

Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Pedro Manuel Costa Gomes da Silva

**Estudo de estruturas têxteis aplicadas em
revestimento automóvel**

Dissertação de Mestrado
Ciclo de estudos integrados
conducentes ao grau de Mestre em
Engenharia Têxtil
Mestrado Integrado em Engenharia têxtil

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor Ana Maria Moreira Ferreira da Rocha

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do *RepositóriUM* da Universidade do Minho.



Atribuição-CompartilhaIgual
CC BY-SA

<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>

Agradecimentos

Este trabalho marca o final de um percurso e de uma etapa alcançada da minha vida académica, conotada por desafios, aventuras, esforço, dedicação, alegrias e dissabores.

Revela-se de extrema dificuldade transcrever para palavras os agradecimentos devidos, pela variedade de intervenientes. Contudo não poderia deixar de agradecer de forma geral a todos os docentes, técnicos e companheiros dos 5 anos de duração do mestrado integrado em Engenharia Têxtil, que tornaram esta caminhada mais subtil e prazerosa.

Um agradecimento muito especial para a minha orientadora, Professora Ana Maria Rocha, pelo acreditar, sabedoria e rigor que transmitiu, não só na elaboração desta dissertação, mas sim ao longo de todo o percurso académico. As palavras de apoio e de direcionamento nas alturas mais acertadas serão sempre recordadas.

À Vânia, pois por todo apoio académico e conhecimento que possa existir, o objetivo não poderia ser alcançado sem o seu apoio, companheirismo, perseverança e alegria que sempre transmitiu, pois sem isso seria tudo mais difícil.

Aos meus pais e ao meu irmão, que permitiram este acontecimento, que suportaram bastantes contratempos, mas sempre mantiveram o seu apoio e auxílio. Mais uma vez, o meu muito obrigado.

“Amigos tornam as gargalhadas mais altas, as conversas mais apetecíveis e a vida mais feliz” e por isso, ao Fernando e ao Alexandre, que se tornaram verdadeiros amigos ao longo deste percurso deixo o meu profundo agradecimento dos muitos momentos e das muitas noites a escrever os projetos interdisciplinares.

À Copo Têxtil, em especial ao Pablo Otero, Teresa Fareleiro e José Gouveia, pela abertura das portas da casa e disponibilização de auxílio e material de trabalho nos momentos necessários, que permitiram a favorável conclusão deste projeto.

Em jeito de conclusão, desejo transmitir o meu profundo e sentido agradecimento a todas as pessoas que contribuíram para a concretização desta dissertação, estimulando-me intelectual e emocionalmente.

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

Universidade do Minho, setembro de 2019

Pedro Manuel Costa Gomes da Silva

Assinatura:

Resumo

Estudo de estruturas têxteis aplicadas em revestimento automóvel

A necessidade de encontrar soluções de customização exigidas pelo utilizador, promove a procura incessante de novas matérias-primas, estruturas e acabamentos. Num setor automóvel que trabalha em ritmo acelerado, em constante mutação e inovação, é necessário que os vários setores industriais envolventes ofereçam novas soluções e em muitos dos casos inovem por antecipação.

Os têxteis técnicos permitiram à indústria têxtil alargar os seus campos de atuação – é já comum a presença de substratos têxteis nos mais variados setores, desde a indústria automóvel, da construção, aeroespacial, proteção, medicina, entre outras. Os novos materiais de alto desempenho (supermateriais) e os materiais inteligentes (*smart materials*), entre outros – são fruto das ações constantes de *I&D* e permitiram a superação de desafios tecnológicos, até aqui não ultrapassáveis.

A parceria entre a indústria têxtil e a automóvel, permite a criação de sinergias vantajosas para ambos os lados: a indústria automóvel procura materiais que cumpram os requisitos, tendo em atenção a constante necessidade de redução de peso; por seu lado a indústria têxtil pretende crescer em setores que absorvam materiais de alta tecnicidade, promovendo assim o crescimento do setor.

Este trabalho enquadra-se nesse contexto, focado no estudo da influência dos acabamentos no desempenho final de uma estrutura de base têxtil composta por um tecido laminado com espuma, para aplicação em revestimento automóvel, tais como, bancos, *liners*, tejadilhos, entre outros. O estudo compreendeu a análise das propriedades térmicas, mecânicas, de permeabilidade ao ar e vapor e de absorção e dispersão de líquidos de três amostras de revestimento – amostra padrão (AM1), amostra com acabamento termorregulador (AM2) e amostra com acabamento termorregulador e estamparia com *PCM's* (AM3).

Com base nestas características de desempenho, elaborou-se uma matriz de decisão, que permite identificar e selecionar o acabamento mais adequado. Os resultados devolvidos pela matriz desenvolvida, permitiram as seguintes conclusões em termos comparativos: considerando que todas as amostras apresentam a mesma estrutura, apenas com variação do acabamento funcional, a adição de *PCM's* (AM3) não se revela uma mais valia no desempenho final das amostras.

Palavras-chave: têxteis técnicos, acabamentos termorreguladores, revestimento automóvel

Abstract

Study of textile structures applied in automotive coverings

The need to find user-required customizations solutions, promote the ceaseless search of new raw materials, structures and finishing. In an automotive industry that works in fast-paced, in constant mutation and innovation, the various surrounding industrial sectors need to offer new solutions and, in many cases, innovate in advance.

Technical textiles have enabled the textile industry to broaden its scope – it's already common the presence of textiles substrates in various sectors, from the automotive industry, construction, aerospace, protection, medicine, among others. The new high-performance materials (supermaterials) and the smart materials, between others, are the result of constant R&D actions and allows to overcome technological challenges, that have not been overtaking so far.

The partnership between the textile and automotive industry, enables the creation of advantageous synergies for both sides: the automotive industry seeks materials that meet the requirements, taking into account the constant need for weight reduction; for its part, the textile industry intends to grow in sectors that are capable to absorb high-tech materials, promoting in this way the growth of the sector.

The dissertation works fit in this context, focused on the study of the influence of finishing on the final performance of a textile base structure, composed of a fabric laminated with a foam, developed for automotive applications, such as seats, liners, car roofs, among others. The study comprised the analysis of the thermal, mechanical, air and vapour permeability, as well as liquid absorption and dispersion of three structures – standard sample (AM1), a sample with thermoregulatory finish (AM2) and sample with phase change materials (PCM's) (AM3).

Based on these performance characteristics, a decision matrix was elaborated, which allows the identification and selection of the most suitable finishing. The results allow to understand that, the addition of *PCM's* (AM3) doesn't reveal improvement on the final performance of the samples.

Keywords: technical textiles, thermoregulatory finishing, automotive coverings

Índice

Agradecimentos	ii
Resumo	iv
Abstract.....	v
Capítulo 1: Introdução	1
1.1 Enquadramento	2
1.2 Objetivo do trabalho	5
1.3 Metodologia	6
1.4 Estrutura da dissertação	7
Capítulo 2: Enquadramento teórico	8
2.1 Componentes automóvel: aplicações têxteis	8
2.1.1 Requisitos e normalização dos componentes têxtil para automóvel	10
2.1.2 Produtos e materiais de mercado	12
2.2 Tendências de materiais e tecnologias	18
2.2.1 Materiais	19
Capítulo 3: Desenvolvimento experimental	29
3.1 Materiais	29
3.2 Métodos de avaliação de desempenho	31
3.2.1 Caracterização das amostras	31
3.2.2 Comportamento térmico	35
3.2.3 Propriedades mecânicas.....	40
3.2.4 Propriedades de transferência de ar e vapor	46
3.2.5 Propriedades de absorção de líquidos e capacidade de secagem.....	48
Capítulo 4: Análise e discussão de resultados	52
4.1 Caracterização da amostra	52

4.1.1	DSC - Differential Scanning Calorimetry	53
4.1.2	Mapa de Pressões	55
4.2	Propriedades térmicas	57
4.2.1	Método da <i>Alambeta</i>	57
4.2.1	Manequim térmico.....	59
4.2.2	Mapeamento térmico em arrefecimento	62
4.3	Propriedades mecânicas	63
4.3.1	Coeficiente de fricção – <i>Frictorq</i>	64
4.3.2	Compressão cíclica e resistência à fadiga.....	65
4.3.1	Resistência à abrasão e formação de borboto	69
4.4	Propriedades de transferência de ar e vapor de água	70
4.4.1	Permeabilidade ao ar	70
4.4.1	Permeabilidade ao vapor de água	71
4.5	Propriedades de absorção de líquidos e capacidade de secagem.....	73
4.5.1	Ângulo de contacto	73
4.5.2	Capacidade de secagem	75
4.6	Matriz de decisão	76
4.6.1	Análise dos resultados	78
	Capítulo 5: Conclusões e perspetivas futuras	81
	Bibliografia.....	84
	ANEXO I.....	91
	ANEXO II	94

Índice de Figuras

Figura 1: a) venda mundial de veículos; b) registo mundial de veículos (ACEA, 2019).	3
Figura 2: Aplicações de artigos têxteis na indústria automóvel, em unidades (Padalkar and Sawant, 2019).	4
Figura 3: Representação esquemática de desafios da Indústria Automóvel e potenciais abordagens aos desafios do setor (McKinsey & Company, 2016).	9
Figura 4: Componentes automóveis compostos por têxteis num automóvel (Mukhopadhyay and Partridge, 1999).	10
Figura 5: Componentes convencionais de um assento automóvel. Adaptado de (Chatterjee, 2017).	15
Figura 6: Composição dos revestimentos do módulo do chão.	16
Figura 7: Estrutura de um pneu, adaptado de (Michelin Portugal, 2018).	17
Figura 8: Resistência específica vs. rigidez específica de materiais de elevada tenacidade (Park and Rutledge, 2017).	21
Figura 9: ciclo de mudanças de fase de um PCM (Tristão, 2014).	24
Figura 10: Classificação de materiais de armazenamento de energia (Tristão, 2014).	26
Figura 11: Distribuição dos diferentes tipos de <i>PCM</i> em função da entalpia de fusão e da temperatura de fusão (Tristão, 2014).	27
Figura 12: Distinção de acabamentos entre as diferentes amostras.	30
Figura 13: Instrumento <i>DSC</i> , utilizado para caracterização térmica das amostras.	32
Figura 14: Caracterização de um material por <i>DSC</i> (adaptado de (Sá, 2017)).	32
Figura 15: Equipamento de medição de pressão piezoresistivo <i>Tekscan's Conformat</i> : esq. Preparação da calibragem; dir. <i>set up</i> de medição da pressão.	33
Figura 16: Representação dos dados obtidos <i>in loco</i> de ensaio, através da colocação de um utilizador sentado na estrutura.	33
Figura 17: Medidor de espessura digital M034 da SDL Atlas.	34

Figura 18: Equipamento <i>Alambeta</i> , para avaliação das propriedades térmicas de substratos têxteis.....	36
Figura 19: Manequim e câmara térmica utilizados neste ensaio.	37
Figura 20: Dados obtidos a partir do ensaio de avaliação da temperatura dentro de um automóvel, indicando em paralelo temperatura do ar exterior, do habitáculo e bagageira automóvel (Dadour <i>et al.</i> , 2011).....	38
Figura 21: Procedimento utilizado para determinação do mapeamento térmico em arrefecimento.	39
Figura 22: <i>Set-up</i> de ensaio do procedimento montado para mapeamento térmico.	39
Figura 23: Imagem termográfica de uma amostra após sofrer aquecimento e arrefecimento tratado no <i>software</i> da <i>Testo</i>	40
Figura 24: Equipamento <i>Frictorq</i> (esq.); sensor binário reativo de precisão (dir.).....	41
Figura 25: Gráfico representativo de um ensaio de compressão (ISO, 1986).....	42
Figura 26: <i>Set-up</i> para os ensaios de compressão: (esq.) célula de carga e impactador; (dir.) máquina universal de teste <i>Hounsfield H100KS</i>	44
Figura 27: Medidor de espessura da <i>Mitutoyo</i>	44
Figura 28: Traçado da figura <i>lissajous</i> (ISO, 2016a).	45
Figura 29: Abrasímetro <i>Martindale</i> para ensaio da formação de borboto e resistência à abrasão.	46
Figura 30: Permeabilímetro ao ar <i>Textest 5110 Labdata</i>	47
Figura 31: Permeabilímetro ao vapor de água <i>TF165 Testex</i>	48
Figura 32: Mecanismo de transporte de líquidos através de um substrato têxtil (Azeem <i>et al.</i> , 2017).....	49
Figura 33: Ângulo de contacto numa superfície, com a apresentação das 3 interfaces (Azeem <i>et al.</i> , 2017).	49
Figura 34: <i>Set-up</i> de medição do ângulo de contacto: esq. goniómetro; dir. software de gravação e medição do ângulo formado entre a gota e a superfície.	50
Figura 35: Distinção de acabamentos entre as diferentes amostras do plano de trabalho.	52

Figura 36: Análise <i>DSC</i> da amostra AM1.....	54
Figura 37: Análise <i>DSC</i> da amostra AM2.....	54
Figura 38: Análise <i>DSC</i> da amostra AM3 com estamparia com <i>PCM's</i>	55
Figura 39: Resultados da distribuição da pressão estática.....	56
Figura 40: Absortividade, condutividade e resistência térmica, obtidas a partir do método da <i>Alambeta</i>	58
Figura 41: <i>PI CONTROL</i> no manequim térmico para a amostra AM1 e AM2.....	59
Figura 42: <i>PI CONTROL</i> no manequim térmico para a amostra AM1 e AM3.....	60
Figura 43: <i>PI CONTROL</i> no manequim térmico para a amostra AM2 e AM3.....	61
Figura 44: Valores médios devolvidos pelo equipamento <i>fictorq</i>	64
Figura 45: Curvas representativas do 1º ciclo de compressão dos 3 provetes da amostra.	65
Figura 46: Curvas representativas do 10º ciclo de compressão dos 3 provetes da amostra.	65
Figura 47: Curvas representativas do 20º ciclo de compressão dos 3 provetes da amostra.	66
Figura 48: Variação da energia entre o 1º, 10º e 20º ciclo de compressão.....	66
Figura 49: Variação da espessura entre o 1º e 20º ciclo dos provetes da amostra.	67
Figura 50: Valores de permeabilidade ao ar a pressão de 100 Pa das amostras AM1, AM2 e AM3.....	71
Figura 51: Valores médios de permeabilidade ao vapor de água.....	72
Figura 52: Valores médios de ângulo de contacto.....	74
Figura 53: Curvas representativas da libertação de humidade das amostras durante os 30 minutos de ensaio.	75
Figura 54: Valores médios da libertação de humidade das amostras durante os 30 minutos de ensaio.	76

Índice de Tabelas

Tabela 1: Objetivos do departamento de energia Norte Americano para a redução do peso dos veículos para 2025 e 2050.....	8
Tabela 2: Componentes Automóveis produzidos através de têxteis técnicos.	10
Tabela 3: Características de têxteis <i>mobiltech</i> de acordo com o componente automóvel a que se destinam, adaptado de (IHS Automotive, 2016).	13
Tabela 4: principais características dos <i>PCM's</i> (Tristão, 2014).	25
Tabela 5: Caraterização das amostras e componentes.....	30
Tabela 6: Resumo da caracterização estrutural das amostras.....	53
Tabela 7: Valores complementares da análise do mapeamento de pressões da estrutura.	56
Tabela 8: Valores absolutos das propriedades térmicas avaliadas pela <i>Alambeta</i> , com o respetivo desvio padrão.	58
Tabela 9: Fluxo térmico médio necessário para manutenção da temperatura em 33 °C - AM1 e AM2.	60
Tabela 10: Fluxo térmico médio necessário para manutenção da temperatura em 33 °C - AM1 e AM3.	61
Tabela 11: Fluxo térmico médio necessário para manutenção da temperatura em 33 °C - AM2 e AM3.	61
Tabela 12: Valores médios de temperatura das diferentes amostras durante os 30 minutos de arrefecimento.	62
Tabela 13: Valores absolutos de variação de energia do 1º, 10º e 20º ciclo de compressão.	67
Tabela 14: Valores obtidos da variação da espessura após ensaio de compressão cíclica à fadiga.	68
Tabela 15: Valores da recuperação da espessura dos provetes após ciclo de compressão.	68

Tabela 16: Avaliação dos parâmetros de perda de massa e grau de formação de borbotonas nas amostras.....	69
Tabela 17: Imagens registadas dos provetes na fase inicial pré-ensaio e final após 30000 ciclos.....	70
Tabela 18: Valores médios de permeabilidade ao ar e respetivo desvio padrão.	71
Tabela 19: Valores registados de permeabilidade ao vapor de água.	72
Tabela 20: Valores médios absolutos e respetivo desvio padrão das amostras em relação ao ensaio de medição do ângulo de contacto.....	74
Tabela 21: Quadro de avaliação do valor de propriedade.	77
Tabela 22: Fatores de influência das propriedades a estudar.	77
Tabela 23: Fatores de classificação e respetivo índice de cor para análise de resultados.	78
Tabela 24: Fatores de influência no estudo caso da metodologia proposta.....	78
Tabela 25: Valores obtidos através da matriz decisão desenvolvida nesta metodologia.	80
Tabela 26: Imagens obtidas a partir da câmara termográfica durante o ensaio de arrefecimento aos 0, 5, 10, 20 e 30 minutos.....	94

Capítulo 1: Introdução

A mudança de foco por parte da *IPTV – Indústria Portuguesa do Têxtil e Vestuário*, que é caracterizada pela adição de valor aos itens transacionados, através da passagem do convencional para elevada tecnicidade, engloba os têxteis técnicos que se enquadram no contexto de desenvolvimento, para melhoria do desempenho funcional dos artigos. Por regra, a sua utilização visa suprir necessidades de mercado específicas, apresentando um papel importante na saúde, proteção, questões ambientais, entre outros. (Horrocks and Anand, 2016). Dentro destas, os têxteis técnicos dedicados ao setor automóvel – *mobiltech* – designadamente para estofos ou *headliners*, assumem particular importância (Matsuo, 2008; Government of Gujarat, 2017) e serão objeto de estudo na presente dissertação.

Em Portugal, o setor dos têxteis técnicos representa quase 25% de todo o consumo de têxteis no mercado nacional, inserindo-se numa indústria que aumentou 4% do volume das exportações em 2017 face ao ano anterior e estimando-se que tenha um crescimento de 30% até 2030 (Larguesa, 2018). A previsão de crescimento dos têxteis para aplicações técnicas é bem mais positiva do que para quase todos os outros mercados, incluindo fibras, têxteis e vestuário (Observatório Têxtil do CENESTAP, 2010; Durjoy, 2018), estimando-se que em 2020 representem 30% do setor têxtil em Portugal, aproximação suportada, pelo crescimento de 10,8% nas exportações, registado entre 2016 e 2017 (Observatório Têxtil do CENESTAP, 2010; Cardoso, 2015; Larguesa, 2018).

A *Mobiltech* é um segmento de destaque, expondo uma taxa de crescimento anual composta expectável de 5,1% entre 2015-2020, crescimento impulsionado pela perspetiva positiva da produção de automóveis em economias emergentes da região Ásia-Pacífico (Klein, 2015). Já em Portugal, a tendência de crescimento espera-se relativamente lenta neste período, por se tratar de uma fase de grande investimento no desenvolvimento de produto. Algumas empresas da indústria têxtil e de vestuário, a *Coindu*, a *TMG*, a *Copo Têxtil*, a *ERT*, entre outras, distinguem-se pela sua abordagem aos têxteis técnicos como componentes para aplicação na indústria automóvel, com produtos compósitos, materiais de revestimento e enchimento (Ferreira, 2005; Observatório Têxtil do CENESTAP, 2010; Larguesa, 2018).

1.1 Enquadramento

A indústria automóvel é considerada como um setor estratégico para a *UE (União Europeia)*, empregando aproximadamente 13,8 milhões de europeus – valor correspondente a 6,1% do emprego total na união europeia, que é um dos maiores produtores mundiais de veículos a motor. Além da operação direta de produção de motores, a indústria automóvel apresenta ligações muito diretas e fundamentais com outras indústrias, como a do aço, químicos e têxtil, sendo que o lucro gerado deste setor representa 7% do *PIB (produto interno bruto)* da *UE* (European Commission, 2019). Ainda, o setor automóvel representa o maior investimento privado em *I&D (Investigação e desenvolvimento)*, com estas atividades a serem dinamizadas através da organização *EUCAR – Assembleia Europeia de I&D no setor automóvel*, gabinete que gere e impulsiona as operações de investigação e desenvolvimento para o setor automóvel na União Europeia, com o objetivo de fortalecer a competitividade do comércio de veículos de passageiros e comerciais através de soluções mais seguras, limpas, “mais espertas” e eficientes. Para isto, a *EUCAR* promove o trabalho através de 4 pilares estratégicos, que garantem aos seus membros o envolvimento em projetos de valor acrescentado (ACEA, 2019):

- Propulsão sustentável;
- Acessibilidade e competitividade;
- Mobilidade segura e integrada;
- Veículos comerciais;
- Mobilidade urbana.

Numa divisão mundial por 4 regiões (Europa, América, Ásia e África/Médio Oriente), o mercado europeu é o 3º maior em termos de vendas e registos de automóveis, respetivamente 21,6% e 22,9%, como pode ser observado na Figura 1 (ACEA, 2019).

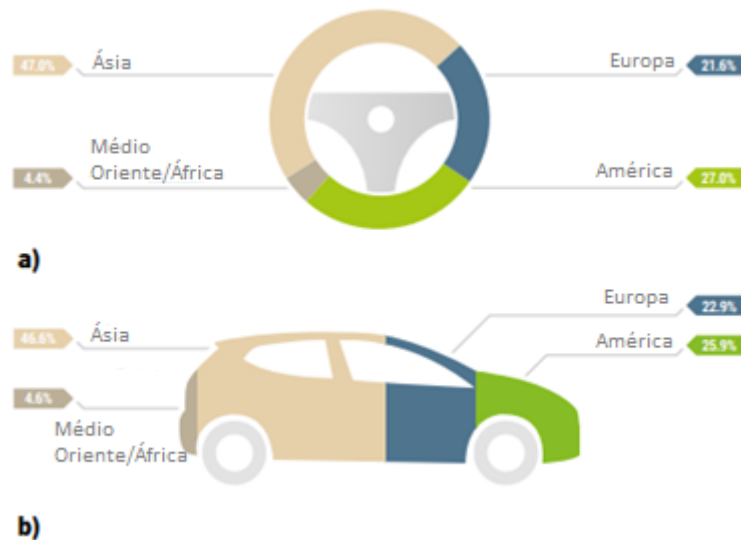


Figura 1: a) venda mundial de veículos; b) registo mundial de veículos (ACEA, 2019).

É ainda de realçar que a UE é um *key player* na produção de veículos, com aproximadamente 22,7 milhões de veículos produzidos em 2018 (ACEA, 2019; McKinsey & Company, 2019).

Relativamente à evolução promovida pelas atividades de *I&D*, os têxteis têm assumido um papel preponderante na diminuição de peso, melhoria do conforto e estética, aumento da interação utilizador/veículo e da segurança, sendo um excelente material para tornar os componentes ou superfícies funcionais. Numa fase em que a redução de peso é um fator essencial para diminuir o consumo de combustível e sendo objetivo da UE emissões na ordem de 95 g/km em 2020, sendo necessário que esse valor seja reduzido em 40% num futuro próximo (Reports and Data, 2019), sendo facilmente identificáveis novas oportunidades para os têxteis. De acordo com a *Markets and Markets*, empresa dedicada à análise e estudos neste âmbito, o mercado dos têxteis para aplicação automóvel foi avaliado em €25,22 mil milhões de Euros, sendo expectável que em 2021 atinja os €30,71 mil milhões de Euros a uma taxa de crescimento anual de 3,3% (Markets and Markets, 2015).

Pela sua parte, a *Allied Market Research*, empresa de consultoria e de pesquisa de mercado refere que o mercado dos têxteis para aplicação automóvel fechou o ano de 2017 com o valor de €26 mil milhões de Euros, esperando que no período 2018-2025 a taxa de crescimento anual seja de 2,9%, atingindo assim o valor no fim desse período €33 mil milhões de Euros. No mesmo relatório são identificáveis as subidas previstas por tipo de produto (Figura 2). Os revestimentos (de chão, painéis interiores e estofos) são os de maior crescimento previsto. Este crescimento assenta essencialmente na capacidade

funcional de novas estruturas, matérias-primas e acabamentos (Padalkar and Sawant, 2019) e na necessidade de ultrapassar problemas associados às atuais soluções.



Figura 2: Aplicações de artigos têxteis na indústria automóvel, em unidades (Padalkar and Sawant, 2019).

A *Allied Market Research* identificou vários fatores que podem ser considerados oportunidades para expansão do mercado dos têxteis (Padalkar and Sawant, 2019), de entre os quais se salientam:

- **Impacto negativo do uso do couro:** todo o impacto negativo da produção de couro, como os químicos e toxinas libertadas que poluem o ar e águas envolventes, além dos movimentos contra a utilização negativa dos animais produtores, têm colocado muitos senões à utilização de couro.;
- **Aumento da procura de materiais *eco-friendly*:** esta tendência promove uma oportunidade de negócio ainda pouco explorada nos artigos de revestimento automóvel;
- **Redução do peso para redução do consumo de energia:** este fator poderá, por exemplo, conduzir à substituição de alguns componentes de aço por materiais de base têxtil, mais leves.

Em Portugal, a indústria automóvel e componentes é de extrema relevância para a economia e *PIB* nacionais. A *AICEP (Agência para o investimento e comércio externo de Portugal)* publicou um relatório em 2016 onde referia tratar-se do sector exportador mais representativo, com um valor registado de €6,7 mil milhões de EUR em 2015, associado a um crescimento de 7% (AICEP, 2016). De entre os vários segmentos deste sector, o dos têxteis e outros revestimentos representa 11% (AFIA, 2019).

O presente trabalho enquadra-se neste segmento, focado especificamente no estudo de estruturas têxteis desenvolvidas para revestimento interior automóvel, no caso específico de tecidos laminados com espuma.

1.2 Objetivo do trabalho

O objetivo geral deste trabalho é analisar o comportamento de estruturas de tecido com espuma desenvolvidas para revestimento interior de automóvel – no caso específico um tecido de poliéster laminado com uma espuma – de forma a compreender qual é o impacto no desempenho funcional do produto, comparando para esse efeito duas amostras funcionalizadas a uma amostra padrão sem qualquer acabamento. Ao ser trabalhado neste desenvolvimento um produto já comercializado e que se encontra aplicado principalmente em assentos automóvel, é essencial o estudo destes principalmente nas funções básicas de promoção do conforto do passageiro em condições estáticas e dinâmicas. Este conforto pode ser termofisiológico, ergonómico e sensorial. Neste caso, uma vez que o conforto ergonómico é baseado no conhecimento das medidas antropométricas para aplicação na construção de um assento automóvel, e que os ensaios a decorrer são feitos em tecido plano, este não será considerado para este estudo. Vários estudos podem ser considerados para conceção do conforto ergonómico de um assento para automóveis, com (Sharma, Kant and Singh, 2015) a avaliarem o conforto ergonómico em diferentes *designs* de assentos de carros, enquanto que (Sheth *et al.*, 2011) estudaram a ergonomia de assentos automóvel e de que forma a ergonomia impacta a alavancas reclináveis em assentos.

A parte experimental compreende o estudo e avaliação de 3 amostras, que apresentam a mesma estrutura – composta por um tecido laminado com uma espuma – sendo a variação introduzida pelo acabamento proporcionado a cada um dos provetes: 1 amostra padrão, com acabamento sem químicos; 1 amostra com acabamento termorregulador; 1 amostra com acabamento termorregulador e estamparia de *PCM's* à superfície.

Para esta avaliação serão estudadas as propriedades térmicas (*Alambeta*, manequim térmico e câmara térmica), propriedades mecânicas (coeficiente de fricção, compressão e resistência à abrasão e formação de borboto), propriedades de permeabilidade (permeabilidade ao ar e permeabilidade ao vapor de água) e propriedades de absorção (ângulo de contacto e libertação de humidade). Além dos ensaios para determinação das

propriedades anteriores, ensaios de *DSC* (*Calorimetria diferencial de varrimento*), mapa de pressões, espessura e massa por unidade de superfície, serão realizados de modo a garantir a caracterização estrutural das amostras.

Assim, no final do trabalho realizado será possível a realização de uma comparação objetiva entre as amostras e ainda, a elaboração de uma matriz de decisão, onde é possível adaptar as necessidades e desta forma, garantir a melhor escolha para cada tipo de aplicação, consoante os parâmetros estudados. Essa matriz de decisão permitirá analisar qual a amostra que apresenta maior amplitude de vantagens na sua aplicação, consoante os requisitos definidos.

1.3 Metodologia

O desenvolvimento do trabalho compreendeu as seguintes etapas:

Fase 1 – Estudos preliminares – compreendeu a pesquisa do estado da arte e a especificação dos requisitos a cumprir por um substrato têxtil para revestimento automóvel (estofos e painéis interiores). Foram objeto de pesquisa: (i) as características e condições (de uso e ambientais) a que estão sujeitas as zonas das viaturas a ser revestidas com materiais têxteis; (ii) propriedades dos materiais usualmente utilizados e materiais emergentes; (iii) tipo de acabamentos que podem ser aplicados; (iv) requisitos e normas a cumprir específicas do setor automóvel .

