são os indicados na Tabela 4:

Tabela 4: Características técnicas do isolamento Ecopeg 39

Espessura	Resistência térmica	Reação ao fogo
100 mm	R= 2.63 m ² .K/W	C - s2
50 mm	R= 1.32 m ² K/W	B - s2

Este isolamento pode ser utilizado nos vários locais da casa, possui elevada tenacidade, é hidrofóbico e resistente ao envelhecimento, é fácil de colocar, não causa irritação, nem alergias e é não-tóxico (não liberta gases tóxicos). Possui certificado Oekotex. [41, 42]
A Ficha técnica do Ecopeg encontra-se em anexo (Anexo I).

Outra marca de materiais de isolamento térmico produzido com poliéster é a Isotherm Thermal insulation da Brits Non-woven. Este material foi concebido para aplicação entre paredes (paredes ocas ou em paredes produzidas com armações de aço, paredes de madeira e paredes interiores secas). O Isotherm é vendido em rolos com 70 cm ou 120 cm. [43, 44]

2.3.2 Materiais convencionais para isolamento térmico de edifícios

Existem vários trabalhos que documentam os materiais de isolamento térmico tradicionais utilizados atualmente na construção de edifícios. As propriedades essenciais para esta aplicação são as já referenciadas anteriormente ao longo deste capítulo.

A lã mineral

A expressão lã mineral refere-se tanto à lã de vidro como à lã de rocha. Estas são produzidas a partir de recursos naturais renováveis e abundantes - areia e rochas basálticas.

São normalmente produzidas sob a forma de rolos (mantas) e placas. [14, 31]

A lã de vidro é produzida a partir de sílica a uma temperatura de cerca de 1400 ° C. [14, 31]

As principais características da lã de vidro são a leveza, facilidade de manusear e de cortar, é incombustível, evita a propagação das chamas e o risco de incêndio, reduz o consumo de energia, não favorece a proliferação de fungos ou bactérias, não deteriora nem apodrece, não é atacada por roedores, o desempenho não altera quando exposto à maresia, a capacidade de isolamento não diminui com o tempo, é um bom isolamento acústico e é um material não cancerígeno. No entanto a sua produção está associada à geração de partículas para a atmosfera e à emissão de gases tipo NO_x, SO₂ e CO₂ e implica gastos significativos de água e energia. [45, 46]

Lã de rocha é produzida a partir de fusão de rochas basálticas, calcário e outros minerais (diábase, dolerito) a cerca de 1300° a 1500 ° C. [14, 31]

As suas principais características são incombustibilidade e resistente ao fogo, segurança, boa relação custo/benefício, baixa condutibilidade térmica, boa absorção acústica, facilidade de manuseio, boa resiliência, é resistente a vibrações, não higroscópica, imputrescível e quimicamente neutra. [47]

Os valores típicos de condutibilidade térmica para as lãs minerais encontram-se entre 0,030 e os 0,040 W/m.K, sendo que a condutibilidade térmica de lã mineral varia com a temperatura, teor de humidade e massa volúmica. Estes produtos podem ser perfurados, cortados e ajustados no local da obra, sem haver qualquer perda de resistência térmica. [14]

A Termolan é uma empresa nacional que produz e comercializa isolamentos em lã de rocha, sob a marca RocTerm. Uma das suas principais referências é o painel rígido PN70 constituído por fibras de lã de rocha aglutinadas com resina sintética termo endurecida e sem revestimento. Este produto tem múltiplas aplicações, como isolamento térmico e acústico para todo o tipo de soluções de maior exigência. Em anexo apresenta-se a ficha técnica. [48]

Poliestireno expandido

O poliestireno expandido, EPS também chamado esferovite, é produzido a partir de pequenas esferas de poliestireno expandidas cujo interior é preenchido pelo ar circundante. As esferas expandidas são ligadas umas às outras nas suas áreas de contacto. [14, 15]

O material de isolamento é fundido em forma de placas ou de forma contínua na linha de produção. [14]

O EPS tem uma estrutura porosa, constituída por 2% de matriz celular e 98% de ar que dificulta a passagem do calor, conferindo-lhe um grande poder isolante. [15]

Os seus valores de condutibilidade térmica típicos encontram-se entre 0,030 e 0,040 W/m.K, variando com a temperatura, teor de humidade e massa volúmica. [14, 31]

O EPS é geralmente branco, mas atualmente existem EPSs cinzentos, por adição de grafite, a qual aumenta substancialmente a capacidade de isolamento do EPS. [31]

Este material apresenta outras características importantes, como ser não tóxico e inerte, não contém CFCs (clorofluorcarbonos), nem HCFCs (hidrofluorcarbonos), em nenhuma fase do seu ciclo de vida. Além disso possui elevada resistência à compressão, elevada absorção de impactos, elevada resistência mecânica, baixo peso, impermeabilidade à humidade, boa resistência ao envelhecimento, é reciclável, no entanto é facilmente inflamável e tem má prestação como isolamento acústico. Os produtos de EPS podem ser perfurados, e podem ser cortados e ajustados na obra, sem qualquer perda de resistência térmica. [14, 31]

Estes produtos podem ser aplicados em vários locais dos edifícios conforme Figura 12:

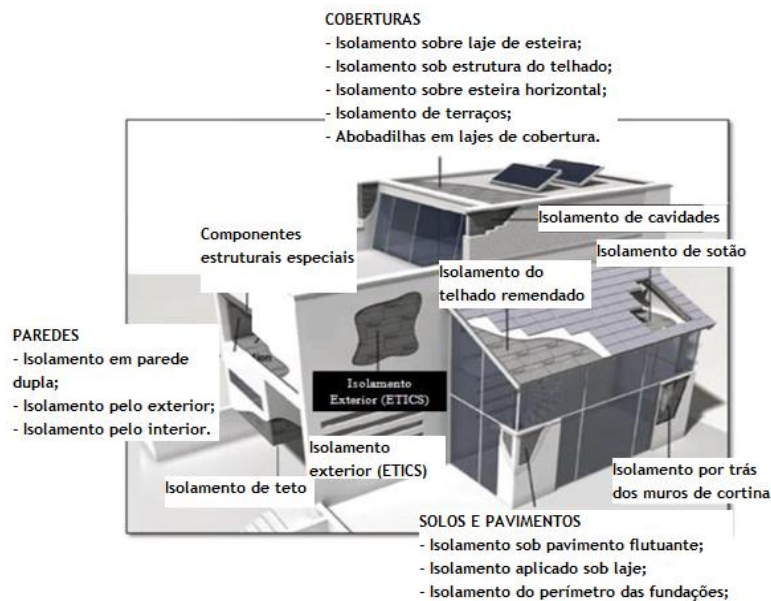


Figura 12: Poliestireno expandido

Fonte: Adaptado de [15]

Poliestireno extrudido (XPS)

Poliestireno extrudido (XPS) é um produto sintético produzido a partir de poliestireno fundido que é extrudido, sendo que o poliestireno passa de um estado sólido a um estado viscoso, depois arrefece e volta ao estado sólido, formando uma estrutura rígida e uniforme de pequenas células fechadas que se apresenta sob a forma de mantos contínuos que são cortados em placas depois do arrefecimento. [14, 49]

Os valores típicos de condutibilidade térmica para XPS estão entre 0,030 e 0,040 W/m.K, podendo variar com a temperatura, teor de humidade e massa volúmica. As placas de XPS são resistentes à absorção de água e a sua capilaridade é nula. São resistentes à difusão do vapor de água e não são afetadas por ciclos repetidos de gelo-degelo, nem pelo bolor, nem por roedores ou insetos. Também não são afetados por chuva, neve ou gelo, mas devem ser protegidos da radiação solar direta. [14, 49]

São combustíveis e ardem rapidamente se expostos a fogo intenso, sofrendo alterações dimensionais irreversíveis quando expostos a altas temperaturas por longo período de tempo. No entanto podem ser adicionados ignífugos que contribuem para a resistência ao fogo, o que pode tornar o XPS um produto de Euroclasse E, auto-extinguível sem a presença de gotas o que evita a propagação de chamas em caso de incêndio. [15]

Tal como nos casos anteriores, os produtos de XPS podem ser perfurados, e podem ser cortados e ajustados na obra, sem qualquer perda de resistência térmica. Quando adequadamente aplicadas, a vida útil destas placas é estimada num período de tempo igual ao da vida útil do edifício ou construção em que se inserem. [14]

Os locais de aplicação do XPS são diversos (ver Figura 13), nomeadamente coberturas, fachadas e pavimentos. [14, 49]

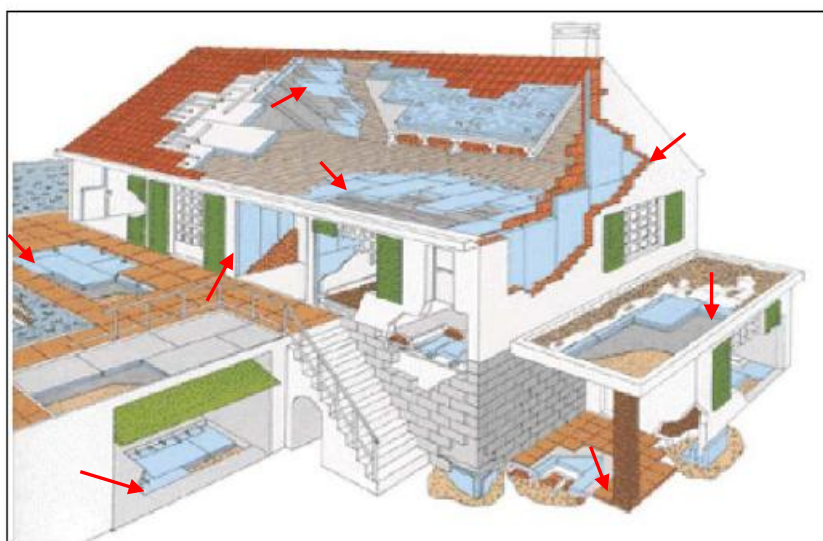


Figura 13: Aplicação do Poliestireno extrudado

Fonte: Adaptado de [15]

Espuma de Poliuretano (PUR):

Os polímeros de poliuretano são geralmente obtido pela reação entre isocianatos e polióis. [14, 31]

De acordo com Mendonça (2005 p.58) (Cit. em Mendes P. 2012 p.59) as espumas rígidas de poliuretano são termo estáveis, pelo que não podem ser recicladas.

O poliuretano é submetido a um processo de expansão, em que os poros fechados são preenchidos com um gás dando origem à espuma. Este gás vai sendo substituído por ar, provocando o aumento progressivo da condutibilidade térmica, fenómeno conhecido por envelhecimento. Tem como vantagem não atrair insetos nem roedores e ser imputrescível. Aditivos como catalisadores, agentes tensoativos, reticulantes, retardadores de chama, estabilizadores de luz, podem ser utilizados para controlar e modificar o processo de reação e características de desempenho do polímero. [14, 15, 31]

A condutibilidade térmica varia entre 0,020 a 0,030 W/mK, o que é consideravelmente mais baixa do que a dos materiais à base de lã mineral, poliestireno e celulose. Mas também neste caso a condutibilidade térmica varia com a temperatura, humidade e massa volúmica. [14]

O material é produzido em placas ou em mantos, mas também pode ser utilizado como espuma de expansão para selagem das janelas e portas e para preencher cavidades. [14]

Os produtos de isolamento à base de poliuretano podem ser perfurados, e podem ser cortados e ajustados na obra, sem perda de resistência térmica. No entanto e, apesar da sua utilização ser segura, podem trazer riscos para a saúde em caso de um incêndio, uma vez que ao queimar libertam cianeto de hidrogénio e isocianatos, que são altamente tóxicos. [14]

Cortiça:

A cortiça é um material natural que provém dos sobreiros. Os isolamentos térmicos produzidos em cortiça podem ter a forma de enchimento ou placas, nomeadamente placas de aglomerado de cortiça, como se pode ver pela Figura 14. [14]

O aglomerado de cortiça expandida é obtido por aglutinação de grânulos compactados e ligados através da sua resina, sem adição de químicos, sob o efeito de pressão e temperatura. A cortiça é formada por um agregado de células de paredes quintupla, duas de natureza celulósica com cavidades celulares, duas suberificadas o que as torna completamente impermeáveis, conferindo-lhe características como leveza, elasticidade e impermeabilidade a gases e líquidos, tem também uma camada de lenhina que lhe confere rigidez. [50]



Figura 14: Aglomerado de cortiça

Fonte: [35]

Outras características são, massa volúmica, superior a 110/ 120 Kg/m³, a condutibilidade térmica na ordem dos 0,036 a 0,040W/m.°C, resistência mecânica, estabilidade dimensional, boa capacidade de isolamento térmico, acústico e antivibrático, ser inerte, não reagir com químicos. Possui ainda bom comportamento ao fogo, não libertando gases tóxicos. É também um produto natural, ecológico e reciclável. [35]

Este material pode ser perfurado e cortado e ajustado no local da obra sem perda da resistência térmica e tem durabilidade ilimitada sem perda de características. [14, 35]

O aglomerado de cortiça pode ser utilizado em vários locais de uma construção (Figura 15):



Figura 15: Aplicações da cortiça em edifícios

Fonte: [35]

Para além dos materiais para isolamento térmico convencionais descritos existem ainda outros materiais como grânulos de argila, vermiculita ou perlita expandida, mas que têm uma expressão menor como isolantes térmicos, entre outras razões porque a sua condutibilidade térmica se situa em valores superiores aos dos materiais relatados.

2.3.3 Materiais não convencionais para isolamento térmico de edifícios

Atualmente existem outros materiais de isolamento térmico não convencionais aplicados à construção de edifícios. Na sua maioria encontram-se ainda em fase de investigação, mas mostram-se promissores quanto à utilização uma vez que apresentam condutibilidades térmicas muito baixas quando comparadas com os materiais tradicionais. [14]

Painéis de isolamento a vácuo (VIP):

Consistem em núcleos porosos abertos, de sílica coloidal envolvidos por várias camadas de polímero metalizado laminado. Representam o estado da arte dos isolamentos térmicos atuais

com condutibilidades térmicas entre 0,003 e 0,004 W/m.K quando aplicados. A sua condutibilidade térmica aumenta, quer com o envelhecimento, quer por cortes na sua superfície, chegando aos 0.020 W/m.K, pelo que não pode ser cortado ou ajustado na obra.

Apesar das desvantagens representa um avanço no que respeita a materiais para isolamento térmico de edifícios, uma vez que na aplicação apresenta valores de condutibilidade térmica 5 a 10 vezes inferior aos de materiais correntes, sendo mais fino do que os convencionais. Possui um preço elevado. [14]

A investigação em torno dos VIPs deve prender-se com criar envolventes que previnam a entrada de ar e vapor de água no seu interior por períodos superiores a 50 ou 100 anos. [14]

Painéis preenchidos com gás (GFP):

Os GFPs são similares aos VIPs mas utilizam um gás com menor condutibilidade térmica que o ar (Argon, Kripton e Xenon) em vez de vácuo. A performance destes painéis depende de manter a concentração do gás dentro dos GFPs e evitar a penetração de ar e vapor de água no seu interior. A condutibilidade térmica dos protótipos de GFPs é na ordem dos 0.040 W/m.K, embora existirem cálculos teóricos que indicam valores inferiores. [14]

Os GFPs apresentam muitas das vantagens e desvantagens dos VIPs, mas o vácuo é um isolante térmico melhor que os gases utilizados nos GFPs, pelo que a utilização destes materiais pode ser questionada quando comparada com os VIPs. [14]

Aerogel:

O aerogel apresenta-se como uma das mais promissoras soluções para isolamento térmico, com maior potencial de utilização de entre todos os materiais. Utilizando carbono negro como forma de suprimir a transferência de radiação, podem atingir-se condutibilidades térmicas de 0.004 W/m.K, a pressões de 50 mbar. No entanto os materiais de isolamento à base de aerogel existentes comercialmente apresentam condutibilidades térmicas de 0.013 a 0.014 W/m.K, à pressão ambiente.

Uma desvantagem destes materiais são os elevados custos de produção. Por outro lado e apesar de ter uma boa resistência à compressão é muito frágil porque apresenta resistência à tração muito baixa, que poderá ser melhorada incorporando uma matriz de fibras de carbono. Um aspeto interessante do aerogel é que pode ser produzido sob a forma de material opaco, translucido ou transparente, possibilitando um sem número de aplicações na construção. [14]

PCMs:

Não sendo materiais específicos para a construção civil, são muito interessantes em aplicações para isolamento térmico. Normalmente são produzidos à base de sais inorgânicos hidratados, ceras de parafina, ácidos gordos, hidrocarbonetos de cadeia linear, entre outros.

Os PCM's podem repetidamente ser convertidos nas fases sólida ou líquida tirando partido do seu calor latente de fusão. Na passagem da fase sólida para a líquida dá-se uma reação endotérmica em que o PCM absorve calor, enquanto na mudança de fase de líquido para sólido dá-se uma reação exotérmica e consequente libertação de calor. [14, 50]

Este ciclo de reações permite estabilizar a temperatura no interior de um edifício. No entanto a grande variação de volume que se verifica durante as transições de fase, apresenta-se como uma limitação à aplicação destes materiais no isolamento térmico de edifícios. [14]

Para selecionar um PCM adequado para aplicação na construção é necessário ter em conta que a gama de temperatura de mudança de fase seja adequada às necessidades específicas de conforto e climatéricas assim como o PCM apresentar capacidade de absorver e libertar elevada quantidade de calor. [14]

Materiais de isolamento nano (NIM):

Pode descrever-se os NIM como materiais homogéneos similares aos VIP com estrutura constituída por nano poros abertos ou fechados com uma condutibilidade térmica global inferior a 0.004 W/m.K nas suas condições iniciais. A estrutura em grelha dos NIM não necessita de prevenir a entrada de ar ou vapor de água durante o seu tempo de vida útil.[14]

Material de isolamento dinâmico (DIM):

O DIM é um material conceptual, cuja condutibilidade térmica pode ser controlada dentro de uma determinada gama, através da capacidade de alterar de uma forma controlada: [14]

- O teor de gás ou a sua concentração dentro do poro, incluindo a passagem das moléculas de gás e a interação superficial do gás.
- A emissividade das superfícies interiores dos poros.
- A condutibilidade térmica do estado sólido da estrutura em rede/ grelha.

