



BENCHMARK MAIS Tec #2

Polímeros, Compósitos e Materiais Avançados

Estudo Técnico Científico
Tecnologia, Inovação e Tendências

MAIS Tec - Consórcio para a Transferência de Conhecimento Científico e Tecnológico



NORTE2020
INICIATIVA DE COOPERAÇÃO INTER-REGIÃO NORTE

PORTUGAL
2020

UNÃO EUROPEIA
Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional



universidade
de aveiro

Tec **inho**



BENCHMARK MAIS Tec #2

Polímeros, Compósitos e Materiais Avançados

Estudo Técnico Científico

Tecnologia, Inovação e Tendências

Proprietário:

Consórcio MAIS Tec - Consórcio para a Transferência de Conhecimento Científico e Tecnológico

Desenvolvido por:

SCIENCENTRIS

Publicado online em:

www.maistec.pt

1

Nº de páginas: 57

outubro de 2019



Índice

Sobre o Projeto MAIS Tec.....	3
SCIENCENTRIS	4
Capacidade tecnológica.....	5
1 Enquadramento.....	6
2 Introdução	8
3 Estado da Arte.....	11
3.1 Materiais e Aplicações	11
3.1.1 Polímeros	11
3.1.2 Materiais Compósitos.....	21
3.1.3 Materiais compósitos inteligentes	30
3.2 Tecnologias de produção.....	31
3.2.1 Moldação Manual (Hand-Lay-Up)	31
3.2.2 Spray-up	33
3.2.3 Moldação por Compressão	34
3.2.4 Infusão por Vácuo	35
3.2.5 RTM (Resin Transfer Moulding)	37
3.2.6 Extrusão.....	38
4 Tendências e Oportunidades	42
5 Casos de Estudo.....	46
5.1 Indústria Aeroespacial.....	46
5.2 Engenharia Civil	47
5.3 Engenharia Eólica e Estruturas Marítimas	48
5.4 Transporte aéreo, terrestre e marítimo.....	48
5.5 Desporto.....	50
6 Conclusões.....	52
7 Bibliografia.....	54

Sobre o Projeto MAIS Tec

O presente Estudo Científico decorre no âmbito da implementação do projeto “MAIS Tec - Consórcio para a Transferência de Conhecimento Científico e Tecnológico”, que é uma iniciativa no quadro de uma ação coletiva e integrada, de reforço da transferência de conhecimento científico e tecnológico, promovida em copromoção pela SANJOTEC - Associação Científica e Tecnológica, intervindo na qualidade de promotor líder, o ISQ - Instituto de Soldadura e Qualidade, a Universidade de Aveiro, através da sua Escola Superior Aveiro Norte, e a TECMINHO - Associação Universidade-Empresa para o Desenvolvimento, que intervêm enquanto copromotores, e candidatado ao Aviso para Apresentação de Candidaturas NORTE-46-2016-08, correspondendo à operação registada com o código universal NORTE-02-0246-FEDER-000033, e cofinanciado através do NORTE 2020 - Programa Operacional Regional do Norte 2014-2020.

O consórcio “MAIS Tec” visa contribuir para a intensificação tecnológica da base produtiva regional, através da transferência de conhecimento científico e tecnológico para o reforço da valorização económica de ativos e recursos intensivos em conhecimento em I&D+i, em domínios de aposta e especialização estratégica regional, associados às tecnologias de produção; polímeros, compósitos e materiais avançados; moldes; materiais; energia; e habitat; em processos e tecnologias relativas à fabricação /manufatura digital (digital manufacturing), fabricação de forma livre (freeform fabrication), manufatura aditiva (additive manufacturing), modelagem por deposição (de matéria) fundida /fabricação por filamento fundido (fused filament fabrication), e desenvolvimento /design de produto.

A atividade MAISTec Benchmark consiste na realização de iniciativas de benchmark, envolvendo os diversos agentes económicos, em torno da Tecnologia, da Inovação e de tendências atuais.

De forma a manter e aumentar a competitividade da região, no âmbito desta ação pretende-se realizar uma iniciativa diferenciadora de vigilância tecnológica e das inovações, mantendo assim um processo contínuo de recolha e análise de informação presente em documentos de patentes nacionais e internacionais e outros documentos, que ajudam na tomada de decisão em todos os tipos de organizações, empresas e instituições, particularmente os grupos de

investigação. A informação que se pretende disponibilizar de uma forma organizada e processada sobre os setores técnicos de especialização da região, que pode fornecer dados relevantes sobre os últimos progressos, as patentes existentes, a perda dos direitos e outras informações relevantes, de natureza técnica, que possam ser cruciais para a tomada de decisões, e aumento da competitividade.

SCIENCENTRIS

A Universidade do Minho está atualmente entre as mais prestigiadas instituições de ensino superior do país, tendo também vindo a afirmar-se progressivamente no panorama internacional. Fundada em 1973, conta com dois grandes pólos, o campus de Gualtar, em Braga, e o campus de Azurém, em Guimarães. É neste último que se encontra a Escola de Engenharia, onde a ciência e a tecnologia são trabalhadas e postas ao serviço da sociedade contribuindo para a melhoria da qualidade de vida das populações. Esta é uma Escola aberta ao exterior (à sociedade e ao tecido económico-productivo) e empenhada em transformar o conhecimento que cria e que difunde numa alavanca do desenvolvimento sustentável. É nesta estrutura que a SCIENCENTRIS se insere. A SCIENCENTRIS é uma SpinOFF da Universidade do Minho que atua sob o lema "From Knowledge to Market" transformando o conhecimento gerado em ações de investigação e desenvolvimento, em produtos de elevado valor acrescentado, partindo do conhecimento gerado no âmbito da Plataforma FIBRENAMICS. Assim, neste âmbito, a SCIENCENTRIS é uma empresa de desenvolvimento de produtos inovadores com base em materiais avançados para diversos setores de serviço incluindo medicina, desporto, construção, transportes, arquitetura, proteção, entre outros. Atualmente, a SCIENCENTRIS, através da sua ligação ao grupo de investigação que lhe deu origem na Universidade do Minho, possui cerca de 25 investigadores, de diversas áreas científicas incluindo Eng^a de Polímeros, Eng^a Mecânica, Eng^a Civil, Eng^a Eletrónica, Eng^a Têxtil, Eng^a Biomédica, Eng^a Materiais, entre outras. Fruto desta dinâmica, possui cerca de 12 patentes, mais de 400 artigos publicados em conferências e revistas científicas e diversos produtos inovadores desenvolvidos conjuntamente com agentes industriais.

Capacidade tecnológica

O desenvolvimento de materiais fibrosos cada vez mais complexos tem permitido obter materiais compósitos com excelente desempenho, apresentando as características/propriedades mais adequadas às exigências das necessidades de diferentes áreas de aplicação, incluindo medicina, transportes, desporto, arquitetura e construção civil. Atendendo à sua complexidade, a caracterização destes materiais requer a utilização de conhecimentos e de meios físicos específicos, existentes atualmente na Universidade do Minho.

As competências tecnológicas e científicas no domínio dos Testes e Ensaios deste tipo de materiais existentes na Universidade do Minho incluem:

- Caracterização mecânica, térmica, estrutural, reológica, ambiental, físico-química e ótica de matérias-primas e de peças em plásticos;
- Caracterização morfológica e microestrutura de materiais compósitos reforçados por fibras;
- Caracterização fúngica e bacteriológica de materiais poliméricos.

1 Enquadramento

Os serviços objetos do presente procedimento decorrem no âmbito da implementação do projeto “MAIS Tec – Consórcio para a Transferência de Conhecimento Científico e Tecnológico”, que é uma iniciativa que surge no quadro de uma ação coletiva e integrada, de reforço da transferência de conhecimento científico e tecnológico, promovido em co promoção pela SANJOTEC – Associação Científica e Tecnológica, intervindo na qualidade de promotor líder, o ISQ – Instituto de Soldadura e Qualidade, a Universidade de Aveiro, através da sua Escola Superior Aveiro Norte, e a TECMINHO – Associação Universidade-Empresa para o desenvolvimento, que intervêm enquanto copromotores.

O projeto integra um conjunto de iniciativas de interação e transferência de conhecimento com vista à sua valorização económica, ações de demonstração de desenvolvimento tecnológico, ações de disseminação e de difusão de novos conhecimentos e tecnologias gerados no âmbito da I&D para o tecido empresarial, envolvendo nomeadamente projetos-pilotos, ações de experimentação e demonstração, ações de valorização económica de resultados da investigação, e o favorecimento do surgimento de projetos semente e spinoffs.

Esta atividade visa a realização de três iniciativas de benchmarks, envolvendo os diversos agentes económicos, em torno da Tecnologia, da Inovação e de Tendências Atuais, analisando tendências de investigação e de mercado, evolução tecnológica, perspetiva de mercados, a concorrência e as necessidades de inovação e competitividade, através de atividade de vigilância tecnológica e das inovações, num processo de recolha e análise de informação, nacionais e internacionais, disseminando conhecimento sobre tecnologias, processos e tendências de mercado, fornecendo dados relevantes sobre os últimos progressos, as patentes existentes, direitos e outras informações relevantes, de natureza técnica, que possam ser cruciais para a tomada de decisões, e aumento da competitividade económica.

O Benchmarking é um método que permite avaliar comparativamente um produto, empresa ou organização face à sua concorrência. De uma forma resumida, o benchmarking consiste na procura de melhores métodos utilizados nos diferentes processos de negócio e nas funções empresariais, com especial ênfase naquelas que permitem assegurar e sustentar vantagens competitivas. Este método pode ser utilizado por empresas, independente da sua dimensão, cujo seu setor de atividade pode ser distinto. No contexto de desenvolvimento de um produto, o benchmarking permite, em primeiro lugar, identificar as empresas ou instituições tidas como

referência do setor, ou seja, as empresas que produzem determinado produto ou fornecem determinado serviço com um máximo de lucro aliado a um elevado grau de satisfação dos consumidores

As três iniciativas de benchmarks deverão estar organizadas de acordo com a seguinte agregação temática:

- 1) Relatório 1: Tecnologias de produção; Moldes; Materiais.
- 2) Relatório 2: Polímeros, compósitos e materiais avançados.
- 3) Relatório 3: Energia; Habitat.

Esta atividade consiste na realização de quatro workshops referentes às temáticas: tecnologia, inovação e tendências atuais, com o objetivo de disseminar e de fundir os novos conhecimentos, tecnologias e as melhores práticas, proporcionando o aumento da competitividade do tecido empresarial e dos agentes de I&I, para que estes possam fazer frente aos desafios da evolução tecnológica e económica, em consonância com os resultados oriundos dos relatórios de benchmarks. A concretização dos workshops irá seguir a seguinte abordagem temática:

- 1) Workshop 1: Tecnologias de produção; Moldes; Materiais.
- 2) Workshop 2: Polímeros, compósitos e materiais avançados;
- 3) Workshop 3: Energia; Habitat.
- 4) Workshop 4: Multitemática, sinergias e interpenetração de tecnologias e processos.