Fase 2 – Avaliação do desempenho – Com as estruturas têxteis preparadas e acabadas, divididas em 3 amostras, foram criadas rotinas para: (i) caracterização estrutural e de comportamento ao uso, com avaliação via *DSC* e de mapeamento de pressões; (ii) propriedades térmicas, pelo método da *Alambeta*, manequim térmico e câmara térmica; (iii) propriedades mecânicas, através da avaliação do coeficiente de fricção, compressão e resistência à abrasão e formação de borboto; (iv) propriedades de transferência de ar e vapor, com ensaio da permeabilidade ao ar e permeabilidade ao vapor de água; e (v) propriedades de absorção de capacidade de secagem, pelo ângulo de contacto e libertação de humidade.

Fase 3– Análise de resultados – A fase de análise dos resultados pretende utilizar os dados quantitativos obtidos na Fase 2 – Avaliação do desempenho e, através dos mesmos, realizar uma análise comparativa do desempenho das amostras. No final, o tratamento de

dados permite a elaboração de uma matriz de decisão, que garante a adaptação dos resultados a certas necessidades de aplicação específicas consoante o fator de influência necessário.

1.4 Estrutura da dissertação

A dissertação aqui apresentada é constituída de 5 capítulos com seguimento e enquadramento lógico, de forma a corresponder a um guia metodológico adequado ao trabalho a ser desenvolvido.

O Capítulo 1: Introdução descreve sucintamente o enquadramento, objetivo e metodologia do trabalho proposto, bem como indica o expectável de adquirir com este desenvolvimento.

No Capítulo 2: Enquadramento teórico é efetuada uma revisão bibliográfica sobre a indústria dos componentes automóvel, bem como requisitos e normalização dos mesmos. Ainda, são descritos os produtos presentes neste mercado que são ou podem ser desenvolvidos a partir de estruturas têxteis.

No Capítulo 3: Desenvolvimento experimental são caracterizadas as amostras a ensaiar e apresentada a metodologia e métodos de avaliação do seu desempenho.

No Capítulo 4: Análise e discussão de resultados, são apresentados os resultados do estudo realizado e é analisado o comportamento verificado, com o intuito final de construção de uma matriz de decisão.

Para terminar, no Capítulo 5: Conclusões e perspetivas futuras, apresentam-se as conclusões do estudo, bem como as perspetivas gerais futuras a ter em conta para evolução do trabalho.

Capítulo 2: Enquadramento teórico

Os têxteis técnicos são produtos ou materiais de base têxtil que são caracterizados primariamente pelas suas propriedades de *desempenho*. São designados consoante a área de aplicação, sendo os aplicados na área automóvel denominados de *Mobiltech*. Estes têxteis técnicos compreendem características de isolamento, segurança e conforto, aliando a estes a necessidade corrente de customização e interiores diferenciadores no respeitante ao aspeto estético, oferecendo soluções com elevado desempenho e propriedades especiais (Parmar and Malik, 2018). Podem surgir como não-tecidos (p. ex. para revestimentos de bagageiras), tecidos e malhas (p. ex. para revestimento de estofos e painéis interiores), aos quais são adicionados, na maioria das vezes, acabamentos funcionais para melhorar as suas propriedades (IHS Automotive, 2016).

2.1 Componentes automóvel: aplicações têxteis

São variados os motivos que conduziram ao aumento da utilização de têxteis técnicos na área automóvel, sendo cada vez maior a importância da redução do peso dos veículos, por substituição de materiais metálicos ou de elevado peso, por soluções de base têxtil, sob a forma de tecidos, malhas, tecidos e não-tecidos ou compósitos (Bhattacharya, 2004; Sarkar, 2013; IHS Automotive, 2016)

De acordo com (Mueller and Harman, 2018), uma redução de cerca de 10% no peso do automóvel leva a uma redução do consumo do veículo em 8% , tendo já sido criadas algumas metas a atingir nos próximos 6 e 30 anos, expostas na Tabela 1 (IHS Automotive, 2016).

Tabela 1: Objetivos do departamento de energia Norte Americano para a redução do peso dos veículos para 2025 e 2050.

	2025	2050
Carroçaria	50%	75%
Chassis e Suspensão	35%	55%
Grupo Propulsor	20%	40%

Habitáculo	15%	35%
Veículo Completo	30%	50%

São vários os desafios para atingir estas metas e várias as abordagens que têm vindo a ser delineadas. As potenciais abordagens que podem ser seguidas pela Indústria Têxtil estão esquematizadas na Figura 3.



Figura 3: Representação esquemática de desafios da Indústria Automóvel e potenciais abordagens aos desafios do setor (McKinsey & Company, 2016).

A aposta em soluções inovadoras que colmatem lacunas nos produtos – onde *design*, conforto e funcionalidade são um requisito por parte do consumidor – é fundamental (Kathirvelu, D’souza and Dhurai, 2008; Mohr *et al.*, 2016; Weskamp, 2017; Tan, Toomey and Warburton, 2018).

De acordo com a *Textile Mates*, os materiais têxteis compõem cerca de 2,2% do peso total do automóvel, sendo usados em média, cerca 42 m² de material têxtil por automóvel em diversos componentes (Figura 4). Do material têxtil aplicado num determinado automóvel, cerca de 33,3% corresponde ao revestimentos do habitáculo e tapeçaria, 18% aos estofos, 14% a componentes ocultos no interior do automóvel (filtros, separadores de baterias e mangueira), 12,8% referente aos têxteis presentes nos pneus, 8,8% aos cintos

de segurança, 3,7% usados pelos airbags, e os restantes 9,4% correspondem a acessórios vários e também a reforços compósitos (Mukhopadhyay and Partridge, 1999; Bhattacharya, 2004; Chaudhari, Patil and Raichurkar, 2018).

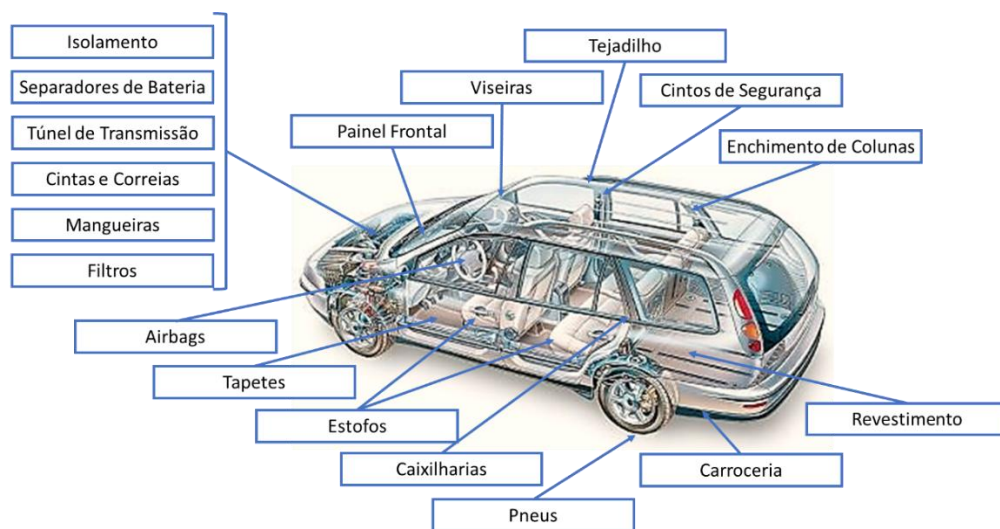


Figura 4: Componentes automóveis compostos por têxteis num automóvel (Mukhopadhyay and Partridge, 1999).

2.1.1 Requisitos e normalização dos componentes têxtil para automóvel

No desenvolvimento de um projeto automóvel, é necessário ter em consideração a segurança, a ergonomia, o conforto e a conceção global do veículo (Lima, 2006; Santos, 2015). Os materiais desenvolvidos para este tipo de aplicações competem entre si, havendo a necessidade constante de adaptar os mesmos à realidade em que se enquadram, em suma, aos requisitos e especificações. A aplicação de têxteis como componentes de automóveis – onde a procura é constante por novas soluções e tecnologias que possam superar as expectativas dos consumidores – divide-se em componentes visíveis e componentes ocultos, sendo as ambas as categorias aplicações amplamente utilizadas. Na Tabela 2 encontram-se descritos alguns dos principais componentes nas categorias de visíveis ou ocultos (Bergs and Kanaska, 2012; Buri, 2016).

Tabela 2: Componentes Automóveis produzidos através de têxteis técnicos.

Componentes Visíveis	Componentes Ocultos
Painel Frontal	Carroçaria e Caixilharia
Viseiras	Isolamento sonoro e de vibrações

Estofos	Pneus
Tapetes	Airbags
Revestimento de chão e tetos	Filtros de ar e de combustível
Tapetes	Mangueiras
Cintos de Segurança	Cintas e Correias

Os componentes visíveis perfazem 2/3 do volume de têxteis do automóvel, pelo que um grande número de fibras e estruturas têxteis são usadas em componentes específicos, dependendo das exigências funcionais da aplicação (Buri and Stahl Automotive, 2016). Há características que são transversais a todas as fibras ou estruturas têxteis técnicas para que sejam selecionados para aplicações no automóvel, dividindo-se em requisitos de segurança, de conforto e de durabilidade. Às características supra mencionadas, são ainda acrescentadas as solicitações feitas pelos fabricantes e *OEM's (fabricante original do equipamento)*, como o baixo peso dos materiais – materiais de elevado desempenho e de baixa densidade, que sejam fáceis de manipular e produzir em ambiente industrial (Buri and Stahl Automotive, 2016; Weskamp, 2017).

Nos critérios de segurança, incluem-se propriedades como a inflamabilidade e condutividade elétrica dos materiais, de modo a prevenir a deflagração de chamas em caso de incêndio, ou a acumulação de energia electrostática ou de corrente elétrica.

Na que concerne a durabilidade dos materiais, é necessário garantir bons índices de resistência à abrasão e à rutura das estruturas têxteis, resistência da costura e estabilidade dimensional, assim como solidez da cor, resistência à exposição solar e radiação ultravioleta. (Maxwell *et al.*, 2005; Chaudhari, Patil and Raichurkar, 2018).

Para assegurar a comodidade dos ocupantes do veículo, é exigido às estruturas a aplicar que promovam conforto térmico, sendo respiráveis (não induzam sudação) e que não apresentem acumulação ou libertação de odores. Adicionalmente, a facilidade de limpeza e a resistência a manchas são das características com maior solicitação por parte dos consumidores (Buri, 2016; Buri and Stahl Automotive, 2016; Kumar, 2018).

A organização *ISO (Organização Internacional de normalização)* e a *ASTM (Sociedade Americana para ensaios e materiais)* – entidades que congregam as normas para normalização de produtos, processos e materiais – que trabalham em conjunto e partilham processos normativos para regulação de todos os setores mundiais (International Organization for Standardization, 2018), possuem normas específicas para a indústria automóvel, onde indicam com precisão os ensaios a efetuar em componentes automóvel fabricados em produtos têxteis, como a *ISO 105* relativa à solidez da cor e resistência à luz das fibras, ou as normas *ASTM C1557-14, D2261, D3786-16 e D3939:2017*, referentes à padronização de testes de resistência à tração, resistência da costura e de resistência à abrasão, respetivamente (Pawlak, 1996; ASTM international, 2013). Outras normas, como a *ISO 12947-1/2/3* são referentes à abrasão, fricção e desgaste dos têxteis em diversas condições (International Organization for Standardization, 2018).

É prática comum a imposição por parte das *OEM's* de sistemas normativos privados e exclusivos, que são baseados e respeitantes dos sistemas normativos obrigatórios, denominadas de medidas voluntárias. Estas medidas voluntárias são notificadas às entidades reguladoras de cada país, sendo em Portugal efetuadas centenas de notificações deste tipo (Espinheira, 2013). De forma exemplificativa, a *Volkswagen* aplica um sistema próprio de normalização de têxteis técnicos a aplicar nas suas viaturas, dentro das quais se destaca o ensaio de *fogging* (para avaliação dos constituintes voláteis), que aglomera as normas *ASTM (D1654 e D7414)*. A marca alemã usa também testes próprios para avaliação da libertação de odor e emissões, usando como base as normas *ASTM D3960-05, D2369-07, D4457-02 e D95-05* (Applied Technical Services, 2013).

2.1.2 Produtos e materiais de mercado

O interior dos veículos automóveis, está a tornar-se cada vez mais importante nas expectativas dos consumidores. Os painéis de porta, revestimentos de tejadilho e *tabliers* são exemplos importantes de componentes interiores pré-montados, e de elevado impacto na altura da compra (Santos, 2015). O uso de têxteis permite a redução de peso, que por sua vez resulta na economia de combustível, aliando a este facto que os materiais utilizados em acabamentos de interior são utilizados de forma a assegurar o conforto dos ocupantes: estofos, tapetes, forros para tejadilhos e revestimentos de portas, filtros e camadas isolantes, bem como para reforço, no caso do pneu (IHS Automotive, 2016). A

Tabela 3 sumariza as características dos componentes automóvel *mobiltech*, consoante o fim a que se destinam.

Tabela 3: Características de têxteis *mobiltech* de acordo com o componente automóvel a que se destinam, adaptado de (IHS Automotive, 2016).

Componente	Características			
	Estéticas	Funcionais	Mecânicas	Térmicas
Estofos	Design e textura atrativos Solidez da cor	Auto-limpante Controlo de humidade Inflamabilidade Resistência ao desgaste	Resistência à tração Resistência ao <i>Pilling</i>	Inflamabilidade
Revestimentos	Toque suave Aparência atrativa Solidez da cor	Isolamento acústico Resistividade elétrica Inflamabilidade Resistência ao desgaste	Resistência à tração Maleabilidade	Inflamabilidade Isolamento térmico
Pneus	N/A	Resistência ao desgaste Resistência à fadiga Resistência ao impacto Aderência á borracha	Resistência à tração Baixa extensibilidade Flexibilidade vertical Rigidez transversal	Resistência ao calor
Cintos de Segurança	Solidez da cor Superfície lisa	Resistência ao desgaste	Resistência à tração	Resistência ao calor

			Elevada extensibilidade	
Airbags	N/A	Resistência ao desgaste Compactidade Impermeabilidade a gases	Resistência à tração Resistência à rutura Tenacidade Estabilidade dimensional	Estabilidade térmica Resistência a ciclos de temperatura

Cada componente, requer funcionalidades e propriedades diferentes, existindo a necessidade de escolha dos materiais e estruturas têxteis de acordo com essas mesmas especificidades. Para tal é necessário compreender o modo de funcionamento e os requisitos técnicos e estéticos de cada um dos componentes automóveis previamente enunciados.

2.1.2.1 Estofos

O assento automóvel foi um dos primeiros componentes a ser autonomizado enquanto módulo, sendo um dos componentes de interior mais estudado em termos de ergonomia e materiais. Incorpora funções de segurança e ergonomia, de extrema importância para os ocupantes. Acumula ainda funções de segurança, posicionamento para condução e transporte, assim como conforto e estética (Panzarella *et al.*, 2008; Santos, 2015).

Em média, são utilizados entre 5-6 m² de material têxtil para revestimento de um assento – valor variável consoante a gama de automóvel. O assento automóvel respeita os requisitos de ser um item fixo, que atua em conjunto com o cinto de segurança e sistema *airbag* para promoção da segurança do utilizador, que permita, contudo, conforto e boa dinâmica de condução. Além de se tratar de um utensílio fixo no sentido da marcha, deve possuir flexibilidade de posições e movimentos nos restantes eixos. A promoção da condução térmica e atenuação das vibrações são fatores preponderantes num assento para automóveis. A Figura 5 esquematiza os componentes convencionais de um assento automóvel, existindo em alguns modelos mais recentes a remoção de espumas, que são substituídas por estruturas têxteis tridimensionais (Santos, 2015).



Figura 5: Componentes convencionais de um assento automóvel. Adaptado de (Chatterjee, 2017).

Os materiais para revestimento de assentos automóvel devem apresentar propriedades anti sujidade e de controlo de humidade, sendo necessário que apresentem boa resistência à abrasão, à formação de borboto, resistência da costura e solidez da cor. Além disto, é desejável que este revestimento possua boa capacidade de absorção, repelência à água, óleos e manchas, bem como inflamabilidade (Chatterjee, 2017; Narayan and Mahaveer, 2017).

Em termos estruturais, os revestimentos para assentos de automóvel são por norma tecidos ou malhas de teia – malhas circulares e estruturas *spacer*, com os tecidos não-tecidos a ganharem cada vez mais visibilidade neste ponto. O tecido liso em poliéster texturizado é um dos mais utilizados no ramo automóvel para revestimento de assentos, que através da combinação de propriedades intrínsecas das fibras e da contextura apertada de construção do tecido, conferem ao substrato elevada capacidade de resistir à abrasão e à formação de borboto. (Hallal *et al.*, 2014; IHS Automotive, 2016).

2.1.2.2 Revestimento de chão e tejadilhos

O módulo de construção de um revestimento de tejadilhos e chão é basicamente constituído por dois componentes distintos: camada responsável pelo isolamento térmico, acústico e/ou amortecimento e outra camada com a função de manutenção das características estéticas do interior do veículo. A Figura 6 esquematiza a composição convencional de um módulo de chão para aplicação em automóveis. No caso do revestimento de tejadilhos a capacidade de isolamento ao amortecimento não se apresenta com a mesma relevância, podendo nesse caso ser removida. Propriedades de resistência à luz, maleabilidade, resistência à abrasão, resistividade elétrica e resistência térmica são requisitos essenciais na escolha de materiais adequadas para este tipo de aplicações (BNDES - Banco Nacional para o desenvolvimento, 1997; Narayan and Mahaveer, 2017).

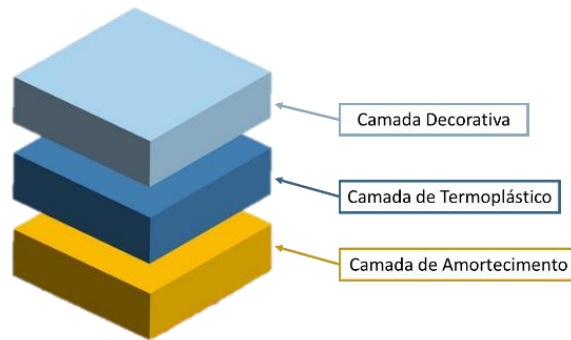


Figura 6: Composição dos revestimentos do módulo do chão.

Para aplicação em chão, a combinação das três camadas ilustradas na Figura 6, demarca-se como uma combinação necessária para cumprir os requisitos solicitados, sendo que por norma, a camada exterior decorativa é composta por filamentos de poliamida (*PA*), politereftalato de etileno (*PET*) ou polipropileno (*PP*), látex revestido com estireno-butadieno (*SBR*) ou látex acrílico. Esta camada superficial decorativa é responsável por revestir uma segunda camada, composta por materiais termoplásticos, que são moldáveis à carroçaria do automóvel. Por norma, esta camada intermédia é composta por pós de *PP*, fibras flexíveis, acetato de vinil etileno (*EVA*) ou outra camada espessa, composta por látex e *SBR*. A camada mais interna, responsável pelo isolamento sonoro e amortecimento de vibrações, é constituída normalmente por uma camada pesada de fibras reutilizadas de má qualidade ou por espumas de poliuretano (*PU*). O *PU* apresenta vários constrangimentos ambientais, facto que tem levado à procura de materiais substituintes ambientalmente mais sustentáveis (Bastin and Lacroix, 1993; Niemi, 1994; Bailey, 1995; Yongqiang, Chunli and Yaning, 2012; Narayan and Mahaveer, 2017).

No caso dos revestimentos para tejadilhos, a estrutura multicamada funciona com funções estéticas, isolamento acústico e às vibrações, ou apenas para fornecer a rigidez necessária à estrutura. Estas estruturas devem ser de baixo peso, perfil fino, rígido, apresentar flexão à vibração, estabilidade dimensional, ser esteticamente agradável e com toque suave (Narayan and Mahaveer, 2017).

A camada central é por regra semirrígida – fixada à parte interna da camada decorativa – em poliéster. A camada interna pode ser composta por fibras de *PA*, *PES* (*poliéster*) ou *PP*, uma camada interna de moldação térmica e camadas cáusticas – borrachas de etileno-propileno-dieno (*EPDM*), fibras reutilizadas e espumas de poliuretano. Em muitos casos, esta camada é substituída por espumas de poliuretano, introduzida diretamente no *chassis*

por moldagem por injeção (Allison *et al.*, 2007; Ghassemieh, 2011; Hallal *et al.*, 2014; Yun, Haowen and Guojin, 2018).

2.1.2.3 Pneus

O pneu revela na sua construção (Figura 7) elevada complexidade e alta tecnologia, sendo composto por diversos componentes fundamentais para a segurança dos veículos (Ghassemieh, 2011; Michelin Portugal, 2018). Estes artigos revelam necessidade de precisão na sua produção, sendo concebidos para ostentar flexibilidade, resistência, aderência, entre outros. A utilização de reforços através de filamentos metálicos e/ou sintéticos garantem estabilidade dimensional e reforço mecânico aos pneus, sendo em muitos dos casos utilizados cordões de viscose ou fibras de aço para fortalecimento da estrutura (Narayan and Mahaveer, 2017; Michelin Portugal, 2018).



Figura 7: Estrutura de um pneu, adaptado de (Michelin Portugal, 2018).

Os pneus devem cumprir os requisitos de alta resistência mecânica e ao desgaste, baixa extensibilidade e deformação.

2.1.2.4 Cintos de segurança

Este dispositivo – pelas obrigações legais e consciencialização de segurança – é um item fundamental em todos os automóveis, sendo utilizado em média 1kg de fibras têxteis para a sua construção por carro. O objetivo destes dispositivos é o controlo do movimento dos passageiros em caso de paragem repentina, devendo cumprir os requisitos de resistência à tração, abrasão, flexibilidade, à ação dos raios *UV*, ao calor, capacidade de extensão entre 25 a 30% e suporte de carga estática de 1500 kg (Hughes, 1965; Ghassemieh, 2011; Narayan and Mahaveer, 2017). Por norma, os cintos de segurança são obtidos a partir da tecelagem de fibras de poliéster ou poliamida e o acabamento deve proporcionar melhorias na absorção de energia (Cislak, 1979; Kikuchi, 2001; Hallal *et al.*, 2014; Narayan and Mahaveer, 2017).

2.1.2.5 Airbags

Estes dispositivos são um sistema de segurança ativo, que atuam como suplemento ao cinto de segurança em ações de sinistro, protegendo a cabeça dos ocupantes de modo a reduzir as lesões corporais. A evolução do *airbag* tem sido contínua no *design* de atuação, materiais e desempenho, sendo artigos fabricados em tecido – revestidos ou não – com requisitos de impermeabilidade a gases e resistência à chama (General Motors, 2011; Nayak *et al.*, 2013; Narayan and Mahaveer, 2017).

Atividades recente de desenvolvimento apresentaram soluções de mercado para posicionamento de novos *airbags* no habitáculo automóvel, promovendo a segurança de embates laterais. Como exemplos denotam-se os *airbags* para proteção lateral do tronco, promovendo a redução das lesões na zona pélvica e do abdómen inferior e ainda os *airbags* de coluna lateral, que se destacam do tejadilho, protegendo assim a cabeça em casos de capotamento e colisões laterais fortes (Roberts and Kaprelian, 2005; Breed, 2013; Nayak *et al.*, 2013). No desenvolvimento agregado de materiais que correspondam aos requisitos solicitados pela função de um *airbag*, alta resistência ao rasgo e tenacidade no sentido da teia e trama é fundamental, bem como a estabilidade térmica, capacidade de absorção de energia e ainda permeabilidade ao ar de 10 L/dm²/min para 500 Pa (Nayak *et al.*, 2013).

As fibras mais utilizadas para a produção de *airbags* são as de poliamida 6.6, sem a estrutura têxtil tecida revestida com um elastómero sintético de policloropreno ou borracha de silicone. A estes materiais é requisitado o cumprimento de boa aderência, flexibilidade e estabilidade dimensional a longo prazo, resistência a temperaturas cíclicas (4°C a 240°C), baixa permeabilidade ao ar, baixo custo e peso (Nayak *et al.*, 2013; Narayan and Mahaveer, 2017).

2.2 Tendências de materiais e tecnologias

A necessidade constante de evolução e a procura pelo veículo de futuro numa indústria extremamente competitiva, faz com que a indústria automóvel se encontre em procura constante de novas soluções em termos de materiais e tecnologias que excedam os requisitos anteriores. Numa época em que o foco das *OEM's* está voltado para serviços de mobilidade, conectividade e outros modelos de negócio – que se distinguem da tradicional perspectiva da indústria automóvel de desenvolvimento, fabrico e venda de

automóveis – os fabricantes de automóveis adotam o papel de desenvolvimento de novas tecnologias para aplicação em novos modelos. Porém, o grande desafio reside na rapidez da resposta, dada a velocidade com que as alterações acontecem neste setor. O mercado caminha para veículos mais leves e eficientes, com a sensorização e monitorização do veículo e tripulantes a ser vista como uma necessidade primária. As preocupações dos consumidores e em parte também dos produtores, cruza necessidades e objetivos ambientais – como a redução da emissão de gases poluentes – com a conceção de veículos autónomos a tornar-se uma realidade cada vez mais próxima. A análise da tendência efetuada nos capítulos anteriores, evidencia que os próximos anos serão transformadores e testemunharão uma revitalização do setor automotivo, onde a incorporação de novos materiais e tecnologias será uma necessidade, com grande destaque para os materiais *eco* e *mutáveis*.

2.2.1 Materiais

O paradigma do progresso tecnológico tem como base o desenvolvimento de novos materiais, sendo que este promove a mudança e evolução. O processo evolutivo no campo dos materiais permite desenvolvimentos de propriedades específicas e de novas aplicações, resultando em muitos dos casos no abandono do multiusos, obtendo-se maior especialização e especificidade. É, contudo, cada vez mais normal a tendência do multimaterial, onde através da combinação de vários materiais podem ser cobertas várias funções e requisitos.

A indústria automóvel é extremamente permeável à utilização de novos materiais e tecnologias, desde que estes cumpram as necessidades impostas, sendo evidente as ações de investigação, desenvolvimento e aplicação de novos elementos com valor acrescentado, como os materiais de mudança de forma, supercondutores, ecologicamente sustentáveis ou mesmo com propriedades que suportem as necessidades, procura do mercado e exigências do consumidor.

2.2.1.1 *Materiais de alto desempenho (Supermateriais)*

As fibras de alto desempenho possuem propriedades mecânicas notáveis a nível da rigidez, resistência e tenacidade, em combinação com peso leve. Embora não exista uma definição universal para esses tipos de fibras, por norma, são materiais com módulos de *Young* na ordem de 100 *GPa* de valor ou superior, podendo ser aplicadas em funções

mecanicamente exigentes. Aliado à elevada prestação mecânica, propriedades de alta resistência química e ao calor permitam a aplicação destes materiais em condições de uso extremas (Park and Rutledge, 2017).

As fibras poliméricas de elevado desempenho foram produzidas pela primeira na década de 60, através do desenvolvimento de materiais como as poliamidas aromáticas, também designadas de aramidas. O estudo intensivo deste material permitiu a descoberta de novos materiais como *poli (p-benzamida) (PBA)* e *poli (p-fenileno tereftalamida) (PPTA)*, de nome comercial *Kevlar®*) as *m-aramidas* como *poli(m-fenileno isoftalamida) (MPIA)*, de nome comercial *Nomex®*), cujas propriedades mecânicas são expostas no gráfico da Figura 8. As propriedades de elevada tração destas fibras de aramida estão atribuídas às características conformacionais distendidas e rígidas das moléculas, bem como à relativa facilidade com que estas cadeias macromoleculares podem ser alinhadas ao longo do eixo das fibras, durante a formação das estruturas fibrosas. As aramidas, possuem na sua composição grupos amida, pelo que estão intimamente relacionadas com poliamidas alifáticas e poliamidas. Assim, o conhecimento da síntese e processamento de poliamidas, contribuiu muito para o avanço destas (Yao, Bastiaansen and Peijs, 2014; Park and Rutledge, 2017).

A procura constante por novas soluções e o sucesso das aramidas, conduziu à investigação de novos polímeros que fossem viáveis para fiar. Esta busca resultou na produção de copoliésteres aromáticos, como o *PBO (poli benzoxazol)* e *PBZT (poli (p-fenileno benzotiazol))*, e polietileno de elevado peso molecular (*UHMWPE*). Ainda assim, o *Kevlar* e *Twaron*, são os dois materiais que lideram o mercado no que toca a fibras de *PPTA (poli (p-fenileno tereftalamida))*, sendo usados em aplicações militares, defesa e indústria automóvel – enquanto fibras de reforço para pneus, dadas as excelentes propriedades mecânicas e térmicas que possuem. Esforços continuam a ser dedicados para o melhoramento das fibras de primeira geração baseadas em cristais líquidos para o desenvolvimento de polímeros ainda mais rígidos, como as *PIPD (Poli-hidroquinona-diimidazopiridina)*. As fibras *PIPD*, também designadas de fibra M5, são fibras de polímeros sintéticos cuja resistência à compressão é 2 a 4 vezes superior às fibras poliméricas ditas tradicionais, pelo que apresentam elevado potencial para diversas aplicações têxteis (Ghassemieh, 2011; Yao, Bastiaansen and Peijs, 2014).