A capacidade de termo regulação dos DIM confere-lhes elevado potencial de aplicação. No entanto está ainda por demonstrar que podem ser produzidos DIM suficientemente robustos para aplicação. [14]

NanoCon:

O NanoCon é uma material conceptual que é homogéneo com nano poros abertos ou fechados com as propriedades estruturais, mecânicas e de construção do cimento, mas com

condutibilidade térmica global substancialmente menor (inferior a 0.004 W/m.K ou outro valor baixo a ser determinado), e com menor impacto ambiental no que se refere às emissões de CO₂. Os NanoCon podem ser previstos, tanto com a utilização do aço, como sem ele. O aço está sujeito a corrosão, constituindo atualmente um dos problemas na construção. Se os NanoCon poderem vir a ser aplicados sem necessidade de aço, será uma mais-valia com grande impacto na construção. [14]

2.3.4 Análise comparativa dos diversos materiais

A Tabela 5 apresenta os valores comparativos da Condutibilidade térmica de vários materiais de isolamento térmico de edifícios em função da sua Massa Volúmica. [14]

Tabela 5: Condutibilidade térmica e massa volúmica de materiais de isolamento térmico

Materiais	ITE 50 (LNEC, 2006)		Tese Hugo Barros		Agham Rahul D.(3)	
	Massa Volúmica (kg/m ³)	Condutibilidade Térmica (W/m.K)	Massa Volúmica (kg/m ³)	Condutibilidade Térmica (W/m.K)	Massa Volúmica (kg/m ³)	Condutibilidade Térmica (W/m.K)
Materiais de isolamento térmico tradicionais						
Lã de vidro	8-15	0.045	8-12	0.045	13	0.030
	15-100	0.040	12-80	0.040	100	0.045
Lã de Rocha	20-35	0.045	20-35	0.045	30	0.033
	35-100	0.040	35-180	0.040		
	100-180	0.042			180	0.045
Poliestireno expandido (EPS)	<11	0.055				
	11-13	0.045				
	13-15	0.042				
	15-20	0.040	15-35	0.040	20	0.025
	>20	0.037			80	0.035
Poliestireno extrudido (XPS)					18	0.029
	25-40	0.037	25-40	0.035		
					50	0.041

Materiais	ITE 50 (LNEC, 2006)		Tese Hugo Barros		Agham Rahul D.(3)	
	Massa Volúmica (kg/m ³)	Condutibilidade Térmica (W/m.K)	Massa Volúmica (kg/m ³)	Condutibilidade Térmica (W/m.K)	Massa Volúmica (kg/m ³)	Condutibilidade Térmica (W/m.K)
Espuma de Poliuretano (placas)	20-50	0.040	25-40	0.030		
Espuma de Poliuretano	20-50	0.042				
Poliuretano					30	0.020
					80	0.027
Aglomerado de cortiça expandida	90-140	0.045	100-150	0.045		
Cortiça						
Materiais têxteis de isolamento térmico						
Lã de Ovelha					20	0.050
					40	0.034
Linho					20	0.035
					100	0.045
Linho e Cânhamo					39	0.033
Celulose					30	0.041
					45	0.050

Materiais	ITE 50 (LNEC, 2006)		Tese Hugo Barros		Agham Rahul D.(3)	
	Massa Volúmica (kg/m ³)	Condutibilidade Térmica (W/m.K)	Massa Volúmica (kg/m ³)	Condutibilidade Térmica (W/m.K)	Massa Volúmica (kg/m ³)	Condutibilidade Térmica (W/m.K)
Celulose (papel reciclado)					30	0.041
Celulose (fibra)					30	0.050
Folhas de Junco					200	0.0438
Outros materiais						
Aerogel						0.003-0.010
Ar						0.026
Água						0.600
Não-tecido Poliéster					17.5	0.038

Fonte: adaptado de [12, 31, 41, 51]

A Tabela 6 apresenta uma síntese da aplicação dos materiais de isolamento térmico nos elementos da envolvente dos edifícios:

Tabela 6: Síntese da aplicação dos materiais de isolamento térmico na envolvente dos edifícios

Elementos da envolvente	Materiais de Isolamento Térmico de edifícios								
	EPS	XPS	Espuma rígida de Poliuretano	Lã mineral (placas)	Lã mineral (mantas)	Aglomerado negro de cortiça	Celulose (Isofloc)	Fibras de coco (Corkoco)	Não-tecido Pes (Ecopeg 39)
Paredes de fachada simples (Exterior)	x	x	x	x		x	x		x
Paredes de fachada simples (Interior) ¹	x		x	x			x	x	x
Paredes de fachada dupla	x	x	x	x	x	x	x		x
Pavimentos	x	x	x	x	x	x	x	x	
Coberturas	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Fonte: adaptado de [14, 15, 31]

¹ Não como revestimento de paredes, sempre por trás de um revestimento.

2.4 Materiais para revestimento de paredes

Há alguns anos atrás a referencia em materiais de decoração para revestimento de paredes estava aliada a dois materiais, a tinta ou o papel de parede. Embora este último seja associado à sensação de conforto, na realidade não produz efeito conhecido em termos de isolamento térmico.

A oferta no que se refere a materiais para revestimento de paredes com efeito decorativo evoluiu significativamente e existem atualmente diversos materiais para além do tradicional papel de parede. Entre estes materiais comerciais encontram-se, revestimentos em cortiça, vinil e revestimentos em materiais têxteis.

Cortiça

A Amorim Revestimentos, S.A. apresenta o produto Decorativo Rústico, que é uma solução em aglomerado de cortiça expandido com tratamento antipó para revestimento de paredes interiores de edifícios, conforme se pode verificar na Figura 16. [52]



Figura 16: Aplicação do Decorativo Rústico

Fonte: [52]

Entre as características deste produto é salientado o desempenho termo acústico (Condutibilidade térmica $0,043 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$), a resistência mecânica, a estabilidade dimensional, durabilidade e ser um produto natural. A ficha técnica encontra-se em anexo. [53]

Outro produto à base de cortiçada para revestimento de paredes interiores é o Wicanders® DekWall. Existe em diversos padrões, texturas e formas, combinando o *design*, com o conforto de cortiça. Este produto aplica-se por colagem sobre suporte do paramento devidamente decapado e limpo, ficando com um acabamento com aspeto de cortiça, de acordo com a Figura 17. [54]

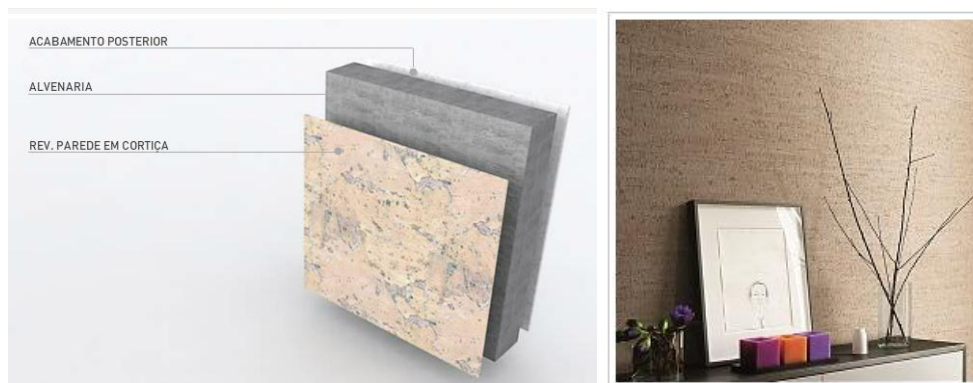


Figura 17: Aplicação do produto Wicanders® DekWall em paredes interiores

Fonte: [54]

Este revestimento foi desenvolvido com base na tecnologia Corktech, que combina a cortiça numa estrutura multicamada, conforme Figura 18: [54]



Figura 18: Tecnologia Corktech (estruturas multicamada)

Fonte: [54]

As principais características técnicas do produto são absorção e correção acústica, não é propício à proliferação de germes e fungos e é fácil de limpar. É um produto ecológico e natural. Dependendo do seu acabamento, pode pertencer à Euroclasse de resistência ao fogo ES2, d0 ou DS1, d0 e ter uma resistência térmica de 0.0583 ou 0.0572 m².K/W. O produto é vendido em placas com 600 x 300 x 3 mm.

A ficha técnica do produto encontra-se em anexo. [54, 55]

Papel de Jornal:

Lori Weitzner designer e criadora têxtil desenvolveu um revestimento de paredes produzido com papel de jornal reciclado, ao qual chamou "Newsworthy". O revestimento de parede é formado por tiras de jornais reciclados entrelaçadas à mão. O material confere textura à parede. Para garantir a qualidade e durabilidade do revestimento, as tiras de papel são tecidas com fios de nylon e levam um acabamento à base de água que protege contra o amarelecimento e coloração. O *Newsworthy* tem 47 centímetros de largura e custa US \$125 por metro (para o comércio). Não são referidas características de isolamento térmico. [56]

A Figura 19 (a) e (b) apresentam o *Newsworthy* e a sua aplicação como revestimento de paredes, respetivamente:

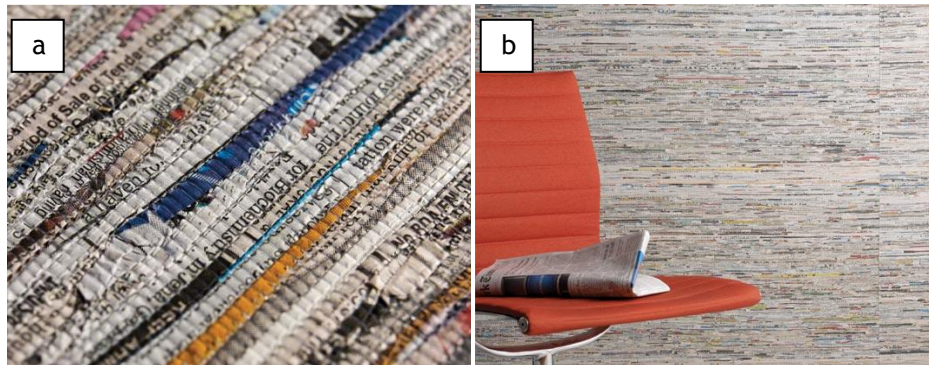


Figura 19: (a) *Newsworthy*; (b) Aplicação do *Newsworthy* como revestimento de paredes interiores

Fonte: [56]

Vinil:

Atualmente o vinil é bastante utilizado para decoração de interiores, nomeadamente portas, janelas, paredes e mobiliário.

Na sua maioria os filmes de vinil são produzidos a partir do policloreto de polivinilo (PVC), que por natureza é relativamente rígido. Para tornar o filme flexível é adicionado um plastificante. São ainda adicionados pigmentos e outros aditivos para ajudar a atingir propriedades específicas, como resistência os raios UV, ao calor e estabilizadores.

Existem várias empresas a vender e aplicar vinil. A Casadart.com aplica dois tipos de vinil para decoração de interiores: o vinil de recorte, em que o seu desenho é recortado de uma ou duas cores de fábrica e o vinil de impressão, que é impresso e posteriormente lhe é aplicado por laminagem uma película protetora. [57]

O vinil aplicado na decoração de interiores pode ter uma duração de cerca de 5 a 6 anos, dependendo do seu local de aplicação e de fatores como humidade, calor e poeira.

Relativamente a este produto, as principais características mencionadas são: ser à prova de água, resistente aos raios UV, removível, reutilizável, classificação ao fogo B1 e elevada durabilidade. Não existem referências a características de isolamento térmico. [57]

Materiais Têxteis:

Burel

Burel é um tecido 100% lã utilizado no revestimento de paredes interiores e que possui elevada resistência, nomeadamente à tração, rotura, pressão e luz, suportando o uso intensivo, sem alterar a cor e a forma. A Burel Factory executa diversas soluções de

revestimentos à medida - painéis de parede, cabeceiras de cama e tapetes recorrendo a uma vasta gama de pontos e cores, trabalhados manualmente, conforme Figura 20.

Visto tratar-se de um produto 100% lã, é um bom isolante acústico, que reduz a reverberação do som e limita a sua propagação. O produto foi sujeito a ensaios de Absorção Sonora e de Ignitabilidade no LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil. [58]

A gama de revestimentos e módulos acústicos da Burel Factory apresenta soluções eficazes na absorção do som, adequadas a espaços comerciais, escritórios, hotelaria, habitação, entre outros. Possibilita a organização de *open spaces*, através de painéis e blocos acústicos que permitem distinguir zonas de trabalho, de zonas comuns e de circulação. [58]

Não existem referências às características de isolamento térmico do Burel enquanto revestimento de paredes, muito embora o tecido em si apresente características térmicas. Em anexo I encontra-se a ficha técnica. [59]

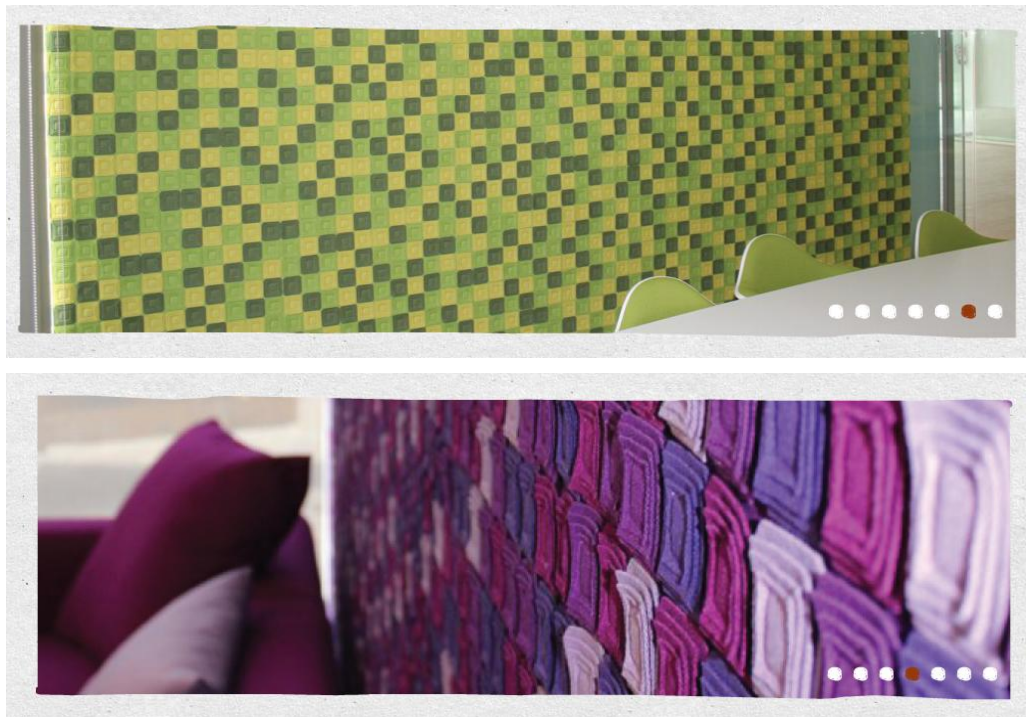


Figura 20: Parede revestida com Burel

Fonte: [58]

Feltro (Lã feltrada)

A *designer* Anne Kyyro Quinn utiliza o feltro para revestimentos de paredes. As propriedades acústicas do feltro 100% lã conjugadas com as estruturas tridimensional que ela cria, reduzem significativamente os níveis de ruído. Produzido com tiras de feltro dobrado e costurado de diferentes formas o revestimento cria uma superfície com múltiplas cavidades minúsculas que absorvem as ondas sonoras, como se pode verificar na Figura 21. [60]



Figura 21: Paredes revestidas com feltro (Anne Kyyro Quinn)

Fonte: [60]

Não-tecidos

Existem diversas referências à utilização de não-tecidos como revestimentos de paredes interiores.

O capítulo 8 do livro *“Applications of Nonwovens in Technical Textiles”*, subordinado ao tema *“Nonwoven textiles for residential and commercial interiors”* refere a utilização dos não-tecidos no interior dos edifícios e o seu papel funcional, técnico e estético em diversas aplicações entre as quais revestimentos de pisos e de paredes. No que refere ao revestimento de paredes este capítulo aborda os não tecidos como alternativa aos revestimentos tradicionais, forros e divisórias temporárias. [61]

O site www.designyourwall.com vende produtos para revestimento de paredes em não-tecido para com diferentes estampados. A Figura 22 ilustra um exemplo de *“Wallpaper”* não-tecido vendido neste site.

No entanto a informação técnica sobre este revestimento é escassa resumindo-se às dimensões e à utilização de produtos de estamperia ecológicos, com 0% de COV (compostos orgânicos voláteis), não existindo qualquer referência à capacidade de isolamento térmico. O preço deste não-tecido é \$179.99, por rolo de 9m². [62]



Figura 22: Não-tecido para revestimento de paredes

Fonte: [62]

No mesmo site existem à venda outros produtos de revestimento de paredes em não-tecido. As características técnicas mencionadas são boa solidez à luz, fácil limpeza, respirabilidade, à utilização de produtos de estamperia ecológicos, com 0% de COV. Em alguns dos produtos é mencionada a composição. A título de exemplo:

- Revestimento de parede em não-tecido 100% viscose (ref. Vertical String).
- Revestimento de parede em não-tecido 65% viscose/35% poliéster (ref. Damask White). [62]

Serapilheira

O *designer* António Martins apresenta revestimentos de parede, produzidos com "Serapilheira", material rústico mas que é uma solução visualmente atraente. No entanto, a serapilheira é uma estrutura pouco densa, pelo que é necessário durante a colocação ter atenção aos vincos, por outro lado a serapilheira é suscetível ao ataque por insetos. [63]

A Figura 23 (a) e (b) apresentam a aplicação da Serapilheira como revestimento de paredes e os rolos de serapilheira prontos para o efeito, respetivamente:



Figura 23: (a) Serapilheira como revestimento de paredes interiores; (b) Rolos de Serapilheira

Fonte: [63]

Material compósito para revestimento de paredes

A patente US 4305985 A, de 15 de Dezembro de 1981, diz respeito a um material compósito para revestimento de paredes que compreende, do lado direito, uma camada decorativa, contendo fibras têxteis e no avesso, uma camada de espuma. A camada de espuma contém aditivos retardantes de chama, é elástica e permeável ao ar. A camada do lado direito pode ser um tecido, não-tecido ou uma estrutura tipo felpo.

O material têxtil deverá ser preferencialmente em poliéster, mas também poderá ser fibra de vidro, e deverá ter cerca de 1mm de espessura e 100 a 160g/m² de massa.

A espuma deverá ser de borracha celular ou expandida (Ex. Borracha de butadieno estireno) vulcanizada, com capacidade de recuperação e com uma espessura de cerca de 5mm. Além disso, deverá conter esferas inorgânicas ocas (vidro e CaSiO₄) de célula fechada, que endurecem a camada de espuma, mas não excessivamente para não prejudicar a sua capacidade de recuperação. Estas esferas poderão conter dióxido de carbono e nitrogénio, que aumentam a resistência ao fogo e o isolamento térmico.[64]

O material de revestimento descrito é uma estrutura predominantemente plana, que pode ser aplicada tal como um papel de parede e com capacidade de isolamento térmico e acústico. Para além disso possui uma função decorativa, que pode ser obtida pela estrutura do material têxtil ou por estampania.

Pretende-se que o produto seja fácil de aplicar e tenha baixo custo.

No âmbito desta patente e embora mencione o efeito de isolamento térmico não são definidos parâmetros de condutibilidade, nem de resistência térmica. [64]

Capítulo 3 - Justificação e Objetivos do Trabalho

Como já foi mencionado anteriormente, atualmente os edifícios são responsáveis por 40% do consumo energético mundial e por quase metade das emissões de gases de estufa, verificando-se que a energia consumida em aquecimento, arrefecimento e ventilação é em grande parte perdida devido ao mau isolamento térmico dos edifícios. [9]

Também na União Europeia (EU), a maior parte do consumo total de energia advém dos edifícios verificando-se que 64% desse consumo é gasto em aquecimento e arrefecimento, prevendo-se um aumento do mesmo até 2020. [28]

Assim a redução do consumo de energia dos edifícios é um dos principais objetivos a atingir a curto e médio prazo. Para esse efeito foi criada regulamentação específica, nomeadamente o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de Abril) e mais recentemente o Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto. [8]

Ao longo das últimas décadas verificou-se uma alteração de fachadas de espessuras elevadas de panos de alvenaria de pedra ou tijolo maciço (ver Figura 24), para paredes duplas, constituídas por um pano exterior de alvenaria de pedra e um pano interior em alvenaria de tijolo. Nas décadas de 60 e 70, houve um aligeiramento das estruturas, pela uniformização das espessuras dos panos exterior e interior e pela introdução de alvenaria de tijolo vazado. Na década de 80, iniciou-se a aplicação de materiais de isolamento térmico na caixa-de-ar das paredes, tendo surgido na década seguinte sistemas de isolamento térmico pelo exterior e interior. [65]

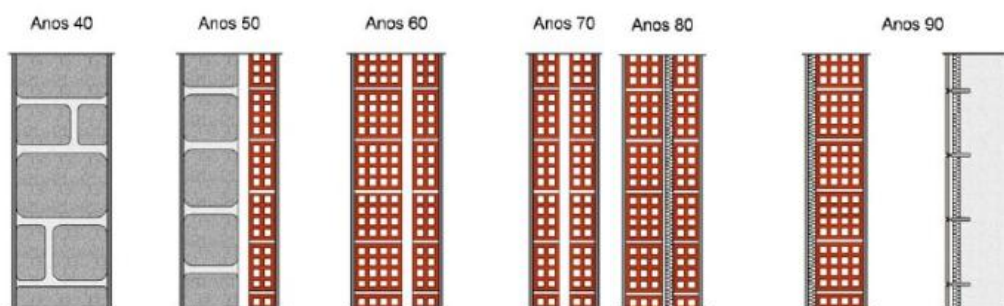


Figura 24: Evolução das fachadas em Portugal ao longo do tempo

Fonte: Adaptado de [65]

Grande parte dos edifícios existentes em Portugal são anteriores a 1990, muitos dos quais da década de 70. Nesta década, e como referido, a construção não contemplava a otimização energética. Porém, os seus ocupantes desejam níveis de conforto semelhantes aos das habitações mais recentes, utilizando muito mais energia na sua obtenção, aumentando assim o consumo energético do edifício. [8]

Se na construção de novo edificado existe liberdade no uso de materiais e novos sistemas construtivos o mesmo não ocorre na reabilitação dos edifícios, nomeadamente dos anteriores aos anos 90 com os problemas de construção já mencionados e em que o conforto destas habitações é obtido à custa do aumento do consumo de energia. Para estes, é necessário encontrar soluções construtivas de aplicação fácil e económica que promovam a eficiência energética, permitindo assim reduzir os seus consumos energéticos de climatização sem prejudicar o conforto dos seus ocupantes.