2 Introdução

A preocupação com a preservação do meio ambiente e a sustentabilidade dos recursos explorados estão cada vez mais presentes na sociedade atual. A utilização de fontes renováveis ou a diversificação da origem das materiais primas tornaram-se um fator de extrema importância para a manutenção do sistema produtivo de uma forma sustentável ao mesmo tempo que promove uma vantagem competitiva a curto prazo[1].

A possibilidade de viver em ecossistemas isolados como as ilhas oceânicas e/ou a Antártica que são extremamente frágeis e dependentes do equilíbrio ecológico. Assim, pequenas mudanças podem colocar em risco a sobrevivência de diversas espécies. O plástico não ocorre naturalmente no ambiente, o que o torna diferente de outros tipos de poluição, como metais ou óleo, este tipo de lixo tem origem antrópica. A ocorrência do lixo nestas áreas pode provocar efeitos letais e/ou sub-letais em espécies que não ocorrem em outros lugares do planeta.

Um simples copo de plástico precisa de 50 anos para se degradar e para a decomposição de uma garrafa de plástico, estima-se que sejam precisos cerca de 450 anos, este motivo por si só já nos deve obrigar a pensar em alternativas aos materiais atuais, procurando que os novos materiais sejam o mais “verdes” possíveis[2].

Desde a antiguidade que a procura de soluções de engenharia, foi muitas vezes satisfeita à conta de produtos naturais que estavam ao dispor das comunidades, as fibras de origem vegetal estão entre estes recursos. Atualmente os recursos com base no petróleo estão a ser inferiores às necessidades de consumo e satisfação das necessidades de uma sociedade cada vez mais exigente com o seu conforto[3].

Tanto a consciência como as necessidades de satisfação, têm impulsionado os estudiosos na procura de novas soluções técnicas capazes de encantar os seus utilizadores, abrindo a porta a uma nova família de matérias-primas, entre as quais se encontram os materiais compósitos; Existem já soluções comprovadas, como capacetes militares ou peças para a indústria automóvel, provando aos céticos que os compósitos de matriz polimérica reforçada com fibras naturais de origem vegetal, têm o seu espaço e que se vão afirmando como alternativa válida.

Os materiais compósitos estiveram sempre presentes no nosso mundo, e hoje continuam sob diferentes formas e desempenhando uma vasta gama de funções. Os compósitos podem ser encontrados na natureza, dando como exemplo do reino vegetal a madeira, constituída por uma matriz de lenhina que envolve as fibras de celulose e no âmbito dos animais vertebrados, os

seus ossos são um compósito constituído por uma matriz de colagénio e hidroxiapatita, onde, devido a um processo natural de evolução, as fibras se foram orientando segundo a direção que melhor permitia contrariar os esforços impostos[2].

Os materiais compósitos estiveram sempre presentes no nosso mundo, e hoje continuam sob diferentes formas e desempenhando uma vasta gama de funções. Os compósitos podem ser encontrados na natureza, dando como exemplo do reino vegetal a madeira, constituída por uma matriz de lenhina que envolve as fibras de celulose e no âmbito dos animais vertebrados, os seus ossos são um compósito constituído por uma matriz de colagénio e hidroxiapatita, onde, devido a um processo natural de evolução, as fibras se foram orientando segundo a direção que melhor permitia contrariar os esforços impostos[4].

O ser Humano, respondendo às solicitações que o Mundo lhe colocava e tirando o melhor proveito dos materiais em redor, acabou por recorrer a este tipo de materiais. Numa perspetiva histórica, uma das primeiras referências à utilização de materiais compósitos foi concretizada pela civilização do antigo Egito na criação do contraplacado, onde devido à escassez de madeira eram intercaladas tiras de madeira mais resistente com outras de qualidade inferior. Uma segunda referência foi consubstanciada nos tijolos, onde o barro tinha a função de matriz, reforçado com palha, ambos elementos abundantes naquela zona. Outro compósito antigo é o betão, que é constituído por uma mistura de agregado e areia, com cimento, o qual era muito apreciado pela sua capacidade de resistir a esforços de compressão. Já nos tempos modernos com a adição de um novo material de reforço sob a forma de armações de ferro, o betão melhorou a resistência à tração[5].

No séc. XX foram desenvolvidos novos materiais que levaram à criação dos chamados compósitos modernos, constituídos por uma matriz de base polimérica e reforço de fibras de diversos materiais. Estes envolvem a utilização de materiais de reforço como a fibra de vidro, kevlar, fibras de carbono e de matrizes normalmente de polímeros termoendurecíveis como a resina epóxi ou o polietileno. Com estes materiais conseguiu-se uma relação resistência/densidade mais favorável, que foi essencial para o enorme desenvolvimento de tecnologia de ponta em indústrias várias como a automóvel, aeronáutica e aeroespacial[6].

Por outro lado, as fibras naturais têm suscitado grande interesse na última década como um possível substituto das fibras sintéticas, como por exemplo a fibra de vidro, que entre essas é uma das que mais uso tem. Apesar de as fibras naturais ainda estarem longe de terem as

mesmas características mecânicas que as fibras artificiais, os tratamentos das fibras recentemente desenvolvidos têm melhorado estas propriedades consideravelmente[7].

Este interesse renovado é motivado pelas seguintes vantagens[8]:

- Recurso renovável, a produção requer pouca energia;
- Reciclagem térmica é possível, onde o vidro provoca problemas em fornos de combustão;
- Redução do peso específico, o que resulta numa maior resistência e rigidez específica do que o vidro;
- Preço da matéria-prima é baixo;
- Boas propriedades isolantes, térmicas e acústicas;
- Resistência e propriedades mecânicas interessantes;

A persistência da investigação neste campo é devida, também, às seguintes desvantagens:

- Características mecânicas inferiores, particularmente na resistência ao impacto;
- Qualidade variável, nomeadamente devido à influência das condições atmosféricas aquando da produção do compósito;
- Higroscopia;
- Temperatura de processamento limitada;
- Baixa durabilidade apesar de já existirem tratamentos de fibra que a melhoram significativamente;
- Fraca resistência ao fogo;
- Biodegradabilidade, pode ser uma desvantagem na medida em que reduz as características mecânicas do compósito ao longo do tempo;
- Preço pode variar com os resultados da colheita (quantidade e qualidade);

Associado a estas problemáticas, surge assim o conceito de “Compósitos Verdes” com base na preocupação do ser humano em reduzir a sua pegada ambiental criando alternativas aos compósitos atualmente mais usados, recorrendo a processos de fabrico menos poluentes mas obtendo compósitos baseados em fibras e resinas naturais com propriedades mecânicas boas para determinadas aplicações[8].

3 Estado da Arte

Neste capítulo pretende-se efetuar a aquisição de conhecimento e competências sobre os materiais abordar no âmbito do presente relatório, procurando identificar áreas e nichos de mercado, necessidades, especificações requeridas e perspetivas de evolução. Assim, pretende-se identificar claramente quais as áreas e nichos de mercado e que, de uma forma global, os conceitos e produtos desenvolvidos a partir de introdução destes materiais na indústria poderão apresentar mais vantagens competitivas para as empresas.

3.1 Materiais e Aplicações

No âmbito deste Subcapítulo, pretende-se obter a aquisição de conhecimento e competências que permitam a análise dos materiais utilizados atualmente na produção de estruturas direcionadas para a indústria, nomeadamente ao nível dos materiais utilizados para a conceção de produtos inovadores, mais resistentes e com redução de peso. Desta forma, neste capítulo, numa primeira fase são apresentadas os materiais poliméricos, assim como são identificadas e caracterizadas as principais fibras naturais existentes e o seu potencial interesse de aplicação, de acordo com as suas propriedades técnicas intrínsecas. O mesmo tipo de estudo é efetuado para os materiais compósitos.

11

3.1.1 Polímeros

Os polímeros são moléculas muito grandes constituídas pela repetição de unidades mais simples e pequenas, designadas por monómeros, os quais se interligam quimicamente entre si através de reações de polimerização, formando ligações covalentes. Os polímeros gerados, moléculas de elevadas dimensões denominadas macromoléculas, sempre fizeram parte do quotidiano humano, desde os tempos mais remotos, com a utilização de polímeros naturais como o amido, celulose ou seda. Porém, desde que Hermann Staudinger (1881 – 1963, galardoado em 1953 com o Prémio Nobel da Química) descobriu o processo de polimerização, a síntese de polímeros deixou de ser apenas um fenómeno natural, tendo-se desde então constatado um rápido desenvolvimento. A principal característica que diferencia os materiais poliméricos dos outros tipos de materiais está relacionada com a presença de cadeias moleculares de grande extensão, constituídas principalmente por carbono. O arranjo dos átomos na cadeia molecular pode levar a mesma a ser caracterizada como linear, ramificada ou

tridimensional. Estes arranjos podem ser muito ordenados, traduzindo-se em regiões cristalinas, envolvidos por regiões menos ordenadas, denominadas como amorfas. Devido à natureza das ligações atómicas envolvidas, a maioria dos polímeros não conduz eletricidade nem calor. Por outro lado, em função do arranjo atómico dos seus átomos, os materiais poliméricos exibem, em geral, baixa densidade e baixa estabilidade térmica. É enorme a quantidade de bens que nos cercam que são obtidos a partir de materiais poliméricos, uma vez que eles são utilizados em quase todos os setores de atividade, nomeadamente na indústria automotiva, de embalagens, revestimentos e vestuário. Os polímeros podem dividir-se em 3 categorias principais, nomeadamente[9]:

- termoplásticos, apresentando como principais características as de poderem ser fundidos várias vezes e solúveis em vários solventes, permitindo assim a sua reciclagem;
- termoendurecíveis, sendo muito estáveis a variações de temperatura, caracterizando-se por se decompor a elevadas temperaturas, mas sem que ocorra o processo de fusão, dificultando assim a sua reciclagem;
- elastómeros, tratando-se de uma classe intermédia entre os termoplásticos e os termoendurecíveis, destacando-se essencialmente pela sua elasticidade, mas possuindo um comportamento semelhante aos termoendurecíveis em termos de fusão.