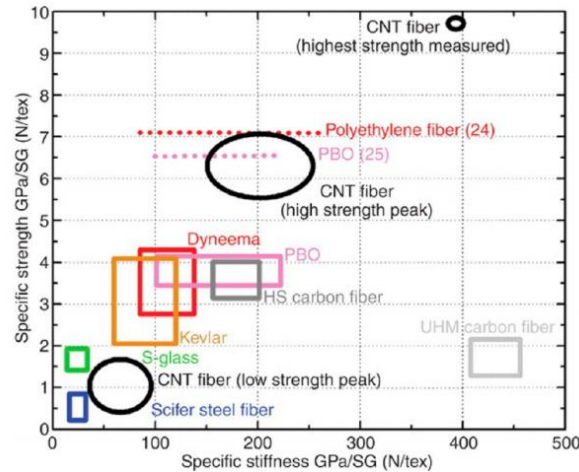


Figura 8: Resistência específica vs. rigidez específica de materiais de elevada tenacidade (Park and Rutledge, 2017).

Na Figura 8 encontra-se representada a relação entre a resistência específica e a rigidez específica para diferentes tipos de fibras de alto desempenho, de onde se destacam as fibras de carbono. Estas fibras existem desde 1860, mas apenas em 1958, foi possível produzir fibras de carbono de elevado desempenho, pela carbonização de fibras de raio. Desde então, as aplicações destas fibras têm-se multiplicado dadas as suas propriedades mecânicas, elétricas e térmicas, que são inerentes ao seu grau de carbonização, orientação e grau de cristalinidade. Os materiais precursores usados para fabricar fibras de carbono são polímeros como raio e acrílicos, como o poliacrilonitrila (*PAN*) – precursor polimérico utilizado no meio industrial de forma mais comum (Cardoso, 2015; Park and Rutledge, 2017).

Apesar do crescimento na comercialização deste tipo de materiais, ainda existem vários desafios que devem ser abordados nos próximos anos, como a otimização de produção das fibras atualmente disponíveis no mercado, de modo a que estas atinjam as propriedades previstas teoricamente. Deste modo a manipulação das estruturas poliméricas e técnicas de processamento surgem como veículos evolutivos e como oportunidades de investimento para o futuro (Yao, Bastiaansen and Peijs, 2014; Park and Rutledge, 2017).

2.2.1.2 Materiais inteligentes (smart materials)

As necessidades contínuas de procura da melhoria do desempenho e de acrescento de funcionalidades requeridas por várias indústrias, mas com especial atenção para a engenharia automóvel, promove o aparecimento constante de novos materiais. O destaque especial pode ser direcionado para os denominados *smart materials*, que se denominam

como um grupo de materiais capazes de responder a estímulos e alteram as suas propriedades físicas e/ou químicas com o mesmo, seja a nível térmico, mecânico, elétrico, foto-responsivo, entre outros (Wacker, no date; Hu and Lu, 2016). Estes materiais sensíveis a estímulos ganharam destaque pela ampla gama de aplicações, apresentando funções diversas direcionadas para as necessidades, como a redução de peso e aprimoramento dos veículos (Weskamp, 2017).

Com a tecnologia vigente atualmente aplicada na indústria automóvel, é já comum a presença da sensorização dos componentes, com certos modelos a incorporarem sensores externos – sensores de proximidade para auxílio ao estacionamento e assistência em viagem. Também os sensores de luminescência são usados para automatização dos sistemas luminosos do veículo, regulando a intensidade dos faróis de acordo com a luminosidade ambiente e de acordo com o trânsito, assim como a regulação da luminosidade dos painéis de controlo no interior do veículo. Os sensores internos dos componentes automóvel são ainda uma área em investigação e expansão para o automóvel comercial, com os primeiros passos neste tipo de monitorização a serem dados pelo setor dos desportos automóveis, com a capacitação da análise *in situ* do desempenho do automóvel, em ambiente real de competição. Alguns exemplos são os sensores de pressão no motor e pneus, sensores de temperatura em locais estratégicos, de humidade e lubrificação e também de quantificação de emissões de gases (Fai, Delbressine and Rauterberg, 2007; Ghassemieh, 2011). Nos veículos comerciais para uso comum, vários sensores são já utilizados com o intuito de auxiliar o utilizador no exercício da condução e principalmente para a promoção da segurança do automóvel. Sensores de pressão dos pneus, sensores de chuva, sensores de detonação, sensores do movimento das rodas, sensores de colisão e sensores de qualidade do ar são alguns dos exemplos facilmente identificáveis (IHS Automotive, 2016; Narayan and Mahaveer, 2017).

Os materiais *inteligentes* permitem a transição da sensorização do veículo para o utilizador, desde adaptação dos assentos às necessidades do passageiro em termos ergonómicos e/ou requisitos da viagem. Um conceito de desenvolvimento proposto por (Asada and Menon, 2007) visa o aumento do conforto dos ocupantes em viagens longas, através da acoplação de ligas com memória de forma responsivos a impulsos elétricos. O objetivo é a superfície do assento expandir e contrair em diferentes secções, permitindo gestão da humidade e de temperatura (Fai, Delbressine and Rauterberg, 2007).

Outras aplicações que têm despertado interesse por parte das *OEM's* são as superfícies cromotrópicas e eletroluminescentes, um conceito desenvolvido pela *Rinspeed*, dando origem a um automóvel cujo interior muda de cor, através de uma película espessa eletroluminescente com cristais líquidos, empregada no acabamento interior do automóvel (Pawlak, 1996; Joseph Capparella, 2014).

A aplicação de materiais poliméricos com capacidades sensoriais, pode permitir a medição de temperatura, da atuação mecânica através do toque, pressão e/ou deformação, a atuação elétrica, com a incorporação de piezopolímeros, como o poli(fluoreto de vinilideno), e até mesmo o desenvolvimento de biossensores autónomos (Nguyen, Ahmed and Ramanujan, 2012).

2.2.1.3 Materiais com memória de forma (SMM)

Polímeros com memória de forma possuem também a capacidade de responder a estímulos específicos que alteram a sua forma, isto é, estes materiais permanecem no seu formato deformado até exposição ao estímulo apropriado, momento em que recupera a sua forma original. A estimulação ao calor e à luz têm sido as mais aplicadas pela facilidade de controlo da transição de forma através da temperatura, no entanto outros estímulos – como campo magnético e eletricidade – apresentam elevado interesse em aplicações automóveis, onde se requer não só materiais que exibam o efeito de memória de forma, mas que também desempenhem uma função específica (Hu and Lu, 2016).

Estes materiais apresentam diferentes formas de utilização – emulsões, películas, fibras e espumas – que por sua vez possuem diversas aplicações, desde o vestuário, dispositivos médicos, embalagens termo retráteis, sensores e atuadores, materiais com permeabilidade específica, microssistemas, materiais de amortecimento, adesivos reversíveis, componentes de veículos, brinquedos, e tratamentos capilares. A indústria automóvel e estes materiais partilham uma relação simbiótica, sendo que existe uma ampla gama deste tipo tecnologias, desde ligas com memória de forma no estado sólido, dilatadores líquidos, fluidos eletreológicos e magnetoreológicos, materiais com capacidade de mudança de estado e interfaces como géis electrocrómicos (Mondal, 2008; Potter and Wiles, 2016; Weskamp, 2017).

2.2.1.4 Materiais termorresponsivos

Tecnicamente este tipo de materiais faz parte da gama de *smart materials* e poderia estar incorporado como um subponto do subcapítulo anterior. No entanto, pela sua relevância

na condução do estudo presente neste documento, denota-se como fundamental maior profundidade de investigação deste assunto.

Os materiais termorresponsivos são necessários em aplicações que seja exigida termorregulação, onde nesta classe se destacam os materiais de mudança de fase – *PCM's*, que são incorporados em têxteis inteligentes para regulação da temperatura corporal (Celcar, 2013). Estes materiais utilizam o calor latente durante os processos de mudança de fase, para alterar o seu estado físico dentro de uma determinada faixa de temperatura, podendo armazenar ou libertar calor dependendo da temperatura do ambiente (Kürklü, 1997; Mondal, 2008; M. Manshahia, A. Das, 2015).

A denominação *PCM's*, com significado de materiais de mudança de fase, advém da característica destes materiais permitirem a transformação da sua forma física para outra, como acontece com a passagem da forma sólida para a líquida, ou vice-versa. Desde a década de 80, altura em que a *NASA* utilizou estas substâncias – micro encapsuladas em materiais têxteis para termorregulação dos fatos dos astronautas que se encontram sujeitos a grande variação térmica – que a atenção da investigação sobre os *PCM's* aumentou exponencialmente (Kim and Sun, 2002). A denominação *PCM's*, com significado de materiais de mudança de fase, está relacionado com a capacidade destes materiais utilizarem a absorção ou libertação de calor latente de modo a mudarem seu estado físico, como acontece com a passagem do estado sólido para o líquido, ou vice-versa (Figura 9). Apresentam vantagens de elevada capacidade de armazenamento de energia térmico, processo natural isotérmico (temperatura constante) (Tristão, 2014).

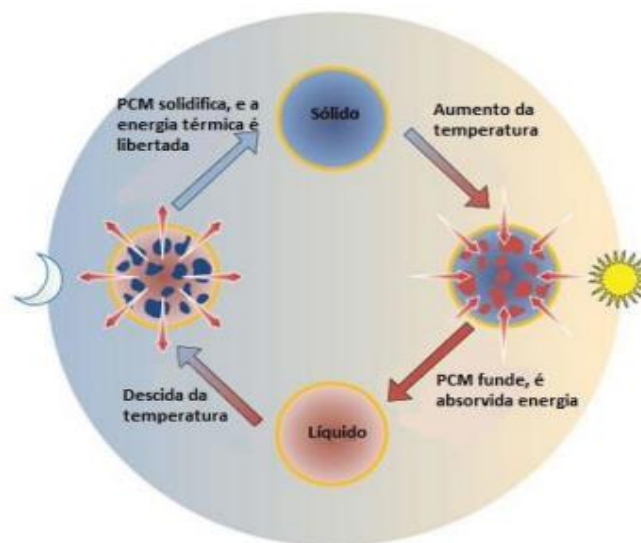


Figura 9: ciclo de mudanças de fase de um PCM (Tristão, 2014).

As características mais importantes dos materiais de mudança de fase são divididas em quatro categorias fulcrais: propriedades térmicas, físicas químicas e económicas (Tabela 4).

Tabela 4: principais características dos *PCM's* (Tristão, 2014).

<p>Propriedades térmicas</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Apresentam elevada condutividade térmicas em ambas as fases; • alta variação de entalpia; • temperatura de fusão/solidificação dentro dos parâmetros de temperatura de conforto; • calor latente elevado para a temperatura desejada.
<p>Propriedades físicas</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Pouca variação da densidade; • Elevada densidade; • Mudança de fase uniforme; • Não sofre sub-arrefecimento.
<p>Propriedades químicas</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Estabilidade química; • Sem separação de fases; • Transição reversível das fases; • Sem inflamabilidade e poluentes; • Duráveis.
<p>Vantagens económicas</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Baixo custo.

A classificação dos *PCM's* em relação ao calor latente, fator este referido como o calor que é armazenado ou libertado durante as mudanças de fase do material, é dividida em *PCM's* orgânicos ou inorgânicos. Na indústria têxtil os *PCM's* orgânicos são os mais frequentemente encontrados, onde nessa família os de mistura são os mais comuns – que podem ainda ser subdivididos em parafinas ou ácidos gordos. A Figura 10 apresenta as 3 tipologias de armazenamento de energia térmica: calor sensível, calor latente e calor termoquímico (Tristão, 2014).

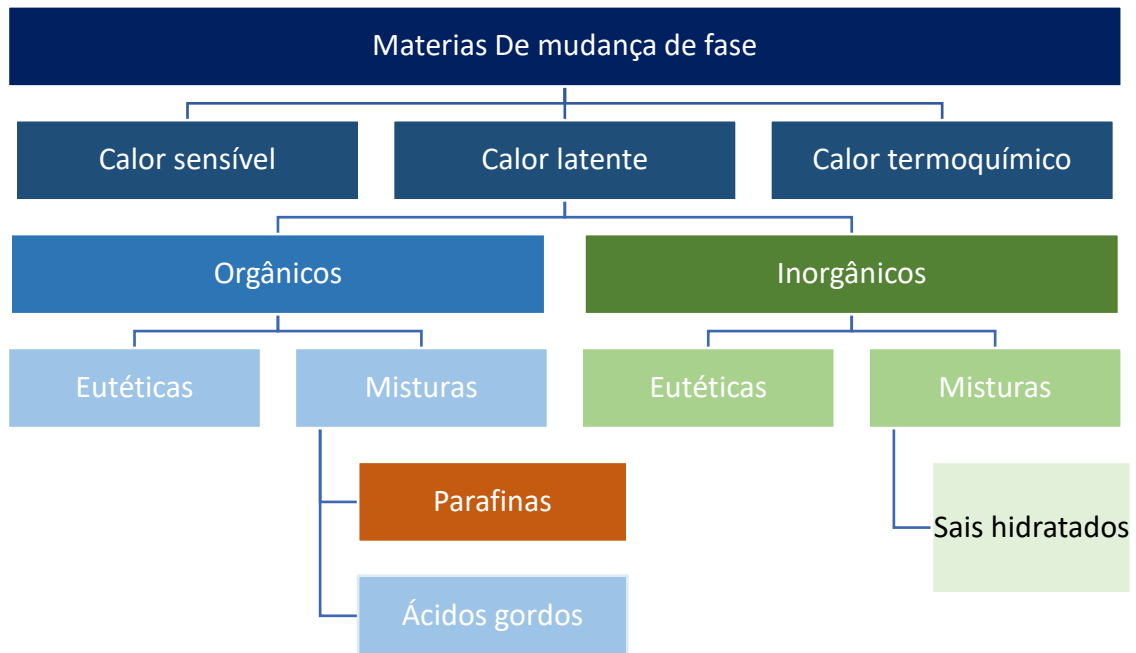


Figura 10: Classificação de materiais de armazenamento de energia (Tristão, 2014).

O armazenamento de energia térmica sendo por calor sensível, é respeitante à energia térmica guardada através do aumento da temperatura de um sólido ou líquido, onde esse aumento de calor é designado calor sensível. Da mesma forma que existindo remoção do calor e conseqüentemente descida da temperatura, é também designado de calor sensível. O calor sensível pode ser definido como o calor que causa alteração de temperatura num objeto (Mendes *et al.*, 2009; Daikin, 2019). O calor latente é respeitante ao calor armazenado ou libertado durante as mudanças de fase do material nas transições de sólido para líquido e de líquido para sólido (Mendes *et al.*, 2009; Daikin, 2019).

A Figura 11 permite a observação de vários tipos de *PCM* e de que forma estes reagem em termos de temperatura e entalpia de fusão – sendo a entalpia a quantidade de energia contida numa determinada substância que sofre uma reação. A zona de conforto demarcada nessa figura, a rondar os 20-25 °C indica a zona ótima de um *PCM* para aplicação em vestuário têxtil, por exemplo. Os sais hidratados, os ésteres de ácidos gordos e misturas eutéticas apresentam zona de fusão nessa zona e por isso atuam na barreira de conforto, local onde ocorre a sua mudança de fase.

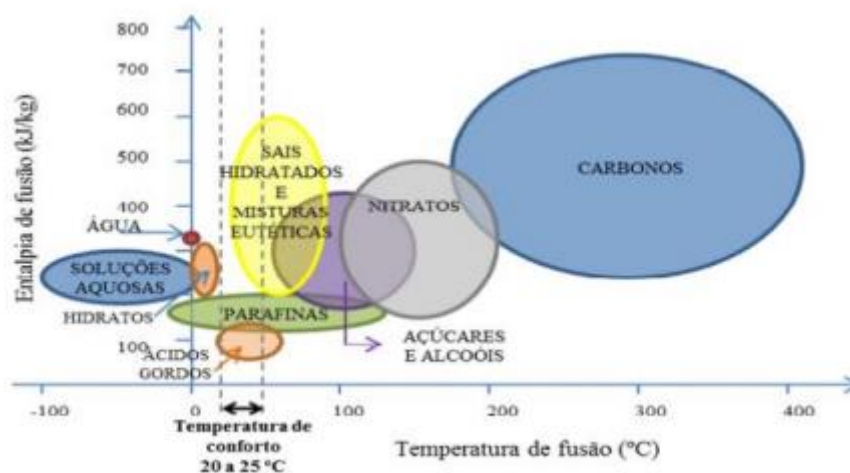


Figura 11: Distribuição dos diferentes tipos de *PCM* em função da entalpia de fusão e da temperatura de fusão (Tristão, 2014).

Para utilização dos *PCM*'s, é necessário o encapsulamento dos mesmos. Esta ação consiste em envolver as partículas de mudança de fase com outros materiais, evitando o seu contacto direto com outras substâncias. Desta forma, um *PCM* pronto a utilizar é composto por um núcleo com o material de mudança de fase líquido ou sólido, que é envolto por um polímero sólido designado de cápsula (Tristão, 2014). *PCM*'s podem ser encapsulados em microcápsulas ou nano cápsulas de modo a reduzir a sua reatividade para com o ambiente exterior assim como controlar o volume das mudanças de material armazenado durante o período de mudança de fase. As nanocápsulas de *PCM*'s, devido ao seu reduzido tamanho, apresentam uma maior velocidade de transferência de calor, sendo por isso mais aplicáveis que as microcápsulas. Materiais como melamina formaldeído, ureia-formaldeído, poliestireno e polimetacrilato são usados como materiais para encapsulamento de *PCM*'s. As nanocápsulas de *PCM*'s podem ser adicionadas na fase de fiação de fibras ou como revestimentos de materiais têxteis durante o processo de acabamento utilizando um ligante, tal como o poliuretano (Ryu *et al.*, 2013; Karthikeyan, Ramachandran and Sundaram, 2014)

Os materiais de mudança de fase possuem capacidades intrínsecas de absorção, armazenamento e libertação de quantidades significativas de calor latente de acordo com as condições do meio. No caso dos têxteis é possível utilizar microcápsulas de forma a dotar o vestuário de propriedades de arrefecimento e aquecimento. É esperado que o equilíbrio térmico seja atingido mais rápida e eficazmente pela utilização de materiais de mudança de fase. Choi *et al.* testaram a aplicação de micro cápsulas com octadecano num tecido permeável ao vapor de água e impermeável à água e concluíram que a introdução

de micro cápsulas de octadecano nos tecidos acarreta uma redução de temperatura corporal de 0.36 °C, a uma temperatura ambiente de 20 °C (Choi *et al.*, 2005).

A implementação de microcápsulas contendo materiais de mudança de fase está a ser implementada pela *schoeller®*, através da tecnologia *schoeller®-PCM™*. As microcápsulas apresentam diâmetros na ordem de 1 micrómetro e revestem os materiais de mudança de fase com espumas ou acabamentos poliméricos que impedem a sua desintegração e fuga. (*schoeller®*, 2017). A *Izy bodycooling.com* desenvolveu um produto à base de água e sal não nocivo, chamado *Flexible PCM©*, que consiste em bolsas flexíveis capazes de absorver grandes quantidades de calor. Estas bolsas são incorporadas numa estrutura têxtil em volta do torso e podem ser removidas de modo a serem reutilizadas. A grande vantagem apresentada por esta tecnologia é a capacidade de poder ser reativada a temperaturas inferiores a 20 °C, não tendo a necessidade de se forçar o arrefecimento (*Izy bodycooling.com*, 2017).

A aplicação de *PCM's* na indústria automóvel apresenta-se por si só como uma tecnologia de ponta, com funcionamento teórico visivelmente vantajoso. As microcápsulas, normalmente sobre a forma de ceras parafínicas são uma realidade já vigente no setor automóvel, com a aplicação principal a revelar-se uma mais valia no controlo térmico superior dos passageiros (Mondal, 2011).

(Vadicherla, Parthiban and Sasikumar, 2012), demonstraram o enorme potencial da aplicação de *PCM's* num *coating* interno na estrutura do assento em condições estáticas e dinâmicas, com diferenças de 1°C de distinção entre um assento convencional, revelando-se uma mais valia para utilização em gestão de temperatura.

Contudo, a aplicação dos materiais de mudança de fase não se centra apenas na vertente de incremento do conforto através da gestão de temperatura, com os trabalhos de investigação a centrarem esforços na utilização destes materiais para arrefecimento de componentes da viatura, tal como bateria, tubagem, motor e todo o habitáculo. Dessa forma, (Marshall *et al.*, 2019) elaboraram uma *review* onde indicam as variadas vantagens da utilização deste tipo de materiais na dissipação de calor de baterias e tubagens, tornando-os assim uma mais valia ativa na vida útil e bom funcionamento de uma automóvel.

Desta forma, é de notar que os materiais de mudança de fase revelam-se uma mais valia em variados tipos de aplicação, sendo já o seu estudo exaustivo e complexo.

Capítulo 3: Desenvolvimento experimental

Neste capítulo, o objetivo é definir os ensaios que permitem a caracterização do comportamento das amostras de materiais de revestimento automóvel em estudo, explicar as técnicas e a motivação da sua aplicação na metodologia de trabalho.

Sendo este um estudo comparativo, todo o desenvolvimento experimental apresentado foi baseado num exaustivo trabalho de pesquisa e desenvolvimento, com o intuito de desenvolver um plano de ensaios capaz de devolver resultados completos e eficazes e que permitam o maior conhecimento possível sobre as estruturas a testar.

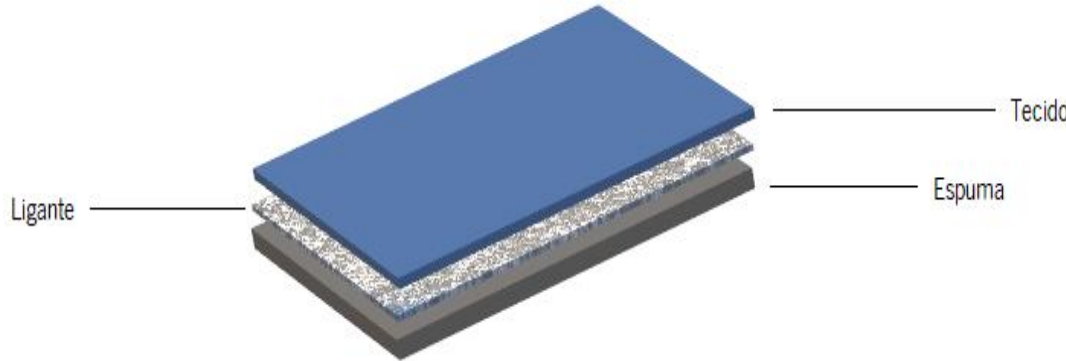
Os materiais utilizados nesta dissertação foram fornecidos pela Copo Têxtil Portugal, S.A., Grupo Copo. Na carteira de clientes, o *Grupo Copo* apresenta ligação a vários trabalhos e participações em projetos com várias *OEM's*, desde a *Audi, BMW, Citroën, Fiat, Ford, Honda, Flex, Hiunday, MAN, Mercedes-Benz, Mitsubishi, Nissan, Opel, Peugeot, Renault*, entre outros.

3.1 Materiais

Para realização do trabalho experimental, selecionaram-se 3 amostras de revestimento que apresentam a mesma estrutura, compostas por um laminado, com uma superfície em tecido com debuxo em sarja, 100% poliéster, unida através de um ligante a uma espuma desenvolvida no *Grupo Copo*. As três amostras designadas por: AM1 – estrutura Padrão – acabamento sem químicos; AM2 – estrutura com acabamento termorregulador; AM3 – estrutura com acabamento termorregulador e estamperia com *PCM's* à superfície.

Esquemáticamente, a Tabela 5 apresenta as especificações dos materiais constituintes das amostras. A ficha técnica está disponível no ANEXO I.

Tabela 5: Caracterização das amostras e componentes.

Estrutura e características-base dos componentes	
	
Tecido	<p>Sarja</p> <p>100% Poliéster</p> <p>220 ± 10 g/m²</p>
Espuma	<p>Poliuretano</p> <p>2,5 mm de espessura</p> <p>Densidade D27</p>

As amostras AM1, AM2 e AM3 são apresentadas na Figura 12, onde é possível verificar as diferenças existentes em termos de acabamentos. A amostra AM1 é considerada o Padrão e será a base de comparação.



Figura 12: Distinção de acabamentos entre as diferentes amostras.

3.2 Métodos de avaliação de desempenho

Para a caracterização das amostras em estudo foram utilizados métodos e procedimentos de ensaio selecionados com base na literatura, seja por artigos científicos e/ou normas. As seguintes propriedades foram avaliadas: propriedades térmicas, propriedades mecânicas, propriedades de permeabilidade ao ar e vapor de água e propriedades de absorção de líquidos e capacidade de secagem. Ainda, no primeiro subcapítulo, são descritos os ensaios de caracterização das estruturas e de comportamento ao uso, que foram realizados para validar, respetivamente, o efeito de termorregulação e de distribuição de pressão.

3.2.1 Caracterização das amostras

Os ensaios aqui realizados permitem uma melhor compreensão da estrutura (análise DSC), e do seu comportamento ao uso quando sujeita a certos *inputs* (mapa de distribuição de pressões). Em termos de ficha técnica de materiais (em anexo), os fornecedores – *COPO Têxtil* – forneceram parte da informação que foi complementada pela avaliação da massa por unidade de superfície e da espessura.

3.2.1.1 DSC - Differential Scanning Calorimetry

A calorimetria diferencial de varrimento- *DSC* (Figura 13) permite a análise térmica de materiais e a mudança das suas propriedades com a temperatura. O princípio deste método baseia-se na caracterização dos eventos físicos e químicos que possam ocorrer, medindo a diferença do fluxo de calor entre uma determinada amostra e uma referência. O ensaio ocorre em função do tempo ou da temperatura, em condições controladas. O método destaca-se pela facilidade e rapidez de utilização, sendo a quantidade de material para realização do ensaio baixa (cerca de 20 miligramas).



Figura 13: Instrumento *DSC*, utilizado para caracterização térmica das amostras.

Na Figura 14 é explicado de forma gráfica uma curva obtida a partir da elaboração de uma análise por *DSC*, onde é possível obter para determinado material a temperatura de fusão (T_m), temperatura de cristalização (T_c), entalpia de fusão (ΔH_f) e de cristalização (ΔH_c), transição vítrea (T_g), entre outros eventos. Ainda, através desta análise, será possível a identificação de processos endotérmicos – fusão e desidratação – e ainda exotérmicos – cristalização (Sá, 2017).

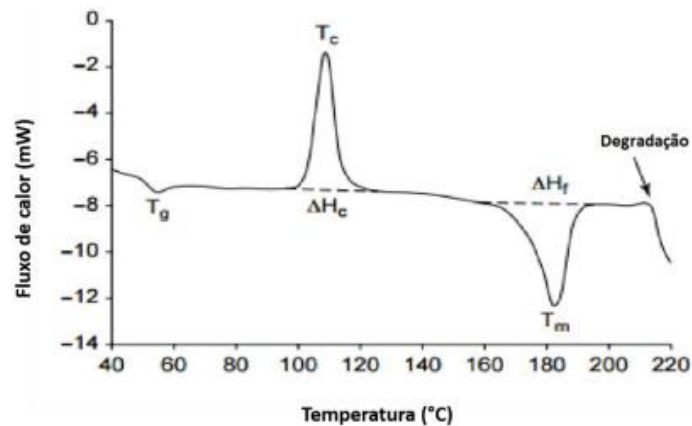


Figura 14: Caracterização de um material por *DSC* (adaptado de (Sá, 2017)).

Esta análise permite verificar quando o material muda de fase. Além de permitir analisar a presença ou não de *PCM's* na amostra, através desta técnica é possível perceber a capacidade de armazenamento de energia térmica dos mesmos. Este ensaio foi realizado para um gradiente de subida de temperatura de 10 °C/minuto até aos 300 °C.

3.2.1.2 Mapeamento de Pressões

O mapa de pressões de uma determinada estrutura indica-nos a pressão que um utilizador está a exercer numa determinada área e de que forma essa pressão varia ao longo do tempo, sendo de extrema importância a capacidade de distribuição de pressões numa estrutura. O equipamento de medição de pressão utilizado nesta caracterização foi o *Tekscan's Conformat™* (Figura 15), uma manta de sensorização com funcionamento baseado em princípios piezoresistivos (variação da resistência elétrica em função da pressão exercida). Este instrumento incorpora 1024 sensores piezoresistivos, que medem independentemente a pressão aplicada sobre si, no eixo X, Y e Z (Fontes, 2017).



Figura 15: Equipamento de medição de pressão piezoresistivo *Tekscan's Conformat*: esq. Preparação da calibragem; dir. set up de medição da pressão.

O equipamento tem 0,46 células sensoriais/cm², com uma superfície de 471,4 x 471,4 mm (Figura 16). Os dados obtidos são tratados para um software próprio e posteriormente convertidos em dados numéricos para estudo e avaliação (Fontes, 2017).

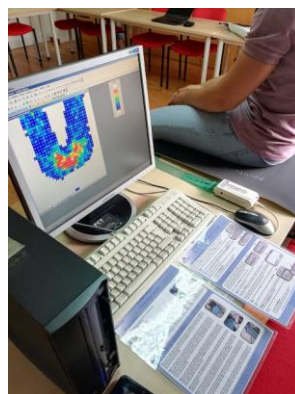


Figura 16: Representação dos dados obtidos *in loco* de ensaio, através da colocação de um utilizador sentado na estrutura.

O teste foi realizado através da colocação de um utilizador masculino de aproximadamente 80 kg e 1,78 m de altura, colocado sobre a amostra com os pés pendurados e postura sentada ereta.