Outro aspeto relevante é que as soluções existentes atualmente no mercado para isolamento térmico de edifícios são maioritariamente direcionadas para o isolamento pelo exterior das fachadas ou para o interior em isolamento entre paredes, tetos e pavimentos, sendo assim mais vocacionadas para as novas construções, não existindo soluções de isolamento térmico adequadas para o revestimento das paredes interiores dos edifícios. Estas soluções são particularmente importantes no caso da reabilitação.

Face às lacunas verificadas no estado da arte e na revisão da literatura surgiu a motivação para o desenvolvimento de um novo produto.

Assim, o objetivo deste trabalho consiste no desenvolvimento de estruturas compósitas/multicamadas para revestimento multifuncional de paredes interiores para a aplicação na remodelação/ reabilitação de edifício, que permitam colmatar as atuais deficiências no que se refere ao isolamento térmico e aumentar a eficiência energética. Pretende-se promover adicionalmente a componente estética e decorativa, a facilidade de manutenção e limpeza e a facilidade de aplicação (não requerendo alterações no sistema estrutural dos edifícios).

Este produto inovador tem como base uma estrutura têxtil técnica, resultante da conjugação de diferentes materiais têxteis e não têxteis de elevado valor tecnológico, nomeadamente da Fibra Δ (resíduo de fibras inorgânicas não têxteis usadas no isolamento convencional de edifícios).

O desenvolvimento da estrutura multicamada envolveu diferentes processos tecnológicos, como revestimento, laminagem, formulação de não-tecidos, assim como estampania digital, de forma a obter a complementaridade de funcionalidades.

O trabalho experimental, que se apresenta a seguir no Capítulo 4, foi desenvolvido no CITEVE - Centro Tecnológico das Indústrias Têxtil e do Vestuário de Portugal sob a supervisão e orientação do Mestre José Morgado.

Capítulo 4 - Parte Experimental

Neste capítulo é apresentado o desenvolvimento experimental da estrutura multicamada.

4.1 Identificação dos requisitos do produto

Com base na revisão da literatura e no estado da arte realizados verifica-se que a oferta atual de mercado está desprovida de soluções como a desenvolvida no presente estudo.

O produto destina-se ao revestimento multifuncional de paredes interiores e pretende-se que funcione como um papel de parede, com pouca espessura, decorativo, fácil de colocar e que em simultâneo confira resistência térmica. Existe uma patente, na literatura científica, que refere um compósito têxtil com espuma para o mesmo efeito (Ref. [64]), mas esta não quantifica a resistência e a condutibilidade térmica do produto.

Perante a necessidade identificada e com base no estado da arte e na literatura existente foram definidos os requisitos do produto a desenvolver tais como, isolamento térmico, baixa espessura, flexibilidade, facilidade de limpeza, resistência mecânica, durabilidade, não suscetível ao ataque por fungos e bolores, facilidade de aplicação (sem alterações no sistema estrutural dos edifícios), assim como respirabilidade e retardamento à chama.

Face à inexistência de produtos similares devidamente quantificados, foram selecionados do estado da arte e para termo de comparação dois materiais, um produto comercial de base têxtil para isolamento térmico convencional de edifícios (Isowool) e um material de revestimento de paredes (Deckwall). A Tabela 7 apresenta as características destes produtos e do que poderá ser exequível no que se refere ao produto desenvolvido nesta dissertação.

Tabela 7: Características de produtos comerciais e dos objetivos a alcançar com o produto desenvolvido

Características	Estado da Arte Isowool	Estado da Arte Deckwall	Objetivos do produto final
Isolamento térmico ($m^2.K/W$)	0,494	0,0583 / 0,0572 ⁽²⁾	0,500
Condutibilidade Térmica ($W/m.K$)	0,021	S/ informação	0,020 ⁽³⁾
Massa volúmica (kg/m^3)	125	S/ informação	100
Espessura (mm)	10	3	10
Massa (g/m^2)	1250	S/ informação	1000
Aplicação	Isolamento de paredes, chãos e tetos	Revestimento de paredes	Revestimento de paredes

Fonte: Baseado nas fichas técnicas dos produtos Isowool [36] e Deckwall [55]

² Valor depende do acabamento do produto

³ Calculado com base na resistência térmica e espessura especificados

O produto de isolamento térmico Isowool foi submetido a ensaios de resistência térmica usando o método Guarded hot plate (Skin Model), segundo a norma ISO 11092:1993, no equipamento existente no Citeve tendo sido obtido um valor de $0,381 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$.

4.2 Procedimento Experimental

O processo de desenvolvimento da estrutura multicamada para revestimento de paredes interiores de edifícios passou por duas abordagens diferentes com o objetivo de encontrar a melhor solução.

Na primeira abordagem foi realizado o revestimento da uma tela 100% poliéster (Tela 2) com uma pasta de revestimento contendo Fibra Δ , fibra inorgânica não convencional de elevada performance ao nível do isolamento térmico. Posteriormente foi realizada a laminagem da tela revestida com um não-tecido (NT 4).

A segunda abordagem passou pelo desenvolvimento de uma estrutura inovadora em não-tecido, utilizando a mesma Fibra Δ em mistura com outras fibras têxteis e posterior laminagem da manta obtida e otimizada com a Tela 2.

4.2.1 Primeira abordagem

A Figura 25 representa o fluxograma do processo desenvolvido na primeira abordagem, cujo objetivo foi obter uma estrutura com a resistência térmica desejada, minimizando a espessura:

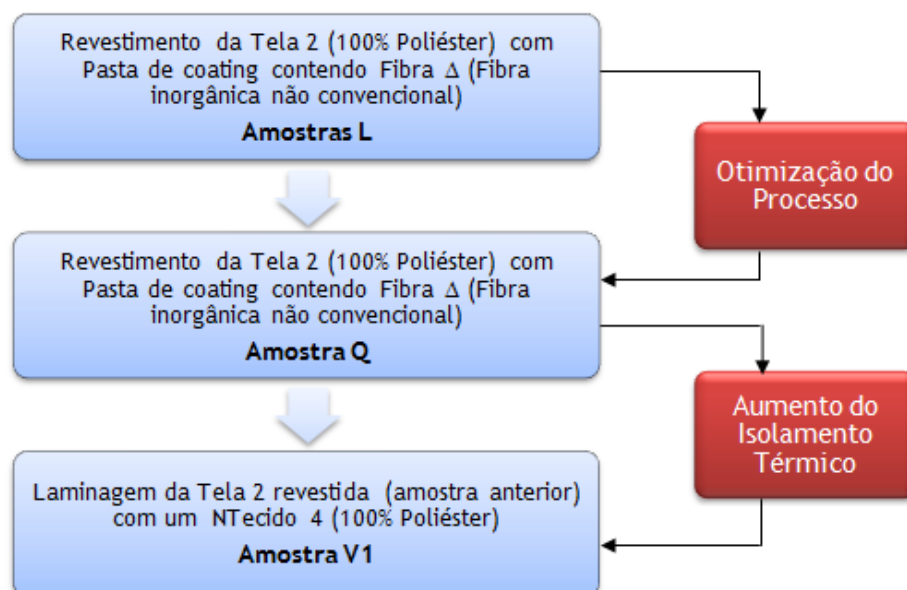


Figura 25: Fluxograma do processo desenvolvido na primeira abordagem

4.2.1.1 Materiais

Foram selecionados e testados materiais que pelas suas características e face ao estado da arte são adequados ao desenvolvimento da estrutura multicamada. De acordo com a literatura existente as fibras naturais têm uma propensão intrínseca para a proliferação de fungos e microrganismos e são ainda facilmente combustíveis (No Capítulo 2 existem várias referências a esta problemática, nomeadamente referências a materiais como o coco [31, 34], e fibras liberianas [38]), pelo que para material de base se selecionaram estruturas com fibras sintéticas, recaindo a escolha numa tela tafetá 100% poliéster. Esta, para além de não ser facilmente atacada por microrganismos, apresenta elevada resistência mecânica e é adequada aos processos de estampanaria necessários à função estética que se pretende agregar. Foi ainda selecionado um não tecido 100% poliéster, para revestimento, que para além das propriedades de resistência à proliferação de microrganismos e de retardança à chama inerentes ao poliéster possui características de isolamento térmico. Na Tabela 8 apresentam-se as características destes materiais.

Tabela 8: Propriedades dos materiais selecionados para o desenvolvimento da estrutura multicamada

Materiais Têxteis	Designação	Estrutura	Composição	Massa/m ²
Material Base	Tela 2	Tecido Tafetá	100% PES	125 g
Material com elevada performance térmica	Não-tecido 4 (NT4)	Não tecido agulhado	100% PES	300 g
Adesivo	ABE001	Web	co-Poliéster	27 g

A Tela 2 e o Não-tecido 4 foram submetidos a ensaios de caracterização ao nível da sua capacidade de isolamento térmico, massa/ unidade de superfície e espessura. Os resultados destes ensaios são apresentados no Capítulo 5.

Outros materiais e aditivos:

- Fibra Δ , fibra inorgânica não convencional com baixa condutividade térmica ($\lambda < 0,040 \text{ W/mK}$) e que resulta do desperdício da fabricação de produtos de isolamento térmico. Deste ponto de vista há também um contributo do produto desenvolvido para a redução dos custos de fabrico e melhoria da pegada ambiental. A utilização desta fibra na indústria têxtil é completamente inovadora, não existindo na literatura e no estado da arte referência a esta aplicação.
- Ligante comercial.
- Espessante comercial.

4.2.1.2 Equipamentos

Os equipamentos utilizados na primeira abordagem ao desenvolvimento da estrutura multicamada foram os descritos na Tabela 9:

Tabela 9: Equipamentos utilizados na primeira abordagem

Designação	Marca	Modelo
Equipamento de coating manual laboratorial	Mathis	Type SV
Secadeira/ estufa laboratorial	Mathis	Type DH
Equipamento de laminar laboratorial	Kannegaisser	CC600

4.2.1.3 Desenvolvimento da estrutura

Nesta primeira abordagem foram conjugadas duas tecnologias, coating ou revestimento e laminagem. O objetivo desta abordagem foi aumentar a capacidade de isolamento térmico da Tela 2, mantendo a espessura da solução final tão fina quanto possível.

A via de investigação seguida passou, assim, pela aplicação uma pasta de revestimento contendo micropartículas de fibra Δ à Tela 2, de forma a melhorar o seu desempenho no que se refere ao isolamento térmico. Posteriormente, uma das amostras desenvolvida foi submetida a um processo de laminagem.

Na formulação das pastas foram utilizados um ligante e um espessante, que se mantiveram os mesmos e nas mesmas proporções em todas as formulações, de acordo com o apresentado na Tabela 10.

Tabela 10 : Receituário (pastas de revestimento) por amostra

Codificação da Amostra	Base têxtil	Pasta Base (coating)	Micro Partículas da Fibra Δ
Amostra L	Tela 2	Ligante (30%) Espessante	5% (triturada)
Amostra Q	Tela 2	Ligante (30%) Espessante	5% (triturada)
Amostra V	Tela 2	Ligante (30%) Espessante	5% (triturada)

O processo de aplicação das pastas desenvolvidas consistiu nas operações de revestimento (coating) no equipamento de coating Mathis, seguido de pré-secagem e termofixação em secadeira laboratorial Mathis, conforme se pode verificar na Figura 26.

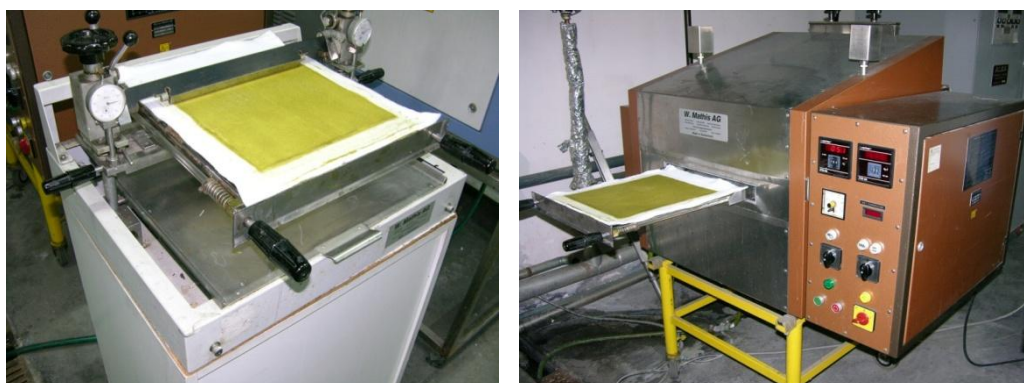


Figura 26: Aplicação das pastas por revestimento em máquina de coating laboratorial e secagem e fixação em secadeira

Mantendo o objetivo de encontrar a melhor solução técnica, este processo sofreu variações no que se refere ao fluxo operacional e parâmetros técnicos, de acordo com a Tabela 11.

Tabela 11: Condições de processamento das amostras

Amostra	Revestimento	1ª Secagem		Revestimento	2ª Secagem		Termofixação	
	Nº de passagens	Temp ^a	Tempo	Nº de passagens	Temp ^a	Tempo	Temp ^a	Tempo
Amostra L	1 passagem	---	---	---	---	---	175°C	6 min
Amostra Q	1 passagem	100°C	6 min	1 passagem	100°C	6 min	175°C	90 seg
Amostra V	1 passagem	100°C	6 min	1 passagem	100°C	6 min	175°C	60 seg

O desenvolvimento das amostras deu-se em duas fases. Numa primeira fase foram produzidas as amostras L e Q. Na amostra L foi efetuada apenas uma passagem na racla, sendo que por análise visual foi possível verificar que a pasta se apresentava distribuída na amostra de forma pouco uniforme, apresentando zonas sem pasta de revestimento.

Na sequência desta amostra foi produzida a amostra Q (ver Figura 27) em que se fizeram duas passagens na racla. Por análise visual verificou-se que esta amostra apresentava a pasta de revestimento uniformemente distribuída (espalhada) em toda a sua superfície. Esta amostra foi submetida a ensaios laboratoriais (ver Capítulo 5).



Figura 27: Amostra Q - Tela 2 + 5% Fibra Δ triturada

Com base nos resultados dos testes laboratoriais realizados à amostra Q, nomeadamente os de resistência térmica (Rct), foi desenvolvida a amostra V (Tela 2 revestida com uma pasta contendo 5% Fibra Δ). De forma a potenciar o isolamento térmico das amostras desenvolvidas foi formulada a amostra V1 que resultou da laminação da amostra V com o não-tecido 4, realizada na calandra laboratorial Kannegaisser (Figura 28).



Figura 28: Laminagem da amostra V com o Não-Tecido 4

Para o efeito, foi utilizado um adesivo do tipo web de co-poliéster, com os parâmetros de processamento descritos na Tabela 12.

Tabela 12: Condições de laminação da Amostra V

Codificação da amostra	Base têxtil	Adesivo	Processo
Amostra V1	Amostra V (Tela 2 revestido c/ micro partículas Fibra Δ) + Não tecido 4	Web ABE001 co-PES (27g/m ²)	Temperatura: 125 °C, Velocidade: 20 m/min, Pressão: 2 bar

A amostra V1 também foi submetida a ensaios laboratoriais no que se refere à massa/ unidade de superfície, espessura e resistência térmica.

Os resultados dos ensaios laboratoriais realizados às amostras desenvolvidas nesta primeira abordagem demonstraram que a presença da fibra Δ aumenta a resistência térmica (Rct) do

material, relativamente ao da Tela 2. Também se constatou que a amostra produzida com não-tecido tem uma resistência térmica maior.

Os resultados de Rct das amostras testadas ficaram aquém dos valores desejados, pelo que não se prosseguiu com esta abordagem.

4.2.2 Segunda abordagem

Face aos resultados obtidos na primeira abordagem, nomeadamente no que se refere à resistência térmica, foi efetuada uma outra abordagem técnica com vista à obtenção da estrutura multicamada pretendida.

Nesta segunda abordagem foram desenvolvidas estruturas combinando a tecnologia de não-tecidos com a de laminagem. Nesse sentido foi investigada e especificamente desenvolvida uma manta de não-tecidos com uma composição inovadora contendo a Fibra Δ .

O processo de obtenção do produto passou por várias fases de investigação. Na Figura 29 apresenta-se o fluxograma do processo desenvolvido na segunda abordagem:

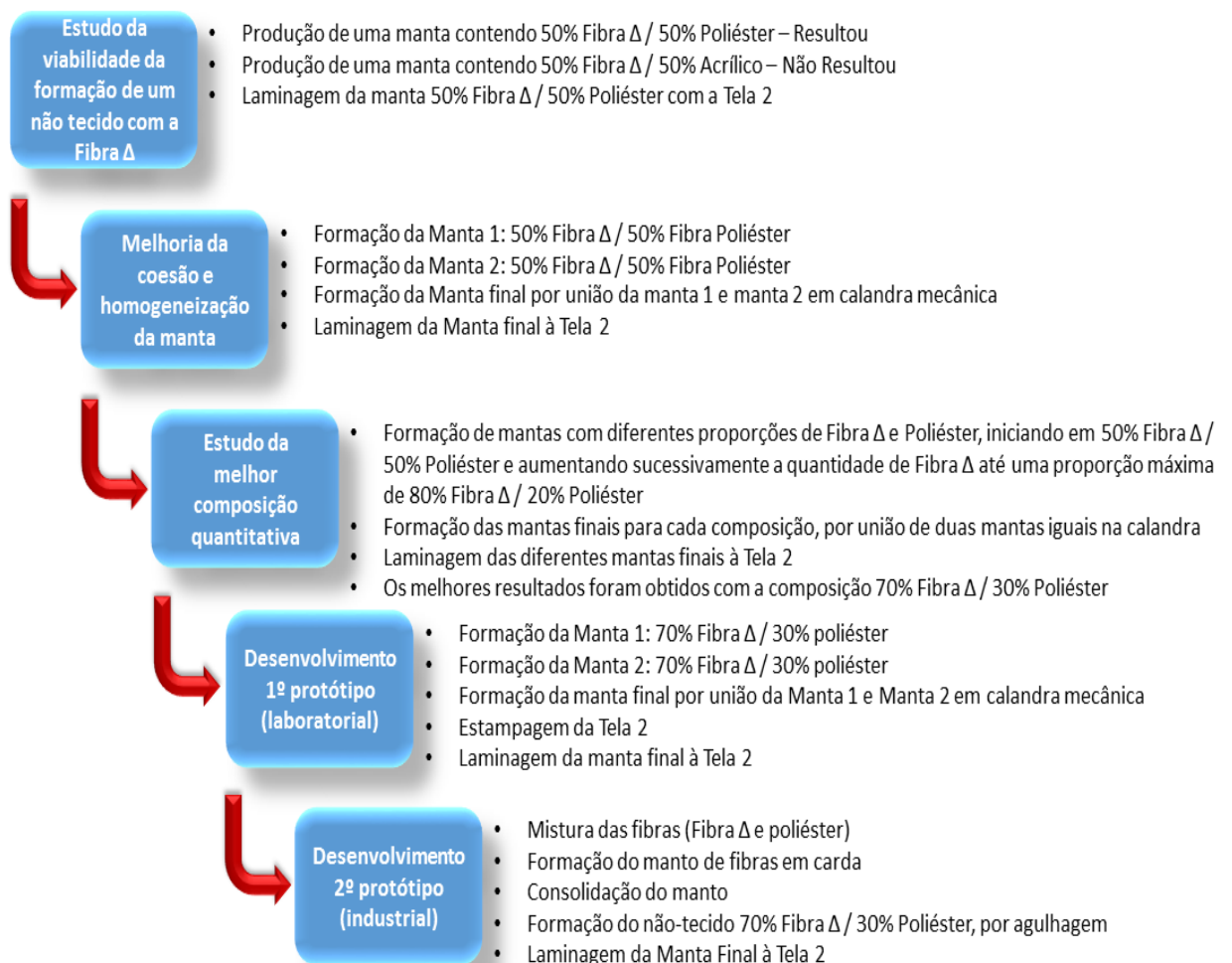


Figura 29: Fluxograma do processo desenvolvido na segunda abordagem

4.2.2.1 Materiais

Nesta segunda abordagem e para produção do não-tecido foram selecionadas as fibras apresentadas na Tabela 13:

Tabela 13: Fibras utilizadas no desenvolvimento do não-tecido (2ª abordagem)

Fibra	Cor	Título	Comprimento	Brilho
Poliéster	Branco	16,7 dtex (15 Den)	102mm	S/ informação
Acrílico	Branco	6,7 dtex	152mm	Semi-mate
Fibra Δ	Amarelo	S/ informação	Resíduos	S/ informação

A fibra Δ é um resíduo que resulta do desperdício da produção de materiais de isolamento térmico. O estado em que esta fibra se encontrava (resíduo), não permitiu por si só transforma-la numa manta de não-tecidos sendo necessário adicionar outras fibras de maior comprimento para a sua produção, tendo sido escolhidos o poliéster e o acrílico.