12

Os polímeros termoplásticos, formados por macromoléculas, as quais têm a particularidade de não reticular entre si, ou seja, de criar ligações cruzadas a cadeias moleculares vizinhas. As ligações existentes nos termoplásticos que mantêm as macromoléculas nas suas posições são designadas de ligações secundárias, ou seja, ligações de hidrogénio e forças de van Der Waals. Assim, sob o efeito de temperatura e pressão, amolecem, tornando-se moldáveis, sendo por isso recicláveis facilmente, através de repetidos processos de aquecimento e arrefecimento, sem perda de características. A nível molecular, à medida que a temperatura vai sendo elevada, as forças de ligação secundárias vão sendo diminuídas, devido ao aumento do movimento molecular, de tal modo que o movimento relativo de cadeias adjacentes é mais propenso a acontecer quando uma tensão é aplicada. Estes polímeros são relativamente dúcteis, possuem geralmente melhor resistência ao impacto, maior tenacidade e menor hidrofiliade, sendo compostos maioritariamente por polímeros lineares e/ou com algumas estruturas ramificadas com cadeias flexíveis. Contudo, a elevada viscosidade destes compostos implicam que o seu processamento se realize a elevadas temperaturas e pressões, exigindo um maior custo

associado. Alguns exemplos de polímeros termoplásticos são: PP (polipropileno), LDPE (polietileno de baixa densidade), HDPE (polietileno de alta densidade), PS (poliestireno), PVC (policloreto de vinilo), PLA (poliácido láctico)[10].

Os polímeros termoendurecíveis, vulgarmente também conhecidos por resinas termoendurecíveis, são constituídos por cadeias moleculares que formam uma estrutura tridimensional, graças ao grau de reticulação entre as várias cadeias moleculares. Tipicamente, este tipo de resinas é comercializado com um outro complemento, contendo aceleradores e catalisadores. Em alguns casos, a polimerização e reticulação ocorrem após a mistura dos referidos componentes à temperatura ambiente, enquanto outros tipos de polímeros termoendurecíveis exigem a aplicação de calor e pressão adicional para que o processo de cura se concretize. Após o seu processo de cura, tornam-se em materiais insolúveis, não recicláveis e incapazes de fundir, independentemente das temperaturas e pressões que possam ser aplicados aos mesmos. Durante o seu processo térmico inicial de cura, são formadas ligações cruzadas covalentes entre cadeias moleculares adjacentes, as quais se tornam resistentes os movimentos vibracionais e rotacionais da cadeia a temperaturas elevadas, processo designado por reticulação. Por esse motivo, o seu rompimento apenas se torna possível a temperaturas extremamente elevadas, não podendo, portanto, estas matrizes serem recicladas. Estes polímeros suportam temperaturas elevadas, têm boa estabilidade térmica e dimensional, apresentam elevada rigidez e permitem uma fácil impregnação das fibras. No entanto, como desvantagem, o processo de cura não é instantâneo, implicando um aumento dos tempos do ciclo de produção, sendo por vezes necessário adicionar calor para completar a reticulação e assim incrementar os custos de processamento. Estes polímeros são geralmente mais duros, mais fortes e mais frágeis, comparativamente com os termoplásticos, justificando a sua melhor estabilidade térmica e dimensional. Alguns exemplos de polímeros termoendurecíveis são: resina de poliéster, resina epóxi, resina fenólica[11].

No Tabela 1, são apresentadas sumariamente as principais características dos diferentes tipos de polímeros. A principal diferença entre os polímeros centra-se no seu comportamento característico quando aquecidos. Os polímeros termoplásticos, constituídos por cadeias moleculares lineares ou ramificadas, fundem-se, transformando-se num líquido viscoso capaz de sofrer processos de extrusão. Neste processo não ocorrem reações químicas ou

decomposição, e os produtos obtidos podem ser aquecidos repetidamente. Os polímeros termoendurecíveis decompõem-se termicamente[12][13][9].

Tabela 1: Principais características dos diferentes tipos de polímeros[12].

Polímeros Termoplásticos	Polímeros Termoendurecíveis
<ul style="list-style-type: none"> • Reciclável mecanicamente; • Tempo ilimitado de armazenamento; • Elevada viscosidade quando fundido; • Baixa resistência à fluência; • Temperaturas de utilização limitada, devido à sua baixa estabilidade térmica e dimensional. 	<ul style="list-style-type: none"> • Não reciclável mecanicamente; • Tempo limitado de armazenamento; • Baixa viscosidade durante o processamento; • Elevada resistência à fluência; • Elevada resistência térmica e dimensional.

Já os elastómeros tratam-se, como referido, de uma classe intermédia entre os materiais termoplásticos e termoendurecíveis. Caracterizam-se por apresentar alta elasticidade, recuperando a sua forma inicial após a aplicação de tensões, mas, tal como nos termoendurecíveis, o seu processo de reciclagem é complicado devido à incapacidade de fusão, originada pela presença de algumas ligações cruzadas. De acordo com a norma DIN 53501, os elastómeros são materiais poliméricos reticuláveis, a temperaturas inferiores à sua temperatura de decomposição. Alguns exemplos de elastómeros: IR (isopreno), SBR (estireno-butadieno), EPM (etileno-propileno)[12].

No Tabela 2 e na Tabela 3 podem observar-se algumas propriedades de alguns polímeros. O PP (polipropileno) e o PE (polietileno), seja de baixa densidade (LDPE) ou de alta densidade (HDPE), são dos polímeros mais leves, possuindo uma densidade inferior à da água. Verifica-se também que, de uma forma geral, todos demonstram um elevado carácter hidrofóbico, traduzido pela diminuta percentagem de absorção de água após 24 horas de exposição[9].

Tabela 2: Propriedades mecânicas de alguns polímeros[14][13][15].

Polímero	Densidade (g cm ⁻³)	Absorção de água após 24h (%)	Resistência à tração (MPa)	Módulo de Young (GPa)	Alongamento na rotura (%)
Termoplásticos					
PP	0,90 – 0,92	0,01 – 0,02	26 – 41,4	0,9 – 1,8	15 – 700
LDPE	0,91 – 0,93	<0,015	40 – 78	0,06 – 0,4	90 – 800
HDPE	0,94 – 0,96	0,01 – 0,2	14,5 – 38	0,4 – 1,5	2 – 130

PS	1,04 – 1,06	0,03 – 0,1	25 – 69	4 – 5	1 – 2,5
PVC	1,38	0,1- 0,3	53	3,0	
PLA	1,24 – 1,25		72	2,11	10,7
Termoendurecíveis					
Resinas					
Poliéster	1,2 – 1,5	0,1 – 0,3	40 - 90	2 – 4,5	2
Resina Epóxi	1,1 – 1,4	0,1 – 0,4	35 - 100	3 - 6	1 - 6
Elastómeros					
IR	0,91 – 0,93		15 - 25		1000
SBR	0,92 – 0,99				600
EPM	0,85 – 0,88		7 - 18		500

Tabela 3: Exemplos de propriedades térmicas de alguns polímeros[16].

Polímero	T _g (°C)	T _f (°C)
PP	-14	176
LDPE	-110	115
HDPE	-90	137
PS	100	239
PVC	87	212
PLA	60	180

Na Tabela 4, são demonstrados alguns exemplos de aplicação dos polímeros no quotidiano humano, observando-se que as aplicações deste tipo de compostos podem ser muito variados e abrangem diversas áreas de aplicação, desde sacos de embalagens a espumas rígidas e materiais isolantes[16].

Tabela 4: Exemplos de aplicação de polímeros[12][17][18].

Polímero	Propriedades	Aplicações
PP (polipropileno)	<ul style="list-style-type: none"> • Propriedades barreira: Boa a humidade (>PE), fraca a gases e gordura; • Boa soldabilidade, porém, filme orientado requer revestimento para termo soldagem; • Propriedades térmicas: 0 a 130°C; • Resistência mecânica variável; • Elevada transparência (>PE) e excelente brilho; • Filme não orientado frágil a temperaturas baixas. 	Cadeiras, para-choques de automóveis, taças para gelados e margarinas, embalagens de alimentos sensíveis à humidade.

LDPE (polietileno de baixa densidade)	<ul style="list-style-type: none"> • Propriedades barreira: muito boa a humidade, má a gases e gordura; • Boa soldabilidade; • Propriedades térmicas: -50 a 80°C; • Boa resistência à tração e à perfuração/impacto. 	Sacos (extrusão de filme), proteção (revestimento).
HDPE (polietileno de alta densidade)	<ul style="list-style-type: none"> • Propriedades barreira: muito boa a humidade, má a gases, média a gordura; • Média soldabilidade; • Propriedades térmicas: -40 a 121°C; • Ótima resistência à tração e ao impacto/perfuração. 	Sacos para frutas e legumes (extrusão de filme), potes e bandejas (injeção), garrafas de leite esterilizado (extrusão)
PS (Poliestireno)	<ul style="list-style-type: none"> • Propriedades barreira: fraca a humidade, fraca a gases, má a gordura • Não solda; • Propriedades térmicas: -30 a 50°C; • Resistência mecânica: muito boa resistência à tração; muito má resistência ao impacto/perfuração; Facilidade de termoformação; • Propriedade ótica. Elevado brilho e transparência. 	Caixas CDs, Copos de iogurte, caixas para bolos, copos para gelados (termoformação e injeção), janelas para embalagens de cartão.
PVC (policloreto de vinilo)	<ul style="list-style-type: none"> • Propriedades barreira: Média a humidade, fraca a gases, excelente a gordura; • Média soldabilidade; • Propriedades térmicas: 60-85 e -30°C; • Resistência mecânica variável; <ul style="list-style-type: none"> • Ótima transparência 	Tubos, filme estirável para carnes frescas, frutos e vegetais, garrafas de óleo alimentar (extrusão), etiquetagem garrafas.
Resina Poliéster	<ul style="list-style-type: none"> • Propriedades barreira: média humidade, média a gases, excelente a gordura; • Não solda; • Propriedades térmicas: -40 a 220°C; • Excelente resistência à tração e boa resistência ao impacto/perfuração; • Excelente transparência. 	Filme exterior em estruturas laminadas, filme metalizado, filme para forno doméstico (extrusão de filme), bandejas para pré-congelados (termoformação), garrafas para água mineral e óleo (injeção).

Um dos mais importantes polímeros biodegradáveis é o PLA (ácido polilático), pertencente à família dos poliésteres termoplásticos, o qual é obtido a partir de fontes renováveis como o milho, cana-de-açúcar e beterraba. Comercialmente, o PLA é um polímero bastante atraente, graças às boas propriedades mecânicas aliadas à grande disponibilidade e biodegradabilidade que este material apresenta. As propriedades mecânicas que este polímero revela são idênticas às dos poliésteres tradicionais obtidos de fontes não renováveis, normalmente petrolíferas, e podem ser processados através de técnicas típicas da obtenção de termoplásticos, tais como a extrusão e a injeção. Este polímero biodegradável pode ser utilizado em áreas bastante distintas como por exemplo na biomedicina ou nas indústrias têxtil, de embalagens de produtos alimentares e automóvel. Aliás, na indústria automóvel existe um grande interesse atualmente

em procurar colmatar a falta de adesão entre as fibras naturais e os polímeros termoplásticos, como o PLA[18].