3.2.1.3 Espessura e massa por unidade de área

Para completar a ficha técnica realizaram-se sobre as amostras ensaios de medição da espessura e massa por unidade de área.

A medição da espessura em tecidos e malhas é realizada segundo a norma NP EN ISO 5084, utilizando o medidor de espessura digital apresentado na Figura 17. A presente norma estabelece um método para a determinação da espessura de produtos têxteis quando submetidos a uma pressão de 100 Pa. A espessura de um provete é medida, assim como a distância entre as placas de referência sobre o qual é colocado o provete e um calcador circular que exerce uma pressão especificada na área do têxtil sob o ensaio. A distância perpendicular entre as placas é medida e registada, para este ensaio são realizadas pelo menos 10 medições.



Figura 17: Medidor de espessura digital M034 da SDL Atlas.

A massa por unidade de superfície foi avaliada utilizando como referência a norma NP EN 12127, que indica a necessidade de acondicionamento das amostras em atmosfera normalizada de 20 ± 2 °C com uma humidade relativa de 65 ± 5 %. As amostras são cortadas com mínimo de 100 cm² de área, acondicionadas e posteriormente pesadas. Os resultados são apresentados em g/m², para este ensaio são realizadas pelo menos 5 réplicas.

3.2.2 Comportamento térmico

O comportamento térmico das amostras em estudo foi estudado através da realização de três ensaios complementares: o método da *Alambeta* – para avaliar as propriedades térmicas das estruturas; o método do manequim térmico – para estimar a resistência térmica das amostras; e o método da câmara termográfica para avaliar a distribuição de temperatura e a taxa de arrefecimento após aquecimento.

3.2.2.1 Método da Alambeta

Na avaliação das propriedades térmicas teve-se em consideração o artigo “*Investigation of the Thermal Insulation Properties of Multilayer Textiles*” do *M. Matusiak*. Utilizou-se o equipamento *Alambeta*, representado na Figura 18, que faz uma avaliação objetiva das propriedades térmicas superficiais de um substrato, com 100 cm² de área. O equipamento simula o fluxo de calor entre duas superfícies, avaliando também as propriedades térmicas estacionárias, como a resistência e a condutividade térmicas, e as propriedades dinâmicas, como a absorvidade térmica e a difusividade térmica (Koç and Zervent, 2006). O equipamento *Alambeta* é constituído por um bloco metálico com temperatura constante (32°C). Quando a medição se inicia, a cabeça de medida baixa e toca a superfície plana da amostra a medir, a qual se situa na base do equipamento, sob a cabeça de medição, neste momento, a temperatura da superfície da amostra muda bruscamente e o equipamento regista a evolução do fluxo de calor. Este equipamento avalia os seguintes parâmetros (Pamuk, 2007):

- h – Espessura do tecido (mm);
- λ (10^{-3}) – Condutividade térmica (propriedade estacionária ou dinâmica – W/m °K). Exprime a quantidade de calor que flui pelo material, por unidade de comprimento;
- α ou a – Difusividade térmica (10^{-6} m²/s). Descreve a velocidade de propagação da temperatura (calor) no material: impulso térmico;
- b – Absortividade térmica (propriedade transitória – Ws^{1/2}/m °K). Representa o fluxo instantâneo que ocorre quando dois corpos, com diferentes temperaturas, entram em contacto. Está, diretamente, relacionada com a sensação inicial de contacto da pele com o artigo têxtil. A absorvidade térmica exprime as

propriedades térmicas dos tecidos em contacto, estando relacionado com parâmetros da estrutura e composição dos tecidos;

- r (10^{-3}) – Resistência térmica (propriedade estacionária – $m^2 \text{ }^\circ\text{K/W}$). Exprime a resistência oferecida por um dado material ao fluxo de calor: razão entre a espessura e a condutividade térmica.
- $q_{max} = q$ (W/m^2) fluxo térmico ou toque térmico (propriedade Dinâmica). Avalia a sensação quente/frio, quando se toca um tecido e é dado pelo valor máximo do fluxo térmico (q_{max}). O fluxo de calor (q) está relacionado com o tempo de contacto (T) e com a absorvidade térmica (b).



Figura 18: Equipamento *Alambeta*, para avaliação das propriedades térmicas de substratos têxteis.

3.2.2.2 *Manequim térmico*

Na determinação das propriedades térmicas de estruturas têxteis, é possível encontrar diferentes métodos e metodologias que permitem essa avaliação. Tal como a *Alambeta*, os manequins térmicos permitem a mudança de vários parâmetros – inclusivamente a condutividade térmica em estado estacionário (Peixoto, 2008).

Para este efeito foi utilizada um manequim térmico e para avaliação do isolamento térmico, com base a norma *ISO 15831 – Clothing – Physiological effects – Measurement of thermal insulation by means of a thermal manikin*, como o auxílio de uma câmara térmica que permite a construção de um mapa de temperaturas ao longo de uma superfície. O manequim térmico (Figura 19) presente no laboratório de física têxtil está dividido em 20 segmentos que permitem extração de dados independente, em condições controladas de temperatura e humidade no interior de uma câmara adiabática.



Figura 19: Manequim e câmara térmica utilizados neste ensaio.

Existem 2 métodos diferentes para controlo da transferência de calor no manequim térmico:

- *PI CONTROL* – durante esta metodologia é mantida a temperatura constante, sendo distinta o fluxo térmico necessário em cada segmento para obtenção da mesma.
- *LOCKED POWER* – neste caso é especificada o fluxo térmico a ser transmitido pelo manequim, sendo que este se mantém constante ao longo de todo o ensaio, sendo adquirida a temperatura do segmento. Quando um segmento atinge a temperatura máxima o fluxo térmico é desligado.

Os ensaios realizados no decorrer deste trabalho foram efetuados em ambiente controlado e registado, com temperatura a rondar os 20 ± 2 °C e humidade relativa de 65 ± 5 %, utilizando a metodologia *PI CONTROL* acima descrita.

Inicialmente foi efetuada a elaboração de um ensaio com o manequim sem qualquer tipo de estrutura têxtil colocada sobre a sua superfície, garantindo assim um termo de comparação base. O ensaio é iniciado com a temperatura da superfície do manequim a 20 °C e termina quando todos os membros atingem uma temperatura constante de 33 °C

durante pelo menos 30 minutos. Os valores adquiridos de fluxo térmico são registados apenas quando todos os segmentos atingem a temperatura pré-definida durante 30 ciclos de 1 minuto.

3.2.2.3 Mapeamento térmico em arrefecimento

A avaliação proposta no ensaio do mapeamento térmico por arrefecimento, pretende objetivar a capacidade de arrefecimento de uma estrutura após ser sujeita a uma temperatura elevada. Assim, com este método é possível verificar entre as amostras, qual terá maior capacidade de arrefecer após um aquecimento simulado de interior automóvel exposto à radiação solar.

Para essa simulação foi levado a cabo um plano experimental não normalizada, de aquecimento gradual e arrefecimento sem influência exterior em ambiente controlado. É conveniente ressaltar que este ensaio não tem como base qualquer referência normativa.

De acordo com (Dadour *et al.*, 2011) – estudo que avaliou a temperatura dentro de um habitáculo automóvel durante 10 dias consecutivos na altura do verão – verificaram-se picos de temperatura máxima na ordem dos 70 °C em alturas que a temperatura do ar rondava os 40 °C, como é possível analisar na Figura 20.

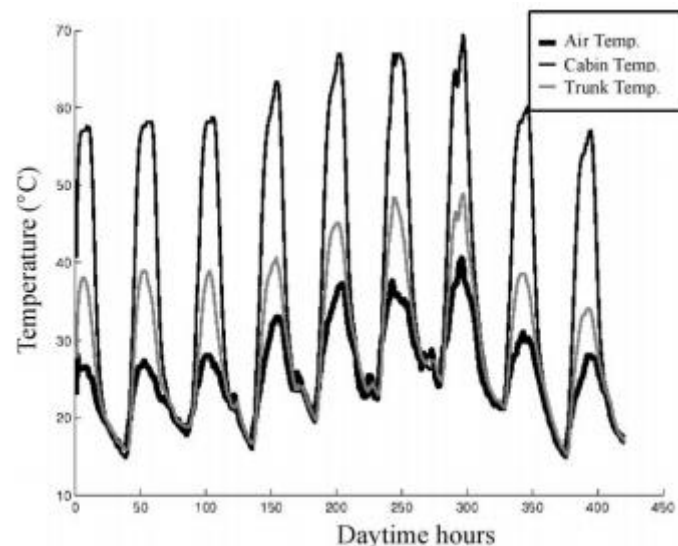


Figura 20: Dados obtidos a partir do ensaio de avaliação da temperatura dentro de um automóvel, indicando em paralelo temperatura do ar exterior, do habitáculo e bagageira automóvel (Dadour *et al.*, 2011).

Como tal, para realização deste ensaio foi montado um *set-up* com uma estufa programável com o plano de aquecimento proposto e descrito na Figura 21, sendo utilizada uma câmara termográfica como auxílio de registo da temperatura.

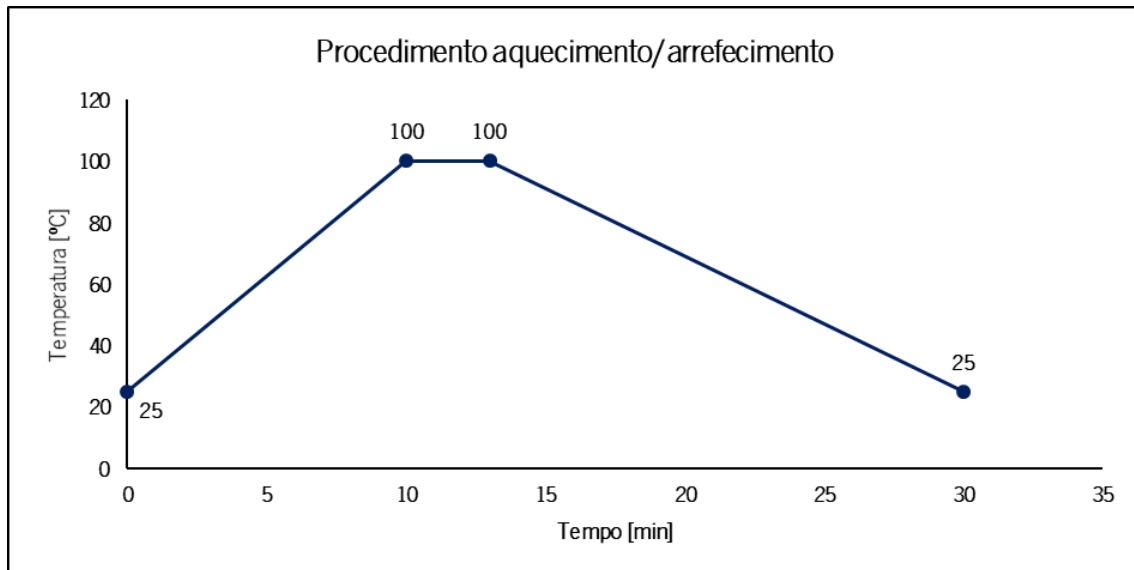


Figura 21: Procedimento utilizado para determinação do mapeamento térmico em arrefecimento.

Na Figura 22 está apresentado o esquema de ensaio montado dentro da estufa para realização do ensaio proposto.

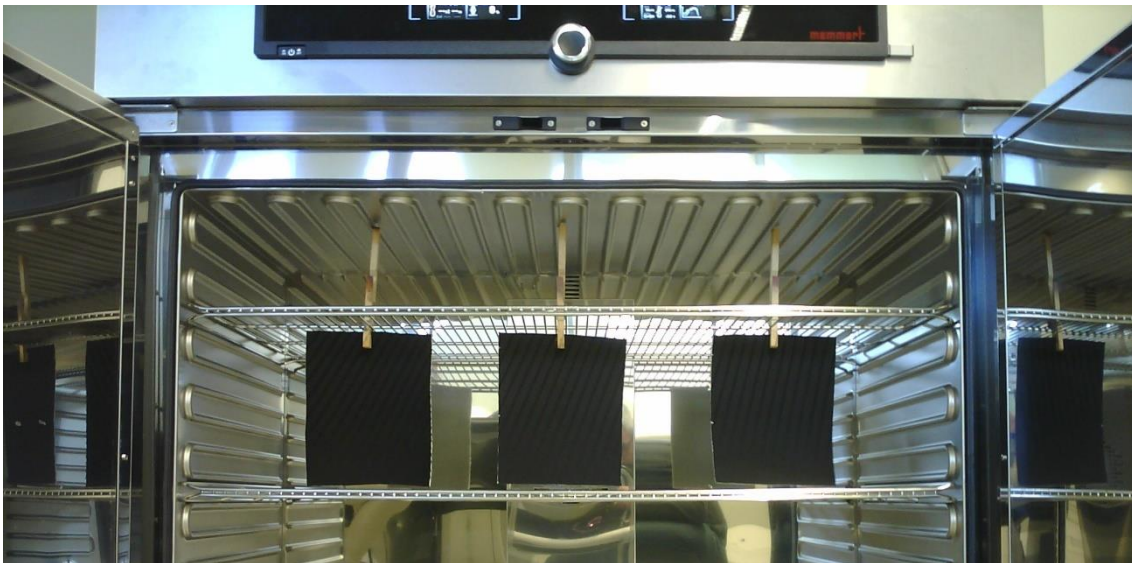


Figura 22: *Set-up* de ensaio do procedimento montado para mapeamento térmico.

A câmara térmica da *Testo* utilizada para o efeito de ensaio, possibilita o tratamento de imagens através de técnicas de termografia através de *softwares* próprios, devolvendo informação de perfis, histogramas, médias, pontos quentes e pontos frios de uma determinada área. A **Erro! A origem da referência não foi encontrada.** demonstra o tratamento simplificado de uma imagem usada nesta metodologia, onde se verifica a área

demarcada sobre o provete com a sigla AV1, de onde se retiram as médias de temperatura de todos os pontos constituintes. Esta área AV1 foi aplicada em todas as análises térmicas aqui apresentadas.

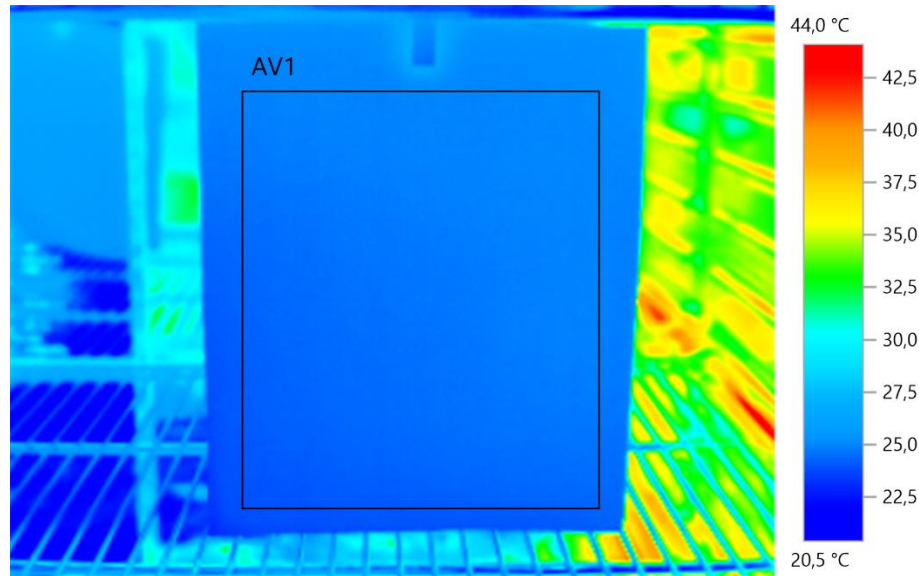


Figura 23: Imagem termográfica de uma amostra após sofrer aquecimento e arrefecimento tratado no software da Testo.

Metodologia de ensaio:

- Colocação dos provetes de ensaio na estufa, colocadas na mesma zona de atuação do fluxo de ar e calor;
- Início do procedimento de aquecimento a 25 °C dentro da estufa, incremento com gradiente de 7,5 °C até atingir os 100 °C e manutenção por 3 minutos a essa mesma temperatura;
- Obtenção de imagens termográficas com a câmara térmica de 1 minuto em 1 minuto até aos 10 minutos e posteriormente de 5 em 5 minutos até atingimento dos 30 minutos de arrefecimento;
- Tratamento dos dados.

3.2.3 Propriedades mecânicas

As propriedades mecânicas apresentam caracter relevante na avaliação das propriedades de um artigo têxtil, pois permite a compreensão e possível previsão de como um determinado substrato irá reagir sob as condições normais de utilização a que se destina.

Estas propriedades refletem a resistência do material têxtil a forças externas (Zupin and Dimitrovski, 2010). Dada a tipologia das solicitações a que normalmente estão submetidas as estruturas de revestimento, considerou-se o coeficiente de fricção, a resistência à fadiga por compressão, a resistência à abrasão e a formação de borboto, como as principais propriedades mecânicas a avaliar.

3.2.3.1 Coeficiente de fricção

Este ensaio foi realizado de acordo com o descrito no artigo “*Frictorq, tribómetro para avaliação objetiva de superfícies têxteis*” dos autores Lima, M et al. O teste consiste na fixação da amostra (com 100 cm²) na base do equipamento, sobre a qual é colocado um sensor (NB3.5) que realiza movimento rotacional sobre ele mesmo. Avalia-se desta forma o atrito que existe entre o sensor e amostra, dessa forma calcula o coeficiente de atrito. Cada ensaio tem duração de 20 segundos, sendo realizadas pelo menos 5 medições (Lima et al., 2006). O *Frictorq* (Figura 24) é um equipamento de laboratório de controlo de qualidade para a medição do coeficiente de fricção de têxteis.



Figura 24: Equipamento *Frictorq* (esq.); sensor binário reativo de precisão (dir.)

O equipamento *frictorq* é constituído por:

- Sensor binário reativo de precisão com o respetivo sistema de aquisição de dados;
- Um motor de corrente contínua (12 Volts) com um redutor de engrenagens e uma correia dentada para acionamento do prato de suporte da amostra inferior;
- Aplicação informática para aquisição, gestão e controlo do mecanismo.

O sensor de contacto, representado na imagem da direita da Figura 24 apresenta 3 elementos especiais – dispostos radialmente a 120°, deslocados entre si 90° – roda no eixo

vertical com uma velocidade definida de 1,57 mm/s e pressão constante de 3,5 kPa. (Lima *et al.*, 2006).

O valor obtido pela avaliação com o equipamento *frictorq* trata-se de um coeficiente, não sendo por isso uma característica inerente do substrato, contudo, (Lima *et al.*, 2006), concluíram que maior coeficiente de fricção corresponde a superfícies mais suaves.

3.2.3.2 Compressão cíclica e resistência à fadiga

Os ensaios de compressão visam a obtenção de informação relativa ao comportamento mecânico à compressão, a sua recuperação e a energia absorvida em cada impacto.

Através das curvas de deslocamento obtidas na metodologia de ensaio de compressão, é possível calcular a energia total absorvida. Se um material tem elevada capacidade de distribuir e dissipar energia, terá maiores propriedades de absorção de impacto. Se pensarmos em vestuário para proteção, em qualquer área de aplicação, o impacto existe, pois, o utilizador está sujeito a contacto de forma recorrente (Wardiningsih, Troynikov and Fuss, 2015).

A absorção de energia de um material ou estrutura, pode ser alcançado a partir de através de gráficos ou expressões matemáticas, a partir das curvas de tensão/deformação - obtidas das forças de deflexão nos testes de compressão. Após obtenção dessas curvas, a energia é calculada integrando a área formada pelas duas linhas das curvas de tensão/deformação. Na Figura 25, esta zona está representada pela região a sombreado, verificando-se a sua demarcação em cinzento. A curva ascendente representa a compressão, quando é aplicada a força de carga, e a curva descendente a força de descarga (descompressão).

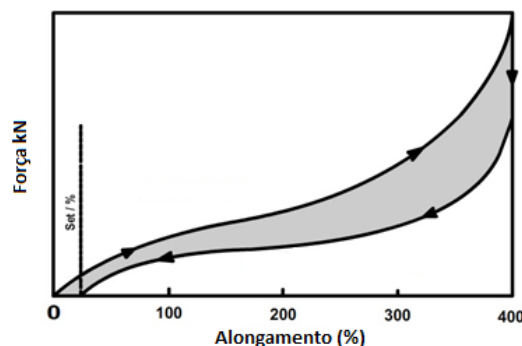


Figura 25: Gráfico representativo de um ensaio de compressão (ISO, 1986).

Como tal, após parametrização e realização do ensaio de compressão, é possível quantificar em números a capacidade de absorção de energia pelo material testado (Arumugam, 2017):

$$W = \int_0^{\varepsilon} \sigma(\varepsilon) d\varepsilon$$

Sendo que σ corresponde à compressão e ε é a tensão de compressão no início/final do estágio de densificação.

Para uma melhor e mais completa perceção da capacidade de absorção de energia, pode ser calculada a eficiência da absorção de energia (E), que permite analisar o processo em si da absorção de energia:

$$E = \frac{Ah \int_0^{\varepsilon} \sigma(\varepsilon) d\varepsilon}{Ah\sigma}$$

Onde A é a área, h a espessura, σ a compressão no ponto ε .

Com a compreensão e respetivo processo de absorção de energia, é possível adequar o substrato ao seu propósito de aplicação, e dessa maneira perceber se se trata de materiais adequados a aplicação *hi-end*. Além da absorção de energia este ensaio permite a observação de resiliência de uma estrutura, isto é, a capacidade da mesma em voltar ao ponto inicial após sofrer uma força de compressão ou deslocamento.

Como não existe uma norma específica desenvolvida para estruturas têxteis no respeitante à compressão de materiais, foi desenvolvida uma metodologia de ensaio com base em normas utilizados para estudo das propriedades mecânicas de compressão de borrachas e espumas (ASTM International, 2012),(ASTM International, 2003) e ainda trabalhos científicos de modo a serem conhecidas os parâmetros de ensaio a utilizar (Liu *et al.*, 2012).

Todos os ensaios foram realizados numa máquina universal de teste, *HOUNSFIELD H100KS*, equipada com uma célula de carga de 2,5 kN. Para este ensaio foi preparado o *set-up* de compressão (Figura 26), com uma base circular fixa que serve como suporte do provete a testar e um impactador fixo na célula de carga e que é responsável pela aplicação da carga no substrato.



Figura 26: *Set-up* para os ensaios de compressão: (esq.) célula de carga e impactador; (dir.) máquina universal de teste Hounsfield H100KS.

O impactador possui uma área na base de contacto com o provete de 1963 mm^2 , sendo a sua constituição rígida, não havendo deformação do mesmo durante a execução dos ensaios. No ato anterior à execução do ensaio é feita a medição da espessura com o equipamento de medição manual *Gauges & Indicadores* do fabricante *Mitutoyo*, (Figura 27), que permite a determinação da espessura de um provete quando submetido a uma pressão de 18 Pa. O impactador é colocado sob a superfície do provete, sem aplicar qualquer pressão. Dá-se início do ensaio, com velocidade de compressão de 12 mm/min, de acordo com a norma *ASTM d 575 (Test methods for rubber properties)*, onde todas as amostras foram comprimidas até 80% da sua espessura inicial (Arumugam, 2017)(Liu *et al.*, 2012). Nesse ponto – relativo a uma compressão de 80% da espessura inicial – o impactador mantém essa posição por 60 segundos, retornando ao ponto inicial após esse tempo. Através do programa *Q Method*, que funciona como conversor da informação em formato digital, são obtidas as curvas referentes a este ensaio.



Figura 27: Medidor de espessura da *Mitutoyo*.

Após o término dos 20 ciclos de compressão é retirada a espessura no mesmo ponto correspondente ao inicial, sendo assim perceptível se existiu deformação irreversível da estrutura.

3.2.3.3 Resistência à abrasão e formação de borboto (Método de Martindale)

Para realização deste ensaio foi utilizada como referência a norma NP EN ISO 12947-2:2012. Este ensaio pretende avaliar a durabilidade de um têxtil medindo a resistência dos mesmos à abrasão. Existem várias metodologias para medição deste parâmetro, sendo o Método de *Martindale* um dos mais populares, pois permite além da abrasão, verificar a formação de borboto (*pilling*) à superfície e perda de massa do provete após ciclos de utilização (Hunter and Fan, 2015). Este método pode ser aplicado em malhas, tecidos e não-tecidos (Geršak, 2013; ISO, 2016b).

Um espécimen circular (com diâmetros de $38 \pm 0,5$ mm) é colocado sobre um suporte de amostra e sujeito a uma carga definida (peso de 595 gramas) e sofre abrasão sucessiva contra um tecido padrão normalizado (abrasivo médio) num movimento contínuo translacional, traçando uma figura de *lissajous*. O ensaio é repetido o número de ciclos pretendido (30000 ciclos),

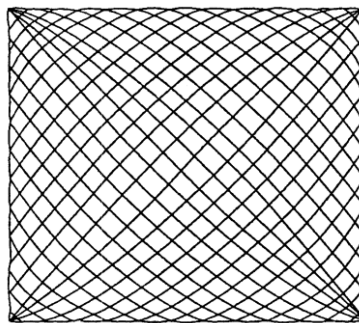


Figura 28: Traçado da figura *lissajous* (ISO, 2016a).

O ensaio pelo método de *Martindale* (representado na Figura 29) apresenta a vantagem de testar a amostra em todas as direções, sendo que o *stress* se desenvolve ao longo da fibra a partir da força que atua transversalmente ao eixo da mesma como resultado do atrito de superfície. A magnitude do atrito superficial está relacionada com a dureza do tecido padrão abrasivo usado.

Têxteis com resistência entre 6000-10000 ciclos são considerados aptos para uso decorativo, entre 10000-15000 ciclos para uso doméstico ligeiro, 15000-25000 para uso doméstico geral, 25000-30000 uso intensivo e acima de 30000 para uso comercial.

A avaliação é feita por comparação com as fotografias padrão, de modo a ser classificado o grau (de 1 a 5, sendo o grau 5 aquele que não apresenta qualquer alteração superficial). A avaliação foi efetuada de 1000 em 1000 ciclos até à conclusão de 6000 ciclos; 2000 ciclos em 2000 ciclos até aos 10000 e posterior avaliação a cada 10000 ciclos.

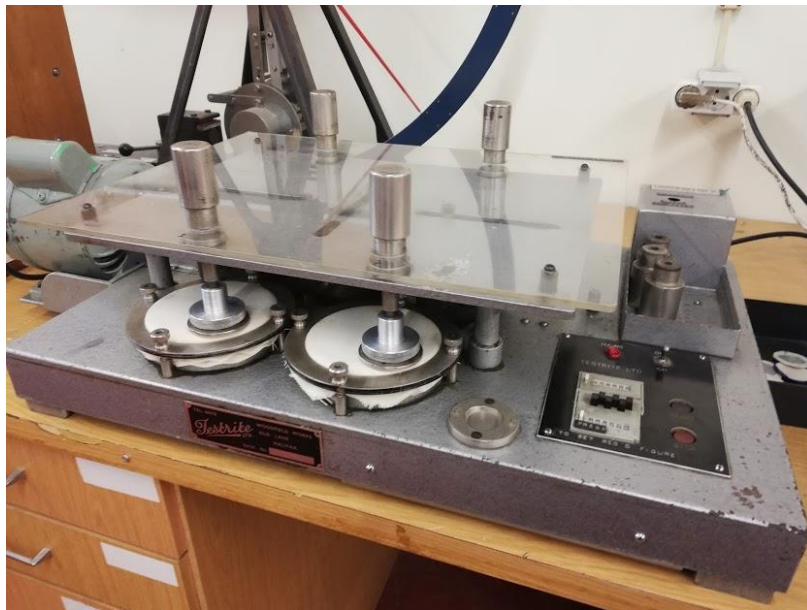


Figura 29: Abrasímetro *Martindale* para ensaio da formação de borbo e resistência à abrasão.

3.2.4 Propriedades de transferência de ar e vapor

A permeabilidade ao ar e ao vapor de artigos têxteis são de extrema importância para avaliação do conforto térmico. Nesse sentido foram identificados como necessários e fundamentais para esta caracterização o ensaio de permeabilidade ao ar e ao vapor de água.

3.2.4.1 Permeabilidade ao ar

A permeabilidade ao ar representa a capacidade de uma estrutura ser atravessada por um fluxo de ar. Através da medição da velocidade de passagem de um fluxo de ar no sentido perpendicular à amostra – sob condições específicas de área de ensaio, pressão e tempo – obtém-se a permeabilidade ao ar de determinada estrutura. Esta propriedade é intrínseca ao material e à estrutura, que permite ao ar passar através dos poros. A velocidade de

passagem do ar através depende essencialmente do tamanho e distribuição dos poros entre as fibras, sendo este parâmetro de extrema importância nas propriedades de transferência de calor e capacidade de secagem do material (Peixoto, 2008). A avaliação desta propriedade foi realizada segundo o procedimento da norma NP EN ISO 9237 “Têxteis: determinação da permeabilidade dos tecidos ao ar”, utilizando um permeabilímetro *Textest 5110 Labdata* (Figura 30), com uma pressão de 200 Pa e uma área de ensaio de 20 cm².



Figura 30: Permeabilímetro ao ar *Textest 5110 Labdata*.