A seleção destas duas fibras teve em consideração serem fibras sintéticas e portanto pouco suscetíveis ao ataque por fungos e bolores, serem adequadas ao processamento na carda, o comprimentos das fibras e o poliéster ser a fibra mais utilizada na produção de não-tecidos.

Para o processo de laminagem foi utilizada a Tela 2 e o adesivo tipo Web, de acordo com a Tabela 14.

Tabela 14: Outros Materiais utilizados para o desenvolvimento da estrutura multicamada (2ª abordagem)

Materiais Têxteis	Designação	Estrutura	Composição	Massa/m ²
Material Base	Tela 2	Tecido Tafetá	100% PES	125 g
Adesivo	ABE001	Web	co-Poliéster	27 g

4.2.2.2 Equipamentos

Os equipamentos utilizados na segunda abordagem de desenvolvimento da estrutura multicamada foram os apresentados na Tabela 15:

Tabela 15: Equipamentos utilizados na segunda abordagem

Designação	Marca	Modelo
Carda mecânica laboratorial (fibras longas)	Aibeo e Companhia, lda	S/ informação
Equipamento de laminar laboratorial	Kannegaisser	CC600

4.2.2.3 Desenvolvimento da estrutura

4.2.2.3.1 Estudo da viabilidade da formação de uma manta de não-tecidos com fibra Δ

Esta primeira etapa teve como objetivo estudar a viabilidade do desenvolvimento/ formação de uma manta de não-tecido uniforme e homogénea contendo na sua composição a Fibra Δ .

Assim, foram desenvolvidas duas soluções, uma em que a Fibra Δ foi combinada com poliéster e outra em que foi combinada com fibra acrílica.

Para o efeito utilizando uma carda mecânica laboratorial (ver Figura 30).

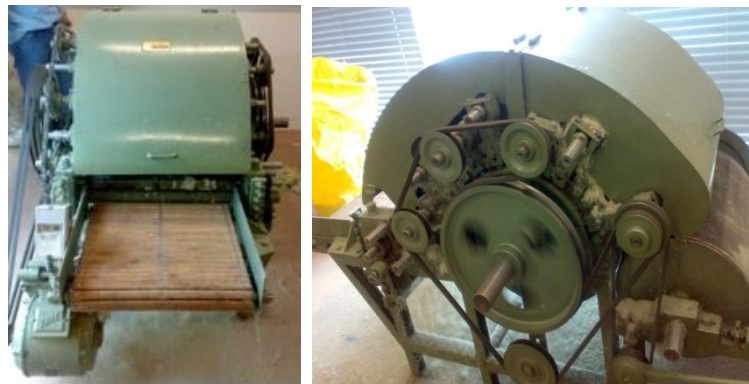


Figura 30: Equipamento laboratorial utilizado na produção das mantas de não-tecido com fibra Δ

Para o desenvolvimento da manta Poliéster/Fibra Δ foram pesadas quantidades iguais das duas fibras e alimentadas no tabuleiro da carda em camadas alternadas. Ao passar na carda as fibras são abertas e paralelizadas pelo puado e misturadas formando uma manta. O mesmo processo foi utilizado para a formação da manta de não-tecido Acrílico/ Fibra Δ . As mantas formadas são similares a uma manta própria do processo de fiação.

Por dificuldades técnicas de homogeneização da manta Fibra Δ / fibra acrílica, esta via foi abandonada. O problema verificado prendeu-se com a diferença de comprimento entre as duas fibras, não permitindo uma boa mistura entre elas, pelo que a fibra Δ se soltava da manta. O mesmo não se verificou com a fibra de poliéster, que provou a viabilidade da formação da manta de não-tecidos com Fibra Δ .

A Figura 31 mostra o processo de formação da manta:



Figura 31: Desenvolvimento das primeiras mantas de não-tecidos com a Fibra Δ .

A manta Fibra Δ / Poliéster desenvolvida foi laminada com a Tela 2 na calandra laboratorial, com os parâmetros de processamento descritos na Tabela 16:

Tabela 16: Condições de laminagem das amostras Y

Codificação	Base têxtil	Adesivo	Processo
Amostra Y	Tela 2 + Manta de Fibra Δ / Poliéster + Tela2	Web ABE001 co-PES (27g/m ²)	Temperatura: 125 °C, Velocidade: 30 m/min, Pressão: 2 bar

A Figura 32 apresenta a solução manta de Fibra Δ / Poliéster laminada com a Tela 2:



Figura 32: Tela 2 + Manta/ não tecido Fibra Δ / PES

Esta solução foi testada por forma avaliar a sua resistência térmica, massa/ m² e espessura.

4.2.2.3.2 Melhoria da homogeneização e coesão da manta

Nesta fase foram produzidas novas amostras com o objetivo de melhorar a homogeneização e uniformidade da manta de não-tecido final.

1ª Etapa: Formação da manta final (manta dupla):

Para este desenvolvimento partiu-se da base inicial de 50% Fibra Δ / 50% Poliéster.

O processo passou pela formação de duas mantas de não-tecido similares entre si em composição qualitativa e quantitativa (ver Tabela 17), que depois de produzidas foram unidas. O procedimento do desenvolvimento das mantas foi executado de acordo o processo utilizado para as amostras anteriores.

Tabela 17: Formulação das mantas de Não-tecido

	Formulação da manta 1	Formulação da manta 2
Fibras de Poliéster	50%	50%
Fibras Δ	50%	50%
Processo	Mistura efetuada na carda	Mistura efetuada na carda
Amostra resultante	Manta 50%Fibra Δ / 50%Poliéster	Manta 50%Fibra Δ / 50%Poliéster

A junção (união) das duas mantas foi realizada por prensagem na calandra laboratorial, com pressão de 2 bar a uma velocidade de 20 m/min. O objetivo desta operação foi aumentar a homogeneidade e coesão da mistura Fibra Δ / Poliéster, tendo em consideração o propósito de obter a espessura e uniformidade adequada da manta final. Por análise visual verificou-se que a manta final apresentou maior coesão, homogeneidade e uniformidade do que as mantas individuais.

A Figura 33 ilustra a junção entre as duas mantas, resultando na manta final de não-tecidos 50% Fibra Δ / 50% Poliéster:



Figura 33: Manta de não-tecido final, resultante da junção das duas mantas 50% Fibra Δ / 50%Pes

2ª Etapa: Laminagem da manta de não-tecido final com a Tela 2 em ambas as faces

A manta desenvolvida foi laminada com a Tela 2 em ambos as faces (amostra Z), na calandra laboratorial Kannegaisser, com os parâmetros de processamento descritos na Tabela 18.

Tabela 18: Condições de laminagem das amostras Z: Tela 2 + não-tecido (manta dupla) +Tela 2

Codificação	Base têxtil	Adesivo	Processo
Amostra Z	Tela 2 + Manta dupla de Fibra Δ / Poliéster + Tela 2	Web ABE001 co-PES (27g/m ²)	Temperatura: 130 °C, Velocidade: 30 m/min, Pressão: 2 bar

A Figura 34 representa esquematicamente a estrutura final da amostra (amostra Z), onde é possível observar uma estrutura em que ambas as faces são constituídas pela Tela 2, entre as quais foi laminada a manta final de não-tecido 50% Fibra Δ / 50% Poliéster.

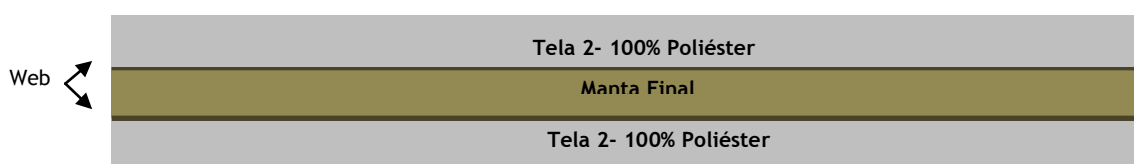


Figura 34: Esquema ilustrativo da estrutura final da amostra Z

4.2.2.3.3 Estudo da melhor proporção Fibra Δ / Poliéster

No seguimento do trabalho realizado, e tendo em consideração a melhoria verificada na coesão e homogeneidade da manta final (manta dupla) em relação às mantas individuais, estudou-se a melhor composição quantitativa da mistura Fibra Δ / Poliéster, com o objetivo de avaliar o desempenho/influência da Fibra Δ no não-tecido. Este estudo teve em conta os parâmetros de coesão, uniformidade e homogeneização (verificados visualmente) assim como à resistência térmica, massa/m² e espessura.

Nesse sentido foram desenvolvidas novas amostras em que se aumentou sucessivamente a proporção da Fibra Δ relativamente à de poliéster (Tabela 19), até se atingir uma proporção máxima de 80% Fibra Δ /20% Poliéster (amostra 1F), na qual se verificou visualmente a ausência de consistência e coesão da manta.

Tabela 19: Amostras da manta produzidas com diferentes composições quantitativas (Fibra Δ / Poliéster)

Amostras	Proporção em % Fibra Δ /PES
1	0/100
1A	50/50
1B	55/45
1C	60/40
1D	65/35
1E	70/30
1F	80/20

Estas amostras também foram submetidas ao processo de laminagem com a Tela 2 em ambas as faces, utilizando a web de co-poliéster, 27 g/m², na calandra laboratorial e com os parâmetros de processamento utilizados na amostra anterior (Temperatura: 130 °C, Velocidade: 30 m/min, Pressão: 2 bar).

As amostras foram caracterizadas, através de ensaios de Resistência térmica, massa/ m² e espessura (ver Capítulo 5). Face aos resultados obtidos nestes ensaios concluiu-se que a percentagem máxima de Fibra Δ na manta de não-tecido não pode exceder os 70%.

4.2.2.3.4 Desenvolvimento do 1º Protótipo

Com base nos resultados obtidos na fase anterior, foi desenvolvido o primeiro protótipo. O seu desenvolvimento passou por duas etapas, uma relativa à formação do manto de não-tecido e outra relativa à laminagem da manta à Tela 2.

1ª Etapa: Formação da manta de não-tecidos 70% Fibra Δ / 30%Poliéster (manta dupla):

Com vista à otimização da homogeneidade e coesão da mistura de poliéster com as Fibra Δ , bem como à obtenção da espessura adequada da manta final, procedeu-se ao desenvolvimento de duas mantas com composição 70% Fibra Δ / 30% Poliéster.

Para o desenvolvimento desta amostra foi realizada uma alteração à carda laboratorial, tendo sido acoplado um rolo de saída que permitiu melhorar a uniformidade das mantas à saída da carda.

O processo de formação da manta de não-tecidos consistiu na formação do véu de carda com as fibras Δ e de poliéster, que foi enrolado no rolo de saída de acordo com a Figura 35-1, cerca de dez vezes até se formar uma manta homogénea. A manta foi cortada e retirada do rolo. Na Figura 35-2 pode ver-se uma das mantas de Não-tecidos 70% Fibra Δ / 30%Poliéster obtida.

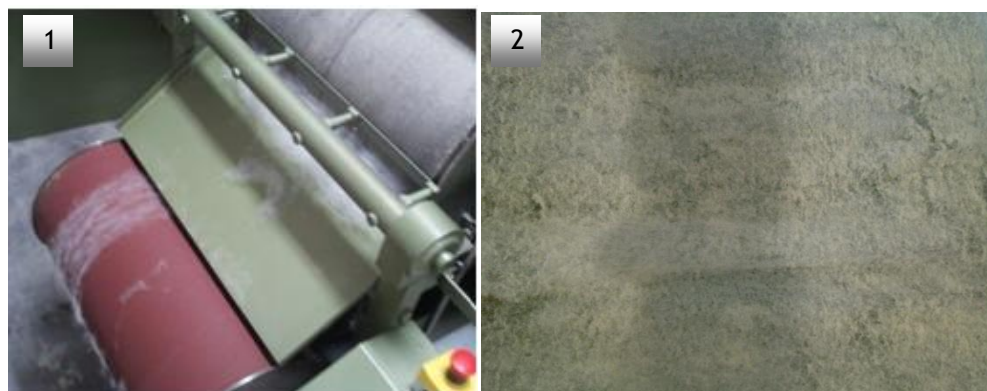
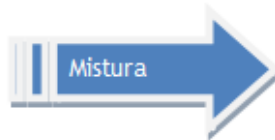
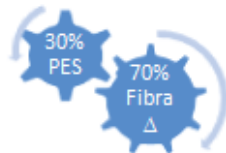


Figura 35: (1) Produção da manta 70% Fibra Δ / 30%Poliéster; (2) Manta de Não-tecido 70% Fibra Δ / 30% Poliéster já formada

Após produção das mantas (referenciadas como manta 1 e manta 2) procedeu-se à sua união por prensagem na calandra laboratorial, com pressão de 2 bar, obtendo-se a manta final, conforme Figura 36.

Formulação da manta 1:



Formulação da manta 2:

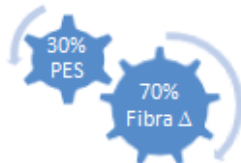


Figura 36: Representação esquemática da produção da manta de não-tecido final (dupla)

2ª Etapa: Laminagem da manta final com a Tela 2 em ambas as faces: 1º Protótipo:

A laminagem da manta final obtida com a Tela 2 (100% poliéster) utilizando para o efeito o adesivo tipo “Web” de co-poliéster, 27 g/m², foi efetuada na calandra laboratorial a 130°C, a 30 m/min, pressão de 2 bar.

A amostra final obtida foi uma estrutura em que ambas as faces são constituídas pela Tela 2, entre as quais é colada a manta final de não-tecido 70% Fibra Δ /30%Poliéster.

De forma a promover a conjugação das componentes funcionais e técnicas com o aspeto estético, a Tela 2 foi estampada por recurso à tecnologia de estampa digital, sendo utilizada na face exterior da amostra produzida, conforme Figura 37.



Figura 37: Amostra do 1º protótipo desenvolvido por combinação de tecnologias

4.2.2.3.5 2ª Protótipo: Scale-up industrial

1ª Etapa: Scale-up industrial da manta de Não-tecidos:

Após o estudo rigoroso e otimização das condições processuais em função da performance de isolamento térmico das amostras, realizado nas fases anteriores de desenvolvimento, estudou-se o scale-up do não-tecido.

Procedeu-se assim ao desenvolvimento de um protótipo (2º Protótipo) à escala industrial em que foram identificadas algumas alterações a fazer no processo produtivo. A Figura 38 representa o fluxo do processo de produção do não-tecido à escala industrial.



Figura 38: Fluxo produtivo do não-tecido à escala industrial

Um dos problemas verificado na fase de desenvolvimento à escala laboratorial foi a mistura das fibras, que foi feita de forma manual. Com o scale-up industrial as fibras foram misturadas num misturador próprio para o efeito, de acordo com as Figura 39, o que permitiu aumentar a uniformização e homogeneidade da mistura.



Figura 39: Processo de mistura e uniformização da Fibra Δ com o Poliéster

Depois de misturadas as fibras passaram na carda, Figura 40, formando o véu.



Figura 40: Processamento na carda

Seguiu-se o processo de formação e consolidação da manta de não-tecido 70% Fibra Δ / 30% Poliéster como se ilustra na Figura 41:

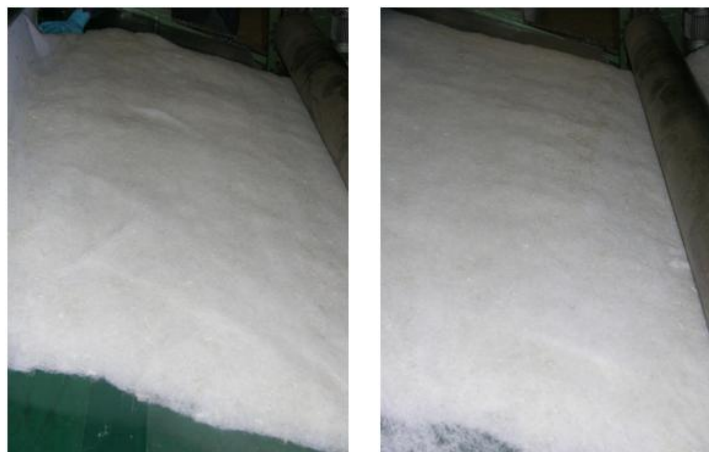


Figura 41: Processo de formação e consolidação da manta não-tecido 70% Fibra Δ / 30%Poliéster

Por fim, a manta de não-tecidos foi unida através do processo de agulhagem, de acordo com a Figura 42, dando origem ao não-tecido final - 2º protótipo, industrial (Figura 43).



Figura 42: Tela de não-tecido agulhado à saída da máquina de agulhagem

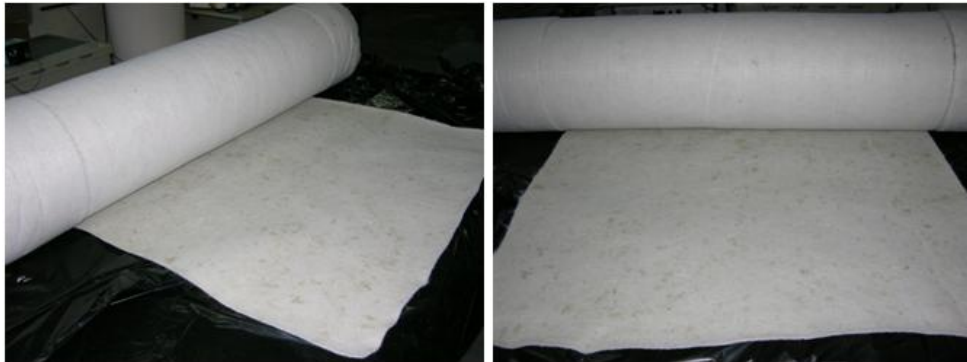


Figura 43: Protótipo final do não-tecido 70% Fibra Δ / 30%Poliéster agulhado

Durante o scale-up industrial verificou-se que a utilização da Fibra Δ é um processo passível de transferir para ambiente industrial.

2ª Etapa: Otimização do processo de laminagem:

Após o *scale-up* industrial do não-tecido 70%Fibra Δ / 30%Poliéster foi necessário fazer a sua união à Tela 2.

Dado que o não-tecido desenvolvido à escala industrial apresenta características diferentes das mantas desenvolvidas laboratorialmente, foi estudada a adequação do processo de laminagem utilizado nas fases anteriores, tendo-se verificado que estas condições eram apropriadas à laminagem do novo não-tecido com a Tela 2.

Depois da análise do processo de laminagem foi realizado o seu *scale-up* industrial, utilizando para o efeito uma calandra industrial. Todo este processo foi baseado nos resultados obtidos nas fases anteriores, tendo sido mantidos os parâmetros para laminagem (Pressão: 2bar, Temperatura: 130°C). Contudo foi necessário alterar o material de interface entre a tela e a estrutura, tendo sido utilizada cola em pó em vez da Web, por razões que se predem unicamente com tecnologia existente.

A Figura 44 apresenta protótipo físico final da estrutura multicamada (2ª Protótipo).

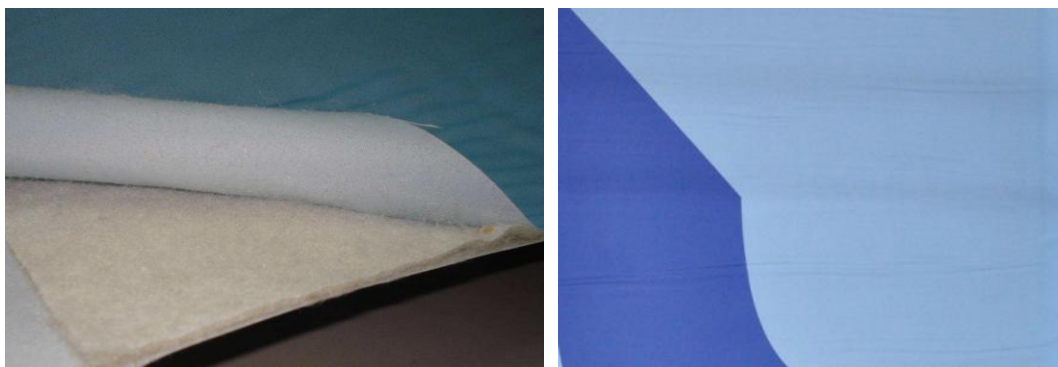


Figura 44: Amostra final (2º protótipo)

4.3 Cálculo do custo da estrutura multicamada

A Tabela 20 apresenta o cálculo do custo em €/kg do não-tecido, produzido industrialmente.