3.1.1.1 Polímeros TPE (Elastómeros Termoplásticos)

Aliado a uma diversidade de razões, técnicas e ambientais, em várias indústria, a utilização de PVC (policloreto de vinilo) está a ser descontinuada na produção de peças, assim como a utilização de elastómeros termoendurecíveis, os quais apresentam limitações na sua capacidade de reciclagem. O processo de vulcanização, largamente utilizado atualmente para a produção de materiais de borracha, gera polímeros termoendurecíveis, que não podem ser fundidos ou reprocessados após o mesmo. Neste sentido, tem existido uma tendência para a procura de materiais alternativos, dos quais se destacam[19]:

- Os elastómeros termoplásticos;
- Copolímeros de estireno;
- Polipropilenos heterofásicos com alto teor de elastómero.

Assim, surge, portanto, uma classe específica de polímeros, com características diferenciadoras, que os distinguem dos demais, designada por TPE (Elastómeros termoplásticos). Os elastómeros termoplásticos constituem uma família de materiais de engenharia que estabelecem uma ponte entre as famílias dos materiais plásticos e dos materiais elastoméricos, podendo ser, por isso, também designados por borrachas termoplásticas[15][20][21].

De entre os principais TPE existentes, e definidos na norma ISO 18064, destacam-se os seguintes[19][22]:

- TPE-O – olefina termoplástica;
- TPE-U – poliuretano termoplástico.

No entanto, tipicamente, na designação mais comum, o “E” destas referências é esquecido, designando-se estes compostos, de forma mais simplificado, por TPO e TPU. 48

Estes materiais são compostos por dois tipos de componentes, um mais rígido, o qual lhe confere as propriedades plásticas, e outro menos rígido, que lhe confere as propriedades ditas elastoméricas. Assim, os Elastómeros termoplásticos (TPE) são compostos concebidos a partir de termoplásticos rígidos como PP (polipropileno), PBT (polibutileno tereftalato) ou PA (poliamida), combinados com materiais suaves de borracha, normalmente com a inclusão de aditivos como óleo e cargas. Na Tabela 5, é demonstrada, de forma mais específica, os vários tipos de Elastómeros Termoplásticos, com os seus diferentes constituintes[22][23].

Tabela 5: Famílias de Elastómeros Termoplásticos[24].

Família de Elastómeros Termoplásticos	Fase Rígida	Fase Elástica	Exemplos
Polioléfinicos	PP (polipropileno), PVC (policloreto de vinilo)	EPM (Borracha de Etileno Propileno), EPDM (Borracha de Etileno Propileno Termo polímero), NBR (acrilonitrilo butadieno)	TPO
Poliuretanos	PU (poliuretano)	Poliésteres ou poliéteres	TPU

Esta classe de polímeros apresenta como grandes vantagens o seu fácil processamento, com custo inferior de energia, através de técnicas convencionais, moldação extrusão, termoformação, entre outras. Estes polímeros podem ser facilmente coloridos e sobre moldados com boa adesão em vários termoplásticos. Além disso, estes materiais caracterizam-se por acima da sua temperatura de fusão exibirem um caráter termoplástico, permitindo-lhe dessa forma ser moldado e transformado, num intervalo específico de temperaturas, sem que tenha ocorrido qualquer processo de reticulação, justificando assim o seu comportamento elastomérico. Este processo é reversível e os produtos resultantes podem ser reprocessados e moldados novamente, consistindo esta na maior diferença para elastómeros vulcanizados, os quais são formados por ligações cruzadas, impedindo o seu reprocessamento. Por outro lado, estes polímeros apresentam propriedades semelhantes às da borracha, diferenciando-se apenas pela resistência à temperatura e química, flexibilidade e recuperação após compressão, características que se revelam inferiores, comparativamente com borrachas convencionais. Na Tabela 6 são apresentadas, de forma resumida, as principais vantagens e desvantagens destes materiais, comparativamente com as borrachas vulcanizadas e plásticos convencionais, respetivamente. Na Tabela 7, são apresentadas algumas propriedades dos vários tipos de elastómeros termoplásticos. A partir desta Tabela, é possível verificar o TPO como o elastómero com maior resistência à tração[15][20][21][23][22].

Tabela 6: Vantagens e Desvantagens dos Elastómeros Termoplásticos, comparativamente com a Borracha Vulcanizada[15].

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> • Ciclos de produção mais curtos; • Eliminação de desperdícios; • Gastos energéticos mais baixos; • Menor número de peças defeituosas; 	<ul style="list-style-type: none"> • Tensão de rotura mais baixa; • Custos do polímero eventualmente mais elevados; • Especificações de propriedades sem margem de manobra.

<ul style="list-style-type: none"> • Maior flexibilidade; • Condições de processamento mais amplas; • Materiais 100% recicláveis. 	
--	--

Tabela 7: Propriedades de vários tipos de elastómeros termoplásticos[15].

Elastómeros Termoplásticos	Densidade	Tensão na Rotura (MPa)	Alongamento na Rotura (%)	Temperaturas de utilização (°C)
TPO	0,90 – 0,97	10 – 35	100 – 650	-40 – 120
TPU	1,15 – 1,25	20 – 60	300 – 600	-60 – 120

Assim, os Elastómeros Termoplásticos tratam-se de uma classe única de materiais que combinam as propriedades chave de processamento e reciclabilidade dos termoplásticos, com muitas das propriedades físicas das borrachas, tais como elasticidade, baixa deformação permanente à compressão e elevada flexibilidade. Aliás, a taxa anual de crescimento no mercado de elastómeros termoplásticos tem sido de cerca de 6%, ao passo que a dos elastómeros termoendurecíveis se encontra nos 2 – 3%[19][20][21].

A aplicação deste tipo de polímeros começou a expandir-se a partir da década de 70, com o aparecimento de novas tendências de moda, sobretudo ao nível da cor e do toque, levando a uma procura crescente de materiais menos rígidos, baratos e fáceis de produzir. Como principais aplicações típicas destes polímeros, destacam-se[15]:

- Componentes com toque suave, escovas de dentes, lâmias de barbear;
- Componentes para área automóvel, como vedante para janelas, tapetes, cobertura de airbag e de painéis de instrumentos;
- Revestimentos de cabos;
- Equipamentos desportivos;
- Membranas de cobertura;
- Brinquedos.

Tendo em conta a importância dos elastómeros termoplásticos de TPO e TPU referidos, serão de seguida apresentadas e aprofundadas mais alguns detalhes sobre os mesmos.

3.1.1.2 TPO (Elastómero Termoplástico Olefínico)

Os elastómeros termoplásticos olefínicos são agrupados por vários tipos, de acordo com o seu grau de dureza à temperatura ambiente. Estes materiais, tendo como base olefinas, possuem menor densidade

do que qualquer outro elastómero termoplástico. Neste tipo de elastómeros, o material de matriz, a fase mais rígida, consiste tipicamente em PP ou PVC, enquanto a fase dispersa é representada pelo elastómero, como EPDM ou NBR. Contudo, os TPOs mais comuns são os constituídos por PP[21].

O TPO possui uma temperatura de fusão cristalina próxima da temperatura de PP e a temperatura de transição vítrea na gama da temperatura correspondente ao EPDM. Assim, a temperatura de processamento deste tipo de elastómeros encontra-se na gama entre os 150 – 165°C, sendo esta a temperatura limite de utilização do TPO. Este tipo de elastómeros possui características da borracha à temperatura ambiente, entre os 0 – 40°C, como o módulo de elasticidade, resistência à tração e alongamento. Porém, com o aumento gradual da temperatura, as mesmas vão-se perdendo. Por outro lado, uma vez sendo constituído por PP, composto apolar, este tipo de elastómero termoplástico gera uma elevada resistência à água e outros fluidos polares. Além disso, apresenta boas propriedades elétricas, tais como resistividade ou força dielétrica[21].

O TPO trata-se da única classe de TPEs com baixo custo de processamento e boa performance. Apesar de possuir propriedades geralmente inferiores, quando comparadas com elastómeros termofixos, podem ser utilizados quando a temperatura de utilização não exceder os 80°C[21].

3.1.1.3 TPU (Elastómero Termoplástico de Poliuretano)

Um dos derivados deste tipo de polímeros, como referido, é o TPU, que se traduz num copolímero de poliuretano, formado através da reação de isocianatos e dióis. Estes polímeros são constituídos por[20][21]:

- sequências de um polímero de características elásticas, flexíveis e amorfas de poliésteres, como o polibutileneglicol, polipropileneglicol, ou poliadipato de polietileneglicol;
- segmentos rígidos, com elevada densidade de grupos uretano, produzidos pela reação de um diisocianato com um glicol de cadeia curta.

Desta forma, é possível obter um TPU de base poliéster ou poliéter, com excelente resistência à abrasão, elevadas elasticidade e resistência à tração e rasgamento, resistente a óleos e com excelentes propriedades a baixas temperaturas. Os uretanos termoplásticos não possuem a resistência térmica e de deformação dos materiais termoendurecíveis, mas a maioria das propriedades são similares. Este polímero pode ser usado numa larga gama de temperaturas, entre -40°C – 80°C, podendo, em casos específicos ser utilizado até 120°C[20][21].

De uma forma geral, este material distingue-se pelas seguintes características[25]:

- Elevada resistência à abrasão e desgaste;
- Elevada resistência à tração e excelente resistência à propagação do rasgo;

- Boas características de amortecimento;
- Flexibilidade a baixas temperaturas;
- Elevada resistência a óleos, oxigénio e ozono.

Os TPU com base poliéter são essencialmente utilizados em aplicações onde a resistência à hidrólise e aos micróbios seja necessária. De entre as algumas aplicações típicas deste polímero, destacam-se[20][21]:

- Bens de consumo (solas para calçado, capas para telemóveis, vedantes);
- Automóvel (punhos, suportes, tiras de vedação, membranas de acabamento para revestimento de painéis e bancos);
- Eletrónica (cablagens, carcaças);
- Medicina (tubos, tampões auditivos).