3.2.4.2 Permeabilidade ao vapor de água

A permeabilidade ao vapor de água traduz a perda de água, sob a forma de vapor, de uma estrutura. Esta propriedade afeta de forma direta o balanço térmico, uma vez que a fácil passagem da humidade em forma de vapor pela estrutura garante fácil remoção do vapor de água, incrementando de forma direta o movimento de ar através da estrutura.

A avaliação da permeabilidade ao vapor de água das estruturas foi efetuada segundo o procedimento da norma *BS 7209:1990*, “*British Standard Specification for water vapour permeable apparel fabrics*”, utilizando o equipamento de medição da permeabilidade ao vapor de água (*TF165 da Testex* - Figura 31) durante 16 horas, sob ambiente controlado a uma temperatura de $20^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ e $65\% \text{ RH}\pm 2\%$.

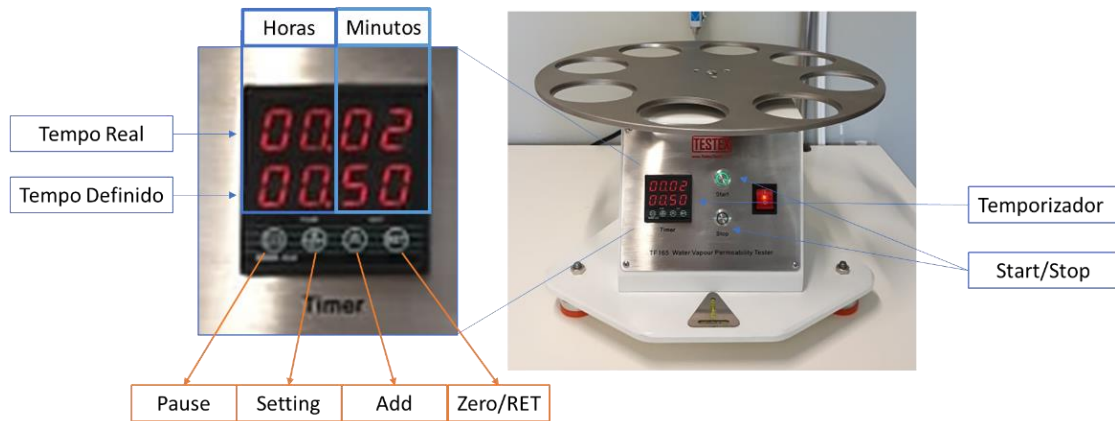


Figura 31: Permeabilímetro ao vapor de água TF165 Testex.

Para a realização deste ensaio é utilizado como referência um tecido padrão. Os valores de permeabilidade ao vapor de água (WVP) e o índice de permeabilidade ao vapor de água (I), são calculados pelas seguintes equações:

$$WVP = \frac{24M}{At}$$

$$A = \left(\frac{\pi d^2}{4} \right) \cdot 100$$

$$I = \left\{ \frac{(WVP)_f}{(WVP)_r} \right\} \cdot 100$$

Onde M , representa a massa perdida durante o ensaio, em gramas; t , o tempo; A , a área do provete; $(WVP)_f$ a permeabilidade ao vapor de água das estruturas testadas; $(WVP)_r$, a permeabilidade ao vapor de água do tecido padrão.

3.2.5 Propriedades de absorção de líquidos e capacidade de secagem

A molhabilidade e a dispersão (*wicking*) são dois parâmetros fundamentais para a caracterização de um material têxtil em relação à sua capacidade de absorção e transporte de líquidos. Por outro lado, a taxa de evaporação de água de uma estrutura é uma medida da capacidade de uma estrutura têxtil em libertar humidade, isto é, da sua capacidade de secagem.

A dispersão ou *wicking* ou capilaridade de um substrato, é definida como a capacidade do material em sustentar o fluxo capilar; por sua vez, a molhabilidade define o comportamento inicial do substrato quando entra em contacto com a água. Assim, a

molhabilidade descreve a interação substrato/água até que o *wicking* ocorra. A Figura 32 esquematiza este mecanismo desde a zona de contacto da gota até à fase de *wicking* capilar (Kissa, 1996).

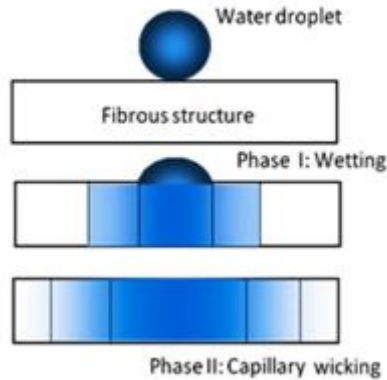


Figura 32: Mecanismo de transporte de líquidos através de um substrato têxtil (Azeem *et al.*, 2017).

Neste trabalho selecionaram-se como propriedades a avaliar: a molhabilidade, aferida pelo ângulo de contacto, e a capacidade de secagem, aferida pelo rácio de água evaporada em 30 minutos. A dispersão ou *wicking* não foi estudada pelo facto da amostra ser uma estrutura laminada (tecido/espuma).

3.2.5.1 Ângulo de contacto

A medição do ângulo de contacto representa o ângulo formado entre a tangente da interface líquido-vapor e a interface sólido-líquido, na linha de interceção das três fases (líquido-vapor, γ_{LV} ; sólido-líquido, γ_{SL} ; e sólido-vapor, γ_{SV}), verificado no esquema da Figura 33 (Azeem *et al.*, 2017).

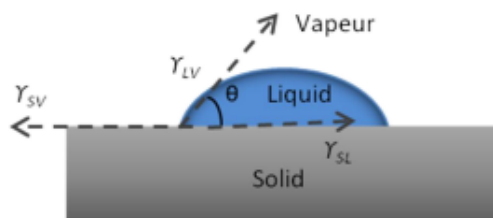


Figura 33: Ângulo de contacto numa superfície, com a apresentação das 3 interfaces (Azeem *et al.*, 2017).

O ângulo de contacto (θ_C) de equilíbrio é determinado a partir da equação de *Young*:

$$\gamma_{SV} - \gamma_{SL} - \gamma_{LV} \cos \theta_C = 0$$

Quando o ângulo for inferior a 90° , existe uma atração entre a fase líquida e sólida, sendo que quando o ângulo for superior a 90° , existe repulsão entre a fase líquida e sólida. Como tal, ângulos inferiores a 90° representam elevada molhabilidade e ângulos superiores a 90° representam baixa molhabilidade (Azeem *et al.*, 2017). Assim podem ser classificados:

- Superhidrofílico: $\theta < 5^\circ$ em 0,5 segundos;
- Hidrofílico: $\theta < 90^\circ$;
- Hidrofóbico: $90^\circ < \theta < 150^\circ$;
- Superhidrofóbico: $\theta > 150^\circ$.

Uma vez que a molhabilidade é o trabalho de adesão entre o sólido e o líquido, esta pode ser definida por equação de trabalho (W). A medição pode ser efetuada através de 2 métodos (Azeem *et al.*, 2017):

- **Método indireto:** neste procedimento é colocada uma gota na superfície a ensaiar. Com recurso a um microscópio pode ser vista a gota que pousa sobre o substrato. Através do software presente no equipamento, é feita a medição da tangente em relação à superfície de ambos os lados da gota;
- **Método direto:** nesta metodologia o sólido é imerso em água de forma parcial, existe uma força atrativa exercida pelo líquido no sólido. Esta força trata-se da tensão superficial.

Nesta dissertação foi efetuado o ensaio estático pelo método sésil da gota ($5\mu\text{L}$), recorrendo a um goniómetro (Figura 34) equipado a um sistema de câmara, que permite a visualização da gota colocada sobre uma superfície e posteriormente, pela análise *frame a frame* detetar o ângulo de contacto formada sobre o material.



Figura 34: *Set-up* de medição do ângulo de contacto: esq. goniómetro; dir. software de gravação e medição do ângulo formado entre a gota e a superfície.

O ensaio foi realizado tendo em conta os procedimentos referidos na norma *ASTM D 5946-04* com auxílio do referido equipamento, 10 medições em cada amostra.

3.2.5.2 Capacidade de secagem

O método utilizado para determinar esta característica permite avaliar a capacidade de uma estrutura têxtil em libertar humidade, sendo uma adaptação à norma *FFTS-FA-004*. O ensaio baseia-se no procedimento descrito no artigo “*Wicking Behavior and Drying Capability of Functional Knitted Fabrics*” de *Fangueiro et al.*, com o intuito de mimetizar a libertação de vapor de água da estrutura em situações de contacto com o calor corporal. Desta forma, o ensaio foi realizado a temperatura constante de 32 ± 2 °C em ambiente controlado (estufa). Para início desta avaliação foi colocado sobre a amostra (de 10x10 cm) 30% do seu peso em água, e depois avaliada a libertação de humidade (em função da diferença de peso da amostra), de minuto a minuto até aos 5 minutos de ensaio, e posteriormente de 5 em 5 minutos até aos 30 minutos. No final, foi calculado o rácio de água evaporada (*WER*) pela equação seguinte:

$$WER (100\%) = \frac{w_0 - w_i}{w_0 - w_f} * 100$$

Sendo,

- *WER* – Rácio de água que evapora ao fim de 30 minutos;
- w_i – Mudança de peso nos intervalos das pesagens;
- w_f – Peso da amostra seca;
- w_0 – Peso da amostra molhada.

Capítulo 4: Análise e discussão de resultados

Como descrito anteriormente, os ensaios foram efetuados com o sentido de perceber qual a estrutura que promove o melhor desempenho na ótica do utilizador, mas também, o de avaliar a efetividade dos acabamentos, e consequentemente, o valor acrescentado associado a um processo de funcionalização.

De modo a relembrar, as imagens das amostras ensaiadas estão representadas na Figura 35.



Figura 35: Distinção de acabamentos entre as diferentes amostras do plano de trabalho.

Na Tabela 6 estão descritos os parâmetros fundamentais das amostras em estudo, isto é, conjunto estrutura têxtil laminada com espuma.

4.1 Caracterização da amostra

É importante salientar novamente que todas as amostras apresentam a mesma estrutura – tecido laminado com espuma – e que a distinção entre elas é o acabamento final.

As amostras apresentadas apresentam espessura similar, não existindo influência do acabamento neste parâmetro. Em termos de massa por unidade de superfície entre a amostra AM1 e a AM2 não se verifica qualquer influência do acabamento, com valores bastante similares entre si. Respeitante à amostra AM3, verifica-se um incremento no valor absoluto de massa por unidade de superfície na ordem dos 15% em relação às outras

duas amostras, com esse valor de aumento a ser respeitante à introdução das microcápsulas de *PCM* no acabamento.

Tabela 6: Resumo da caracterização estrutural das amostras.

Amostra	Estrutura	Acabamento	Espessura [mm]	Massa por unidade de superfície [g/m ²]
AM 1	Tecido laminado com espuma	Sem químicos (água)	3 ± 0,2	467 ± 1
AM 2		Termorregulador	3 ± 0,1	464 ± 2
AM 3		Termorregulador + estampania com <i>PCM's</i>	3 ± 0,1	533 ± 1

4.1.1 DSC - Differential Scanning Calorimetry

A observação efetuada via *DSC* nas diferentes amostras realizou-se na estrutura total – tecido e laminado. O objetivo deste ensaio é a observação do comportamento da estrutura ao longo da sequência de aquecimento, facto este que permite adequar as mesmas às condições limite de utilização em aplicação. Além disso, pela presença de materiais de mudança de fase numa das amostras, este ensaio permite aferir o campo de atuação destes materiais, verificando a fase de mudança de estado de sólido para líquido e vice-versa.

Pela não presença de materiais de mudança de fase nas amostras AM1 e AM2, a análise *DSC* pretende avaliar o comportamento das amostras com o incremento da temperatura. A observação da Figura 36 e Figura 37 permite verificar que não existe distinção de comportamento entre estas duas amostras supracitadas. O pico demarcado por ABC (240-260 °C) pressupõe-se associado à temperatura de fusão do tecido da estrutura que é em poliéster – zona esta coincidente com a temperatura teórica de decomposição do poliéster, aproximadamente nos 255 °C. este pressuposto, denota-se pela não presença do pico da temperatura de transição vítrea do poliéster, que se situa de forma teórica entre os 80-90 °C. No entanto, algum comportamento pode ser disfarçado pela presença da espuma, que para esta dissertação se manteve oculta, por decisão da empresa fornecedora do material (Kilinc, 2013; Grover, Khandual and Luximon, 2014; Breuer and Friedrich, 2015)

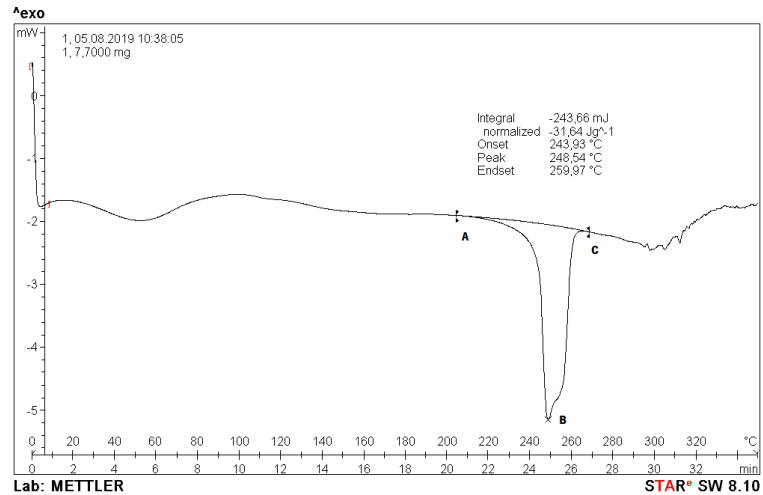


Figura 36: Análise DSC da amostra AM1.

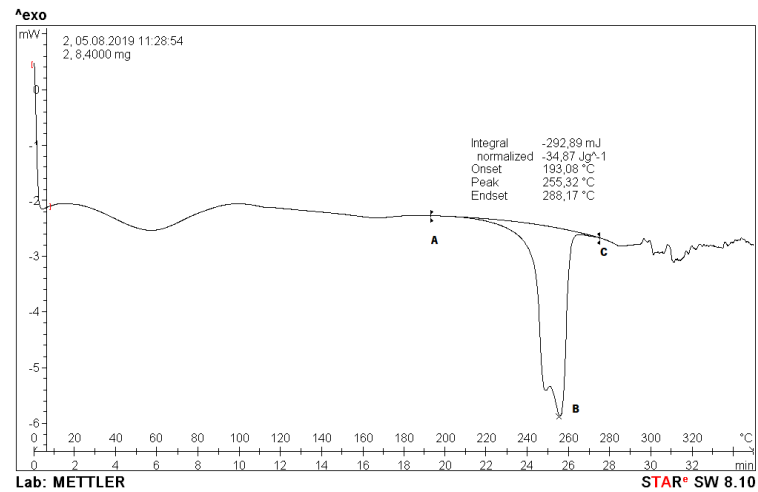


Figura 37: Análise DSC da amostra AM2.

Os *PCM's* possuem propriedades térmicas de cariz especial, mudam de sólido para líquido e nessa transição absorvem energia, enquanto que no processo oposto de mudança de fase de líquido para sólido libertam energia. Esta energia associada às mudanças de fase denomina-se entalpia ou calor latente. O *DSC* é uma das técnicas que permite a avaliação das propriedades de *PCM's* (Durães, 2013).

Pela observação da Figura 38 é possível verificar distinção das imagens das amostras sem *PCM's* na ordem de temperatura entre os 20-40 °C, demarcada com ABC. Nesta zona, surgem dois picos endotérmicos que estão associados a absorção de energia calorífica e que surgem pela existência de calor latente de fusão (Carvalho, 2015). A presença de 2 picos demarcados indica duas zonas distintas de fusão de dois componentes cristalinos diferentes das ceras parafínicas (Mondal, 2011).

Tal como nas amostras AM1 e AM2, na análise *DSC* da amostra AM3 verifica-se a presença do pico DEF.

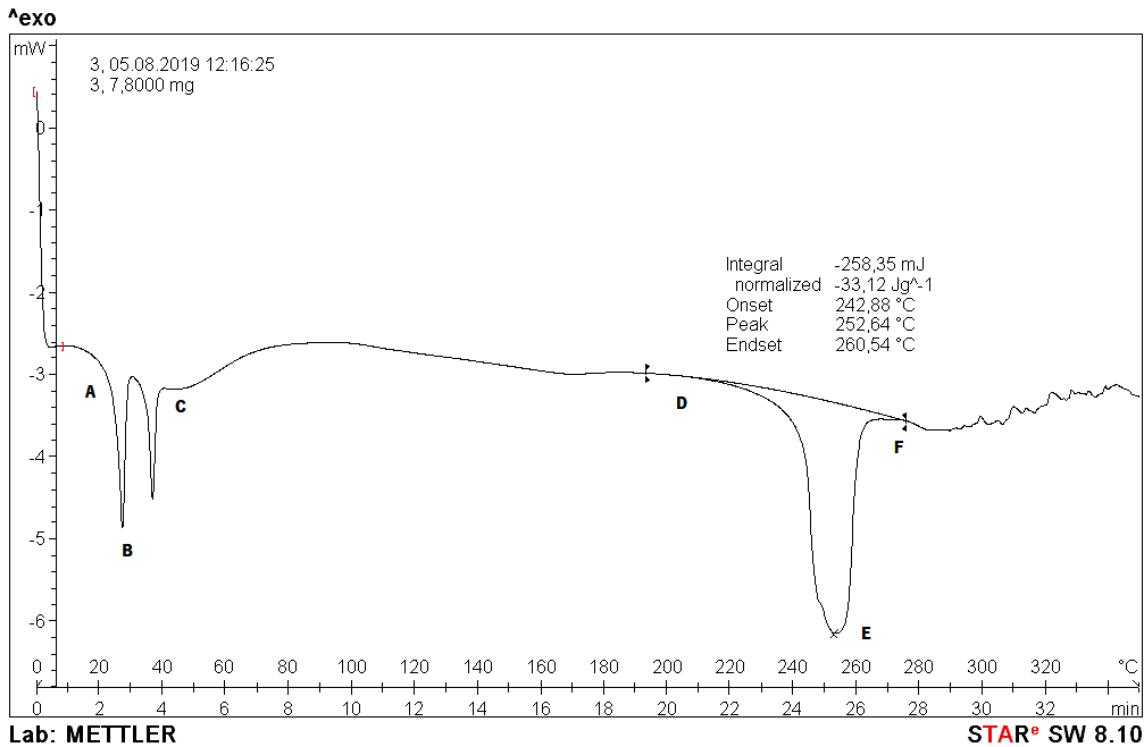


Figura 38: Análise *DSC* da amostra AM3 com estamparia com *PCM*'s.

É desta forma visível a atuação dos *PCM*'s na estrutura AM3, sendo posteriormente testada a sua efetividade em termos de atuação regulatório de temperatura.

4.1.2 Mapa de Pressões

A avaliação da distribuição de pressões numa estrutura revela-se de elevada importância. Nesta análise, valores mais baixos são considerados uma mais valia para o conforto, pois grande quantidade de pontos de pressão podem causar desconforto. Para esta análise, tendo em conta o usuário utilizado neste ensaio, a distribuição das pressões demonstra-se positivo neste ensaio.

É considerado neste campo de estudos relacionados com o conforto do utilizador, que valores registados abaixo dos 120 Pa são considerados positivos e como tal válidos para esta tipologia de aplicações (Pape, 2018). Na Figura 39 estão apresentados os valores absolutos obtidos a partir do ensaio da estrutura colocada sobre a manta de pressão, com escala de cor azul, verde e vermelho. As células com a escala azul representam os valores

mais baixos, a verde os mais aproximados do valor máximo para promoção do conforto de 120 Pa, enquanto a vermelho estão representados os valores de cariz superior.

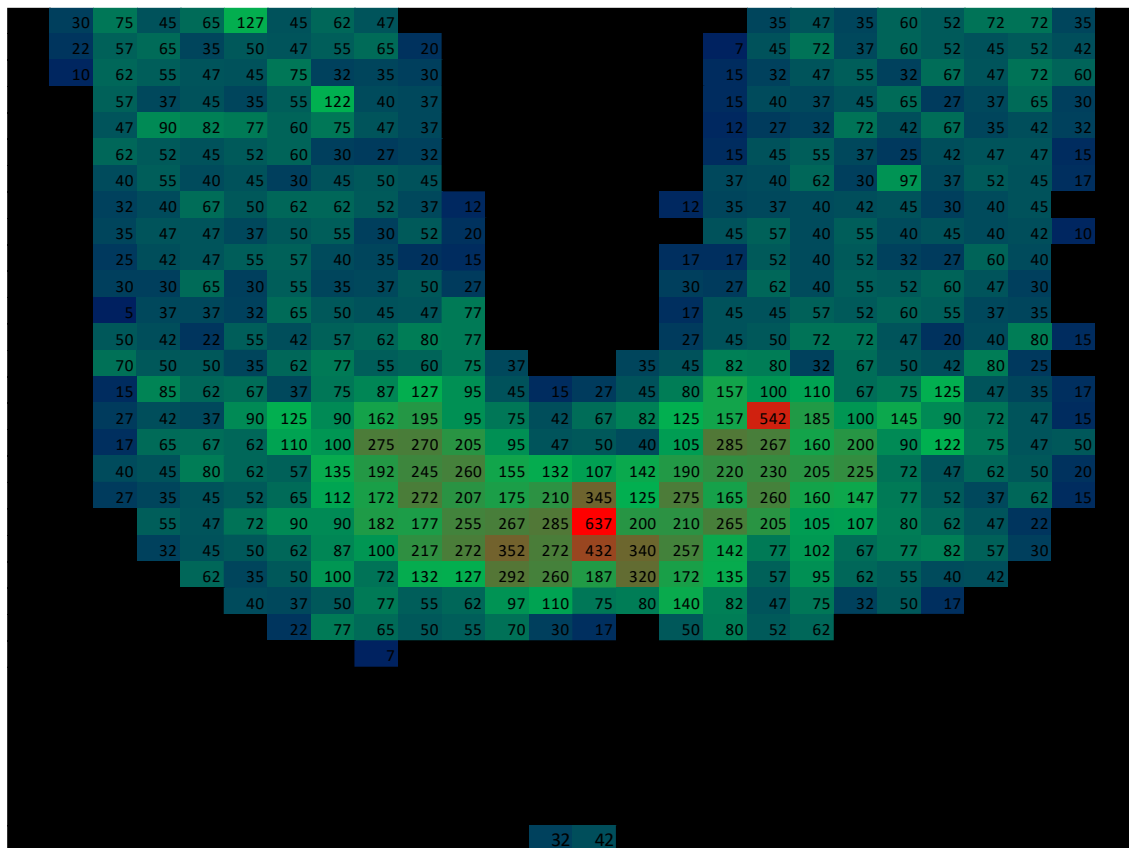


Figura 39: Resultados da distribuição da pressão estática.

Além da análise visual da Figura 39 – onde claramente se encontram visíveis pontos azuis e verdes em maior abundância – a Tabela 7. Desta forma, é possível concluir que apenas 16% das 455 células analisadas apresentam valores acima de 120 Pa, verificando-se na amostra apenas dois picos de valor máximo bastante acima dos restantes: 542 e 637 Pa. Ainda, a média total de pressão de todas as células da estrutura é de aproximadamente 77 Pa.

Tabela 7: Valores complementares da análise do mapeamento de pressões da estrutura.

Parâmetro	Valores	%
Células	455	
Mínimo	5	
Máximo	637	

Média	77	
[0-40]	133	29%
[41-80]	215	47%
[81-120]	35	8%
[121-max]	72	16%

Através desta análise, a estrutura revela-se adequada para aplicação em estofos automóvel.

4.2 Propriedades térmicas

Na avaliação das propriedades térmicas são apresentados os resultados obtidos a partir do método da *Alambeta*, manequim térmico e mapeamento térmico em arrefecimento.

4.2.1 Método da *Alambeta*

A *Alambeta* devolve vários valores após ensaio de estruturas, sendo necessária a perceção daqueles que apresentam significância para cada tipo de avaliação. Cada um dos valores representa uma característica, que pode fazer maior ou menor sentido conforme o tipo de aplicação. Para este desenvolvimento foram selecionados: a absorvidade térmica – que apresenta relação direta com a sensação inicial de contacto pele/superfície do artigo; condutividade térmica que indica a quantidade de calor que flui pelo material; e a resistência térmica, que permite quantificar a resistência oferecida pelo material ao fluxo de calor.

Os valores apresentados na Figura 40 demonstram a evolução das propriedades estudadas nas 3 amostras distintas. Em termos de condutividade e resistência térmica, não se verifica distinção significativa comparativamente entre amostras. Os valores nesses dois parâmetros são considerados semelhantes em termos de avaliação e as pequenas variações podem por ser representadas pelo erro associado do equipamento. Desta forma, é possível concluir que os acabamentos adicionados na amostra AM2 e AM3, não apresentam

qualquer interferência – positiva ou negativa – nos parâmetros de condutividade e resistência térmica da estrutura.

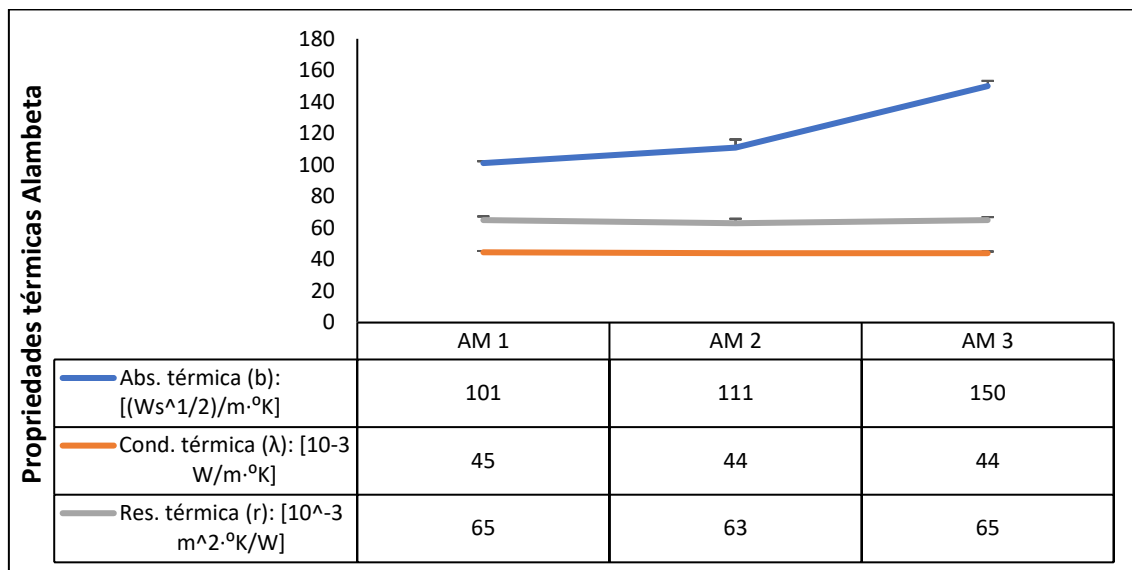


Figura 40: Absortividade, condutividade e resistência térmica, obtidas a partir do método da *Alambeta*.

Contudo, um dos principais pontos notáveis pela sensação transmitida pelo toque nas 3 estruturas, é a de amostra AM3 com estamperia com *PCM's* revelar um toque mais frio. Este facto denotado pela sensibilidade humana é comprovado pela avaliação da propriedade de absortividade térmica. Segundo (Hes, Araújo and Djulay, 1996), valores mais elevados de absortividade térmica, representam uma superfície com um toque mais frio.

Na Tabela 8 estão apresentados os valores médios das propriedades avaliadas pelo método da *Alambeta*, bem como o respetivo desvio padrão.

Tabela 8: Valores absolutos das propriedades térmicas avaliadas pela *Alambeta*, com o respetivo desvio padrão.

Propriedades térmicas	AM 1	AM 2	AM 3
Absortividade térmica (b): $[Ws^{1/2}/m \cdot ^\circ K]$	101 ± 1	111 ± 3	150 ± 5
Condutividade térmica (λ): $[10^{-3} W/m \cdot ^\circ K]$	45 ± 1	45 ± 1	44 ± 0,5
Resistência térmica (r): $[10^{-3} m^2 \cdot ^\circ K/W]$	65 ± 2	63 ± 2	65 ± 3

4.2.1 Manequim térmico

A utilização do manequim térmico revela o seu interesse por ser uma aproximação interessante à utilização e desempenho das estruturas têxteis em ambiente real.

A utilização do método *PI CONTROL* – onde o objetivo é a manutenção da superfície do manequim a 33 °C – permite a compreensão do fluxo térmico necessário a gerar consoante o isolamento. Assim, como neste caso a estrutura têxtil não varia, será possível alcançar a significância dos acabamentos propostos no conforto termofisiológico do utilizador.

Sendo impossível o ensaio em simultâneo das 3 amostras e para redução da possível influência das condições de ensaio nos resultados finais, foram levados a cabo ensaios comparativos entre as amostras:

- **Ensaio 1:** comparação entre a amostra AM1 (Padrão) e amostra AM2;
- **Ensaio 2:** comparação entre a amostra AM1 e amostra AM3;
- **Ensaio 3:** comparação entre a amostra AM2 e amostra AM3.

A Figura 41 expõe graficamente a evolução do ensaio em termos de variação de fluxo térmico. É perceptível que a partir da altura da estabilização da temperatura nos 33 °C – aproximadamente aos 10 minutos de ensaio – o fluxo térmico necessário para manter a amostra AM2 à temperatura indicada é sempre superior à exigida pela amostra AM1.