Tabela 20: Custo por kg do não-tecido Fibra Δ/ Pes

Custos (€/kg)	Preço Unitário	Quantidade	Preço total
Poliéster (30%)	1.3€	0,3	0.39
Fibra Δ (70%)	1.0€	0,7	0.70
Produção industrial do não tecido agulhado	0.8€	1	0.80
Valor Final			1.89 €/ kg

A Tabela 21 apresenta o custo do não-tecido e da sua laminagem à Tela 2.

Tabela 21: Custo não-tecido e laminagem em €/ kg

Custos (€/kg)	Preço	Quantidade	Valor
Não tecido agulhado (FibraΔ/pes)	1.89 €	1	1,89
Laminagem industrial da estrutura	0.40€	1	0.40
Valor Final			2,29 €/ kg

Custo do não-tecido e laminagem à tela, em €/ m²:

Massa/m² da estrutura multicamada final: = 0.622 kg/m²

Custo/m² = Massa (kg/ m²) * Custo €/ kg = 0.622 Kg/m² * 2,29 €/ Kg = 1.42 €/m²

Na Tabela 22 apresenta-se o custo final da estrutura estampada em €/ m².

Tabela 22: Custo da estrutura multicamada estampada desenvolvida

Custo das Matéria primas (€/m ²)	Preço	Quantidade	Valor
Custo Não tecido + laminagem	2.48€	1	1.42€
Custo tela	2.00€	2	4.00€
Custo da estamperia (sublimação)	1.80€	1	1.80€
Valor Final			7.22 €/ m²

Custo do não-tecido em €/ m linear:

Largura da estrutura multicamada final: = 1,10m

Custo /m linear = Largura (m) * Custo €/ m² = 1.10m * 7.22€/ m² = 7.94 €/m

Capítulo 5 - Resultados e Discussão

Neste capítulo são descritos os resultados dos ensaios realizados às diferentes estruturas desenvolvidas e é feita uma análise crítica desses mesmos resultados.

No sentido de avaliar o desempenho das estruturas desenvolvidas, estas foram testadas em termos resistência térmica (Rct), usando o método Guarded hot plate (Skin Model), segundo a norma ISO 11092:1993. Foram ainda analisadas a massa/ unidade superfície (Norma ISO 3801) e a espessura (Norma EN ISO 5084:1996) de cada amostra.

5.1 Primeira abordagem: Revestimento e laminagem

Nesta primeira abordagem foram desenvolvidos materiais revestidos com pastas contendo Fibra Δ (Amostra L, Q e V), usando para o efeito como material de base a Tela 2. Foi ainda desenvolvido um material revestido e posteriormente laminado com o Não tecido 4 (Amostra V1). As amostras Q e V1 foram submetidas a ensaios de validação.

A Figura 45 apresenta o valor médio de Resistência térmica (Rct) de cada amostra, comparando os resultados das amostras revestidas (Amostra Q) e revestida e laminada (Amostra V1) com os valores dos materiais originais (Tela 2 e Não-tecido4):

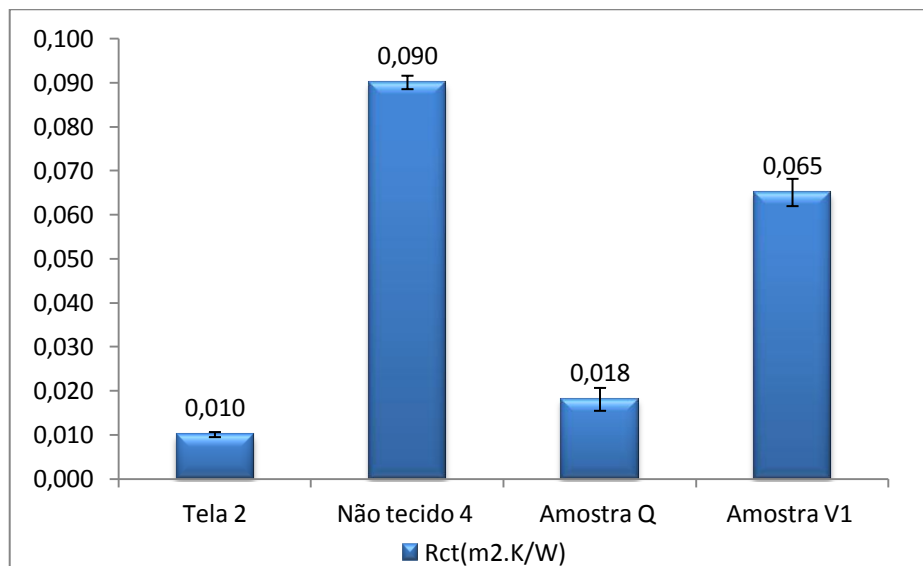


Figura 45: Valor médio do Rct e Desvio Padrão dos materiais utilizados e amostras desenvolvidas na primeira abordagem

Relativamente à amostra Q obtida por revestimento da Tela 2 com pasta à base de Fibra Δ , verifica-se que o valor de resistência térmica (Rct) é ainda muito baixo, embora revele um aumento significativo relativamente ao da Tela 2 sem qualquer revestimento.

Os respetivos Desvio Padrão e Coeficiente variação, desta amostra, são elevados. Na origem destes resultados podem estar vários fatores, sendo o mais plausível que a amostra testada apresente diferentes graus de uniformidade e cobertura da pasta ao longo da superfície.

A amostra V1 obtida por revestimento e colagem apresenta uma resistência térmica (Rct) substancialmente mais elevada do que a amostra anterior, o que se deve à presença do NT4. Comparando o valor do Rct da amostra V1 com o do NT4 original, a amostra V1 apresenta uma perda de resistência térmica o que pode ser explicado pela compressão provocada no NT4 pelos processos a que foi sujeita, diminuindo o aprisionamento do ar na estrutura e em consequência seu o Rct.

A Figura 46 apresenta os resultados dos valores médios de resistência térmica, massa/ m^2 e espessura, permitindo a comparação entre os diferentes materiais:

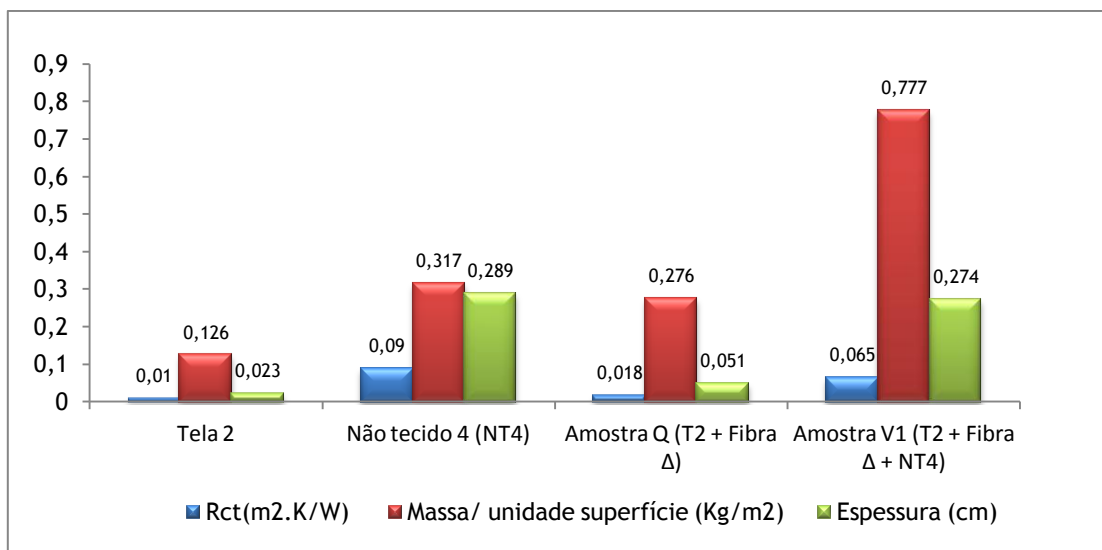


Figura 46: Valores médios de Rct, massa/unidade de superfície e espessura dos materiais utilizados e amostras desenvolvidas na primeira abordagem

Comparando a espessura destas amostras, verifica-se, como seria de esperar, um aumento da espessura da amostra Q e V1 relativamente à Tela 2, no entanto e ao contrário do espectável a amostra V1 apresenta menor espessura do que o NT4. A explicação encontrada para este fenómeno e já referida anteriormente é que durante o processo de laminagem o NT4 está sujeito a uma compressão que irá diminuir o seu volume e em consequência a sua espessura, o que é corroborado pela diminuição verificada no Rct da amostra V1 relativamente ao NT4.

Os resultados obtidos nesta fase, no que se refere à resistência térmica, estão aquém do proposto no início desta dissertação (0,500 $m^2.K/W$), o que levou ao abandono desta via

tecnológica. No entanto estes resultados mostram que a presença do não-tecido aumenta significativamente o Rct, e que a fibra Δ também tem um influência positiva neste parâmetro, pelo que se considerou que a associação deste processo com esta fibra permitiria aumentar significativamente o Rct da estrutura pretendida.

Em anexo (Anexo II) apresentam-se as tabelas com os resultados dos ensaios de resistência térmica, massa/ unidade de superfície e espessura.

5.2 Segunda abordagem: Formação de não-tecido e laminagem

De seguida apresentam-se os resultados dos ensaios realizados à manta de não-tecidos Fibra Δ / Poliéster nas várias fases de desenvolvimento desde o estudo da viabilidade da sua formulação até ao Protótipo Industrial (2º protótipo).

5.2.1 Estudo da viabilidade da formação da manta de não-tecidos com fibra Δ

A Figura 47 apresenta os resultados dos ensaios de resistência térmica e respetivo desvio padrão da amostra Y, fazendo o estudo comparativo com os resultados da amostra V1 (tela revestida com Fibra Δ e laminada com NT4, desenvolvida na primeira abordagem), com o objetivo de verificar se existe melhoria nos resultados desta segunda abordagem relativamente à primeira.

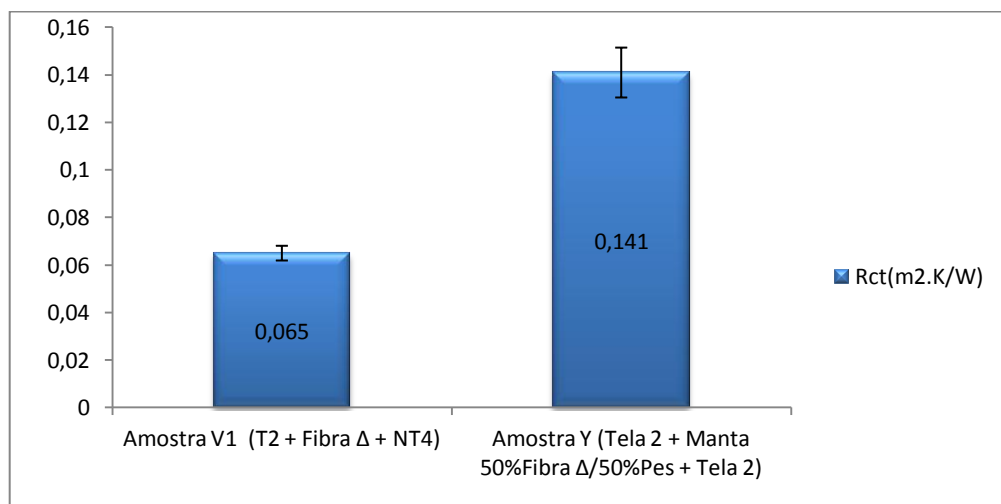


Figura 47: Valor médio de Rct e Desvio Padrão das amostras Y (2ª abordagem) e V1 (1ª abordagem)

O estudo realizado permitiu comprovar a viabilidade de produção da manta de não-tecidos com a fibra Δ / Poliéster. Permitiu também constatar que esta manta apresentou um aumento da resistência térmica considerável ($0,141 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$) quando comparada com a amostra V1 (amostra que na primeira abordagem obteve melhores resultados de Rct ($0,065 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$)), prevendo-se que através desta via tecnológica seja possível alcançar os resultados pretendidos em termos de resistência térmica, sendo no entanto importante ter em consideração a espessura e a massa/ m^2 da amostra.

Ainda relativamente ao Rct da amostra Y verifica-se uma variação grande os três ensaios realizados, que se traduz num desvio padrão e coeficiente de variação elevados (ver tabelas em anexo II). Esta questão poderá estar relacionada com baixa homogeneidade, uniformidade e coesão da manta, uma vez que esta foi a primeira amostra produzida, pelo que foi feita de forma ainda experimental.

A Figura 48 faz a análise comparativa entre os valores médios dos ensaios de resistência térmica, massa/ unidade de superfície e espessura realizados à amostra Y e à amostra V1:

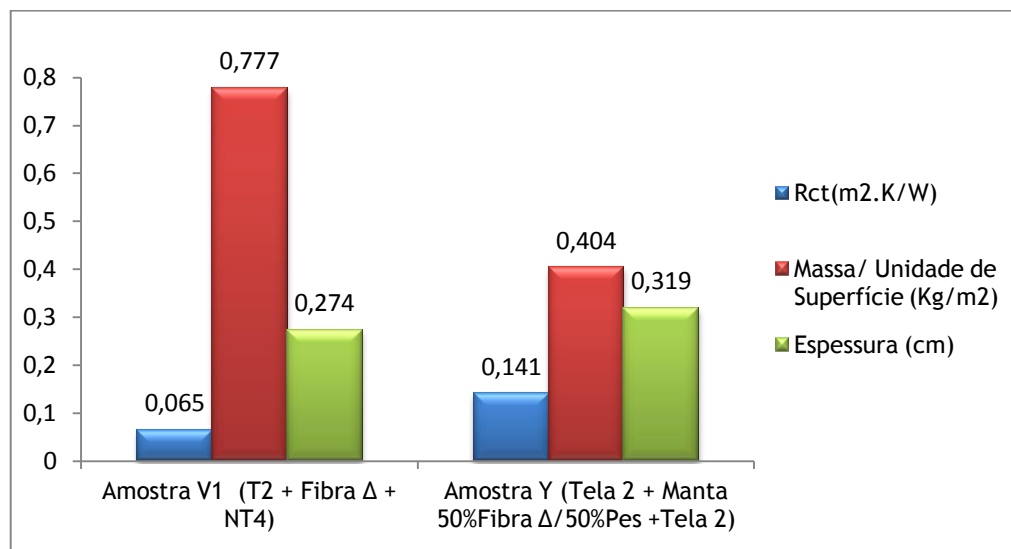


Figura 48: Valores médios de Rct, massa/unidade de superfície e espessura (amostras Y e V1)

Pela figura é possível verificar que a amostra Y apresenta um aumento de espessura relativamente à amostra V1 que, face aos valores requeridos para a estrutura multicamada, (1cm) não constitui um problema. Em termos de peso verificou-se uma melhoria da amostra Y ($404 \text{ g}/\text{m}^2$) quando comparada com os resultados da amostra V1 ($777 \text{ g}/\text{m}^2$), o que poderá estar relacionado com uma elevada massa/ m^2 do NT4 ($300\text{g}/\text{m}^2$), levando a crer que o não-tecido formado nesta fase tem uma massa inferior ao do NT4, o que é vantajoso para o produto final.

Globalmente pode dizer-se que face aos resultados de Rct, massa/ m^2 e espessura da amostra Y, a segunda abordagem (produção de não-tecido e laminagem com a Tela 2) parece

promissora. Existem ainda debilidades quanto à uniformidade e coesão da amostra tendo sido portanto necessário estudar processos de melhoria da sua uniformidade, o que levou ao desenvolvimento de uma manta final constituída por duas mantas similares que posteriormente foram unidas na calandra. Esta operação permitiu obter uma manta final com aspeto visual mais uniforme e coeso.

Apesar de ter aumentado significativamente, o Rct da amostra Y ainda está longe do valor esperado pelo que se entendeu necessário aumentar a quantidade de Fibra Δ na mistura do não-tecido. Para isso realizou-se o estudo da melhor proporção entre as duas fibras.

Em anexo (Anexo II) apresentam-se as tabelas com os resultados dos ensaios de resistência térmica, massa/ unidade superfície e espessura da amostra Y.

5.2.2 Estudo da melhor proporção Fibra Δ / Poliéster

No caso específico deste estudo e para efeitos de comparação apresentam-se os resultados dos ensaios realizados quer sob a forma de tabela, quer em gráfico, de forma a facilitar a leitura dos mesmos.

A Tabela 23 apresenta os resultados dos ensaios de resistência térmica (Rct) realizados às amostras desenvolvidas para estudo da melhor proporção entre Fibra Δ / Poliéster, de forma a potenciar a resistência térmica, mantendo a homogeneidade da amostra:

Tabela 23: Resultados dos ensaios resistência térmica das amostras desenvolvidas para estudo da melhor proporção Fibra Δ / Poliéster

Rct (m ² .K/W)	1º Ensaio	2º Ensaio	3º Ensaio	Média	Desvio Padrão	Coef. Variação
Amostra 1 (100% Pes)	0,059	0,061	0,059	0,060	± 0,0012	1,94%
Amostra 1A (50% Fibra Δ /50% Pes)	0,055	0,060	0,063	0,059	± 0,0040	6,81%
Amostra 1B (55% Fibra Δ /45% Pes)	0,078	0,074	0,080	0,077	± 0,0031	3,95%
Amostra 1C (60% Fibra Δ /40% Pes)	0,085	0,088	0,080	0,084	± 0,0040	4,79%
Amostra 1D (65% Fibra Δ /35% Pes)	0,067	0,079	0,084	0,077	± 0,0087	11,40%
Amostra 1E (70% Fibra Δ /30% Pes)	0,102	0,098	0,103	0,101	± 0,0026	2,62%
Amostra 1F (80% Fibra Δ /20% Pes)	0,063	0,072	0,069	0,068	± 0,0046	6,74%

A Figura 49 apresenta os valores médios dos ensaios de resistência térmica (Rct) e respetivos desvios padrões, das amostras desenvolvidas para estudo da melhor proporção entre Fibra Δ / Poliéster:

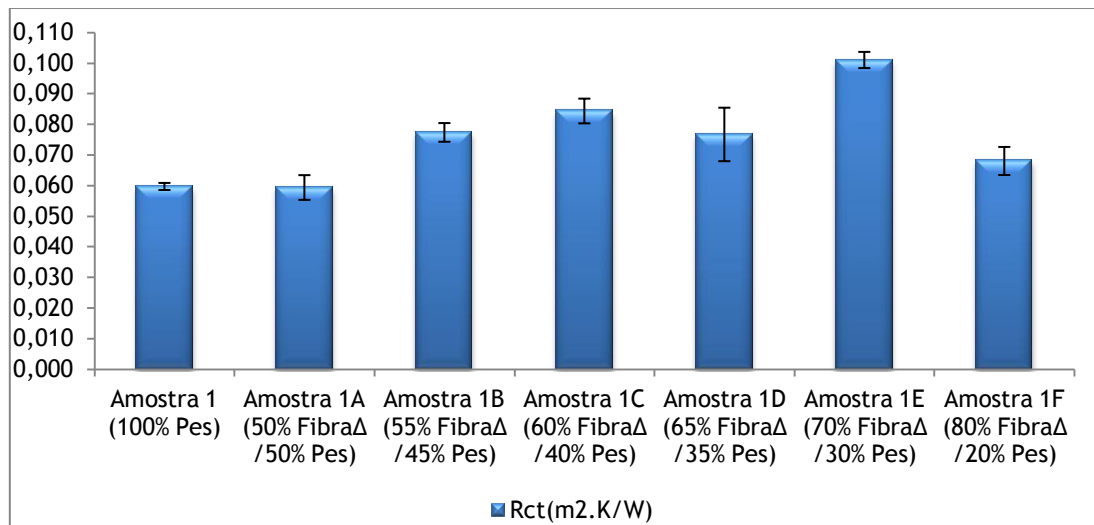


Figura 49: Valor médio do Rct e Desvio Padrão das amostras desenvolvidas para estudo da melhor proporção Fibra Δ / Poliéster

Através da Tabela 23 é possível constatar que se aumentou sucessivamente a proporção da Fibra Δ relativamente à de poliéster, até se atingir uma proporção máxima de 80% de Fibra Δ /20% Poliéster, amostra 1F, tendo-se verificado por análise visual que esta amostra não apresentava consistência.