3.1.2 Materiais Compósitos

Um compósito trata-se de um material composto por dois ou mais componentes, que diferem entre si na sua forma e composição química, e que não se misturam entre si de forma natural. A combinação destes diferentes componentes permite a obtenção de um produto com propriedades superiores e complementares, comparativamente com as propriedades de cada um deles isoladamente. As propriedades dos compósitos dependem quer da natureza dos materiais usados, quer do grau de ligação entre eles, através da interface. As elevadas resistência e rigidez específicas são uma combinação que lança os materiais compósitos para novas áreas, sendo que a grande capacidade de amortecimento e o baixo coeficiente de expansão térmica são características que podem ser adaptadas para aplicações específicas. Durante os últimos 25 anos, verificou-se um grande desenvolvimento de compósitos para variadas aplicações. A principal motivação desta grande evolução foi a possibilidade de se produzirem compósitos com altas propriedades mecânicas e baixas densidades, que pudessem substituir materiais usualmente utilizados. A combinação de polímeros de alto desempenho com reforços fibrosos de elevado módulo de elasticidade e resistência mecânica, permitiu a produção de novos compósitos com um grupo de propriedades específicas superiores ao aço e outros materiais. Assim, estes tipos de materiais são atualmente utilizados em várias aplicações como na indústria espacial, material desportivo, indústria automóvel, civil, saúde, entre outras. De forma genérica, um material compósito é constituído por[26][27][28]:

- matriz, considerada como fase contínua, que tem como objetivo a transferência de tensão para outras fases, a manutenção das fibras na orientação apropriada e a proteção contra abrasão e efeitos ambientais, podendo ser de base metálica, cerâmica ou polimérica;
- reforço, considerada como fase dispersa, que tem como objetivo o aumento das propriedades da matriz, como a dureza, resistência à tração, tenacidade ou rigidez, podendo ser estrutural ou constituída por partículas ou fibras.

Na Figura 1, encontram-se representadas de forma ilustrativa, as fases anteriormente apresentadas.

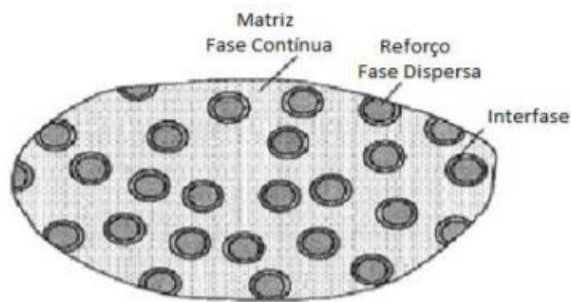


Figura 1: Composição e Fases do material compósito[28]

O reforço tem como função suportar as cargas que são exercidas no compósito, suportando entre 70% a 90% da carga. Confere aos compósitos propriedades mecânicas nomeadamente a rigidez, a resistência, a estabilidade térmica e o isolamento elétrico. Através da variação do tipo de reforço, pode-se obter uma variação apreciável de algumas das principais propriedades dos materiais compósitos[29].

A matriz tem a função de unir o reforço entre si e transfere as cargas para este. A matriz dá a forma aos compósitos e proporciona uma boa qualidade de acabamento superficial aliada a uma proteção do reforço contra-ataques químicos e desgaste. O desempenho do compósito depende do material selecionado para a matriz porque algumas das características, como é o caso da ductilidade e da resistência ao impacto, são influenciadas pelo material da matriz. O modo de falha bem como a compatibilidade com o reforço também são fortemente afetados pelo tipo de material utilizado como matriz[28].

A tabela 8, apresenta os principais requisitos que um material de matriz deve conter.

Tabela 8: Requisitos desejáveis para materiais de matriz em compósitos[29].

Propriedades mecânicas	<ul style="list-style-type: none"> • Elevada resistência à tração; • Ductilidade; • Resistência ao corte; • Tenacidade; • Resistência ao impacto
Propriedades térmicas	<ul style="list-style-type: none"> • Resistência a temperaturas extremas; • Coeficiente de dilatação térmica próximo da fibra; • Baixa condutividade térmica
Propriedades Químicas	<ul style="list-style-type: none"> • Boa adesão às fibras; • Resistência à degradação em ambientes quimicamente agressivos; • Baixa absorção de humidade
Outras Propriedades	<ul style="list-style-type: none"> • Baixo custo; • Solidificação ou cura rápidas

Os compósitos podem ser classificados em quatro grupos principais os compósitos reforçados por partículas, reforçados por fibras descontínuas, reforçados por fibras contínuas e compósitos estruturais, como apresenta-se no fluxograma da figura 2. Pode-se verificar que existem inúmeras combinações para constituir um material compósito[27][30].

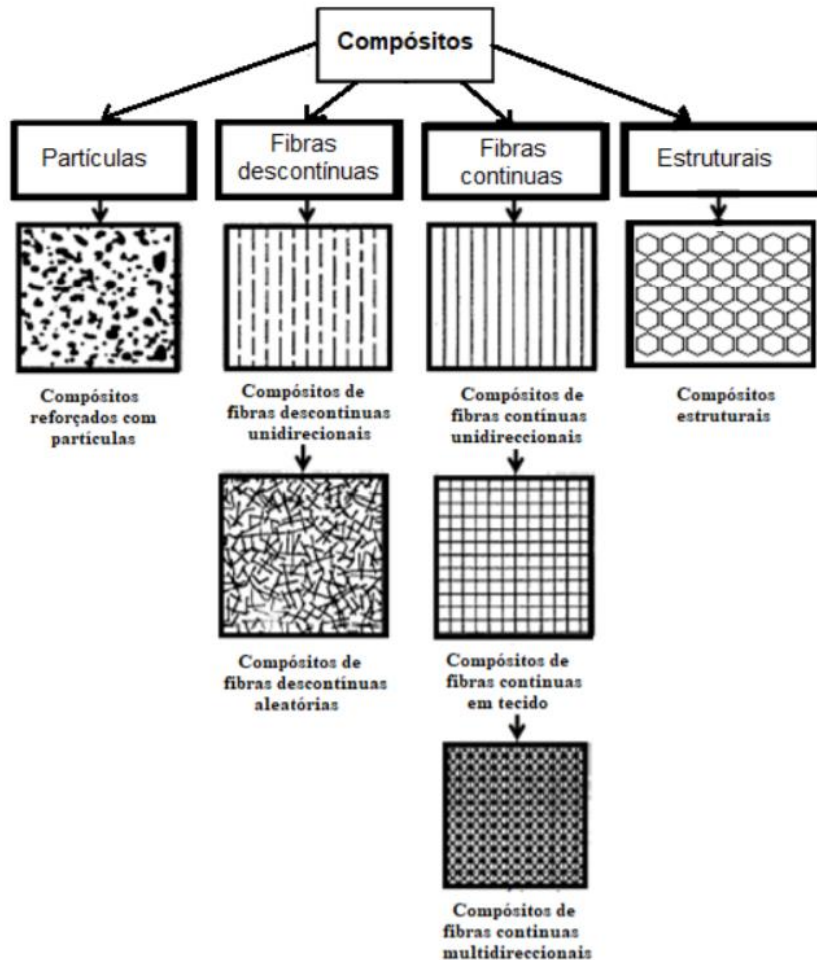


Figura 2: Classificação dos materiais compósitos[30].

Por outro lado, e a título de exemplo, a introdução de fase dispersa numa matriz polimérica permite o incremento de certas propriedades mecânicas, como a resistência ao impacto. As matrizes, imiscíveis a nível macroscópico, podem ser elastoméricas, termoendurecíveis ou termoplásticas. A matriz polimérica têm a função de suportar as fibras ou partículas, absorver as deformações e conferir resistência quando o material é sujeito a compressão. Estas matrizes caracterizam-se ainda pela sua normalmente baixa resistência e baixo ponto de fusão. Por seu turno, as fibras permitem tipicamente aumentar a tenacidade (resistência ao impacto) em extensão, não sendo por isso irrelevante a orientação das mesmas no seio da matriz[31]. Até finais do séc. XX, os compósitos de matriz termoplástica foram sempre bastante menos utilizados em aplicações estruturais do que os de matriz termoendurecível tradicionais. A principal razão relacionava-se com a inexistência de tecnologias que permitissem impregnar convenientemente fibras longas de reforço com termoplásticos, o que conduzia à obtenção de

compósitos apresentando fraca adesão fibra/matriz e, conseqüentemente, propriedades mecânicas mais baixas. O problema era, ainda, agravado pela inexistência de pré-impregnados de suficiente qualidade para permitir fabricar estruturas compósitas com propriedades reproduzíveis e que possuíssem as combinações fibra/termoplástico mais interessantes. Estas dificuldades em substituir matrizes termoendurecíveis por termoplásticas nos compósitos resulta da própria natureza dos dois tipos de polímero. De facto, se se considerar a necessidade da matriz se encontrar no estado líquido para que se garanta uma conveniente molhagem das fibras, facilmente se verificará que os termoplásticos apresentam, no estado fundido, viscosidades no intervalo 50-2000 Pa s-1, enquanto que as resinas termoendurecíveis não ultrapassam os 50 Pa s-1 antes de iniciarem a reação de cura. Tendo-se, no entanto, verificado que os requisitos de tolerância ao dano impostos em aplicações avançadas só podiam ser cumpridos com a utilização de matrizes termoplásticas, as tentativas de desenvolvimento de novos métodos de produção e transformação de compósitos baseados em matrizes termoplásticas redobraram-se a partir de finais do século XX. Em consequência, métodos mais adequados de produção de pré-impregnados de matriz termoplástica surgiram e adquiriram-se novos conhecimentos ao nível da sua transformação.[32]

Os compósitos fibrosos constituem-se pela união de fibras longas numa matriz. O arranjo das fibras pode ser unidirecional ou em diferentes direções. Os compósitos laminados apresentam-se como resultado da laminagem de diferentes materiais, originando muitas vezes estruturas tipo “sanduíche”, em que um material tipicamente mais macio é revestido de outro material mais resistente mecanicamente. A combinação de materiais laminados e fibrosos permite a obtenção de compósitos laminados, reforçados com fibras longas alinhadas em determinadas direções. Esta combinação é particularmente muito interessante, na medida em que permite a maximização de propriedades mecânicas de uma estrutura. Os compósitos particulados resultam da imersão de partículas de um ou mais materiais numa matriz[27].

Como referido, existem diferentes tipos de compósitos, consoante o material da matriz e da fase dispersa, muitas vezes também designado como reforço ou carga. Existem vários fatores que influenciam as características dos compósitos, tais como as propriedades individuais de cada componente, a distribuição e dispersão da fase dispersa, o tamanho, formato e porosidade da carga e a sua adesão interfacial. Outro fator importante e intrínseco das fibras relaciona-se com a sua relação comprimento/diâmetro. Quanto maior esta razão for, maior será a resistência da

fibra e, conseqüentemente, o compósito onde se insere. A orientação das fibras, como referido anteriormente, é igualmente importante. A resistência será máxima quando as mesmas se encontrarem orientadas na mesma direção que o esforço exercido, atingindo o valor mínimo quando colocadas na direção exatamente perpendicular. Por outro lado, quanto maior for a fração em volume de fibras no compósito, maior será a resistência do mesmo, até um valor limite de 80%, a partir do qual deixa de ser possível a “molhagem” completa das fibras pela matriz. De entre os vários tipos de compósitos, são de particular interesse os compósitos constituídos por uma matriz polimérica e reforçados com fibras, sendo que estas podem ser introduzidas de forma contínua (alinhada) ou descontínua (de forma dispersa). Este tipo de compósitos, com a introdução das fibras, proporcionam uma melhoria significativa da resistência do material. Um dos exemplos mais comuns de fibras utilizadas em compósitos poliméricos são as fibras de vidro, que consistem em filamentos contínuos, e permitem o aumento da resistência à tração. Estas fibras podem ser policristalinas ou amorfas. Outra característica importante é o comprimento crítico para a obtenção de um compósito resistente, o qual pode ser estimado a partir da Equação 1[27][29][30]:

$$\text{comprimento da fibra} > 15 \frac{\sigma_f d}{\tau_c},$$

em que σ_f é a resistência da fibra à tração, d o diâmetro da fibra e τ_c a tensão de corte na interface fibra-matriz[27].