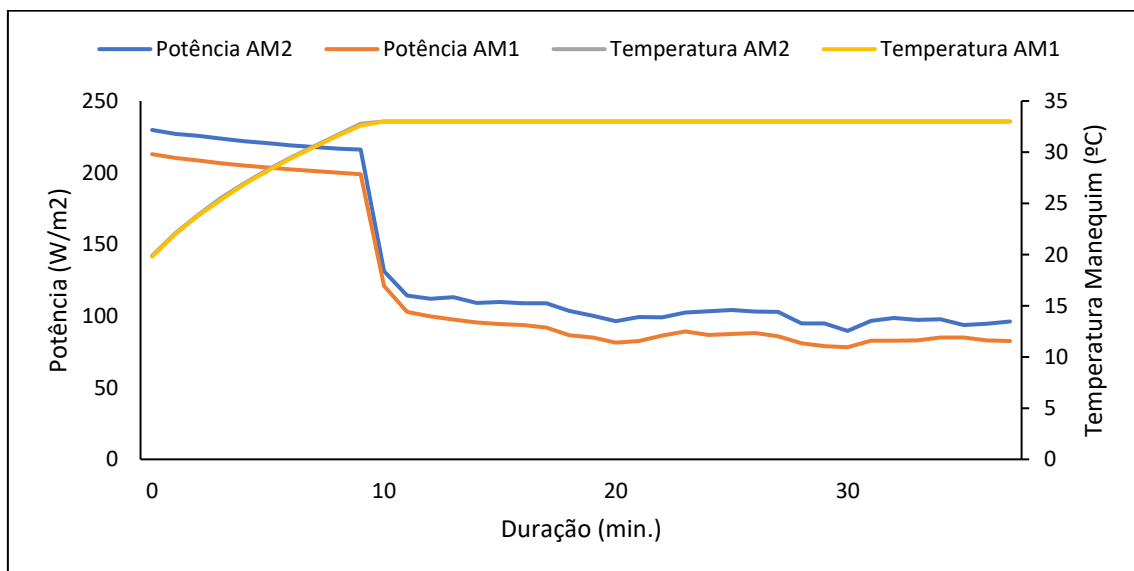


Figura 41: *PI CONTROL* no manequim térmico para a amostra AM1 e AM2.

Quando a temperatura de 33 °C estabiliza no segmento corporal do manequim térmico a ensaiar, são efetuadas 30 medições, de minuto a minuto, que permitem a obtenção de

valores absolutos de fluxo térmico (em W/m^2). A Tabela 9 apresenta os dados de fluxo térmico médio dos 30 registos entre amostras. Estes valores complementam a informação gráfica da Figura 41, com o valor de fluo térmico médio da amostra AM2 a ser superior em 16% em relação a AM1. Assim, é possível verificar-se atuação do acabamento termorregulador na amostra AM2, que mantém o utilizador mais fresco durante mais tempo.

Tabela 9: Fluxo térmico médio necessário para manutenção da temperatura em 33 °C - AM1 e AM2.

Amostra	AM1	AM2
Fluxo térmico médio (W/m^2)	87	101

O mesmo procedimento comparativo foi efetuado em relação à amostra AM1 e AM3, como apresentado na Figura 42. Da mesma maneira é verificável que o fluxo térmico exigido à amostra AM3 é superior à do padrão, contudo não de forma tão evidente como o noticiado na amostra AM2 em relação à AM1.

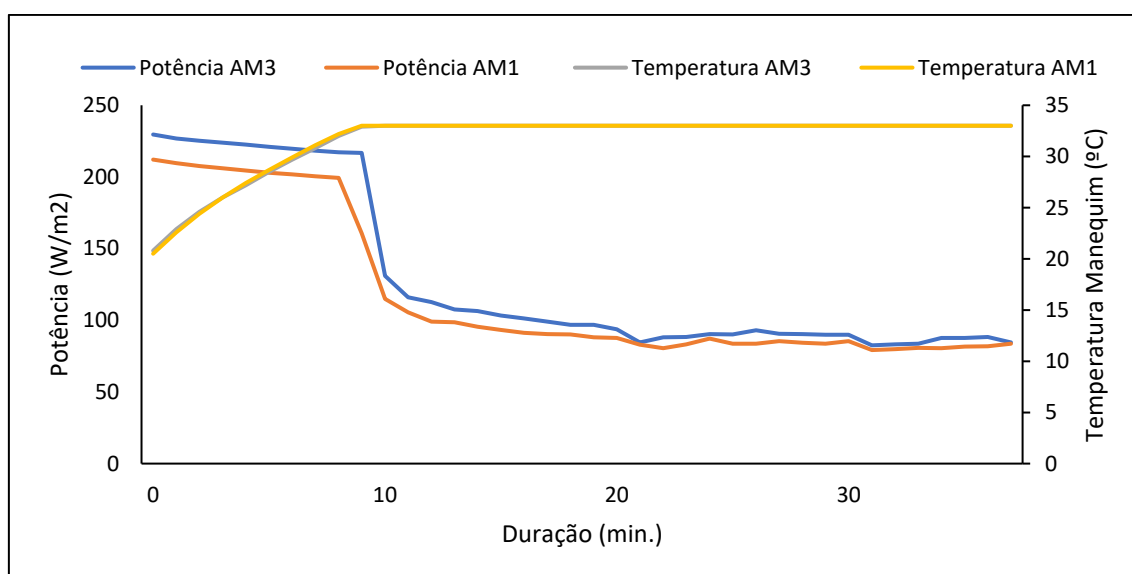


Figura 42: PI CONTROL no manequim térmico para a amostra AM1 e AM3.

Com a Tabela 10, é possível que o fluxo térmico médio da amostra AM3 registou valores superiores em 8% em relação à amostra AM1. A observação do fluxo térmico médio da amostra AM1 nos dois ensaios (Tabela 9 e Tabela 10) é exatamente igual, o que vem demonstrar a baixa variação do ensaio.

Tabela 10: Fluxo térmico médio necessário para manutenção da temperatura em 33 °C - AM1 e AM3.

Amostra	AM1	AM3
Fluxo térmico médio (W/m ²)	87	94

Por último, foi levado a cabo o mesmo ensaio comparando a amostra AM2 e AM3, ambas com acabamento funcional, respetivamente termorregulador e termorregulador + estamparia com *PCM*'s. A Figura 43 apresenta essa evolução do fluxo térmico exigido pelas amostras. Os valores de fluxo térmico além de muito similares, são superiores na amostra AM2.

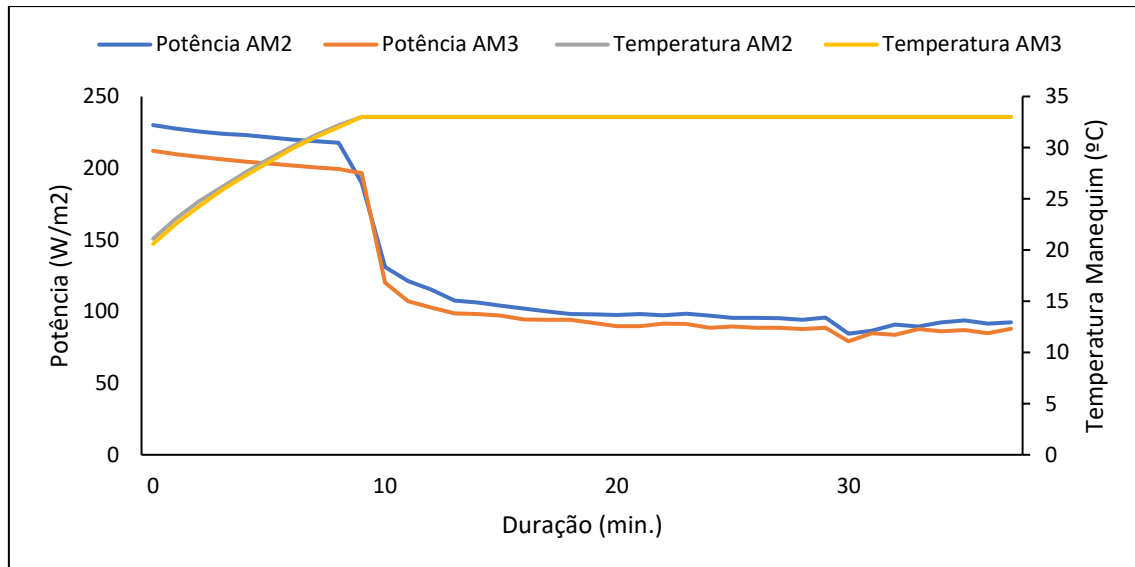


Figura 43: PI CONTROL no manequim térmico para a amostra AM2 e AM3.

O facto indicado em cima é corroborado pela Tabela 11 que demonstra maior valor de fluxo térmico médio no caso da amostra AM2, na ordem dos 6%.

Tabela 11: Fluxo térmico médio necessário para manutenção da temperatura em 33 °C - AM2 e AM3.

Amostra	AM2	AM3
Fluxo térmico médio (W/m ²)	101	95

É possível concluir com esta informação, que ambos os casos das amostras acabadas (AM2 e AM3) apresentam maior capacidade de arrefecimento e como tal maior termorregulação ao utilizador. Contudo, AM2 exige maior fluxo térmico para serem

atingidos os 33 °C do que a amostra com os *PCM's*. O mecanismo dos *PCM's* não está a ser eficaz neste segmento, podendo tratar-se da temperatura de transição de fase ser superior a este patamar. Na análise *DSC* efetuada anteriormente e apresentada na Figura 38, dois picos de mudança de fase surgem na amostra, um deles abaixo dos 30 °C e outro perto dos 40 °C, podendo ser este segundo valor o responsável pela transição de fase do material e por isso, não existe efetividade do funcionamento dos *PCM's* neste ensaio.

4.2.2 Mapeamento térmico em arrefecimento

No presente ensaio de mapeamento térmico, tal como descrito na metodologia de ensaio presente no capítulo Métodos de avaliação de desempenho, o objetivo é de obter a área de temperaturas de cada amostra. Esta simulação efetuada pretende mimetizar a capacidade de arrefecimento dos materiais têxteis do habitáculo automóvel, após um ciclo intensivo de aquecimento.

Para observação dos valores absolutos de temperatura média dos vários momentos observados é construída a Tabela 12, onde se verificam ainda aos valores da percentagem final de arrefecimento. Este ensaio demonstrou que a amostra AM2 é aquela que fica menos quente, pois com a mesma metodologia verifica-se uma temperatura superficial no momento zero inferior às restantes – por oposição, a amostra AM1 revela-se como a amostra que mais aqueceu. No ANEXO II podem-se verificar as imagens obtidas a partir da câmara termográfica no momento após aquecimento (tempo 0), após 5, 10, 20 e 30 minutos (Tabela 26).

Em termos de percentagem final de arrefecimento, além da amostra AM2 ser a que apresenta menor decréscimo, a realidade é que também é neste provete que se verifica o menor valor à superfície após o ciclo de aquecimento e também a menor temperatura registada à superfície após 30 minutos de arrefecimento.

Tabela 12: Valores médios de temperatura das diferentes amostras durante os 30 minutos de arrefecimento.

Tempo [minutos]	AM1 [°C]	AM2 [°C]	AM3 [°C]
0	49,7	46,4	48,7
1	38,5	37,2	38,4

2	36,8	35,7	36,7
3	34,5	33,9	34,9
4	33,6	33,0	34,3
5	32,9	32,0	33,1
6	31,7	30,6	32,0
7	31,5	30,4	31,1
8	30,8	29,7	30,6
9	30,0	29,0	29,7
10	29,7	28,7	29,4
15	27,6	27,2	27,9
20	26,4	25,9	26,4
20	25,3	25,1	25,6
30	24,9	24,2	24,6
% Arrefecimento Total	-49,9%	-47,8%	-49,5%

Em conclusão deste parâmetro, as distinções verificadas entre provetes não se denotam significativas e como tal não se verifica influência do arrefecimento na temperatura superficial da amostra.

4.3 Propriedades mecânicas

As propriedades mecânicas determinam parâmetros de resistência dos substratos têxteis à utilização, seja pelo coeficiente de atrito superficial – fator relacionado com o toque suave entre o têxtil e o utilizador, resistência à compressão cíclica – onde é mensurável a capacidade de uma estrutura voltar à sua forma inicial após cargas intensas de compressão, e ainda resistência à abrasão e formação de borboto – que equivale à resistência ao uso.

4.3.1 Coeficiente de fricção – *Frictorq*

Através da avaliação do coeficiente de fricção pelo método do *frictorq*, são devolvidos pelo equipamento 4 parâmetros mensuráveis: atrito estático, atrito cinético, torque máximo e torque médio.

O coeficiente de atrito estático (μ_{sta}) é dado pela tangente do ângulo da plataforma com plano horizontal e quando o binário estático é vencido, inicia-se o movimento; por sua vez, o coeficiente de atrito cinético (μ_{kin}) é obtido pela razão entre a força tangencial e a força normal (Lima *et al.*, 2006).

Analisando a Figura 44, que apresenta os valores médios dos valores devolvidos pelo equipamento *frictorq*, é possível retirar algumas ilações:

- Em relação ao coeficiente de atrito estático, a amostra AM3 é aquela que apresenta menor valor, facto relacionado com estamparia com *PCM's* à superfície, que torna o substrato têxtil mais plastificado, reduzindo a necessidade de binário para início do movimento. Entre AM1 e AM2 não se visualizam distinções;
- Nos valores respeitantes ao parâmetro do coeficiente de atrito cinético, a amostra AM2 apresenta o maior valor deste coeficiente, indicando que será a amostra desta gama que apresenta maior atrito superficial. Entre AM1 e AM3, não se verificam distinções neste parâmetro;
- O torque máximo e médio registados são inferiores na amostra AM3.

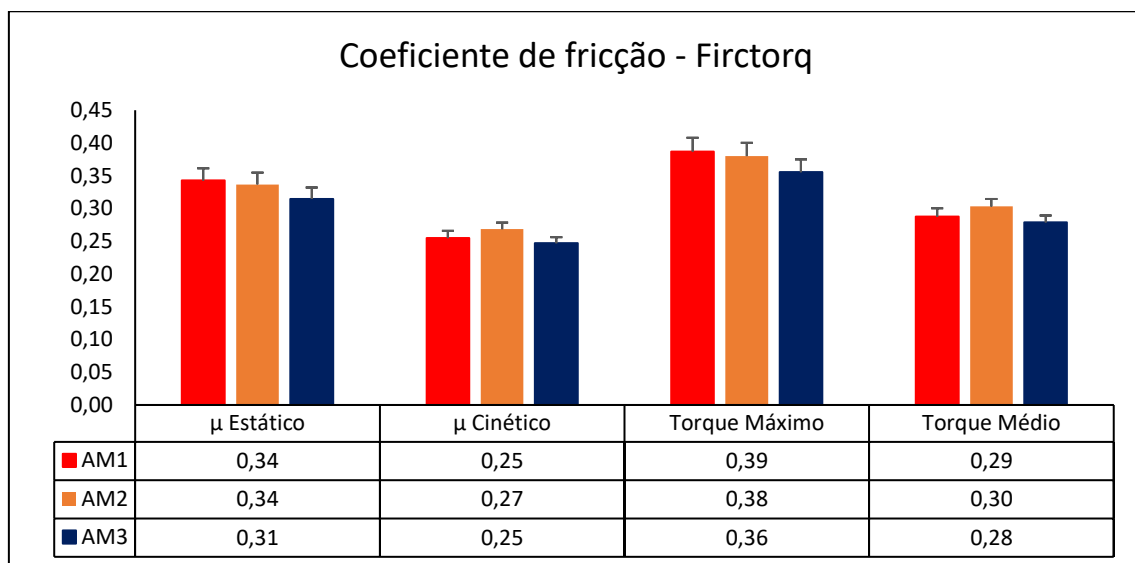


Figura 44: Valores médios devolvidos pelo equipamento *frictorq*.

4.3.2 Compressão cíclica e resistência à fadiga

O ensaio de compressão cíclica foi realizado de modo a compreender o comportamento da estrutura quando sujeito a cargas próximas do limite máximo de compressão. Uma estrutura ao ser sujeita a cargas 20 cíclicas que exerçam compressão até 80% da sua espessura, terá que demonstrar elevada resiliência, pois caso contrário apresentará deformações irreversíveis severas. As curvas representativas da compressão encontram-se expostas na Figura 45, Figura 46 e Figura 47. É de salientar que todos os ensaios apresentados foram realizados sobre a amostra AM1, que é representativa da gama amostral deste desenvolvimento.

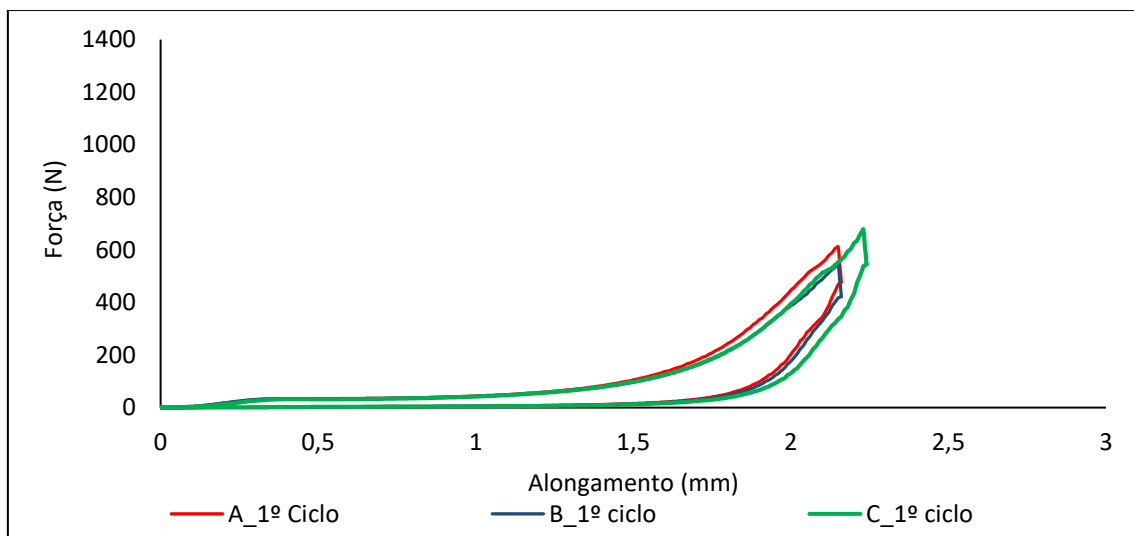


Figura 45: Curvas representativas do 1º ciclo de compressão dos 3 provetes da amostra.

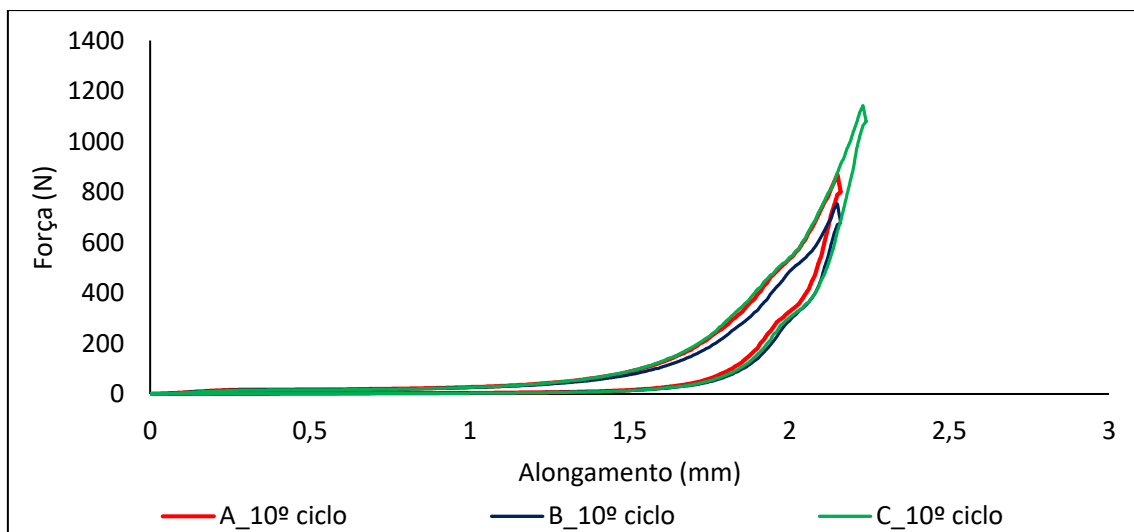


Figura 46: Curvas representativas do 10º ciclo de compressão dos 3 provetes da amostra.

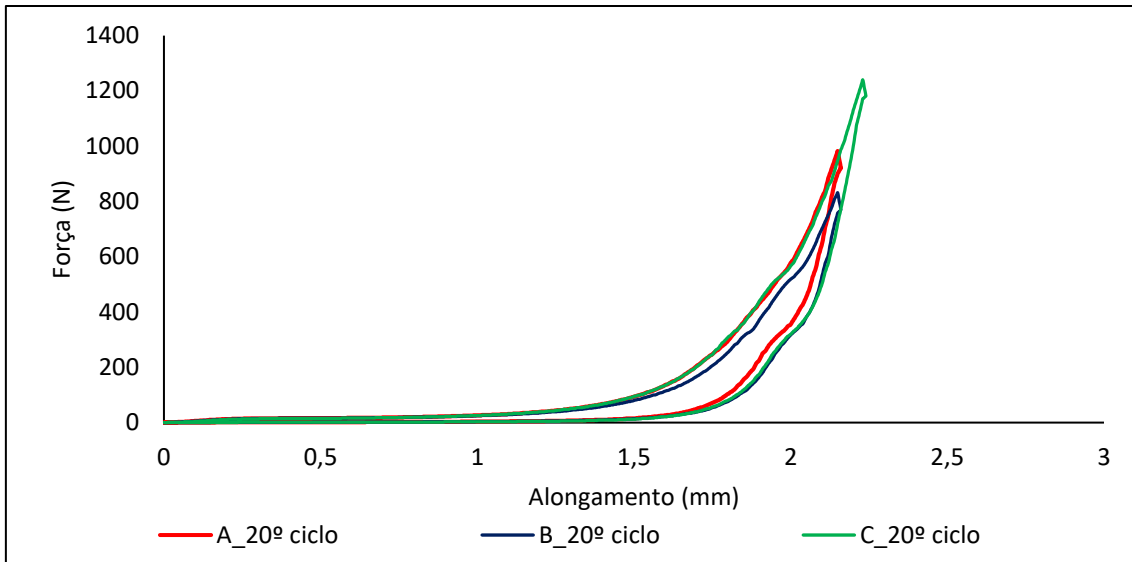


Figura 47: Curvas representativas do 20º ciclo de compressão dos 3 provetes da amostra.

A análise das curvas representativas da compressão permitem auferir que o comportamento entre provetes (A, B e C) é similar nos diferentes ciclos testados. De relevo salientar que para atingimento dos 80% da espessura inicial no 1º ciclo é necessário a aplicação de uma carga compressiva na ordem dos 600 N, enquanto que no ciclo 10, essa força de compressão é significativamente maior – 900/1200 N. Além da evoluir da aplicação cíclica, valores similares são registados no ciclo 20.

Através das curvas de compressão apuradas é possível o cálculo da energia absorvida pela estrutura, através do cálculo das áreas das curvas de compressão/descompressão. Na Figura 48 e Tabela 13 são apresentados esses valores de forma gráfica e absoluta.

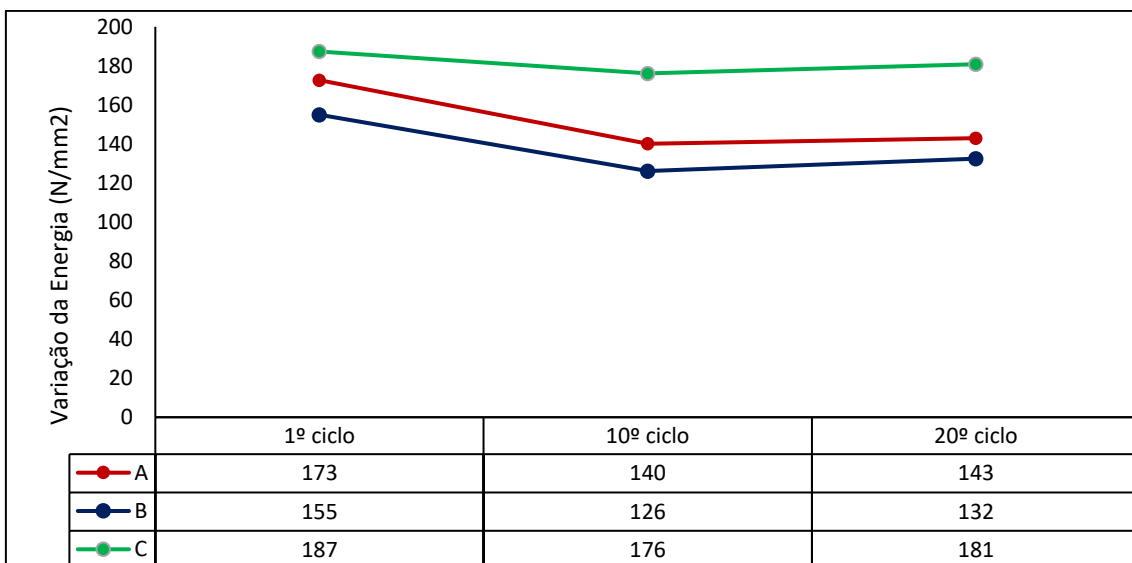


Figura 48: Variação da energia entre o 1º, 10º e 20º ciclo de compressão.

Tabela 13: Valores absolutos de variação de energia do 1º, 10º e 20º ciclo de compressão.

Energia: E (N/mm ²)			
Provete	A	B	C
1º ciclo	173	155	187
10º ciclo	140	126	176
20º ciclo	143	132	181
ΔE	-17%	-15%	-3%
Média	12% \pm 7%		

Os valores de energia iniciais obtidos encontram-se na gama de valores entre 155-187 N/mm², com a variação de energia entre os 3-17% de perda. Esses valores permitem concluir que além das cargas sucessivas aplicadas de forma sucessiva até um ponto de pressão excessiva na estrutura, em todos os casos existe resposta positiva do substrato a essas cargas.

Para avaliação da variação da espessura, os valores inicial e final de espessura num determinado ponto foram registados, sendo possível compreender a deformação da estrutura ao longo do tempo de compressão cíclica. A Figura 49 mostra essa variação – entre o 1º e o 20º ciclo.

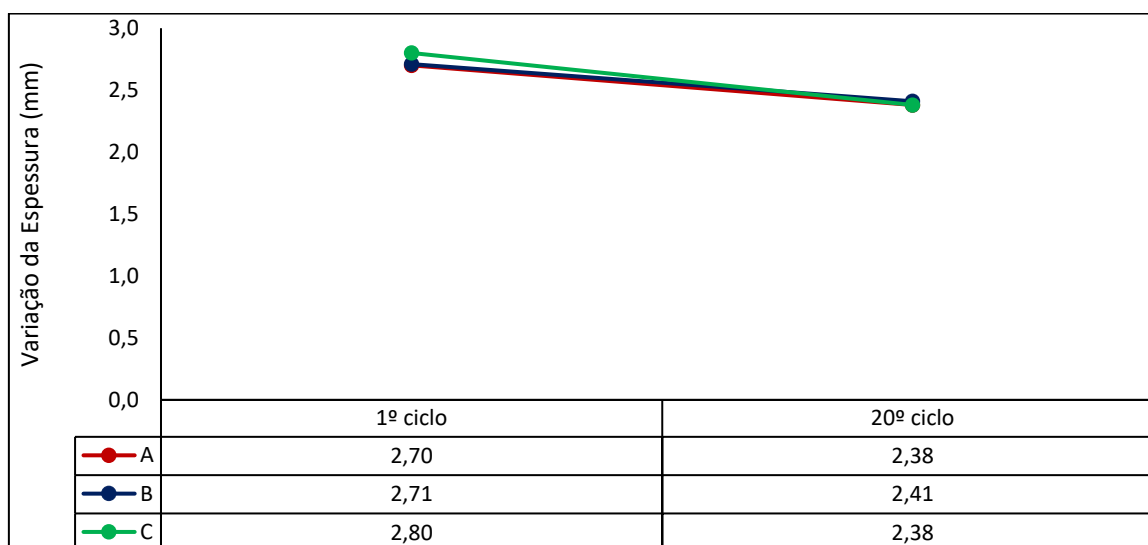


Figura 49: Variação da espessura entre o 1º e 20º ciclo dos provetes da amostra.

Na Tabela 14 além dos valores obtidos de espessura, encontra-se visível a variação de espessura, com oscilações entre os 11-15%.

Tabela 14: Valores obtidos da variação da espessura após ensaio de compressão cíclica à fadiga.

Variação de espessura (mm)			
Provete	A	B	C
1º ciclo	2,70	2,71	2,80
20º ciclo	2,38	2,41	2,38
Δ Espessura	12%	11%	15%
Média	13% \pm 2%		

A recuperação da espessura foi ainda medida após 30 minutos, 1 hora e 24 horas, após término do ensaio. Esses valores estão representados na Tabela 15. Após 60 minutos praticamente todos os provetes apresentam recuperação superior a 95% da espessura inicial. A recuperação da espessura após 24 horas é praticamente total, com o provete A a recuperar aproximadamente 98% da espessura inicial, o provete B cerca de 99% e o provete C perto dos 97%. Assim, é possível concluir que a estrutura resiste a carga cíclicas extremas, que a comprimem a 80% da sua espessura, sem perder capacidade de resiliência, isto é, de voltar ao seu ponto inicial.