Apesar desta amostra possuir a maior proporção de fibras Δ , apresenta um dos piores resultados de Rct, o que pode ser justificado por fatores como a pouca homogeneidade verificada visualmente na manta e problemas associados ao processamento.

A mesma tabela e a Figura 49 permitem observar que a amostra 1E (70% Fibra Δ /30% Pes) apresenta o melhor resultado de resistência térmica (Rct).

Por análise da Tabela 23 e da Figura 49 é ainda possível verificar uma tendência para o aumento do Rct com o aumento da quantidade de Fibra Δ , existindo, no entanto, exceções. A amostra padrão 1 (100%Pes) apresenta um Rct ligeiramente superior do que a amostra 1A (50% Fibra Δ / 50%Pes), também a amostra 1C (60% Fibra Δ /40% Pes) apresenta um Rct superior ao da amostra 1D (65% Fibra Δ /35% Pes). Estas discrepâncias face ao espetável podem ser justificados pelo facto das mantas serem produzidas de uma forma quase manual, especialmente na fase de mistura e saída da carda, pelo que podem ter associadas problemas de processamento, que se refletem em variações na consistência e homogeneidade das mesmas e que se traduzem em alterações do Rct e também da espessura. No caso específico da manta 100% poliéster, esta foi mais fácil de processar na carda formando um manto mais uniforme e consistente que as restantes.

Estes problemas podem ainda justificar o facto da amostra Y (amostra desenvolvida para estudar a viabilidade de obtenção de uma manta com Fibra Δ) ter um Rct superior (0,141 m².K/W) ao das amostra 1E (0,101 m².K/W). Estas amostras passaram por processos de desenvolvimento diferentes, uma vez que a amostra 1E sofreu uma operação adicional de

passagem na calandra para melhoria da sua uniformidade e coesão, a que a amostra Y não foi sujeita. Esta operação poderá ter submetido as amostras a maior pressão com reflexo na sua espessura e consequente Rct.

As diferenças de espessura verificadas entre estas amostras e apresentadas na Tabela 24, abaixo, corroboram estes argumentos.

A Tabela 24 apresenta os resultados dos ensaios de resistência térmica, massa/ unidade de superfície e espessura realizados às amostras desenvolvidas com vista ao estudo da melhor proporção Fibra Δ / Poliéster:

Tabela 24: Resultados dos ensaios de Rct, massa/m² e espessura das amostras desenvolvidas para estudo da melhor proporção Fibra Δ / Poliéster

	Rct (m ² .K/W)	Massa/ unidade superfície (kg/m ²)	Espessura (cm)
Amostra 1 (100% Pes)	0,060	0,514	0,186
Amostra 1A (50% Fibra Δ /50% Pes)	0,059	0,529	0,156
Amostra 1B (55% Fibra Δ /45% Pes)	0,077	0,542	0,188
Amostra 1C (60% Fibra Δ /40% Pes)	0,084	0,545	0,199
Amostra 1D (65% Fibra Δ /35% Pes)	0,077	0,507	0,168
Amostra 1E (70% Fibra Δ /30% Pes)	0,101	0,564	0,215
Amostra 1F (80% Fibra Δ /20% Pes)	0,068	0,533	0,184

A Figura 50 relaciona os resultados dos ensaios de resistência térmica com os da espessura das amostras desenvolvidas para estudo da melhor proporção Fibra Δ / Poliéster:

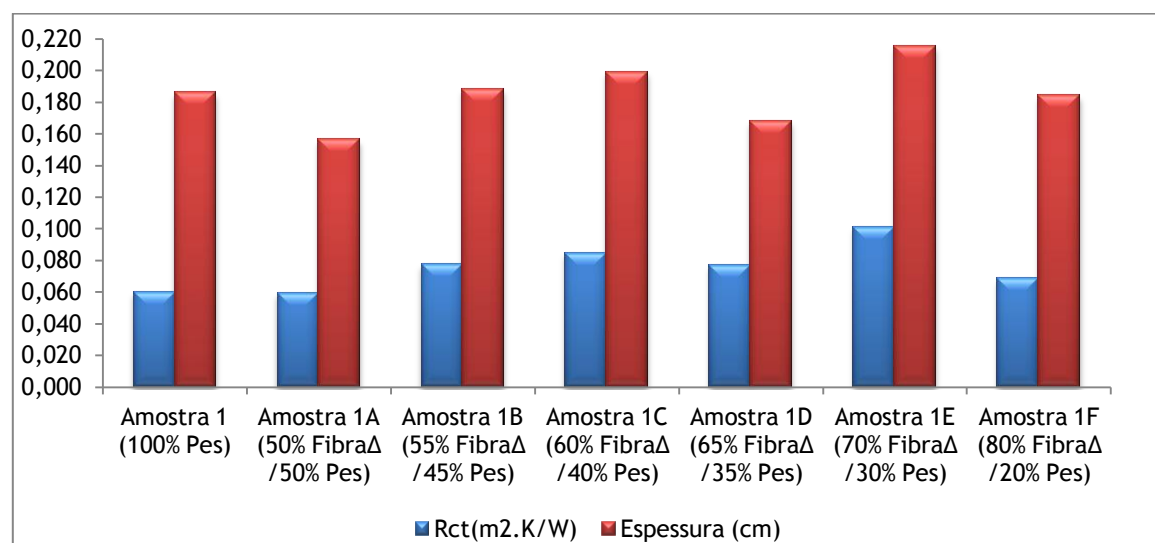


Figura 50: Resultados dos ensaios de resistência térmica e espessura das amostras desenvolvidas para estudo da melhor proporção Fibra Δ / Poliéster

Através da Tabela 24 e da Figura 50 é possível observar que a amostra 1E apresenta os melhores resultados de resistência térmica (R_{ct}) e em simultâneo a espessura mais elevada, o que está de acordo com o expectável face à revisão da literatura, em que é referido que quanto maior for a espessura do material, maior é a resistência térmica (Ref.[18] Cap. 2). Nesse sentido, verifica-se ainda uma tendência generalizada em todas as amostras para o aumento do R_{ct} com o aumento da espessura, sendo exceção a amostra 1D que tem uma espessura baixa (0,168cm) quando comparada com a amostra 1B que, para o mesmo valor de R_{ct} (0,077 $m^2.K/W$), tem uma espessura superior (0,188cm). Uma vez que o processo de produção da manta, nomeadamente a mistura das fibras à entrada do equipamento, é manual, este resultado pode estar relacionado com a falta de uniformidade da manta, o que é corroborado pelo massa/ m^2 da amostra 1D (0,507 kg/m^2) ser inferior ao da amostra 1B (0,542 kg/m^2).

A amostra 1F que possui a maior proporção de Fibra Δ (80%) tem uma espessura de 0,184cm, sendo inferior à da amostra 1E (70% fibra Δ), cuja espessura é 0,215cm, mas neste caso a amostra 1F tem também um R_{ct} inferior ao da 1E. A explicação para este fenómeno, já apresentada acima, está relacionada com a falta de homogeneidade e coesão da manta 1F. Os resultados obtidos nestes ensaios sugerem a existência de um valor ótimo de fibras Δ ($\cong 70\%$), o que significa que a percentagem máxima de Fibra Δ na manta de não-tecido não deve exceder os 70%, uma vez que a partir desse valor o desempenho da manta diminui, visto que a sua consistência e homogeneidade e em consequência a resistência térmica diminuem.

5.2.3 Desenvolvimento dos Protótipos

A Figura 51 apresenta os valores médios dos ensaios de resistência térmica realizados aos protótipos, 1º protótipo (laboratorial) e 2º protótipo (industrial) e respetivo desvio padrão.

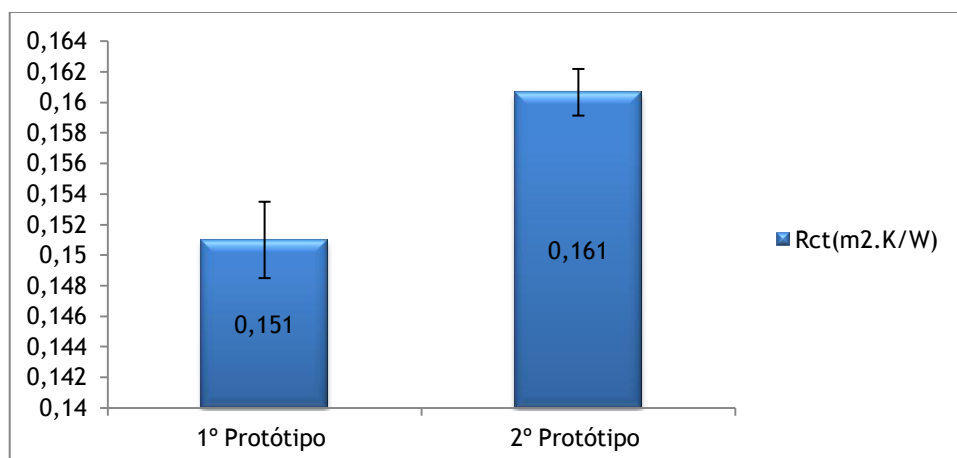


Figura 51: Resultados dos ensaios de resistência térmica realizados aos dois protótipos

Os resultados dos ensaios de resistência térmica (Rct) do 1º protótipo (laboratorial) e respetivo desvio padrão demonstram uma boa uniformidade da amostra o que indica que a manta final obtida por junção (união) de duas mantas com composição 70% Fibra Δ /30% Pes possui um grau de homogeneidade superior quando comparado com a primeira manta produzida de forma individual (amostra Y), confirmando também os resultados obtidos na fase anterior para a amostra 1E. Relativamente a esta amostra verifica-se um aumento significativo no valor médio de Rct, que poderá ser explicado pela alteração realizada na carda onde se desenvolveram as amostras, uma vez que para o desenvolvimento do 1º protótipo foi acoplado um rolo que permitiu melhorar a uniformidade e consistência das mantas à saída da carda, como descrito no Cap. 4.

Apesar deste aumento o valor de Rct do 1º protótipo encontra-se aquém do valor requerido ($0,500 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$).

Face aos resultados obtidos verificou-se a necessidade de melhorar ainda mais a uniformidade e de aumentar a capacidade de isolamento do não-tecido 70% Fibra Δ /30% Pes, o que se procurou fazer no *scale-up* industrial da amostra.

O 2º Protótipo resultante deste processo permitiu comprovar a viabilidade da industrialização do não-tecido, sendo este um dos principais resultados obtidos neste estudo.

Por outro lado e por análise visual verificou-se que este protótipo apresenta boa homogeneidade, fruto da melhoria na mistura que ocorreu no processo industrial.

Apesar disso o valor de Rct obtido ($0,161 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$) ficou abaixo do pretendido no início desta dissertação.

A Figura 52 representa os valores médios finais dos ensaios de Rct, massa/ m^2 e espessura realizados aos dois protótipos.

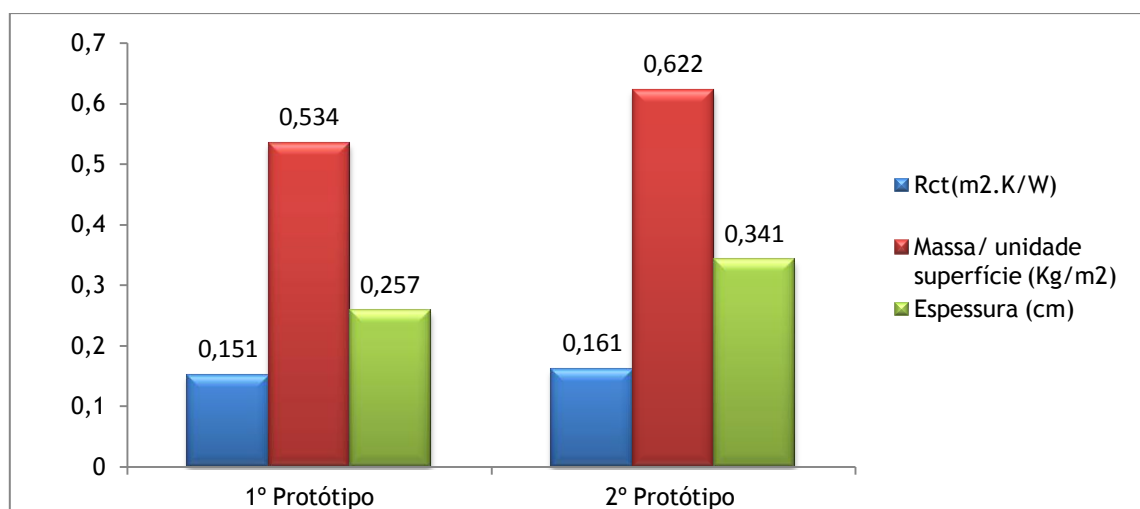


Figura 52: Resultados dos ensaios de Rct, massa/unidade superfície e espessura realizados aos protótipos

A Figura 52 permite verificar um aumento ligeiro do valor de resistência térmica do 1º (0.151 m².K/W) para o 2º protótipo (0.161 m².K/W), este aumento no Rct é acompanhado pelo aumento da espessura e da massa/m², como espectável, e pode estar relacionado quer com a melhoria de uniformidade da mistura das fibras, quer com o processo de agulhagem utilizado industrialmente, que permitiu aprisionar melhor as fibras nomeadamente a Fibra Δ, que, por se tratar de resíduos tinha tendência a soltar-se nas mantas produzidas laboratorialmente. Apesar destas melhorias, o valor de Rct obtido ficou muito aquém do pretendido no início desta dissertação.

Face ao valor da espessura obtido para o 2º protótipo (0.341cm), constata-se que é possível aumentar o Rct sem comprometer a espessura final pretendida (1.0 cm). Uma solução será utilizar duas camadas do não-tecido no interior da estrutura multicamada final. Esta solução irá aumentar a massa/ m² no valor correspondente ao do não-tecido o que poderá comprometer o valor máximo pretendido (1kg/m²) uma vez que a massa da estrutura final já é 622g/m². Outra solução é produzir um não-tecido industrial com maior espessura, por forma a aumentar o aprisionamento de ar e em consequência a resistência térmica.

Na literatura científica (Cap. 2) foi encontrada referência a um material compósito à base de têxtil e espuma (Patente US 4305985 A, Ref [64]) com cerca de 0.6 cm, cujo objetivo é ser aplicado como um papel de parede, com capacidade de isolamento térmico e acústico, e com uma função decorativa. A patente também refere a existência de esferas inorgânicas ocas contendo dióxido de carbono e nitrogénio, para aumentar a resistência ao fogo e o isolamento térmico. Não há referência a valores de condutibilidade, nem resistência térmica, não se podendo concluir sobre a eficácia do produto descrito.

Comparando a estrutura multicamada desenvolvida com a da patente e embora ambos os produtos tenham aplicações similares, o processo tecnológico utilizado é diferente, desde logo pela substituição da espuma por um não tecido inovador. Por outro lado a estrutura multicamada apresenta uma espessura de cerca de metade (0,341cm) da apresentada na patente (0,600cm). Por fim são conhecidos os valores de resistência e condutibilidade, da estrutura multicamada, apresentando-se o produto como um isolante térmico.

Tendo ainda em consideração a revisão da literatura (Cap. 2), foram selecionados do estado da arte como materiais de referência (ver 4.1), o Isowool (Ref. [36]) material de base têxtil comercial para isolamento térmico entre paredes, e o DeckWall (Ref. [54] e [55], Cap. 2) com aplicação no revestimento de paredes interiores.

O Isowool apresenta um valor de Rct de 0.494 m².K/W (ficha técnica do produto em anexo I). Este material foi submetido a ensaios de isolamento térmico de acordo com a norma ISO 11092:1993, no equipamento laboratorial do Citeve, apresentando uma resistência térmica

média de 0,381 m².K/W. Comparando o Rct da estrutura multicamada desenvolvida com o do Isowool, a primeira apresenta um valor inferior.

No entanto e face às diferenças de espessura entre as duas estruturas (0.341 e 1.000 cm) pressupõe-se que com o aumento da espessura da estrutura desenvolvida seja possível chegar a um valor de Rct próximo do Isowool medido pelo mesmo método (0,381 m².K/W), bem como do valor proposto (0.500 m².K/W).

Sendo de realçar que a estrutura desenvolvida tem aplicação no revestimento de paredes e não como isolamento convencional, quando comparada com o DeckWall (Ref. [54] e [55], Cap. 2) material para a mesma aplicação, o seu valor de resistência térmica (0.161 m².K/W) para uma espessura similar dos dois produtos (0,341cm e 0,300cm respetivamente), é significativamente superior ao do Deckwall (0,0572 a 0,0583 m².K/W). Mesmo acautelando que se desconhece o método de medição do Rct do Deckwall e que portanto quando medido segundo a norma ISO 11092:1993, os valores podem variar como aconteceu no caso do Isowool a estrutura multicamada desenvolvida apresenta-se como uma mais-valia do ponto de vista do isolamento térmico.

Na revisão da literatura e estado da arte apresentam-se outros materiais têxteis para revestimento de paredes como é o caso do Burel (Ref. [58] e [59]), que apesar de mencionar nas suas características o isolamento térmico, não o quantifica nem em termos de resistência nem de condutibilidade térmica. Também a serapilheira (Ref. [63]) e os não-tecidos comerciais (Ref. [62]) usados para o mesmo efeito, não apresentam, nem mencionam valores de condutibilidade ou de resistência térmica.

Por comparação com estes materiais a estrutura desenvolvida apresenta-se como uma mais-valia do ponto de vista do isolamento-térmico, mantendo as características dos têxteis, como a flexibilidade e facilidade de manutenção.

5.2.4 Cálculo da condutibilidade térmica da estrutura multicamada

Tendo em conta que a propriedade principal de uma solução para isolamento térmico é a sua condutibilidade térmica [14], foi realizado o cálculo aproximado deste valor para a estrutura multicamada com base na fórmula apresentada no Cap. 2, Ref. [17]:

$$R \left(m^2 \times \frac{K}{W} \right) = \frac{E \ (m)}{\lambda \left(\frac{W}{m \times K} \right)}$$

Obteve-se um valor aproximado de 0.020 W/mK, que é considerado bom, quando comparado com o dos materiais convencionais apresentados no Capítulo 2 - Tabela 5, situando-se ao nível do poliuretano com massa volúmica 30 kg/m³ (Ref. [31]) e muito abaixo de outros materiais

como os poliestirenos e as lãs minerais cujas condutibilidades são de cerca de 0.030 a 0.040 W/mK, variando em função da massa volúmica (Ref. [12, 31, 51]).

Não existindo na literatura científica referencia a materiais para a mesma aplicação do desenvolvido nesta dissertação, devidamente quantificados em termos de condutibilidade, comparou-se a estrutura multicamada com o trabalho desenvolvido por Zacha J. *et al*, (Ref. [10]) embora este último vise o isolamento térmico convencional. Neste estudo foram utilizadas camadas de lã de ovelha cardada sobrepostas até formar mantos com espessuras entre 0,400 a 0,800 cm, que posteriormente foram presos mecanicamente a materiais de reforço. A condutibilidade térmica do material variou entre 0.034 e 0.050 W/m.K, em função da massa volúmica e espessura.

A estrutura multicamada desenvolvida apresenta uma espessura inferior à deste material (0.341cm), tendo uma condutibilidade térmica mais baixa (0.020 W/mK), prevendo-se assim que tenha um comportamento térmico superior do que o material referenciado no trabalho de Zacha J. *et al*.

Foi ainda feita a comparação da estrutura multicamada com o material de referência Isowool para isolamento convencional (Ref. [36]) e o valor de condutibilidade é muito similar (0,021 W/mK - valor especificado pelo fabricante), no entanto a estrutura multicamada tem uma massa volúmica mais elevada (198 kg/m³ para 125 kg/m³ no Isowool) e uma espessura inferior, confirmando o que foi concluído anteriormente, que para otimizar a estrutura multicamada seria necessário aumentar a sua espessura sem alterar significativamente a sua massa.