Os compósitos termoplásticos proporcionam várias vantagens comparativamente com os compósitos termoendurecíveis, como por exemplo em termos de custos de processamento e flexibilidade de design. Na produção de compósitos, diversos processos são utilizados industrialmente, para a obtenção de peças ou estruturas com excelentes propriedades mecânicas e químicas, termicamente estáveis, leves e com *designs* inovadores. Os métodos mais comuns para o processamento de compósitos termoplásticos são a mistura de solução em fusão, extrusão, moldação por compressão e/ou a moldação por injeção[33][34][12].

Uma extrusora é mais geralmente utilizada para o processamento de termoplásticos, uma vez que permite que o material seja extrudido numa área de secção reta uniforme. Após a propulsão do material, o mesmo é misturado, comprimido e moldado. No método de moldação por injeção, o polímero termoplástico é aquecido até à sua fusão, dentro de uma câmara cilíndrica, o qual, em seguida, sob calor e pressão, flui para encher um molde na extremidade da câmara. O

material é pressionado hidraulicamente a partir da câmara de um molde relativamente frio, através de um êmbolo ou pistão, obtendo-se assim o material plástico[35].

As propriedades dos compósitos são influenciadas pelos parâmetros de processamento no caso de compósitos termoplásticos, tais como o tempo de mistura, velocidade de agitação e temperatura de processamento. Por exemplo, já foi verificado que a resistência à tração varia de forma não linear com a velocidade de agitação da mistura e com o tempo, indicando que o comprimento da fibra e as condições de dispersão possuem um valor ótimo para obter a melhor performance[33].

Um exemplo prático do interesse na utilização de materiais compósitos pode ser apontado pelas aplicações estruturais num Boeing 767, em que estes materiais constituíam 3% do peso total, correspondendo a uma diminuição de 635 kg do peso total do avião. Atualmente, com o desenvolvimento do Boeing 787, os materiais compósitos passaram a ter uma quota de cerca de 50%, reduzindo a utilização de materiais como alumínio, titânio ou aço para 20, 15 e 10%, respetivamente. Assim, além dos benefícios alcançados em termos de redução de custo e de peso final do produto final, com a introdução de materiais compósitos, outras melhorias podem ser verificadas em termos do seu desempenho, como por exemplo na resistência à corrosão e à fadiga. Outro exemplo é observado em cascos de navios, em que as suas estruturas sandwich, com kevlar/epóxi nas faces e espuma de PVC no interior, conferem maior resistência ao impacto e menor peso[30][36].

A utilização de fibras naturais, nomeadamente vegetais, como reforços em materiais poliméricos tem crescido em substituição das fibras sintéticas, de especial as fibras de vidro, para diferentes setores industriais, tais como embalagens, automóvel, e até mesmo no setor da construção. Isto acontece devido às características únicas que as mesmas possuem, e já mencionadas, aliados ao seu menor custo, estimando-se em cerca de 17 a 40% inferior ao custo das fibras de vidro. Neste caso, apenas as matrizes possíveis de processar a temperaturas inferiores a 230°C podem ser usadas, para que não ocorra a degradação das fibras. Por exemplo, termoplásticos técnicos como PA e PC requerem temperaturas de processamento superiores a 250°C, não sendo por isso desejáveis para este tipo de compósitos. Por isso, os polímeros mais comumente utilizados para este fim são o PE, PP, PS, TPO, TPU e PVC, principalmente por causa das suas temperaturas de processamento não serem superiores a 200°C[34].

No método de mistura por fusão, a fibra é adicionada à matriz termoplástica em fusão, sendo a mistura otimizada com o uso de agitação, a uma temperatura, tempo e velocidade de rotação específicos. A adição das fibras à matriz termoplástica é efetuada com o auxílio de um solvente, com o objetivo de incrementar a adesão de ambos os materiais, em virtude das suas diferentes polaridades. Este solvente é depois retirado através de um tratamento em vácuo. Este método já foi inclusivamente utilizado, para preparar compósitos e LDPE com fibras curtas de sisal, utilizando o tolueno como solvente. Também vários exemplos de compósitos de poliolefinas com fibras naturais foram investigados, através deste processo[34].

Para a produção de compósitos termoplásticos, a dispersão de fibras é igualmente um parâmetro importante para a obtenção de consistência no produto final. Compósitos termoplásticos são flexíveis e exibem boas propriedades mecânicas. Contudo a percentagem de carga de fibra/reforço é limitada pelo processamento do compósito. As propriedades das fibras, a sua proporção no compósito e a interface fibra-matriz, determinam as propriedades e a performance dos compósitos. Outro aspeto importante é a estabilidade térmica destas fibras, tipicamente lenho celulósicas, que com o aumento da temperatura de processamento pode originar a pirólise das paredes celulares, contribuindo para a formação de carbono. Uma vez que a maioria dos materiais termoplásticos são processados a elevadas temperaturas, a estabilidade térmica das fibras às temperaturas de processamento é importante. Assim, os fatores chave no desenvolvimento de compósitos reforçados com fibras naturais são[37]:

- Estabilidade térmica das fibras;
- Características de adesão de superfície da fibra;
- Dispersão das fibras no caso dos compósitos termoplásticos.

A força de ligação entre a matriz e a fibra reforçadora é um fator determinante no desempenho de muitos compósitos poliméricos. Compósitos com baixa força de ligação matriz/fibra, falharão quando sujeitos a tensões, em ensaios transversais às fibras. Como referido, o processamento de compósitos termoplásticos com fibras naturais envolve a extrusão dos componentes até à temperatura de fusão, seguido de operações tais como moldação por injeção ou moldação por termoformação. Neste processo, as interações entre fibras e destas com a matriz são decisivas para as propriedades do compósito final. Por vezes, é observada que estas fibras não funcionam como reforço efetivo, devido à fraca adesão verificada. Por outro lado, as fibras de celulose tendem também a agregar-se e por isso a não se dispersarem em matrizes

poliméricas hidrofóbicas, dificultando assim a obtenção de uma distribuição uniforme da fibra na matriz. Por isso, a realização de um pré-tratamento às fibras com aditivos adequados que permitam uma melhor dispersão das mesmas na matriz, assim como o aumento da força de ligação entre ambos os componentes, é benéfico para as propriedades mecânicas do compósito. O nível de tratamento aplicado na superfície das fibras pode proporcionar um grande efeito na sua resistência mecânica. Estes aspetos relacionados com o desenvolvimento de compósitos com matriz polimérica são de grande relevância para aplicações nos mais diversos setores de engenharia. A adesão de um material a outro está associada ao estabelecimento de interações que podem de diferentes tipos, tais como: eletrostáticas, ligações de hidrogénio, ligações covalentes ou forças de Van der Waals. A natureza destas interações está associada à afinidade química entre a matriz e a fase dispersa. Geralmente, as fibras naturais (fase dispersa) são de natureza hidrofílica, enquanto o polímero (matriz) tem natureza hidrofóbica. A adesão pode ser efetuada através de cinco mecanismos principais, que podem ocorrer na interface isoladamente ou de forma combinada para efetivar esta ligação[33]:

- 1) Adsorção e molhamento: quando duas superfícies eletricamente neutras são colocadas em contacto, existe uma atração física que pode ocorrer pela molhagem de superfícies sólidas com líquidos. Para um efetivo molhamento da superfície da fibra, o líquido deve cobrir todas as irregularidades da fibra, para deslocar todo o ar contido nas reentrâncias da superfície;
- 2) Interdifusão: ligação entre duas superfícies poliméricas pela difusão das moléculas de uma superfície sobre a outra. A resistência dependerá da quantidade de entrelaçamento molecular e do número de moléculas envolvidas. Este mecanismo ocorre na presença de solventes e agentes plastificantes, e a quantidade de difusão depende da conformação molecular e dos constituintes envolvidos;
- 3) Atração eletrostática: Forças de atração ocorrem entre duas superfícies quando uma delas está carregada positivamente e a outra negativamente, da mesma forma como acontece nas interações ácido-base e ligações iónicas. A resistência da ligação dependerá da intensidade das cargas;
- 4) Ligação química: relacionado com a utilização de agentes de acoplamento nas fibras para melhorar a ligação entre as mesmas com a matriz. A ligação química é formada entre um grupo químico da superfície da fibra e um grupo químico compatível na matriz;

5) Adesão mecânica: pode ocorrer pelo entrelaçamento das suas superfícies. A resistência dessa interface, tensionada, será elevada se existir um grande número de reentrâncias na superfície da fibra, que possam ser preenchidas pela resina, favorecendo a adesão. A resistência sofrida por cisalhamento é muito significativa, dependendo do grau de rugosidade da superfície da fibra. Os aspetos geométricos não são os únicos fatores que causam adesão mecânica, já que a contração da resina durante o processo de cura, e a expansão térmica da fibra e da matriz, produz tensão de compressão e cisalhamento na superfície.

3.1.3 Materiais compósitos inteligentes

Os compósitos inteligentes podem ser fabricados com base nas ligas com memória de forma, também conhecidas por Shape Memory Alloys (SMAs).

O surgimento de materiais compósitos abriu portas para uma nova realidade, um mundo de novas oportunidades e de inovação tecnológica. Procura-se obter materiais mais fortes, mais leves, mais resistentes, materiais mais polivalentes. É no seguimento desta procura que surgem os materiais inteligentes, pois juntam as características das já muito estudadas ligas de memória de forma e todas as suas capacidades, com matrizes poliméricas, cerâmicas ou metálicas, obtendo um compósito polivalente e capaz de se adaptar novas condições de funcionamento[5].

No início nos anos 30 foram dados os primeiros passos no caminho de desenvolver ligas de memória de forma. Foi em 1932 que A. Ölander descobriu o comportamento termoelástico numa liga de Au-Cd. Mais tarde, em 1938, Greninger & Mooradian observaram a formação e o desaparecimento da fase martensítica de uma liga de cobre e zinco, simplesmente com o aumento e a diminuição da temperatura. Mas, foi em 1949, que Kurdjumov e Khandros conseguiram explicar o comportamento termoelástico associado ao efeito de memória de forma, reforçado por Chang e Read em 1951. Tinham nascido as ligas com memória de forma. No que diz respeito à liga de níquel titânio, esta foi desenvolvida em 1962, nos Naval Ordnance Laboratory e foi designada de NiTiNol (Nickel Titanium Naval Ordnance Laboratories).