Tabela 15: Valores da recuperação da espessura dos provetes após ciclo de compressão.

Recuperação da espessura (mm)			
Provete	A	B	C
Espessura final do ensaio	2,38	2,41	2,38
Espessura após 30 minutos	2,55	2,60	2,54
Espessura após 60 minutos	2,61	2,65	2,69
Espessura após 24 horas	2,65	2,70	2,72

De uma forma geral, é possível concluir que a estrutura aqui apresentada possui boa resiliência, com os resultados a demonstrarem baixa variação da energia e da espessura dos provetes após estarem sujeitos a um processo exigente de 20 ciclos de compressão até 80% da sua espessura inicial, teste usado em muitas das vezes a matrizes de elevada rigidez, como plásticos.

4.3.1 Resistência à abrasão e formação de borboto

O cariz deste ensaio apresenta elevada significância neste ensaio, uma vez que os materiais aplicados em habitáculo automóvel estão sujeitos a elevado desgaste e abrasão. Na Tabela 16 encontram-se expostos os valores médios de perda de massa e grau de formação de borboto.


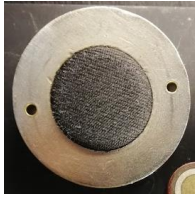
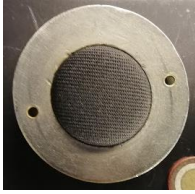
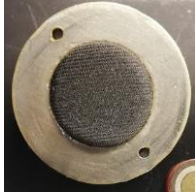
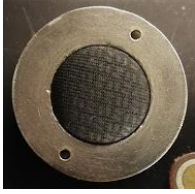


Tabela 16: Avaliação dos parâmetros de perda de massa e grau de formação de borboto nas amostras.

Recuperação da espessura (mm)			
Proвете	AM 1	AM 2	AM 3
Perda de massa média	-1,5% ± 0,1%	-0,3% ± 0,1%	-2,1% ± 0,1%
Grau avaliado 1000, 2000, 3000, 4000, 5000, 6000, 8000, 10000, 20000 e 30000 ciclos	Grau 5	Grau 5	Grau 5

A perda de massa dos provetes após 30000 ciclos de abrasão pelo método de *martindale* é praticamente residual, sendo o valor mais elevado da amostra AM3 com cerca de 2% de perda, fator associado à presença da camada de estamparia com *PCM's*. Por oposição, a amostra AM2 foi a que menor perda de massa apresentou, com um valor residual de 0,3%.

Relativamente à avaliação da superfície em relação à formação de borboto, todas as amostras denotam-se como Grau 5 em relação às imagens normativas. De salientar que este grau é o mais positivo, não existindo desta forma qualquer tipo de desgaste da superfície, sem formação de borboto, tal como apresentado na Tabela 17

Tabela 17: Imagens registadas dos provetes na fase inicial pré-ensaio e final após 30000 ciclos.

Formação de borboto (Grau)		
Amostra	Aspetto inicial	Aspetto após 30000 ciclos
AM1		
AM2		
AM3		
Grau 5		

4.4 Propriedades de transferência de ar e vapor de água

As propriedades registadas no campo de estudo da permeabilidade, foram a permeabilidade ao ar e permeabilidade ao vapor de água. Estas características apresentam correlação direta com a respirabilidade e rapidez de secagem das estruturas têxteis.

4.4.1 Permeabilidade ao ar

O parâmetro de permeabilidade ao ar apresenta ligação direta com a respirabilidade de uma estrutura, sendo definido como o rácio de fluxo de ar que atravessa a estrutura perpendicularmente numa determinada área. A permeabilidade ao ar é significativamente

influenciada pelas propriedades do material e da estrutura, com os acabamentos a poderem apresentar algum efeito nesta propriedade (Hu, YI Li and Yeung, 2006).

A Figura 50 apresenta os valores médios de permeabilidade ao ar medidos nas diferentes amostras do plano amostral.

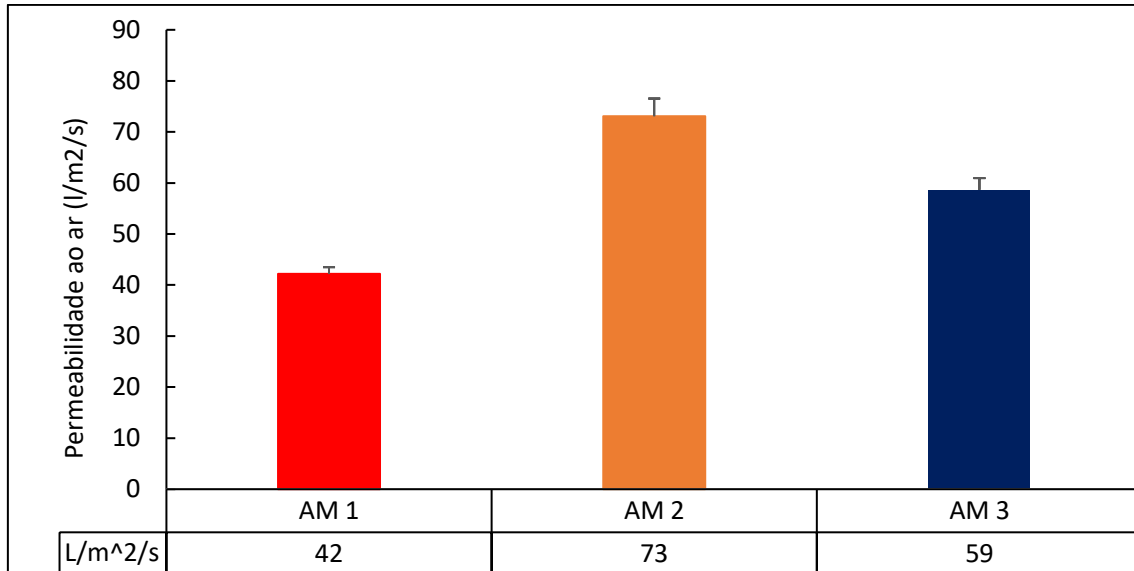


Figura 50: Valores de permeabilidade ao ar a pressão de 100 Pa das amostras AM1, AM2 e AM3.

Desta forma, é possível concluir que a introdução de acabamento influencia de forma positiva a permeabilidade ao ar das estruturas, incrementando, neste caso, pelo menos 40 % desta propriedade. Entre as amostras com acabamento – AM2 e AM3 – verifica-se maior valor na amostra AM2, justificável pela presença da estamparia com *PCM's* na amostra AM3, que funciona como um revestimento e por esse motivo, existe menor quantidade de poros nessa estrutura (Tabela 18).

Tabela 18: Valores médios de permeabilidade ao ar e respetivo desvio padrão.

Permeabilidade ao ar			
Provete	AM 1	AM 2	AM 3
Permeabilidade ao ar (l/m²/s)	42 ± 1	73 ± 3	59 ± 2

4.4.1 Permeabilidade ao vapor de água

A propriedade de permeabilidade ao vapor de água é uma das propriedades chave no segmento de têxteis ativos, sendo a capacidade de um têxtil em libertar humidade

fundamental para o balanço térmico do corpo e conforto. É expectável que maiores valores nesta propriedade apresentem cariz positivo, sendo um atributo fundamental para qualquer estrutura em contacto com o corpo humano (Hu, Yi Li and Yeung, 2006).

O plano de amostras – AM1, AM2 e AM3 – demonstram valores similares em termos de permeabilidade ao vapor de água (representados na Figura 51).

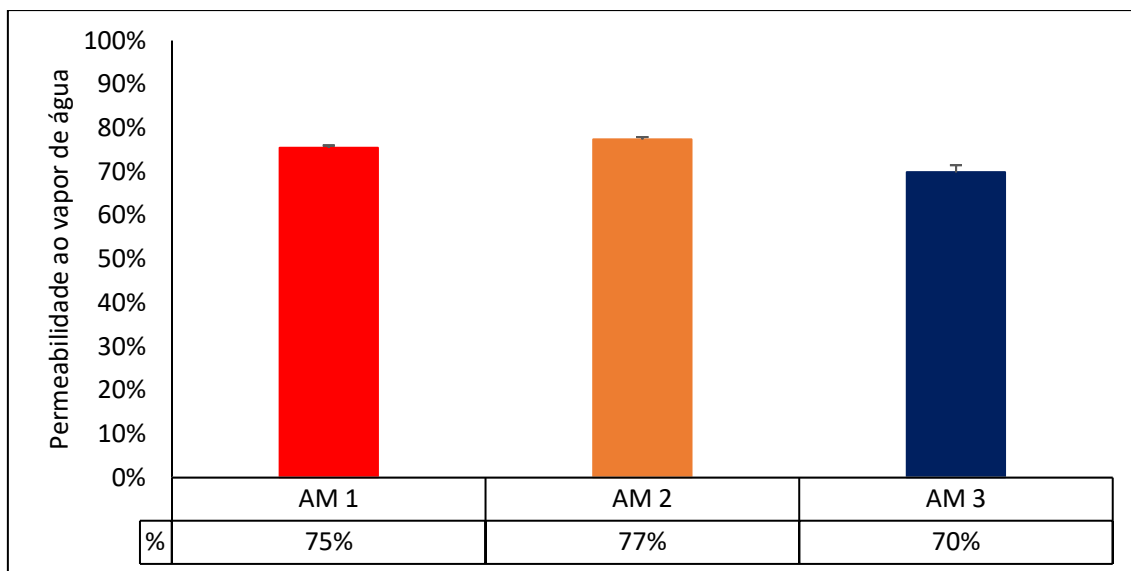


Figura 51: Valores médios de permeabilidade ao vapor de água.

A Tabela 19 completa informação providenciada pela imagem anterior, ficando desta forma demonstrado que não existe influência evidente do acabamento na permeabilidade ao vapor de água, pois todos os valores são muito similares. Este ensaio, pela metodologia proposta de trabalho, proporciona o relaxamento da estrutura têxtil que pode em certos casos ser o fator mais influente. Contudo existe melhoria em 2% da amostra AM2 em relação ao padrão (AM1). Seria já expectável que a permeabilidade ao vapor de água apresentasse valores inferiores na amostra AM3 – pelo motivo anterior já enunciado da estamparia superficial dos *PCM's*, contudo, esta adição ao não apresentar prejuízo significativo neste ponto, com uma redução de apenas 5% em relação à amostra padrão.

Tabela 19: Valores registados de permeabilidade ao vapor de água.

Permeabilidade ao vapor de água			
Provete	AM 1	AM 2	AM 3
Permeabilidade ao vapor de água %	75% ± 1%	77% ± 1%	70% ± 2%

4.5 Propriedades de absorção de líquidos e capacidade de secagem

A compreensão da interação água e líquidos com as superfícies têxteis, é fundamental para garantir substratos adequados às funções a que se propõem. No caso do automóvel, sujeito a utilização diária em condições climáticas distintas, e onde, cada vez mais são manuseados líquidos pelos utilizadores, é elementar garantir que as estruturas sejam adequadas a questões de repelência, fácil libertação de humidade após molhadas, entre outros.

Para caracterização das amostras foram realizados ensaios de medição do ângulo de contacto e libertação de humidade, sendo os resultados apresentados neste capítulo.

4.5.1 Ângulo de contacto

A compreensão da forma como uma superfície responde ao contacto com a água é um parâmetro fundamental para aplicações têxteis de alto desempenho. É cada vez mais comum a procura pela super hidrofobicidade e super hidrofilidade para o colmatar de necessidades de mercado, que em muitos dos casos averbam o mercado têxtil como o comum vestuário, sem ter em conta a elevada tecnicidade de alguns artigos. É necessário relembrar que para este ensaio:

- Superhidrofílico: $\theta < 5^\circ$ em 0,5 segundos;
- Hidrofílico: $\theta < 90^\circ$;
- Hidrofóbico: $90^\circ < \theta < 150^\circ$;
- Superhidrofóbico: $\theta > 150^\circ$.

Observando os resultados apresentados na Figura 52, é compreensível que em termos dos valores obtidos no ângulo de contacto, AM1 e AM2 apresentam ângulo de contacto superior a 90° e dessa forma podem ser considerados hidrofóbicos no seguimento deste ensaio. AM3 é considerado hidrofílico.

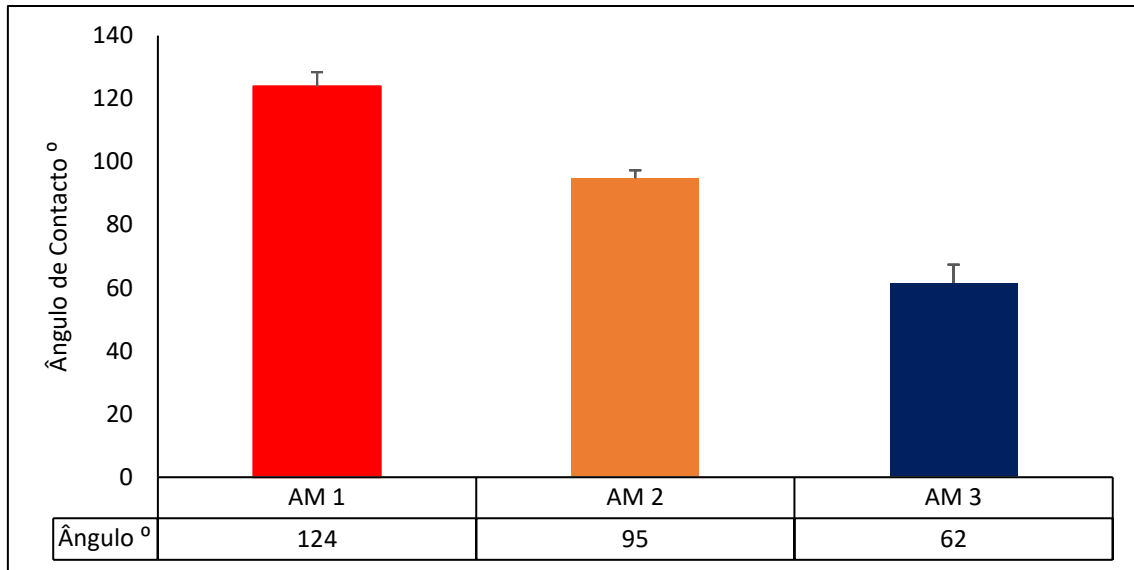


Figura 52: Valores médios de ângulo de contacto.

Neste sentido, a Tabela 20 apresenta os valores médios e o respetivo desvio padrão de cada um dos ensaios. É conveniente salientar que, apenas no ensaio realizado sobre a amostra AM1 se verificava a manutenção da gota formada sobre a superfície do substrato. Na realização da medição nas amostras AM2 e AM3 foi necessário recorrer à gravação *frame a frame*.

Tabela 20: Valores médios absolutos e respetivo desvio padrão das amostras em relação ao ensaio de medição do ângulo de contacto.

Ângulo de contacto			
Provete	AM 1	AM 2	AM 3
Ângulo de contacto	$124^{\circ} \pm 4^{\circ}$	$95^{\circ} \pm 3^{\circ}$	$62^{\circ} \pm 6^{\circ}$

Os tratamentos têxteis podem em muitos dos casos alterar as características físico-químicas dos materiais. A variação do ângulo de contacto pode alterar com a natureza química da superfície, que pode ser alterada via acabamento químico. Uma das técnicas mais comuns para redução do ângulo de contacto são os acabamentos hidrofílicos (Roshan, 2015).

O ângulo de contacto reflete a afinidade superfície/líquido, sendo que quanto maior a afinidade, menores valores de ângulo de contacto serão expectáveis. Além da afinidade, outro dos principais influenciadores da molhabilidade é a energia da superfície da

estrutura têxtil, que é originada pela presença de átomos e moléculas – maiores valores e energia superficial apresentam menor ângulo de contacto (Ni and Zhang, 2017).

Outra das indicações analisadas no trabalho de (Li *et al.*, 2017), consiste na conclusão de que maior rugosidade superficial diminui o ângulo de contacto das superfícies, quando analisados comparativamente estruturas componentes do mesmo material em condições similares.

Desta forma, várias conclusões podem ser auferidas na análise do ângulo de contacto. Não existindo conhecimento dos acabamentos colocados em AM2 e AM3 de forma concreta, esta variação pode ser incluída por vários fatores. Um deles, será a modificação das cargas e moléculas superficiais que alteram a tensão de superfície da estrutura, com maior número de hidrogénios na superfície. Além disso, a amostra AM3 – sendo a que apresenta menor ângulo de contacto – denota-se como a amostra com maior rugosidade superficial, imposto pela impressão dos *PCM's* na superfície.

4.5.2 Capacidade de secagem

Os valores obtidos nesta metodologia de ensaio indicam a facilidade da estrutura em libertar humidade e consequentemente em apresentar secagem de forma mais rápida e efetiva. A Figura 53 apresenta as curvas representativas dessa mesma libertação de humidade no decorrer dos 30 minutos de ensaio.

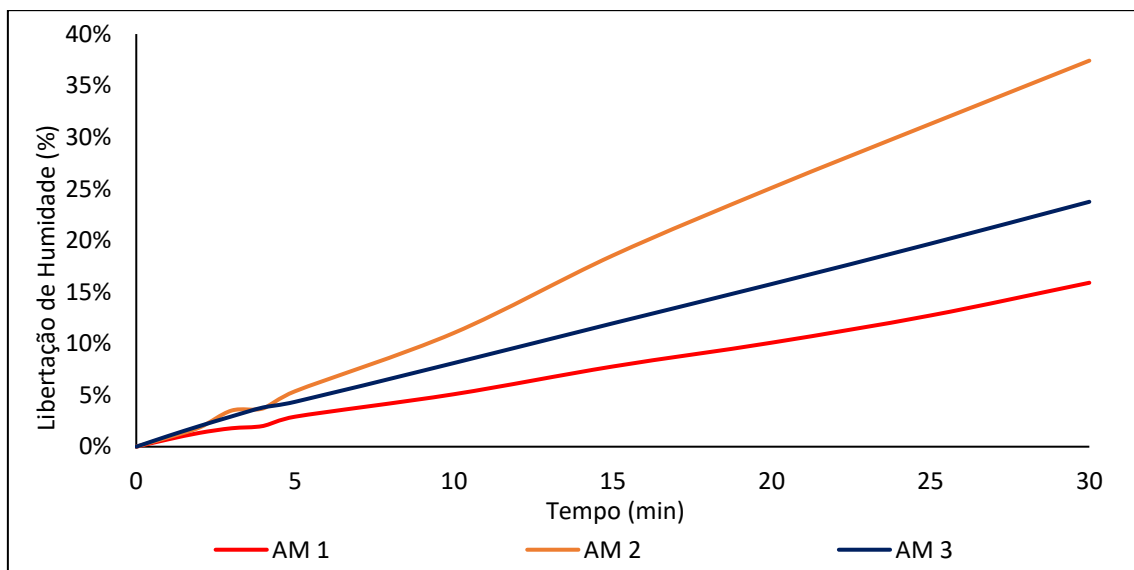


Figura 53: Curvas representativas da libertação de humidade das amostras durante os 30 minutos de ensaio.

Na figura anterior era já possível compreender o destaque da amostra AM2 na capacidade de libertação de humidade. Com o auxílio da Figura 54 é possível quantificação das diferenças entre amostras. Ambas amostras ensaiadas (AM2 e AM3) apresentam valores superiores ao padrão (AM1), sendo nesta propriedade procurada o maior valor possível. Em termos percentuais, AM2 liberta mais humidade na ordem dos 131%, enquanto que AM3 na ordem dos 50% - ambos os casos em relação a AM1.

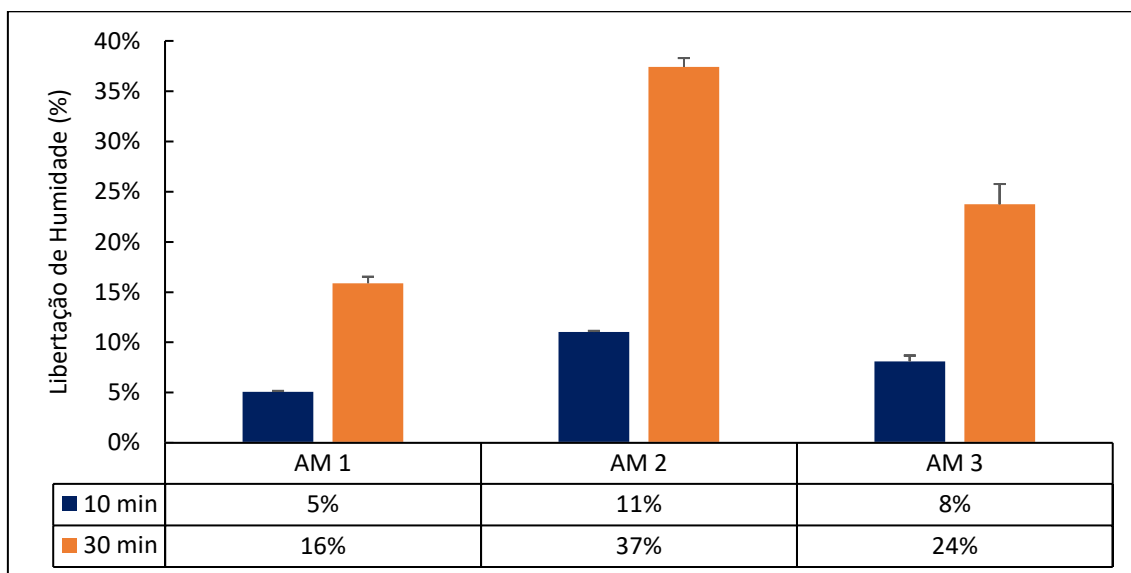


Figura 54: Valores médios da libertação de humidade das amostras durante os 30 minutos de ensaio.

4.6 Matriz de decisão

A matriz de decisão caracteriza-se por uma ferramenta de apoio à deliberação em situações comparativas de tipologia das matérias-primas, acabamentos, influência do *design*, entre outras. A simplicidade e eficácia desta ferramenta torna-a uma mais valia para situações em que existam dúvidas sobre as propriedades ou características de determinada aplicação.

Neste caso específico, onde se pretende verificar a influência do acabamento nas propriedades finais de uma estrutura, esta metodologia permite verificar de forma efetiva, se as adições de determinados produtos promovem mais valias reais para a utilização no dia-a-dia.

Para desenvolvimento desta metodologia, é necessária a compilação de 3 pontos de estudo, que são mutáveis, ou seja, podem ser alterados com a variação da aplicação final e/ou perspetiva do utilizador ou empresa. Estes 3 pontos são:

- **Propriedade comparativa:** neste ponto é definida o valor da propriedade, ou seja, se o fator a avaliar deve ser maior ou menor que o Padrão (Tabela 21);

Tabela 21: Quadro de avaliação do valor de propriedade.

Valor da propriedade	Classificação comparativa
Maior	Valores positivos
Menor	Valores negativos

- **Fatores de influência das propriedades:** para cada propriedade apresentar o valor relativo ao seu grau de importância na classificação final, são introduzidos fatores de importância de modo a medir a relevância na aplicação a que se destina a estrutura (Tabela 22).

Tabela 22: Fatores de influência das propriedades a estudar.

Fator de influência	Classificação
1	Menor influência
2	
3	
4	
5	Maior influência

- **Fatores de classificação:** estes fatores permitem classificar os resultados obtidos da amostra em relação ao padrão, associando um valor ao obtido uma numeração, sendo 0 sem relevância e 1 o fator de classificação mais elevado. O fator de classificação em relação à classificação final tem em conta se a propriedade a comparar é maior ou menor que o padrão – consoante a propriedade comparativa e encontra-se descrito na Tabela 23.

Tabela 23: Fatores de classificação e respetivo índice de cor para análise de resultados.

Cor associada	Classificação	Fator
	1º lugar	1,0
	2º lugar	0,5
	Sem classificação	0,0

4.6.1 Análise dos resultados

Para início deste estudo, é necessário a definição dos fatores de influência das diferentes propriedades estudadas.

Esta sugestão apresentada na Tabela 24, é sugerida consoante as necessidades de aplicação dos materiais estudados no habitáculo automóvel. Outras propriedades que não foram estudadas neste desenvolvimento experimental, poderiam também fazer parte desta avaliação, tornando o trabalho mais rico e elucidativo, contudo, a metodologia proposta nesta dissertação é exaustiva e contempla os principais pontos de interesse para aplicação na indústria automóvel. Em qualquer altura é possível a alteração dos fatores de influência, caso a aplicação do produto assim a indique, bem como será possível a introdução de novos parâmetros em caso de necessidade.

Tabela 24: Fatores de influência no estudo caso da metodologia proposta.

Propriedade	Parâmetro	Valor	Fator de influência
Estrutural	Massa por unidade de superfície	Menor	2
Térmicas	Absortividade térmica	Maior	5
	Condutividade térmica	Maior	5
	Resistência térmica	Maior	5
	Manequim térmico	Maior	5
	Mapeamento de arrefecimento	Maior	5

Mecânicas	Frictorq	Menor	4
	Resistência à abrasão	Menor	5
Permeabilidade	Permeabilidade ao ar	Maior	3
	Permeabilidade ao vapor de água	Maior	4
Absorção	Ângulo de contacto	Maior	4
	Libertação de humidade	Maior	3

Com os respetivos valores de ensaios das diferentes propriedades calculados e apresentados, bem como os fatores de influência definidos, a Tabela 25 apresenta a matriz de decisão calculada, que visa a acumulação de todos os resultados comparativos das amostras AM2 e AM3 em relação ao padrão (AM1).

Desta forma, é possível concluir que com esta definição metodológica, a amostra AM2 denota-se como a mais adequada à aplicação final, com um *score card* de 23,5 pontos, 2 pontos acima da amostra AM3, que apresenta uma pontuação final de 21,5

Tabela 25: Valores obtidos através da matriz decisão desenvolvida nesta metodologia.

Análise comparativa			AM 1	AM 2	AM 3	FI		
Massa por unidade de superfície (g/m ²)		Média	menor	467	464	533	2	
		Comparativo			-1%	14%		
		Fator			0,50	0,00		
Alambeta	Abs. térmica (b): [(Ws ^{1/2})/m·°K]		Média	maior	101	111	150	5
			Comparativo			10%	48%	
			Fator			0,50	1,00	
	Cond. térmica (λ): [10 ⁻³ W/m·°K]		Média	maior	45	44	44	5
			Comparativo			-1%	-1%	
			Fator			0,00	0,00	
	Res. térmica (r): [10 ⁻³ m ² ·°K/W]		Média	maior	65	63	65	5
			Comparativo			-3%	0%	
			Fator			0,00	0,00	
Manequim térmico (W/m ²)		Média	maior	87	101	95	5	
		Comparativo			16%	9%		
		Fator			1,00	0,50		
Mapeamento térmico arrefecimento (%)		Média	maior	-49,9%	-47,80%	-49,50%	5	
		Comparativo			-4%	-1%		
		Fator			0,00	1,00		
Frictorq	Coeficiente de atrito estático		Média	menor	0,34	0,34	0,31	4
			Comparativo			-2%	-8%	
			Fator			0,50	1,00	
	Coeficiente de atrito cinético		Média	menor	0,25	0,27	0,25	4
			Comparativo			5%	-3%	
			Fator			0,00	0,50	
Resistência à abrasão		Média	menor	-1,5%	-0,3%	-2,1%	5	
		DP			-82%	46%		
		Fator			1,00	0,00		
Permeabilidade ao ar (l/m ² /s)		Média	maior	42	73	59	3	
		Comparativo			73%	39%		
		Fator			1,00	0,50		
Permeabilidade ao vapor de água (%)		Média	maior	75%	77%	70%	4	
		Comparativo			3%	-7%		
		Fator			0,50	0,00		
Ângulo de contacto (°)		Média	maior	124	95	62	4	
		Comparativo			-24%	-50%		
		Fator			0,00	0,00		
Capacidade de secagem (%)		Média	maior	16%	37%	24%	3	
		Comparativo			135%	49%		
		Fator			1,00	0,50		
Classificação					23,5	21,5		

Capítulo 5: Conclusões e perspetivas futuras

Os requisitos e necessidades da indústria automóvel no respeitante aos componentes encontram-se perfeitamente identificados. Se numa primeira fase a procura recaiu sobre materiais poliméricos e ligas metálicas, a procura por materiais mais leves que promovam a melhoria da *performance* do automóvel e que ao mesmo tempo o tornem mais sustentável – pela redução de peso e reciclabilidade dos materiais componentes – abriram uma janela de oportunidade para as estruturas têxteis. A nova geração de têxteis técnicos, que permitem conciliar propriedades de conforto, com funcionalidades acrescidas e resistência, tem transformado de uma forma positiva a indústria dos componentes automóvel, e apresenta uma margem de crescimento extremamente alargada.

Os acabamentos funcionais assumem um papel relevante nesse desenvolvimento e inovação. Acabamentos hidrofílicos, anti estáticos, anti *pilling*, retardantes de chama, antibacteriano, libertação de substâncias ativas e fragâncias, são alguns dos exemplos facilmente encontrados na indústria e que garantem aos clientes finais valor acrescentado no produto transacionado.