De acordo com o ITE 50 (ref. [51], Cap. 2) são considerados isolantes térmicos materiais com condutibilidade térmica ≤ 0.065 W/m.°C e resistência térmica $> 0,030$ m².°C/W. Com base nos valores obtidos para a estrutura multicamada ($\lambda \cong 0.020$ W/mK e $R_{ct} = 0.161$ m².K/W) esta pode ser considerada um material de isolamento térmico.

É necessário salvaguardar que o cálculo da condutibilidade efetuado para a estrutura permite apenas estabelecer uma aproximação relativamente aos materiais convencionais apresentados literatura, uma vez que se desconhecem os métodos de ensaio/cálculo utilizados para esses materiais.

Capítulo 6 - Conclusões e Perspetivas futuras

6.1 Conclusões

O objetivo desta dissertação foi o desenvolvimento de uma estrutura multicamada para revestimento de paredes interiores decorativa e com capacidade de isolamento térmico.

Pretendia-se que a estrutura apresentasse um valor de resistência térmica de $0.500 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$, com uma espessura máxima de 10 mm e uma massa/ unidade de superfície máxima de $1000 \text{ g}/\text{m}^2$.

A investigação realizada no âmbito desta dissertação utilizou duas abordagens distintas.

Numa abordagem foram desenvolvidas estruturas multicamada obtidas por revestimento de uma tela 100%Poliéster (Tela 2) com Fibra Δ . Posteriormente, uma das amostras, V, foi laminada com um não-tecido agulhado (NT4), dando origem à amostra V1.

Os resultados de resistência térmica (Rct) das amostras desenvolvidas mostraram estar abaixo do pretendido, sendo $0.018 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ para a amostra Q (Tela 2 + pasta/Fibra Δ) e $0.065 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ para a amostra V1 (Tela 2 + pasta Fibra Δ , laminada com NT4).

Perante os resultados obtidos esta abordagem foi abandonada, mas permitiu tirar elações sobre a influência positiva da Fibra Δ no valor de resistência térmica, bem como concluir que para se obter um aumento expressivo da resistência térmica teriam de ser incorporadas elevadas quantidades de fibra Δ , na estrutura a desenvolver e aumentar a sua espessura.

Face às constatações anteriores surgiu uma segunda abordagem técnica que visou conjugar num só produto as mais-valias térmicas da Fibra Δ e dos não-tecidos.

Assim, foram desenvolvidas mantas de não-tecido com esta fibra para estudar a viabilidade da sua produção, tendo-se verificado que era viável produzir uma manta Fibra Δ /Poliéster.

Foram encontrados constrangimentos no que se refere à homogeneização, consolidação e uniformidade da manta. Para ultrapassar este problema desenvolveu-se uma nova manta constituída por duas mantas similares em composição e massa, que após desenvolvimento foram unidas por prensagem em calandra. Deste desenvolvimento resultou numa manta com maior homogeneidade e coesão do que as mantas individuais.

No seguimento do trabalho realizado e com vista a melhorar o Rct, foi estudada a melhor composição quantitativa da manta, aumentando-se sucessivamente a proporção da Fibra Δ . Através dos ensaios realizados às várias mantas produzidas e também por análise visual da coesão das mesmas, verificou-se que a melhor proporção é 70%Fibra Δ / 30% Poliéster (Amostra 1E, com um Rct $0,101 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$). A partir desse valor o desempenho da manta

diminui, pois perde a consistência e homogeneidade e em consequência perde resistência térmica.

Estudada a composição ideal da manta foi desenvolvido um protótipo laboratorial, utilizando uma manta final constituída por duas mantas 70%Fibra Δ / 30% Poliéster, unidas por prensagem e laminadas nas duas faces à Tela 2. Uma das faces foi estampada de forma a melhorar o aspeto estético da estrutura. Esta estrutura foi testada laboratorialmente e apresentou um Rct de $0,151 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$, para uma espessura de $0,257 \text{ cm}$.

Apesar deste resultado ser significativamente melhor que o da estrutura anterior (amostra 1E) ainda está longe do valor pretendido. Dado que até então as mantas foram produzidas laboratorialmente de forma quase manual, desenvolveu-se uma amostra industrial com vista à melhoria da sua consistência, homogeneidade e uniformidade e da sua resistência térmica.

No protótipo industrial foi possível melhorar a mistura da Fibra Δ com o Poliéster utilizando um equipamento específico. Para além disso a manta sofreu um processo de agulhagem, o que permitiu manter aprisionada a Fibra Δ dentro do não-tecido final.

Verificou-se que com este processo o Rct da amostra aumentou para $0,161 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$, com $0,622 \text{ kg}/\text{m}^2$ e uma espessura de $0,341 \text{ cm}$.

Apesar deste valor ainda estar longe do pretendido, a utilização de duas mantas de não-tecido no interior da estrutura poderá aproximar o valor de Rct da estrutura multicamada do valor pretendido, mantendo a espessura dentro dos parâmetros desejados (1 cm), com o inconveniente do peso poder ultrapassar o $1 \text{ kg}/\text{m}^2$, definido inicialmente. É também possível otimizar o não-tecido, procurando aumentar a sua espessura e por consequência a sua resistência térmica, sem alterar significativamente a massa.

Ao longo das várias etapas do desenvolvimento verificou-se o incremento da resistência térmica e da homogeneidade das estruturas desenvolvidas.

De salientar que a estrutura obtida tem um valor de espessura similar ao do produto DeckWall, apresentando um valor de resistência térmica consideravelmente superior ao deste produto, mantendo a flexibilidade de um produto têxtil e um *design* apelativo.

Quando comparado com outros produtos de revestimento de paredes decorativos, a estrutura desenvolvida apresenta a vantagem pretendida de isolamento térmico, pelo que tal como se apresenta este produto é uma mais-valia, quando comparado com o estado da arte.

Por fim, e tendo em consideração os valores de Rct obtido ($0,161 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$) e a condutibilidade calculada ($\lambda \cong 0.020 \text{ W}/\text{mK}$), e de acordo com o LNEC, a estrutura é considerada um isolante térmico.

Conclui-se assim que a estrutura obtida poderá ser utilizada na reabilitação de edifícios, sem necessidade de alterações estruturais do mesmo, melhorando o seu conforto térmico.

6.2 Perspetivas futuras

Esta dissertação permitiu não só validar a possibilidade de desenvolvimento de uma estrutura têxtil multicamada para revestimento de paredes interiores, com vista ao aumento do isolamento térmico de edifícios, como ainda confirmar a viabilidade de desenvolvimento de produtos têxteis com incorporação de fibras não têxteis. Nesse sentido a dissertação contribuiu para aumentar o conhecimento da manipulação e utilização de resíduos de materiais usados na construção civil para incorporação em substratos têxteis.

A partir do trabalho desenvolvido perspetiva-se a otimização do produto em futuras reengenharias, tanto do ponto de vista da otimização do não-tecido desenvolvido, por aumento da sua espessura e diminuição da sua massa por unidade de superfície, mas também do ponto de vista de outras funcionalidades que o produto deverá ter para poder vir a ser comercializado.

Nesse sentido deverão ser acrescentadas funcionalidades como retardante à chama e eventualmente antimicrobiano, que poderão ser adicionados por acabamento. No âmbito desta dissertação foram já realizados alguns estudos relativos à incorporação destas funcionalidades na Tela 2 que se mostraram promissores.

Verifica-se ainda a necessidade de testar características como a respirabilidade da estrutura, a resistência mecânica e o isolamento acústico.

Para além dos ensaios realizados nesta dissertação, poderá ser importante realizar ensaios de simulação, no sentido de avaliar o desempenho térmico da estrutura desenvolvida num ambiente próximo do real. Para o efeito podem ser realizados ensaios laboratoriais de comparação das temperaturas superficiais entre uma solução representativa de um elemento de construção opaco da envolvente de um edifício, com e sem a estrutura multicamada desenvolvida, quando exposto a uma diferença de temperatura controlada em ambiente devidamente isolado.

Visto que o desempenho energético e térmico de um isolamento de parede é influenciado por um conjunto de parâmetros, como a composição dos elementos estruturais e da restante envolvente, a exposição das fachadas, o perfil de atividade no interior da casa e as condições meteorológicas exteriores, poderá ser utilizada a simulação dinâmica energética (SDE), cuja função é determinar as necessidades de aquecimento e de arrefecimento de um edifício para a sua certificação energética segundo o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), de forma a avaliar o potencial da estrutura multicamada.

Por fim, é também fundamental estudar os processos de colocação da estrutura na parede, nomeadamente no que respeita aos pontos de união e ao corte da estrutura. Este aspeto foi alvo de análise durante o presente trabalho, tendo-se verificado a existência no mercado de soluções que poderão vir a ser utilizadas.

Bibliografia

[1] Coias, V., (2012). Construção: Os excessos e o futuro. Disponível: http://www.gecorpa.pt/Upload/SalaImprensa/FuturoEuroconstruct%2712a_Gecorpa_VitorCoias.pdf. [Consultado: 10 de Janeiro de 2013]

[2] PORTUGAL. Instituto Nacional de Estatística, I.P. (2012). Estatísticas da Construção e Habitação 2011- Estatísticas oficiais. Lisboa. Disponível: http://www.google.pt/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=2&cad=rja&ved=0CDIQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.ine.pt%2Fngt_server%2Fattachfileu.jsp%3Flook_parentBoui%3D143411014%26att_display%3Dn%26att_download%3Dy&ei=9nkXU6iHDLi6ygO1oYHoDg&usg=AFQjCNGq6J8z8Pwgjlc5fyeqUub0euao9w&sig2=LD-X9k11Y_2JO6FzdetCuw&bvm=bv.62286460,d.bGQ. [Consultado: 24 de Fevereiro de 2013]

[3] PORTUGAL. Instituto Nacional de Estatística, I.P. (2011). Censos 2011, Resultados Preliminares. Lisboa. Disponível: http://www.google.pt/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=3&cad=rja&ved=0CD8QFjAC&url=http%3A%2F%2Fwww.ine.pt%2Fngt_server%2Fattachfileu.jsp%3Flook_parentBoui%3D122366991%26att_display%3Dn%26att_download%3Dy&ei=PHUXU8ZLhunLA7GwgGg&usg=AFQjCNFUA_fhooCXjsKYskTcCRWJAR4bA&sig2=jf2BLhoLcYX2SVsJ5Ky9Jg&bvm=bv.62286460,d.bGQ. [Consultado: 20 de Setembro de 2013]

[4] PORTUGAL. Instituto Nacional de Estatística, I.P. (2013) *Estatísticas da Construção e Habitação 2012- Estatísticas oficiais*. Lisboa. Disponível: <https://www.google.pt/#q=Estat%3ADsticadas+Constru%3A7%3A3o+e+Habita%3A7%3A3o+2011+%E2%80%93+Instituto+Nacional+de+Estat%3ADstica%2C+I.P.+%E2%80%93+Estat%3ADsticadas+oficiais+%E2%80%93+Edi%3A7%3A3o+2012>. [Consultado: 25 de Novembro de 2013]

[5] Pereira, Vasco S., (2006), Tendências na reabilitação de fachadas - a contribuição da indústria de materiais de construção. No Workshop “O Habitat do Futuro inserido no património construído - desafios e oportunidades para o Sector da Reabilitação”. Aveiro 27 de Janeiro de 2006. Disponível: <http://www.AveiroDomus.pt/Workshop/3%20Reabilitação/3%20Vasco%20Pereira.pdf>. [Consultado: 10 de Janeiro de 2013]

[6] PORTUGAL. Ministério da Economia e do Emprego, InCI-Instituto da Construção e do Imobiliário, I.P. Direção de Análise de Mercados. (2012). “Perspetivas para a construção até 2014”. Na 73.^a Conferência do *Euroconstruct*. Londres, Junho de 2012. P.1-3. Disponível: http://www.base.gov.pt/oop/downloads/Euroconstruct_73_final_2.pdf. [Consultado: 10 de Setembro de 2013]

[7] Anselmo, I. et al, (2004) “Reabilitação energética da envolvente de edifícios residenciais”. Ministério das Atividades Económicas e do Trabalho, Direção Geral de Geologia e Energia. Lisboa. [Consultado: 24 de Fevereiro de 2013]

[8] PORTUGAL. Instituto Nacional de Estatística, I.P. (2008) Estatísticas da Construção e Habitação 2007. Lisboa. Disponível: http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_publicacoes&PUBLICACOESpub_boui=141989&PUBLICACOESmodo=2. [Consultado: 24 de Fevereiro de 2013]

- [9] “*Smart Textiles for Thermal insulation for the building sector - Storopet Project, an European research project to cut down building energy consumption*”, (2013). Tex Innovation. (Maio 2003) P.11-13. Disponível: http://www.texclubtec.it/tex_innovation/pdf/Tex_Innovation_16_eng.pdf. [Consultado: 25 de Novembro de 2013]
- [10] Zacha, J. et al, (2012) “*Performance evaluation and research of alternative thermal insulations based on sheep wool*”. Energy and Buildings. N° 49. P.246-253. Disponível: www.elsevier.com/locate/enbuild. [Consultado: 1 de Março de 2013]
- [11] PORTUGAL. Ministério da Economia e do Emprego, Direção Financeira de Estudos e de Estratégia, InCI-Instituto da construção e do Imobiliário, I.P. (2013) “Relatório Anual do Sector da Construção em Portugal, 2012”. Lisboa. Disponível: <http://www.base.gov.pt/oop/downloads/RelatorioConstrucao2012.pdf>. [Consultado: 2 de Novembro de 2013]
- [12] Barros, H. D. (2009). “Estudo e Avaliação das Componentes Térmicas na Utilização de energia em edifícios”. Tese de Mestrado, Universidade da Madeira.
- [13] Al-Homoud, M. S. (2005). “*Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials*”. Building and Environment, N° 40 P. 353-366. Disponível: www.elsevier.com/locate/buildenv. [Consultado: 2 de Fevereiro de 2013]
- [14] Jelle, Bjørn P., (2011) “*Traditional, state-of-the-art and future thermal building insulation materials and solutions - Properties, requirements and possibilities*”. Energy and Buildings, N° 43 P.2549-2563. Disponível: www.elsevier.com/locate/enbuild. [Consultado: 10 de Janeiro de 2013]
- [15] Mendes, P. (2012) “Isolamentos térmicos em edifícios e o seu contributo para a componente térmica”. Dissertação de Mestrado, Universidade Fernando Pessoa.
- [16] Afonso, J. (2009). “Estudo do Comportamento Térmico de Edifícios Antigos - Um Caso de Estudo”, Tese de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa.
- [17] Frydrych, I., et al, (2002). “*Comparative Analysis of the Thermal Insulation Properties of Fabrics Made of Natural and Man-Made Cellulose Fibres*”. Disponível: http://fibtex.lodz.pl/39_08_40.pdf. [Consultado: 3 de Março de 2013]
- [18] PORTUGAL. Agência Regional da Energia e Ambiente da Região Autónoma da Madeira. Disponível:<http://www.arem.pt/download/diversos/Resistencia%20termica%20de%20materiais%20isolantes.pdf>. [Consultado: 7 de Dezembro de 2013]
- [19] Rosado K., et al. (2011). “*Fibrous based materials in sustainable civil and architectural applications - a review*”. ICEUBI2011 - International Conference on Engineering. Universidade da Beira Interior. Disponível: http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/15844/1/16_2011%20Fibrous%20based%20materials%20in%20sustainable%20civil%20and%20architectural%20applications%20-%20a%20review.pdf. [Consultado: 10 de Janeiro de 2013]
- [20] PORTUGAL. Diário da Republica N.º 159 – 20 de agosto de 2013, 1.ª série - (SCE) Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (Decreto-Lei n.º 118/2013).

- [21] PORTUGAL. Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEG). “Marcação CE”. Disponível: http://www.lnec.pt/qpe/marcacao/marcacao_ce. [Consultado: 14 de Março de 2014]
- [22] PORTUGAL. Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEG). “Diretiva dos Produtos de Construção (DPC)”. Disponível: http://www.lnec.pt/qpe/marcacao/directiva_produtos_construcao. [Consultado: 14 de Março de 2014]
- [23] Pina dos Santos, C. (2011). “A marcação CE e a reação ao fogo dos produtos de cortiça.” Em: Seminário “A normalização Como fator de sucesso - Marcação CE nos produtos de cortiça.” Disponível: http://www.ipq.pt/backFiles/Pina%20dos%20Santos_LNEG.pdf. [Consultado: 20 de Março de 2014]
- [24] PORTUGAL. Diário da Republica N.º 5–8 de Janeiro de 2007, 1.ª série - Marcação CE (Decreto-Lei n.º 4/2007, art. 4º).
- [25] Associação Ibérica de Poliestireno Extrudido (AIPEX). “Soluções de isolamento térmico com poliestireno extrudido (XPS) para uma construção sustentável.” Disponível: http://www.aipex.es/panel/uploads/descargas/cat_xpsPORT.pdf. [Consultado: 14 de Março de 2014]
- [26] SERC GROUP. “Proteção passiva contra incêndio: Euroclasses de reação ao fogo”. Disponível: <http://www.serc-europe.com/serc/portugues/ppci/SERC%20DOC.009.R0-Euroclasses%20de%20Reacao%20ao%20Fogo.pdf>. [Consultado: 14 de Março de 2014]
- [27] Comissão Europeia (2000). Jornal Oficial das Comunidades Europeias: DECISÃO DA COMISSÃO de 8 de Fevereiro de 2000 que aplica a Diretiva 89/106/CEE do Conselho relativa à classificação dos produtos de construção no que respeita ao desempenho em matéria de reação ao fogo. Disponível: <http://old.eu-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2000:050:0014:0018:PT:PDF>. [Consultado: 14 de Março de 2014]
- [28] URSA Insulation. (2009). “*Insulation Pocket Manual*”. Spain. Disponível: <http://www.ursainsulation.com.tr/en-us/products/Documents/Insulation%20Pocket%20Manual.pdf>. [Consultado: 14 de Março de 2014]
- [29] Nunes, J. A. (2008). “Reabilitação do ponto de vista térmico de fachadas no centro histórico do Porto”. Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- [30] BSCD Portugal (2005). “Manual de boas práticas de Eficiência Energética - Implementar o desenvolvimento sustentável nas empresas”. Disponível: http://www.eficiencia-energetica.com/images/upload/manual_boas_praticas_EE.pdf. [Consultado: 14 de Março de 2014]
- [31] Agham, Rahul D., (2012) “*State-Of-The-Art Insulation Materials: A Review*”. International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT), Volume 2, Issue 6, December 2012. [Consultado: 2 de Novembro de 2013]
- [32] Aisla y Ahorra, Isofloc. Disponível: <http://www.portugal.aislayahorra.es/7.html>. [Consultado: 20 de Março de 2014]

- [33] Associação Plataforma para a Construção Sustentável: CentroHabitat - Cluster Habitat Sustentável. Disponível: <http://www.centrohabitat.net/pt/associado/biohabitat-lda>. [Consultado: 20 de Março de 2014]
- [34] Panyakaew, S., Fotios, S., (2011) “*New thermal insulation boards made from coconut husk and bagasse*”. Energy and Buildings, N° 43 P.1732-1739. Disponível: www.elsevier.com/locate/enbuild. [Consultado: 1 de Março de 2014]
- [35] Corticeira Amorim (2004). “Natureza e Tecnologia, A Solução Ideal”. Em FCT-UNL. Lisboa. Disponível: http://www2.dec.fct.unl.pt/UNIC_ENG/palestras/Palestras2005/Revestimentos/AMORIM-cortica.pdf. [Consultado: 3 de Março de 2014]
- [36] Ibérica Feltros, Isowool. Disponível: <http://www.ibericafeltros.com/ifeltsite/index.php>. [Consultado: 20 de Março de 2014]
- [37] Diário de Notícias, (2009). “Reciclagem de desperdícios têxteis gera telas para isolamento acústico”. Disponível: http://www.dn.pt/inicio/economia/interior.aspx?content_id=1378396. [Consultado: 14 de Março de 2014]
- [38] Kymalainen, H. R., Sjoberg, A. M., (2008). “*Flax and hemp fibers as raw materials for thermal insulations*”. Building and Environment, N°43 P.1261-1269. Disponível: www.elsevier.com/locate/buildenv. [Consultado: 2 de Fevereiro de 2013]
- [39] Greentec eco homes, Biofib Duo - Flax and Hemp Wool Insulation. Disponível: <http://www.greentec.ie/new-builds/insulation/>. [Consultado: 3 de Março de 2014]
- [40] Briga-Sá, A., et al., (2012) “*Textile waste as an alternative thermal insulation building material solution*” Disponível: www.elsevier.com/locate/enbuild. [Consultado: 7 de Dezembro de 2013]
- [41] PEG, La Solution Isolation, ECOPEG® 39. Disponível: <http://www.cd2e.com/sites/default/files/annuaire/EM/BaseDoc/275/ECOPEG%2039%20%20Fiche%20produit%20val%2005%2009%202011.pdf>. [Consultado: 23 de Março de 2014]
- [42] PEG, La Solution Isolation, ECOPEG® 39. Disponível: <http://www.peg.fr/wp-content/uploads/2013/02/dossier-technique-complet-ecopeg-39.pdf>. [Consultado: 23 de Março de 2014]
- [43] ISOTHERM Thermal Insulation. Disponível: <http://isotherm.co.za/products/isotherm/walls/>. [Consultado: 25 de Março de 2014]
- [44] Brits Nonwoven, ISOTHERM Thermal Insulation. Disponível: <http://www.brits.co.za/index.php/building/>. [Consultado: 25 de Março de 2014]
- [45] Quercos, Associação nacional de conservação da natureza. “ecocasa: LÃ DE VIDRO”. Disponível: http://ecocasa.pt/userfiles/file/La_de_Vidro.pdf. [Consultado: 16 de Fevereiro de 2014]

[46] Portal met@lica, Lã de Vidro. Disponível: <http://www.metlica.com.br/la-de-vidro-isolamento-termico-e-acustico>. [Consultado: 25 de Março de 2014]

[47] Portal met@lica, Lã de Rocha. Disponível: <http://www.metlica.com.br/la-de-rocha-isolamento-termico-e-acustico>. [Consultado: 25 de Março de 2014]

[48] Termolan, Isolamentos Termo-Acústicos S.A., RocTerm PN70. Disponível: http://portal.termolan.pt/termolan/UserFiles/Downloads/fichas_tecnicas/PN70_pt.pdf. [Consultado: 3 de Março de 2014]

[49] Quercos, Associação nacional de conservação da natureza. “ecocasa: POLIESTIRENO EXTRUDIDO”. Disponível: http://ecocasa.pt/userfiles/file/POLIESTIRENO_EXTRUDIDO.pdf. [Consultado: 16 de Fevereiro de 2014]

[50] CITEVE (2013), informação interna compilada e não publicada.