Existem algumas ligas metálicas com memória de forma. No entanto, para que estas possam chegar a ser comercializadas é importante que possuam uma boa capacidade de recuperação da deformação ou que gerem uma força significativa durante o processo de transformação de fase (8% a 10% de recuperação). Assim as ligas mais comuns no mercado são o Ni-Ti, o CuAlNi e o CuAlZn[38].

3.2 Tecnologias de produção

Neste subcapítulo pretende-se apresentar algumas das principais técnicas atualmente utilizadas no processamento de materiais compósitos reforçados com materiais fibrosos, com vista a compreender de forma mais eficaz, no decorrer do presente relatório de *benchmarking*, quais as soluções que melhor poderão permitir um correto e eficaz desenvolvimento dos materiais preconizados. Existem, atualmente, diversas técnicas de produção de polímeros reforçados com fibras, sejam elas naturais ou sintéticas. A escolha da técnica mais adequada para o processamento de um determinado material compósito depende de vários fatores, tais como o custo de processamento, o tipo e forma da fibra, o tipo de polímero, as quantidades pretendidas e o nível de requisitos exigidos. Um conhecimento aprofundado sobre os diferentes métodos de produção de materiais compósitos permite uma seleção da técnica de fabrico mais adequada para cada caso concreto.

As técnicas mais utilizadas e estudadas para a produção de materiais compósitos e materiais avançados, as quais serão alvo de abordagem nos subcapítulos seguintes, englobam a moldação por compressão, extrusão, laminagem, moldação por injeção, entre outros.

3.2.1 Moldação Manual (Hand-Lay-Up)

O processo de moldação manual, comumente designado por *hand lay-up*, trata-se de um dos processos mais antigos para a formação de materiais compósitos, sendo utilizado na indústria para a construção de embarcações, piscinas, torres de arrefecimento, banheiras, entre outros componentes. Este processo, representado na Figura 3, abrange, de forma genérica, as seguintes etapas[39]:

- 1) Aplicação de um gel de revestimento na superfície, o *gel coat*, a qual deve ser lisa e limpa;
- 2) Sobreposição das camadas de fibra a utilizar sobre a superfície do molde, previamente revestida com o *gel-coat*;
- 3) Impregnação manual do material polimérico, em forma de resina, com o auxílio de um pincel ou rolo, para que a distribuição da mesma seja uniforme.

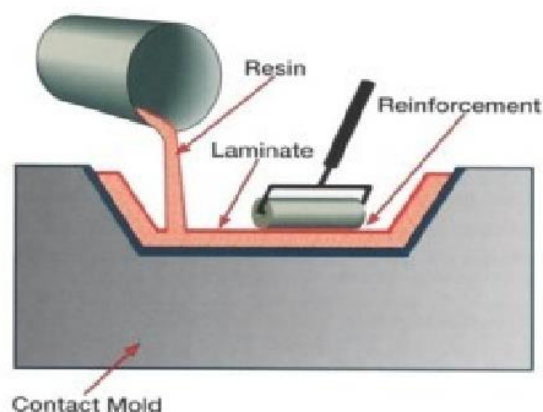


Figura 3: Processo de Hand-lay-up[39]

Neste sentido, a espessura dos materiais compósitos obtidos por este tipo de processo é definida pela quantidade de camadas de materiais fibrosos e de resina. Neste processo, as resinas com maior potencial de utilização são as de poliéster, viniléster, epóxi e fenólica[39].

Tabela 9: Vantagens e Desvantagens associadas ao processo

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> • Molde pode ser construído a partir de qualquer material que suporte a pressão exercida pelo rolo; • Adequado para produção de componentes de elevadas dimensões, em quantidades pequenas ou médias (entre 1 – 1000 peças); • Adequado para peças com formas complexas; • Pouco exigente em termos de equipamentos e ferramentas necessárias, tornando-se, por isso, num processo económico; • Diversidade de tipos de material e de fornecedores, passíveis de utilização. 	<ul style="list-style-type: none"> • Qualidade dos componentes obtidos dependente da capacidade do operador, dificultando a homogeneidade dos mesmos; • Elevada quantidade de mão-de-obra; • Componentes obtidos com propensão para apresentarem uma percentagem elevada de vazios, principalmente quando aplicados elevados teores de fibras; • Propriedades mecânicas reduzidas, quando comparadas com as obtidas por outras tecnologias menos manuais; • Risco para a saúde, nomeadamente decorrentes da libertação de estireno proveniente de algumas resinas, sendo necessários equipamentos de ventilação e extração; • Resinas devem apresentar valores de viscosidade relativamente baixos, de forma a facilitar a sua impregnação nas fibras.

3.2.2 Spray-up

Com algumas semelhanças ao processo de *hand lay-up*, no processo de *spray-up* a fibra é cortada numa pistola manual e simultaneamente misturada com um spray de resina, na direção onde se pretende aplicar a mistura, tipicamente na superfície de um molde, sendo seguidamente uniformizada a espessura da mesma com o auxílio de rolos, os quais permitem igualmente a extração de bolhas de ar. Posteriormente, os materiais depositados são deixados a curar em condições atmosféricas, como demonstrado, na Figura 4[40].

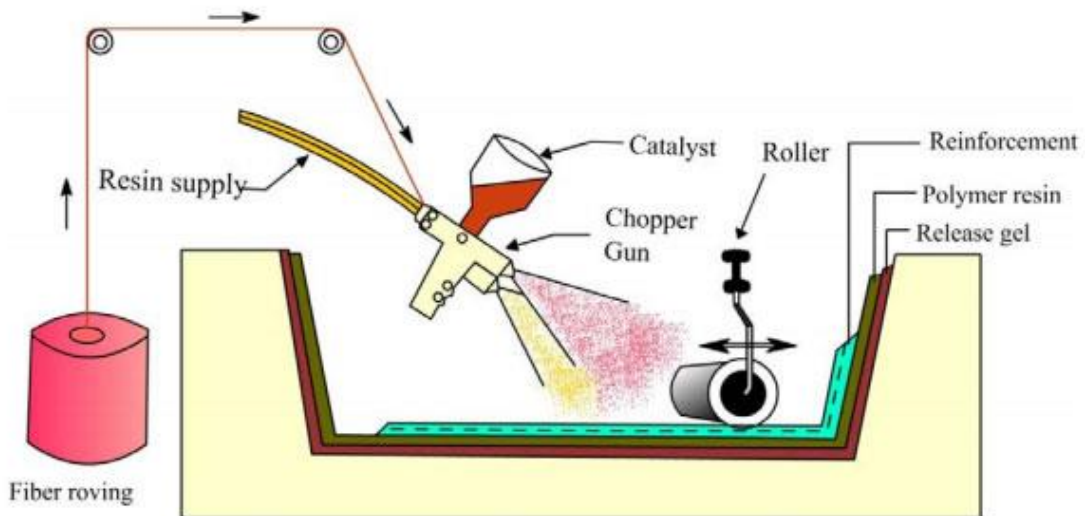


Figura 4: Processo de *Spray-up* e os respetivos componentes.

Este processo é frequentemente utilizado na produção de peças de médias a grandes dimensões, e com diferentes graus de complexidade de perfil de forma. Contudo, este processo apresenta algumas vantagens e desvantagens, apresentadas na Tabela 10, que devem ser consideradas[40].

Tabela 10: Principais vantagens e desvantagens do processo de *spray-up*

Vantagens	Desvantagens
-----------	--------------

<ul style="list-style-type: none"> • Baixo custo de processamento de materiais compósitos; • Utilização de equipamentos leves, ergonómicos e de baixo custo; • Manutenção simples e rápida; • Adequado para casos em que se pretende aplicação homogénea de fibras curtas; • Processo mais rápido e preciso que <i>hand-lay-up</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> • Resinas a utilizar devem ter viscosidades moderadas para poderem ser pulverizadas; • O teor elevado de estireno nas resinas de pulverização confere um caráter mais nocivo às mesmas, verificando-se limitações legislativas cada vez mais rigorosas relativamente à emissão destes gases para a atmosfera.
--	--

Um dos parâmetros mais importantes a controlar neste tipo de processo consiste na escolha adequada do tipo de fibra a utilizar, no que à sua forma diz respeito. Neste sentido, e no caso concreto deste processo, a fibra mais adequada deve ser em forma de mecha, mais comumente designada por *roving*, demonstrado na Figura 5. Um *roving* de fibra consiste num feixe de filamentos não ligados entre si, em que cada filamento possui um diâmetro compreendido entre os 13 – 24 µm e pesos entre os 300 – 4800 tex, equivalentes a 0,3 – 4,8 g m⁻¹[40].



Figura 5: Roving de fibra.

3.2.3 Moldação por Compressão

O processo de moldação por compressão, consiste, genericamente, na deposição dos materiais a serem processados na cavidade de um molde, sendo posteriormente aplicados calor e pressão, durante um determinado ciclo de tempo, necessário até à formação e uniformização do componente pretendido. De seguida, o componente processado é ainda sujeito a um processo de arrefecimento, tipicamente através da circulação de água fria na camisa dos pratos de aquecimento, sob a mesma pressão, para consolidação do material compósito, antes da sua extração.

Durante este processo, ocorre a reação entre o polímero e o material fibroso, sendo obtido o material desejado. O calor permite, portanto, que o material possa amolecer, e a pressão

permite o preenchimento uniforme da cavidade do molde. Este processo pode ser utilizado para os diferentes tipos de polímeros existentes, nomeadamente termoplásticos ou termoendurecíveis. Na Figura 6, encontra-se esquematizado o processo de moldação por compressão[41].