De uma forma não menos importante surgem acabamentos para a promoção do conforto do utilizador, seja a nível sensorial, termofisiológico ou ergonómico. Neste sentido, os acabamentos termorreguladores baseados em materiais de mudança de fase apresentam-se como candidatos preferenciais. Contudo, é sempre necessário avaliar que tipo de acabamento com efeito termorregulador a aplicar e qual a sua eficácia, uma vez que existe um custo acrescido associado à produção do artigo.

O estudo realizado no âmbito desta dissertação foi elaborado no sentido de perceber qual a vantagem de utilizar um acabamento termorregulador em amostras de revestimento automóvel e de que forma este acabamento influencia o comportamento final. Foram utilizadas para isso 3 amostras estruturalmente iguais, com a AM1 sem qualquer acabamento, a AM2 com acabamento termorregulador e a AM3 com acabamento termorregulador e adição de um estampado de *PCM's* à superfície. O estudo compreendeu em primeiro lugar, a caracterização estrutural e de comportamento ao uso das amostras (*DSC*, mapa de pressões) para validar, por um lado, o acabamento com *PCM's* e por outro a capacidade de distribuição de pressão das amostras e, posteriormente, a avaliação das propriedades térmicas (*Alambeta*, manequim térmico, e mapeamento térmico por

arrefecimento), propriedades mecânicas (coeficiente de fricção, compressão, resistência à abrasão e formação de borboto), propriedades de transferência de ar e de vapor (permeabilidade ao ar e ao vapor de água) e propriedades de absorção e capacidade de secagem (ângulo de contacto e % libertação de humidade).

Através da caracterização estrutural e de comportamento ao uso foi possível validar a presença de materiais de mudança de fase em uma das amostras (AM3) – através da análise *DSC* – e verificar a distribuição de cargas da estrutura e a sua adequação à aplicação em assentos automóvel, com apenas 16% de pontos acima de 120 Pa.

Os resultados obtidos na avaliação as propriedades térmicas (*Alambeta*) revelaram o toque mais frio da amostra AM3, com a absorvidade térmica a ser superior às restantes amostras em pelo menos 35% e a necessidade de maior potência calorífica para manutenção dos 33 °C na estrutura AM2 (manequim térmico). Esta amostra foi também a que apresentou menor temperatura superficial após o aquecimento realizado para obtenção das curvas térmicas de arrefecimento. A amostra AM1 foi a que apresentou maior percentagem de arrefecimento após 30 minutos.

Relativamente às propriedades mecânicas, a avaliação do coeficiente de atrito indicou que a amostra AM3 apresenta menor coeficiente de atrito estático e cinético. Em termos de resistência à abrasão e formação de borboto, todas as amostras indicaram bons índices de perda de massa (valores inferiores a 2%) e grau 5 na formação de borboto (após 30 000 ciclos de abrasão), ou seja, não se verificou formação de borboto à superfície.

O comportamento à compressão e apenas foi realizado na amostra AM1, uma vez que se verificou que as três amostras apresentavam a mesma estrutura construtiva e mapa de pressões. Um dos parâmetros mais importantes a considerar é a avaliação da resiliência da estrutura, ou seja, a deformação após vários ciclos de fadiga. Neste aspeto, a variação média de espessura situou-se nos 13%, sendo um valor bastante baixo para uma compressão de 20 ciclos de fadiga a 80% da espessura, considerada um ciclo extremo. Também importante foi verificar que após 60 minutos a diferença de espessura é residual.

Nas propriedades de transferência de ar, nomeadamente na permeabilidade ao ar, existe influência positiva do acabamento neste parâmetro, com AM2 e AM3 a apresentarem valores superiores ao padrão (AM1). AM2, apresenta valor superior a AM3, justificável pela presença do estampado com *PCM's* na amostra AM3, que funciona como um revestimento e por esse motivo, existe menor quantidade de poros nessa estrutura.

A permeabilidade ao vapor de água conduziu a valores similares entre amostras, com valores a rondar os 70-77%. AM2 apresenta o maior valor, seguido de AM1 (75%) e AM3.

No que concerne as propriedades absorção, que permitem avaliar o comportamento líquido/superfície, a medição do ângulo de contacto demonstrou o carácter hidrofóbico das amostras AM1 (120°) e AM2 (95°) e o carácter hidrofílico da amostra AM3 (62°). Neste caso considera-se que o acabamento termorregulador influenciou de forma negativa o comportamento, uma vez que a hidrofobicidade é desejável. Esta alteração pode dever-se a alteração da afinidade líquido/superfície, alteração das cargas superficiais e alteração da rugosidade. A maior rugosidade superficial da amostra AM3, imposta pela impressão dos *PCM's* na superfície parece ser o fator que mais contribuiu para a alteração de comportamento verificado.

Relativamente à capacidade de secagem, que traduz a capacidade da estrutura em libertar vapor de água, verificou-se que os acabamentos introduzidos influenciaram positivamente esta libertação, com a amostra AM2 com um rácio de água evaporada cerca de 131% superior ao da amostra AM1 e a amostra AM3 cerca de 50% superior.

Conhecido o comportamento das três amostras nas diferentes vertentes avaliadas, foi elaborada uma matriz de decisão que permitiu verificar que a amostra AM2 apresenta comparativamente com a amostra AM3 melhor comportamento, tendo em vista a aplicação pretendida. Os *score cards* revelaram uma pontuação final de 23,5 para a amostra AM2 e 21,5 para AM3.

Desta forma, é possível concluir que a amostra AM2 é a mais indicada para aplicação, tendo em conta os fatores de influência selecionados para este trabalho, e que a adição do estampado de *PCM's* na superfície da estrutura da amostra AM3 não introduziu valor acrescido à sua funcionalidade. Acresce que a amostra AM2 consegue maior efetividade a um menor custo.

Bibliografia

- ACEA (2019) *The Automobile Industry Pocket Guide 2019/2020*.
- AFIA (2019) *Indústria de Componentes para Automóveis*. Leça da Palmeira.
- AICEP (2016) 'Indústria automóvel e componentes', *Portugalglobal - Indústria automóvel e componentes*, p. 66.
- Allison, T. J. *et al.* (2007) 'Sound absorbing/sound blocking automotive trim products'. United States of America.
- Applied Technical Services (2013) 'Automotive Tests & Standards', *Volkswagen SAE Standards & Testing*, pp. 1–3.
- Arumugam, V. (2017) *Knitted Spacer Fabrics for Multi-Functional Applications*. Technical University of Liberec.
- Asada, H. H. and Menon, M. C. (2007) 'Rapid cooling and heating of car seats with massaging effects'. United States of America.
- ASTM international (2013) 'Standard Test Method for Tensile Strength and Young 's Modulus of Fibers'. Pennsylvania: ASTM international, pp. 1–10. doi: 10.1520/C1557-03R13.2.
- ASTM International (2003) 'ASTM D3574 - 03 Standard Test Methods for Flexible Cellular Materials—Slab, Bonded, and Molded Urethane Foams'. West Conshohocken, PA. doi: 10.1520/D3574-03.
- ASTM International (2012) 'ASTM D575 - 91 Standard Test Methods for Rubber Properties in Compression'. doi: 10.1520/D0575-91R12.
- Azeem, M. *et al.* (2017) *Mechanism of liquid water transport in fabrics: a review, Fibres and Textiles*.
- Bailey, B. (1995) 'Automotive floor mat retention system'. France, France.
- Bastin, P. and Lacroix, P. (1993) 'Composite products used as floor or wall coverings or as inner trim in the car industry, and methods of manufacture'. France, France.
- Bergs, J. and Kanaska, D. (2012) 'Motor vehicle seats and their defect classification', *Engineering for Rural Development*, 24, pp. 314–317.
- Bhattacharya, S. (2004) 'Applications of Textiles in Automotive Industry', *Textile Trade*, 1(5–6), pp. 32–37.
- BNDES - Banco Nacional para o desenvolvimento (1997) 'Assentos Automotivos e Componentes de interior', *ASSENTOS AUTOMOTIVOS E COMPONENTES DE INTERIORINTERIORES* -, pp. 1–20.
- Breed, D. S. (2013) 'Curtain airbag'. USA.
- Breuer, U. and Friedrich, K. (2015) *Multifunctionality of Polymer Composites Multifunctionality of Polymer Composites Challenges and New Solutions*. 1st edn. Edited by U. Breuer. Oxford: Elsevier.
- Buri, S. (2016) *Automobile Innenraum-Materialien & Oberflächen*. Ostfildern. Available at: <https://www.tae.de/seminar/symposium-fahrzeugklimatisierung-50044/> (Accessed: 1 September 2019).

- Buri, S. and Stahl Automotive (2016) ‘Automobile Innenraum-Materialien und das Kundenerlebnis – heute und in der Zukunft.’, p. 32.
- Cardoso, M. (2015) ‘Os têxteis que estão a mudar o mundo’, *Exame*, pp. 1–17.
- Carvalho, C. C. (2015) *Fibras têxteis não convencionais com propriedades de conforto melhoradas*. Universidade do Porto.
- Celcar, D. (2013) ‘Influence of Phase-Change Materials on Thermo-Physiological Comfort in Warm Environment’, *Journal of Textiles*, 2013, p. 9.
- Chatterjee, R. (2017) ‘Advanced & Emerging Composite Fiber Applications In the Automotive Industry’, p. 34.
- Chaudhari, D., Patil, T. and Raichurkar, P. P. (2018) ‘Gearing-Up Automobile Industry with’, *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 7(3), pp. 39–44.
- Choi, K. *et al.* (2005) ‘Clothing temperature changes of phase change material-treated warm-up in cold and warm Environments’, *Fibers and Polymers*, 6(4), pp. 343–347. doi: 10.1007/BF02875673.
- Cislak, R. S. (1979) ‘Method and apparatus for producing safety belts with reduced kerfs’. USA. doi: US005485919A.
- Dadour, I. R. *et al.* (2011) ‘Temperature variations in a parked vehicle’, *Forensic Science International*, 207(1–3), pp. 205–211. doi: 10.1016/j.forsciint.2010.10.009.
- Daikin (2019) *Qual é a diferença entre calor sensível e calor latente? | Daikin*. Available at: https://www.daikin.pt/pt_pt/faq/what-is-the-difference-between-sensible-and-latent-heat-.html (Accessed: 3 September 2019).
- Durães, T. B. D. (2013) *Identificação do Tipo e Quantidade de PCM Adequado ao Clima Português - LISBOA*. Guimarães.
- Durjoy (2018) ‘What Is Technical Textiles? Comparison Between Conventional And Technical Textiles’, *Textile Engineering & Fashion Design Blog*, pp. 1–2.
- Espinheira, I. M. (2013) ‘Sistema Comunitário de Troca Rápida de Informação sobre produtos de consumo’. Direção de Serviços de Direito do Consumo, p. 24.
- European Commission (2019) *Automotive industry | Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs*.
- Fai, T. C., Delbressine, F. and Rauterberg, M. (2007) ‘Vehicle seat design: state of the art and recent development’, in *World Engineering Congress*, pp. 51–61.
- Ferreira, A. M. (2005) *Portugal Textil, Texteis Técnicos*.
- Fontes, L. (2017) *Smart Garment – pressure, temperature, and humidity management in the prevention of Pressure Ulcers*. University of Minho.
- General Motors (2011) *GM Introduces World’s First Front-Center Airbag, General Motors Media*.
- Geršak, J. (2013) ‘Quality requirements for clothing materials’, in *Design of Clothing Manufacturing Processes*. Elsevier, pp. 250–294. doi: 10.1533/9780857097835.250.
- Ghassemieh, E. (2011) ‘Materials in Automotive Application, State of the Art and Prospects’, in Chiaberge, M. (ed.) *New Trends and Developments in Automotive Industry*. 1st edn. IntechOpen, pp. 1–64. doi: 10.5772/1821.

Government of Gujarat (2017) *Mobiltech-Textile Application in Automobile Textiles*. Gujarat.

Grover, T., Khandual, A. and Luximon, A. (2014) 'Fire protection : Flammability and textile fibres Fire Protection : Flammability and textile fibres', *Colourage*, 61(5), pp. 39–48.

Hallal, A. *et al.* (2014) *Advanced Composite Materials for Automotive Applications*. 1st edn, *Automotive Series*. 1st edn. Edited by A. Elmarakbi. John Wiley & Sons, Ltd. doi: 10.1002/9781118535288.

Hes, L., Araújo, M. de and Djulay, V. V. (1996) 'Effect of Mutual Bonding of Textile Layers on Thermal Insulation and Thermal Contact Properties of Fabric Assemblies', *Textile Research Journal*, 66(4), pp. 245–250.

Horrocks, A. Richard. and Anand, Subhash C. (2016) *Handbook of Technical Textiles*. 2nd edn. Edited by A. R. Horrocks and S. C. Anand. Cambridge: Woodhead Publishing.

Hu, J. L. and Lu, J. (2016) 'Memory polymer coatings for smart textiles', in Hu, J. (ed.) *Active Coatings for Smart Textiles*. 1st edn. Cambridge: Woodhead Publishing, pp. 11–35.

Hu, J. Y., Li, Yi and Yeung, K. W. (2006) 'Water vapor transfer', in Li, Y and Wong, A. S. W. (eds) *Clothing biosensory engineering*. 1st edn. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, pp. 206–215.

Hu, J. Y., Li, Yi and Yeung, K. W. (2006) 'Air permeability', in Li, Y. and Wong, A. S. W. (eds) *Clothing biosensory engineering*. 1st edn. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, pp. 252–259.

Hughes, O. C. H. (1965) 'Long elongation seat belt webbing'. USA.

Hunter, L. and Fan, J. (2015) 'Adding Functionality to Garments', in *Textiles and Fashion*. Elsevier, pp. 705–737. doi: 10.1016/B978-1-84569-931-4.00028-3.

IHS Automotive (2016) *The Interior Textiles Report*.

International Organization for Standardization (2018) *Standards Catalogue, Textiles in general*.

ISO (1986) 'ISO 3386-1:1986 - Polymeric materials, cellular flexible -- Determination of stress-strain characteristics in compression -- Part 1: Low-density materials'.

ISO (2016a) *EN ISO 12947-1:2016*.

ISO (2016b) *EN ISO 12947-2:2016*.

Izy bodycooling.com (2017) *Flexible PCM*©. Available at: <http://izibodycooling.com/2017/07/15/h1/>.

Joseph Capparella (2014) *Rinspeed XchangE Debuts at 2014 Geneva Auto Show - Automobile Magazine, Automobile*.

Karthikeyan, M., Ramachandran, T. and Sundaram, O. L. S. (2014) 'Nanoencapsulated phase change materials based on polyethylene glycol for creating thermoregulating cotton', *Journal of Industrial Textiles*, 44(1), pp. 130–146. doi: 10.1177/1528083713480378.

Kathirvelu, S., D'souza, L. and Dhurai, B. (2008) 'Nanotechnology applications in textiles', *Indian Journal of Science and Technology*, 1(5), pp. 1–10.

- Kikuchi, K. (2001) 'Webbing for seat belt and method for producing webbing for seat belt'. Japan.
- Kilinc, F. S. (2013) *Handbook of fire resistant textiles*. 1st edn. Edited by F. S. Kilinc. Philadelphia: Woodhead Publishing.
- Kim, Y. H. and Sun, G. (2002) 'Functional Finishing of Acrylic and Cationic Dyeable Fabrics: Intermolecular Interactions', *Textile Research Journal*, 72(12), pp. 1052–1056. doi: 10.1177/004051750207201203.
- Kissa, E. (1996) 'Wetting and Wicking', *Textile Research Journal*, 66(10), pp. 660–668. doi: 10.1177/004051759606601008.
- Klein, J. (2015) *Technical Textile Market: Global Industry Analysis and Opportunity Assessment 2015 - 2020*.
- Koç, E. and Zervent, B. (2006) 'An Experimental Approach on the Performance of Towels – Part I. Bending Resistance or Softness Analysis', *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*, 14(1), p. 55.
- Kumar, G. (2018) *Textile Mates, Automotive Textiles – Concealed Components*. Available at: textilemates.com/automotive-textile-concealed/ (Accessed: 6 September 2019).
- Kürklü, A. (1997) 'Thermal performance of a tapered store containing tubes of phase change material: Cooling cycle', *Energy Conversion and Management*, 38(4), pp. 333–340. doi: 10.1016/S0196-8904(96)00053-2.
- Larguesa, A. (2018) 'Têxtil e vestuário supera máximo de exportações com 16 anos', *Negócios*, February.
- Li, S. *et al.* (2017) 'A review on special wettability textiles: theoretical models, fabrication technologies and multifunctional applications', *Journal of Materials Chemistry A*. Royal Society of Chemistry, 5(1), pp. 31–55. doi: 10.1039/c6ta07984a.
- Lima, A. R. (2006) *Estudo Introdutório das Variáveis que Influenciam o Conforto Ergonómico de Assentos Automotivos Durante o Desenvolvimento de Produto*. Universidade de São Paulo.
- Lima, M. *et al.* (2006) 'Frictorq, Tribómetro para avaliação objetiva de superfícies têxteis', *Mecânica Experimental*, 13, pp. 105–114.
- Liu, Y. *et al.* (2012) 'Compression behavior of warp-knitted spacer fabrics for cushioning applications', *Textile Research Journal*. SAGE Publications Sage UK: London, England, 82(1), pp. 11–20. doi: 10.1177/0040517511416283.
- M. Manshahia, A. Das, R. A. (2015) 'Smart Coatings for Sportswear', in Hu, J. (ed.) *Active Coatings for Smart Textiles*. 1st edn. Cambridge: Woodhead Publishing, pp. 355–375.
- Markets and Markets (2015) *Automotive Fabric Market: Global Forecast to 2021 by Vehicle Type, Application*.
- Marshall, G. J. *et al.* (2019) 'Thermal Management of Vehicle Cabins, External Surfaces, and Onboard Electronics: An Overview', *Engineering*. Elsevier Ltd, pp. 954–969. doi: 10.1016/j.eng.2019.02.009.
- Matsuo, T. (2008) 'Textile Progress Fibre materials for advanced technical textiles Fibre materials for advanced technical textiles', 40(2), pp. 87–121. doi:

10.1080/00405160802133028.

Maxwell, a. S. *et al.* (2005) *Review of accelerated ageing methods*, NPL Report DEPC MPR 016. Middlesex. doi: ISSN 1744-0270.

Mckinsey & Company (2019) *Race 2050 - A Vision for the European Automotive Industry*.

McKinsey & Company (2016) *Automotive Revolution – perspective towards 2030*.

Mendes, J. F. *et al.* (2009) ‘Armazenamento de energia solar térmica’, in *4th International Renewable Energy Storage Conference*. Lisboa.

Michelin Portugal (2018) *MICHELIN PORTUGAL, O que compõe um pneu? Tudo sobre o pneu*. Available at: <https://www.michelin.pt/auto/sugestoes-e-conselhos/conselhos-auto> (Accessed: 6 April 2019).

Mohr, D. *et al.* (2016) *Automotive revolution – perspective towards 2030*.

Mondal, S. (2008) ‘Phase change materials for smart textiles – An overview’, *Applied Thermal Engineering*, 28(11–12), pp. 1536–1550. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2007.08.009.

Mondal, S. (2011) ‘Thermo-regulating textiles with phase-change materials’, in Pan, N. and Sun, G. (eds) *Functional textiles for improved performance, protection and health*. 1st edn. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, pp. 163–183.

Mueller, M. and Harman, S. (2018) *Timeline : A Path to Lightweight Materials in Cars and Trucks*. Washington.

Mukhopadhyay, S. K. and Partridge, J. F. (1999) ‘Automotive textiles’, *Textile Progress*, 29(1–2), pp. 1–125.

Narayan, D. S. and Mahaveer, B. S. (2017) *Automotive Textile*.

Nayak, R. *et al.* (2013) ‘Airbags’, *Textile Progress*, 45(4), pp. 209–301. doi: 10.1080/00405167.2013.859435.

Nguyen, V. Q., Ahmed, A. S. and Ramanujan, R. V. (2012) ‘Morphing soft magnetic composites’, *Advanced Materials*, 24(30), pp. 4041–4054.

Ni, B. and Zhang, P. (2017) ‘Experimental Study on Fabric Surface Wettability based on Contact Angle and Surface Energy’, in *Asia-Pacific Engineering and Technology Conference*, pp. 1–6.

Niemi, K. A. (1994) ‘Automotive Floor Liner’. USA, USA.

Observatório Têxtil do CENESTAP (2010) *Mercados Mundiais para Têxteis Técnicos : Previsões para 2010*, CNESTAP - Centro de Estudos Têxteis Aplicados. Vila Nova de Famalicão.

Padalkar, P. and Sawant, R. (2019) *Automotive Fabric Market Size, Share and Trends / Industry Report - 2025*.

Pamuk, O. (2007) ‘Clothing comfort properties in textile industry’, *E-journal of new word sciences academy*, 3(1), pp. 69–74.

Panzarella, T. *et al.* (2008) ‘Seating system for a motor vehicle’. USA.

Pape, I. (2018) *Evaluation of Comfort related Properties of Woven- Foam Laminates for Car Seat Covers*. Reutlingen University.

- Park, J. H. and Rutledge, G. C. (2017) '50th Anniversary Perspective: Advanced Polymer Fibers: High Performance and Ultrafine', *Macromolecules*, 50(15), pp. 5627–5642. doi: 10.1021/acs.macromol.7b00864.
- Parmar, S. and Malik, T. (2018) *Application of Textiles In Automobile*.
- Pawlak, C. (1996) 'A Survey of standards for the U . S . Fiber/ Textile/Apparel Industry'. Maryland: U.S. Department of Commerce, pp. 1–93.
- Peixoto, J. J. G. (2008) *Caracterização e desenvolvimento de revestimentos com fibras funcionais para ortóteses para os membros inferiores*. Universidade do Minho.
- Potter, M. J. and Wiles, A. L. (2016) 'Smart material couplings'.
- Reports and Data (2019) *Automotive Fabric Market Analysis By Material*.
- Roberts, B. and Kaprelian, D. (2005) 'Side-impact, variable thickness vehicular airbag'. USA.
- Rock, M. *et al.* (2010) 'Temperature responsive smart textile'. USA.
- Roshan, P. (2015) *Functional Finishes for Textiles*. 1st edn, *Functional Finishes for Textiles*. 1st edn. Edited by P. Roshan. Cambridge: Woodhead Publishing. doi: 10.1016/c2013-0-16373-8.
- Ryu, H. W. *et al.* (2013) 'Synthesis and properties of phase change material-polypyrrole core-shell nanocapsules via Fe³⁺-oxidative miniemulsion polymerization', *Macromolecular Research*, 21(3), pp. 298–301.
- Sá, H. I. O. (2017) *Determinação da condutividade e difusividade térmica de materiais por análise de DSC*. University of Minho.
- Santos, R. (2015) *Indústria de Interiores Automóvel e Aeronáutico em Portugal*. Instituto Politécnico de Setúbal.
- schoeller® (2017) *schoeller®-PCMTM*.
- Sharma, A., Kant, S. and Singh, J. (2015) 'Ergonomics Evaluation of Different Car Seat Design', *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*, 3(VI), pp. 688–696.
- Sheth, S. *et al.* (2011) 'Study of the Ergonomics of a Car Seat and Its Effect on Seat Reclining Levers', in *1st International Conference on Modern Trends in Industrial Engineering*. Gujarat.
- Stegmaier, T. *et al.* (2008) 'Woven and knitted fabrics used in automotive interiors', in Shishoo, R. (ed.) *Textile advances in the automotive industry*. 1st edn. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, pp. 43–61.
- Tan, J., Toomey, A. and Warburton, A. (2018) 'CraftTech : hybrid frameworks for textile-based practice', *Journal of Textile Engineering & Fashion Technology*, 4(2), pp. 165–169.
- Tristão, P. J. S. (2014) *Encapsulação de materiais de mudança de fase (PCM) para aplicações no armazenamento de energia*. Escola Superior de Tecnologia e Gestão Instituto Politécnico de Bragança.
- Vadicherla, T., Parthiban, S. and Sasikumar, C. (2012) 'A Novel Thermal Regulatory PCM Based Automotive Interior', *Textile Review magazine*, pp. 1–9.
- Wacker (no date) *Smart Materials*.

Wardinarsih, W., Troynikov, O. and Fuss, F. (2015) 'Energy absorption and performance relevant to thermal wear comfort evaluation of existing impact protective pad and materials intended for impact protective pad', in *7th Asia-Pacific Congress on Sports Technology, APCST 2015*. Elsevier Ltd, pp. 122–127.

Weskamp, M. (2017) 'Applied smart materials for automotive', in *Functional Materials – Technology Seminar*. Nobelstraße, Estugarda, p. 13.

Yao, J., Bastiaansen, C. and Peijs, T. (2014) 'High Strength and High Modulus Electrospun Nanofibers', *Fibers*, 2(2), pp. 158–186. doi: 10.3390/fib2020158.

Yongqiang, Y., Chunli, X. and Yaning, H. (2012) 'Automotive trim environment-friendly material'. China.

Yun, G., Haowen, L. and Guojin, X. (2018) 'Automatic spray apparatus of sponge species automotive headliners'. China.

Zupin, Ž. and Dimitrovski, K. (2010) 'Mechanical Properties of Fabrics from Cotton and Biodegradable Yarns Bamboo, SPF, PLA in Weft', in Dubrovski, P. D. (ed.) *Woven Fabric Engineering*. Sciyo, pp. 25–46.

ANEXO I



Material Data Sheet

Material Identification

Project	P0308	Customer Name	
Fabric Description	Atlantis Elastic	Customer Part Number	
Piece nº	AA0920	Application	
Copo Final Part Number		Revision:	

Product Composition Face Fabric

Fabric Composition	100% Polyester	Technology	
Weight (g/m ²)	220 ± 10	Width (mm)	
Thickness (mm)	65 ± 5	Color Name	
Yarn Composition	100% Polyester		
Yarn Dtex - yarn A	550	Yarn Type	

Yarn Dtex - yarn B		Yarn Type	
Yarn Dtex - yarn C		Yarn Type	
Dye Method			
Final Product			
Final width (mm)	≥1600	Foam thickness / density	
Total weight (g/m ²)		Scrim weight (g/m ²)	
Total Thickness (mm)	1-2mm	Non woven weight (g/m ²)	
Manufacturing Set-up			
Manufacturing Process Flow	Warping, Weaving		
Machine Type	Dobby		
Construction	Twill		
Physical Properties Standard			

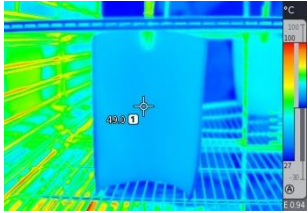
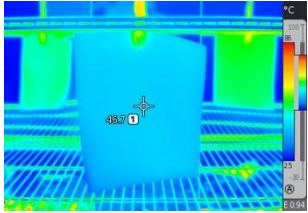
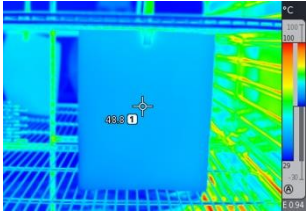
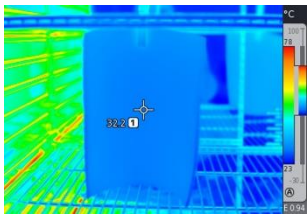
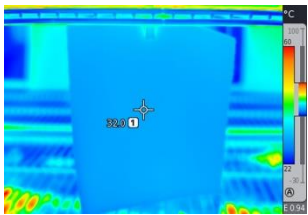
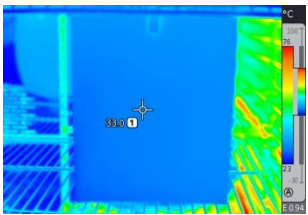
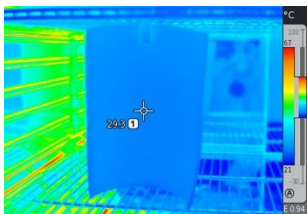
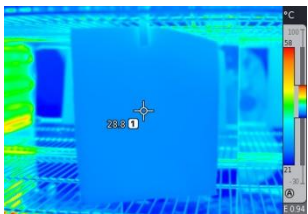
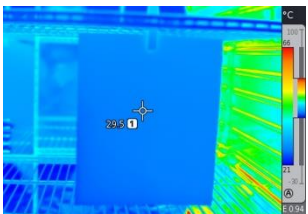

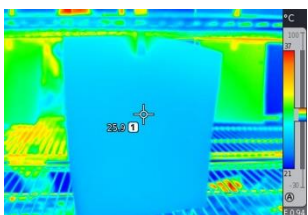
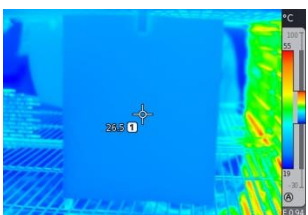
Technical Regulation	GMW3010 CODE S.			
Properties	Test Specification	Results		
Tear Strength (N)	$\geq 400N$	Length direction	1505,67	Cross direction
Elongation (%)	$50N \geq 2\%$	Length direction	5,7	Cross direction
Stretch (%)	$\leq 25\%$	Length direction	14	Cross direction
Set (%)	$\leq 4\%$	Length direction	2	Cross direction

Issued by :	
José Gouveia	
Date:	
12-06-2017	

Approved by :	
Date:	

ANEXO II

Tabela 26: Imagens obtidas a partir da câmara termográfica durante o ensaio de arrefecimento aos 0, 5, 10, 20 e 30 minutos.

Tempo (min)	AM1	AM2	AM3
0			
5			
10			
20			
30	