[51] Pina dos Santos, C., Matias, L. (2006). “Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente de edifícios”. ITE 50. Informações Científicas e Técnicas, Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEG), Lisboa. Disponível: http://home.fa.utl.pt/~lcaldas/LNEG_ITE_50.pdf, [Consultado: 16 de Fevereiro de 2014]

[52] Amorim Isolamentos, Decorativo Rustico. Disponível: <http://www.amorim.com/unidades-de-negocio/isolamentos/>. [Consultado: 3 de Março de 2014]

[53] Amorim Isolamentos, Decorativo Rustico. Disponível: http://www.amorimisolamentos.com/xms/files/FICHA_TECNICA/amorim_isolamentos_ft_decorativo_rustico_de_paredes_interiores.pdf. [Consultado: 3 de Março de 2014]

[54] Wicanders, Deckwall. Disponível: <http://www.wicanders.com/pt/colecoes/dekwall/apresentacao/>. [Consultado: 3 de Março de 2014]

[55] Wicanders, Deckwall. Disponível: http://www.wicanders.com/xms/files/COLLECTIONS/DEKWALL/TDS_Dekwall_INT_03_2013.pdf. [Consultado: 3 de Março de 2014]

[56] Bernick, K. (2010) “*Newsworthy*” Wall-Covering is Made Entirely of Newspaper. *Inhabitat*. Disponível: <http://inhabitat.com/newsworthy-wall-covering-is-made-entirely-of-newspaper/>. [Consultado: 30 de Março de 2014]

[57] Casadart, Vinil. Disponível: http://www.casadart.com/sobre-o-vinil/info_14.html#. [Consultado: 13 de Setembro de 2014]

[58] Burel Penhas Douradas Factory, Burel. Disponível: <http://burelfactory.com/revestimentos.php>. [Consultado: 3 de Março de 2014]

[59] Burel Penhas Douradas Factory, Burel. Disponível: <http://burelfactory.com/fichatecnica.php>. [Consultado: 3 de Março de 2014]

[60] Spot.it, Felt walls by anekyyroquinn. Disponível: <http://www.spotd.it/2009/10/felt-walls.html>. [Consultado: 30 de Março de 2014]

[61] Chapman, R. (2010). “*Applications of Nonwovens in Technical Textiles*”. Woodhead Publishing Limited. Disponível: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781845694371500082>. [Consultado: 29 de Março de 2014]

[62] *Design Your Wall, Astek Wallcoverings: Fine Textiles by Julian Scott Designs non-woven wallpaper*. Disponível: <http://www.designyourwall.com/store/Astek-Wallcoverings-Fine-Textiles-by-Julian-Scott-Designs-non-woven-wallpaper-c-198.html>. [Consultado: 29 de Março de 2014]

[63] Remodelista, Serapilheira. Disponível: <http://www.remodelista.com/posts/an-unexpected-material-for-the-wall-burlap>. [Consultado: 30 de Março de 2014]

[64] Patente US 4305985 A (1982). Disponível: <http://www.google.com/patents/US4305985>. [Consultado: 21 de Setembro de 2014]

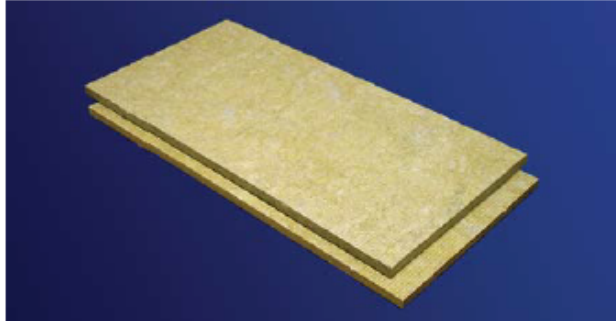
[65] Peixoto de Freitas, V., (2002). “ Isolamento térmico de fachadas pelo exterior - Reboco delgado armado sobre poliestireno expandido - ETICS”, Relatório Maxit, Porto

[66] Aisla y Ahorra, Isofloc. Disponível: <http://www.portugal.aislayahorra.es/8.html>. [Consultado: 20 de Março de 2014]

**Anexos I: Fichas Técnicas de produtos
para isolamento térmico e de produtos
para revestimento de paredes**

Ficha Técnica do Rocterm PN70 (Painel de Lã de Rocha)

(Fonte: [48])



PN 70

CERTIFICADO DE CONFORMIDADE
N.º 0402-CPD-356912

DEFINIÇÃO:

Painéis rígidos de espessura uniforme, constituídos de fibras de lã de rocha aglutinadas com resina sintética termo-endurecida, sem revestimento.

APLICAÇÕES:

Múltiplas, como isolamento térmico e acústico para todas as soluções de maior exigência.

DENSIDADE NOMINAL: 70 kg/m³

DIMENSÕES LINEARES

ESPESSURA (mm)	30	40	50	60	80	100
COMPRIMENTO (mm)	1 350					
LARGURA (mm)	600					

Tolerâncias: ESPESSURA: classe T4 -5% até +3 mm e +5% até +3mm*
COMPRIMENTO: ± 2%
LARGURA: ± 1,5%
* É válido a menor diferença

RESISTÊNCIA TÉRMICA R_D

ESPESSURA (mm)	30	40	50	60	80	100
R (m ² .K/W)	0,85	1,15	1,45	1,75	2,35	2,90

VALOR DECLARADO DE CONDUTIBILIDADE TÉRMICA λ_D: 0,034 W / mK

REACÇÃO AO FOGO

INCOMBUSTÍVEL - EUROCLASSE A1

ABSORÇÃO DE ÁGUA

W_s ≤ 1,00 kg/m²

FACTOR DE DIFUSÃO AO VAPOR DE ÁGUA

μ : 1,3

MW EN 13 162 - T4 - WS



Isolamento ++

- Excelente isolamento acústico e térmico.
- Muito boa prestação mecânica.



CONSTRUÇÃO



ISOLAMENTO TÉRMICO



ISOLAMENTO ACÚSTICO



PROTECÇÃO CONTRA INCÊNDIO

Vantagens:

- Facilidade e rapidez de instalação
- Fácil adaptação aos elementos estruturais
- Elevadas performances de isolamento
- Segurança em caso de incêndio
- Muito bom desempenho face a água
- Produto Inerte e que respeita o meio ambiente (livre de CFC e HCFC)



TERMOLAN
SOLUÇÕES EM TERMO-ACUSTICOS, SA

www.termolan.pt | www.rocterm.com | www.rocterm.eu


Ficha Técnica do Isofloc L

(Fonte: [66])

Licença Técnica Europeia	ETA-04/0080
Condutividade térmica Lambda (10°C a 23°C / 50% de humidade do ar)	0,037 W/m x K
Capacidade térmica específica	2150 J/kg x K
Densidades de acordo com a Licença Técnica Europeia	30-60 kg/m ³
Reação ao fogo	
Material	Euroclasse B, d0-s2 e > 100 mm; E, d0-s2 e > 40 mm
Ponto de autoinflamação	280°C
Temperatura máxima permanente	60°C
Temperatura máxima a curto prazo	90°C
Partes construtivas (resistência ao fogo)	RF 30 até RF 90 para todas as partes construtivas (s/DIN 4102-2)
Isolamento acústico	
Material	Não pode ser comprimido. Por esse motivo, não é utilizado para isolar placas de betão contra ruídos de impacto, embora sim para isolar muros e tectos falsos contra ruídos aéreos.
	Existem certificados de testes sobre grau de absorção acústica, resistência à pressão atmosférica referente à longitude e rigidez dinâmica.
Partes construtivas	Certificado de testes em diversas partes construtivas, com diferentes paramentos, diferentes espessuras de isolamento em tectos, paredes e coberturas.
Resistência	Resistente à colmatagem nas densidades construtivas propostas.
	Resistente à roedura de ratos e parasitas. Fungicida. Longa experiência comprovada durante décadas.
Controlo de Qualidade	Controlo externo pela MPA NRW (CE). Amplo controlo no laboratório da própria empresa. As empresas instaladoras homologadas possuem um certificado e utilizam pessoal formado. Realiza-se amostragem em obras executadas. Sistema 3 de certificado de conformidade.
Sistema de certificação de conformidade	De acordo com a edição 1999/91/CEE da comissão europeia.
Fator de resistência à difusão de vapor u	u = 1/2
Humidade normal do material	8-10% com 50% de humidade relativa
	16% a 18% com 80% de humidade relativa
Componentes	92% de papel de jornal seleccionado 8% hidróxido de alumínio (proteção contra o fogo e conservantes)
Exigência energética na produção	aprox. 0,1 kvh/kg
Exigência energética primária incluindo todos os processos	aprox. 50 kvh/m ³ (a 50 kg/m ³)

Ficha Técnica do Isowool

(Fonte: [36])

Características Técnicas	Unidades	Dados
Apresentação	---	Rolos
Comprimento	m	12
Largura	m	1,10
Espessura	mm	10
Peso	g/m ²	1250
Temperatura de Utilização	°C	(-40 a +80)
Redução Acústica / a ruídos de reflexão	dB	23
Redução Acústica / a ruídos de impacto	dB	25
Resistência Térmica	m ² .k/W	0,494
Condutividade Térmica	W/m.k	0,021
Resistência ao Punçoamento Estático	kN	0,31
Alongamento ao Punçoamento Estático	mm	53
Resistência ao Rasgo: Comprimento (V.médio-daN)	Kg	8,0
Resistência ao Rasgo: Largura (V.médio-daN)	Kg	4,5
Produto 100% reciclável.		

Ficha Técnica do Decorativo Rústico

(Fonte: [53])

DECORATIVO RUSTICO DE PAREDES INTERIORES

Revestimento de paredes com Aglomerado de Cortiça expandida especial MDFACHADA, apresentando o aspeto natural da cortiça a vista.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Densidade: 140 a 160 kg/m³

Condutibilidade térmica: $\lambda = 0,043 \text{ W/m}^\circ\text{C}$

Ótimo comportamento em grandes amplitudes térmicas (-180°C a 120°C)

Excelente isolamento acústico

CARACTERÍSTICAS AMBIENTAIS

- Processo industrial 100% natural e sem aditivos
- Durabilidade de 50 a 60 anos sem perda de características
- Totalmente reciclável
- Baixa energia incorporada
- Sem emissões de compostos nocivos para a qualidade do ar interior

LINHAS DE PRODUTO: 500 x 500 mm x 15mm

Ficha Técnica do Burel

(Fonte: [59])

Trata-se de um tecido:

- 100% lã
 - Feltrado
 - Resistente ao fogo
 - Elevado grau de impermeabilidade
 - Isolante térmico e acústico
 - Higroscópico
 - Anti eletrostático
 - Resistente
 - Flexível
 - Natural
 - Agro-produto

Manutenção:

O Burel é um tecido de fácil manutenção. A estrutura da fibra repele a sujidade e em caso de derramamento permite, de seguida, executar a sua limpeza e secagem no devido tempo. Dando o exemplo dos tapetes, a aspiração regular é tudo o que é necessário para limpar e manter um tapete sempre novo. É possível lavar à máquina, no programa de lãs, sendo a temperatura recomendada de 40°C. Recomenda-se passar a ferro com vapor e no programa de lãs.

Composição Química:

O Burel apresenta a seguinte composição elementar aproximada:

- Carbono (C) - 50%
- Hidrogénio (H) - 7%
- Oxigénio (O) - 21%
- Nitrogénio (N) - 17%
- Enxofre (S) - 5%

A fibra de lã é composta por queratina que é uma proteína rica em enxofre, elemento que não se encontra em qualquer outra fibra.

Ficha Técnica do Deckwall (Fonte: [55])

Dekwall

Dimensions Available			600x300x3mm	
	Standard - Test Method	Unit	Result	
			Wax	Varnish
Dimensions	EN 427	mm	600 ± 0.5% 300 ± 0.5%	
Squareness	EN 427	mm	600: < 1.0mm 300: < 0.5mm	
Thickness	ISSO 7322	mm	3.0 ± 0.3%	
Apparent density	EN 672	Kg/m ²	≥ 200	
Dimension stability	EN 434	%	≤ 0.4	
Curling	EN 434	mm	≤ 6	
Moisture content	EN 12105	%	≤ 7	
Formaldehyde	EN 12149, method C	mg/Kg	≤ 95	
Vinyl Chloride Monomer (VCM)	EN 12149, TEST B	mg/Kg	≤ 0.2	
Thermal resistance	EN 12667	m ² K/w	0.0583	0.0572
Reaction to Fire	EN 13501-1	Class	E _g , d0	D _g , d0
Sound Absorption	ISO 354	α _w	0.10	
Release of heavy metals and specific elements	EN 12149		fulfilled	

**Anexos II: Tabelas com os resultados dos
ensaios de resistência térmica, massa
por unidade de superfície e espessura**

Primeira abordagem: Revestimento e laminagem

Na Tabela 25 apresentam-se os resultados dos ensaios de resistência térmica (Rct) realizados aos materiais utilizados e às amostras desenvolvidos nesta abordagem, a sua média e o respetivo desvio padrão e coeficiente de variação.

Tabela 25: Ensaios de Rct aos materiais utilizados e desenvolvidos na primeira abordagem

Rct(m ² .K/W)	1º Ensaio	2º Ensaio	2º Ensaio	Média	Desvio Padrão	Coef. Variação
Tela 2	0,010	0,010	0,009	0,010	± 0,0006	5,97%
Não tecido 4	0,089	0,091	0,092	0,091	± 0,0015	1,68%
Amostra Q (T2 + Fibra Δ)	0,020	0,015	0,019	0,018	± 0,0026	14,44%
Amostra V1 (T2 + Fibra Δ + NT4)	0,068	0,062	0,064	0,065	± 0,0031	4,77%

A Tabela 26 apresenta os resultados dos ensaios de resistência térmica, massa/ unidade de superfície e espessura realizados aos materiais anteriores:

Tabela 26: Resultados dos ensaios de Rct, massa/unidade de superfície e espessura dos materiais utilizados e amostras desenvolvidas na primeira abordagem

	Rct (m ² .K/W)	Massa/ unidade superfície (kg/m ²)	Espessura (cm)
Tela 2	0,010	0,126	0,023
Não tecido 4 (NT4)	0,090	0,317	0,289
Amostra Q (T2 + Fibra Δ)	0,018	0,276	0,051
Amostra V1 (T2 + Fibra Δ + NT4)	0,065	0,777	0,274

Segunda abordagem: Formação de não-tecido e laminagem

Estudo da viabilidade da formação da manta de não-tecidos com fibra Δ

A Tabela 27 apresenta os resultados dos ensaios de resistência térmica realizados à amostra desenvolvida para estudo da viabilidade da produção da manta de não-tecidos, amostra Y.

Tabela 27: Resultados dos ensaios de resistência térmica realizados na amostra Y

Rct ($m^2.K/W$)	1º Ensaio	2º Ensaio	3º Ensaio	Média	Desvio Padrão	Coef. Variação
Amostra Y (Tela 2 + Manta 50%Fibra Δ / 50%Pes + Tela 2)	0,131	0,152	0,141	0,141	$\pm 0,0105$	7,45%

A Tabela 28 apresenta os resultados dos ensaios de resistência térmica, massa/ unidade de superfície e espessura realizados na amostra Y:

Tabela 28: Resultados dos ensaios de resistência térmica, massa/unidade superfície e espessura realizados na amostra Y

	Rct ($m^2.K/W$)	Massa/ unidade superfície (kg/m^2)	Espessura (cm)
Amostra Y (Tela 2 + Manta 50%Fibra Δ /50%Pes)	0,141	0,404	0,319

Desenvolvimento dos Protótipos

A Tabela 29 apresenta os resultados dos ensaios de resistência térmica realizados aos dois protótipos, protótipo laboratorial (1º protótipo) e protótipo industrial (2º protótipo).

Tabela 29: Resultados dos ensaios de resistência térmica realizados aos dois protótipos

Rct ($m^2.K/W$)	1º Ensaio	2º Ensaio	3º Ensaio	Média	Desvio Padrão	Coef. Variação
1º Protótipo (Tela 2 + Manta 70% Fibra Δ /30% Pes + Tela 2)	0,149	0,154	0,151	0,151	$\pm 0,0025$	1,66%
2º Protótipo (Tela 2 + Manta 70% Fibra Δ /30% Pes +Tela 2)	0,161	0,159	0,162	0,161	$\pm 0,0015$	0,95%

A Tabela 30 apresenta os resultados dos ensaios massa/ unidade de superfície e espessura realizados aos mesmos protótipos.

Tabela 30: Resultados dos ensaios de massa por unidade de superfície e espessura realizados aos dois protótipos

	1º Protótipo (Tela 2 + Manta 70% Fibra Δ/30% Pes + Tela 2)		2º Protótipo (Tela 2 + Manta 70% Fibra Δ/30% Pes + Tela 2)	
	Massa/ unidade superfície (kg/m ²)	Espessura (cm)	Massa/ unidade superfície (kg/m ²)	Espessura (cm)
1º Ensaio	0,532	0,242	0,618	0,341
2º Ensaio	0,528	0,236	0,620	0,357
3º Ensaio	0,528	0,258	0,626	0,339
4º Ensaio	0,540	0,254	0,624	0,336
5º Ensaio	0,540	0,260	0,623	0,330
6º Ensaio	0,534	0,276	0,619	0,342
7º Ensaio	0,536	0,247	0,623	0,345
8º Ensaio	0,530	0,255	0,620	0,342
9º Ensaio	0,535	0,274	0,626	0,340
10º Ensaio	0,537	0,269	0,619	0,341
Média	0,534	0,257	0,622	0,341
Desvio Padrão	± 0,0044	± 0,0133	± 0,0030	± 0,0101
Coef. Variação	0,83 %	5,16%	0,48%	2,96%

Por fim a Tabela 31 apresenta os valores médios finais dos ensaios realizados aos mesmos protótipos:

Tabela 31: Resultados dos ensaios de Rct, massa/unidade superfície e espessura realizados aos protótipos

	Rct (m ² .K/W)	Massa/ unidade superfície (kg/m ²)	Espessura (cm)
1º Protótipo (Tela 2 + Manta 70% Fibra Δ/30% Pes + Tela 2)	0,151	0,534	0,257
2º Protótipo (Tela 2 + Manta 70% Fibra Δ/30% Pes +Tela 2))	0,161	0,622	0,341