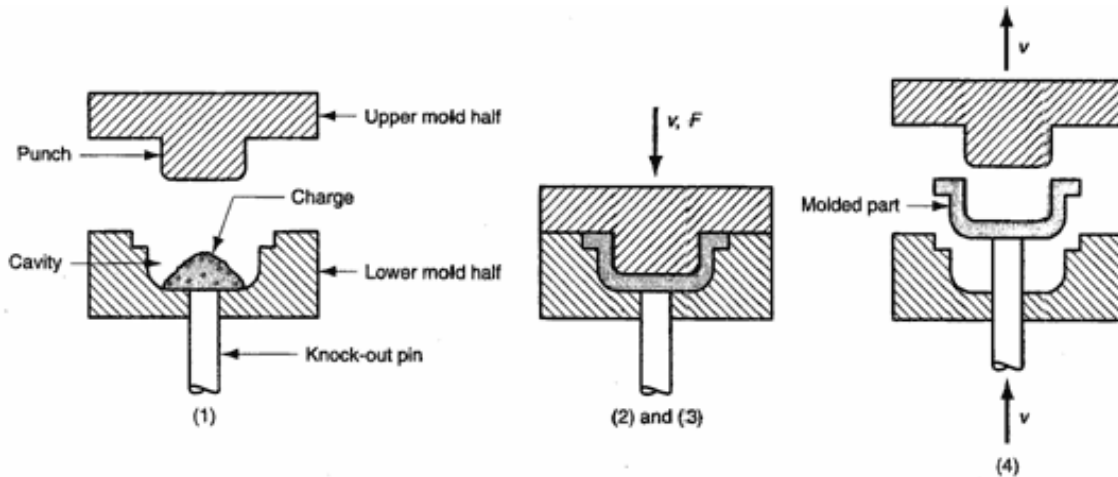


Figura 6: Processo de Moldação por Compressão[41].

Devido à temperatura e pressões possíveis de atingir nesta técnica de processamento, os moldes a utilizar deverão ser, preferencialmente, de base metálica, sendo os parâmetros processuais dependentes de vários fatores, como o tipo de matriz e de material fibroso de reforço a utilizar[42].

Como principais vantagens, este processo permite a incorporação de maiores quantidades de reforço, incrementando assim as propriedades mecânicas do produto final. Além disso, as velocidades de produção, tolerâncias dimensionais e repetibilidade do processo aumentam significativamente relativamente a outro tipo de processos, como o de *hand lay-up*. Por isso, pelas razões apontadas, este tipo de processo é dos mais adequados para a obtenção de um elevado número de componentes de baixo custo unitário, ainda que requeira um investimento considerável[42].

3.2.4 Infusão por Vácuo

O processo de infusão por vácuo é o processo mais simples e económico para a obtenção de um material compósito, em que seja necessário a aplicação de pressão. De uma forma simplificada, este processo, ilustrado na Figura 7, pode ser caracterizado pelo seguinte conjunto de etapas[41]:

- 1) Aplicação de desmoldante e *gel-coat* na cavidade do molde aberto onde o material compósito será formado;
- 2) Colocação do material fibroso de reforço no molde;
- 3) Isolamento do sistema onde ocorrerá o processo;
- 4) Aplicação de vácuo no sistema, o que origina a extração do ar existente, o fluxo do material polimérico, em forma de resina, sobre o material fibroso e a conformação do material compósito;
- 5) Cura e consolidação do material compósito, a qual pode ser realizada ao ar atmosférico, em estufa ou em autoclave;
- 6) Extração do material compósito.

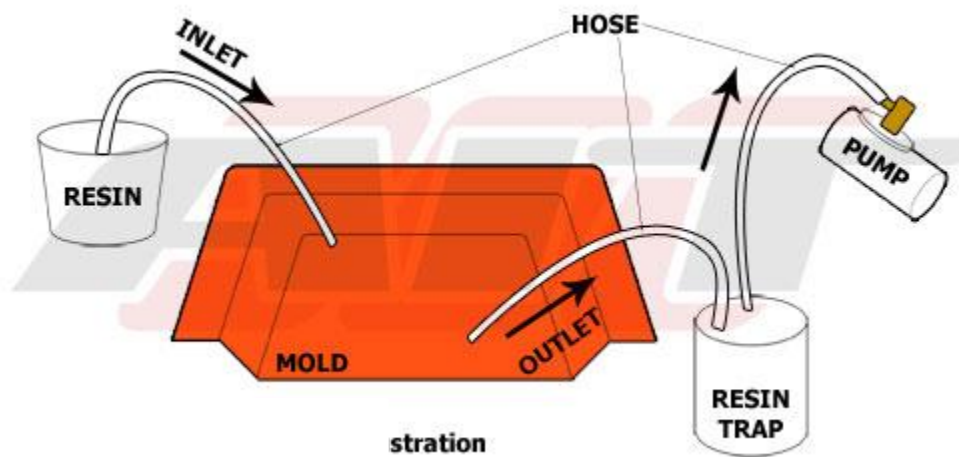


Figura 7: Processo de Infusão por Vácuo[41].

No processo de infusão por vácuo, são tipicamente utilizados polímeros termoendurecíveis, sob a forma de resinas, sendo as mais vulgares a epóxi, poliéster e vinil éster de baixa viscosidade. Relativamente aos materiais fibrosos, os mesmos devem ser utilizados na forma de não orientada ou de tecidos orientados direccionalmente. Estes materiais fibrosos devem possuir uma relativamente baixa densidade, de forma a permitir um melhor fluxo da resina.

Em termos de aplicações, este processo é muitas vezes utilizado para a produção de painéis sanduíche e outro tipo de componentes até 15 cm e 200 m², como por exemplo cascos de barcos, carroçarias de carruagens de comboios, camiões e autocarros, pás de geradores eólicos, entre outras aplicações, demonstradas, Figura 8[41].



Figura 8: Exemplos de aplicações de Infusão por vácuo

Na Tabela 10, são apresentadas algumas das principais vantagens e desvantagens deste tipo de processo de produção de materiais compósitos, que devem ser tomadas em consideração.

Tabela 11: Principais vantagens e desvantagens da infusão por vácuo[41].

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> • Particularmente indicado para peças de dimensões médias ou grandes, com formas relativamente complexas e exigentes; • Eliminação de defeito que podem ocorrer nos métodos de moldação manual; • Menor custo associado à utilização de moldes, uma vez que o contra-molde deixa de ser necessário, além de o mesmo poder ser feito a partir de qualquer material, desde que resistente à pressão exercida pelo vácuo; • Redução da emissão de voláteis perigosos para a saúde humana; • Possibilidade de aproveitar ferramentas anteriormente utilizadas em moldação manual 	<ul style="list-style-type: none"> • Produtividade relativamente reduzida; • Necessidade de controlo cuidadoso do processo para garantir a igualdade de pressão; • Necessidade de utilização de resinas de baixa viscosidade, de forma a garantir uma melhor impregnação, o que implica menores propriedades mecânicas; • Necessidade de bastante mão-de-obra.

3.2.5 RTM (Resin Transfer Moulding)

O processo de RTM, também conhecido como moldação por transferência de resina, é um processo semelhante ao processo de infusão por vácuo, mas para o qual é requerido um contra-molde. Assim, este processo pode ser dividido em duas fases distintas, nomeadamente: enchimento do molde e cura do material compósito. Assim, o material de reforço é colocado no molde, de acordo com as dimensões especificadas, e o material de matriz, sob a forma de resina

pré-catalisada, é introduzido por ação de pressão controlada, permitindo o preenchimento do molde e a impregnação do material de reforço, como ilustrado na Figura 9. Com o molde preenchido, o excesso de resina é retirado e, após o tempo de cura da resina, é obtido o produto final[43].

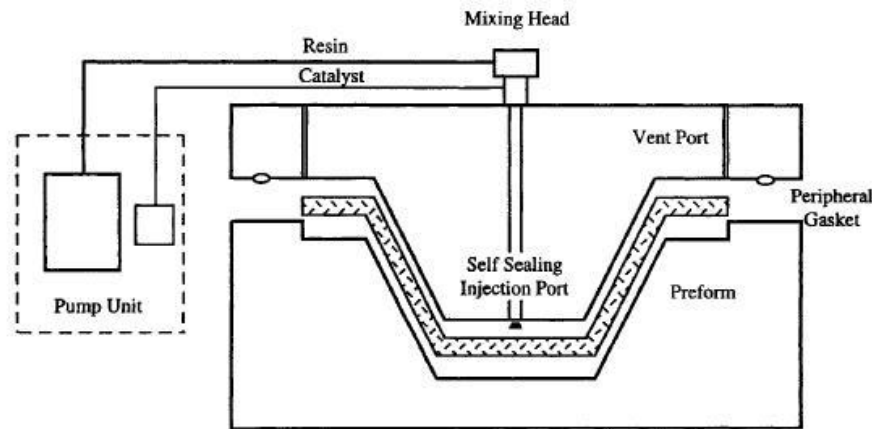


Figura 9: Processo de RTM[43].

A qualidade do produto final é dependente do completo e eficiente preenchimento das cavidades do molde e que todo o ar no seu interior seja extraído. A partir deste processo é possível obter-se uma grande variedade de componentes de elevado desempenho em vários setores, como a indústria automóvel, sendo compatível com uma alargada quantidade de materiais de matriz e de reforço. Contudo, este processo apresenta algumas vantagens e desvantagens, apresentadas no Quadro 8, que devem ser consideradas[43].

Tabela 12: Vantagens e Desvantagens apontadas ao processo[43]

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> Baixo custo de mão de obra requerido; Simplicidade de ferramentas necessárias; Tempo de ciclo de produção satisfatórios; Possibilidade de automatização do processo; Pouco desperdício de material; Reduzida emissão de gases. 	<ul style="list-style-type: none"> Complexidade e custo dos moldes por vezes envolvidos; Cura parcial dos materiais compósitos no molde, atrasando os tempos de ciclo de produção.

3.2.6 Extrusão

A extrusão é o método de processamento de polímeros mais comumente usado para a obtenção de materiais compósitos de modo contínuo. De uma forma simplificada, neste processo, o material é alimentado, na forma de pó ou grânulos, tipicamente designados também como *pellets*, através de uma espécie de funil, a tremonha, sendo aquecido até ao seu ponto de fusão

e forçado a sair continuamente através de um canal na secção final do equipamento, designado como feira, contido cabeça de extrusão.

Este equipamento é constituído por um cilindro oco, aquecido por um conjunto de resistências elétricas controladas individualmente, dentro do qual gira um parafuso de Arquimedes, a uma velocidade de rotação constante e regulável. O parafuso de Arquimedes trata-se, aliás, de um dos componentes-chave deste processo, uma vez que o seu comprimento e a variação do seu diâmetro ao longo do mesmo têm um impacto significativo no comportamento dos materiais. A forma final do material extrudido é tipicamente definido pela geometria da secção transversal da cabeça de extrusão. Neste sentido, e tal como pode ser observado na Figura 10, num equipamento de extrusão podem-se distinguir três zonas distintas, nomeadamente[44]:

- Zona de alimentação, onde o material é introduzido, transportado e aquecido até ao seu ponto de fusão, em que o parafuso de Arquimedes apresenta um diâmetro mínimo e constante;
- Zona de compressão, que interliga as zonas de alimentação e de medição, caracterizada pela diminuição do espaço de circulação do polímero, em virtude do aumento do diâmetro do parafuso, levando a um aumento de pressão e à compressão das partículas de polímero;
- Zona de medição, na extremidade oposta à da zona de alimentação, caracterizada pela manutenção do diâmetro do parafuso constante, para uma efetiva homogeneização do polímero.

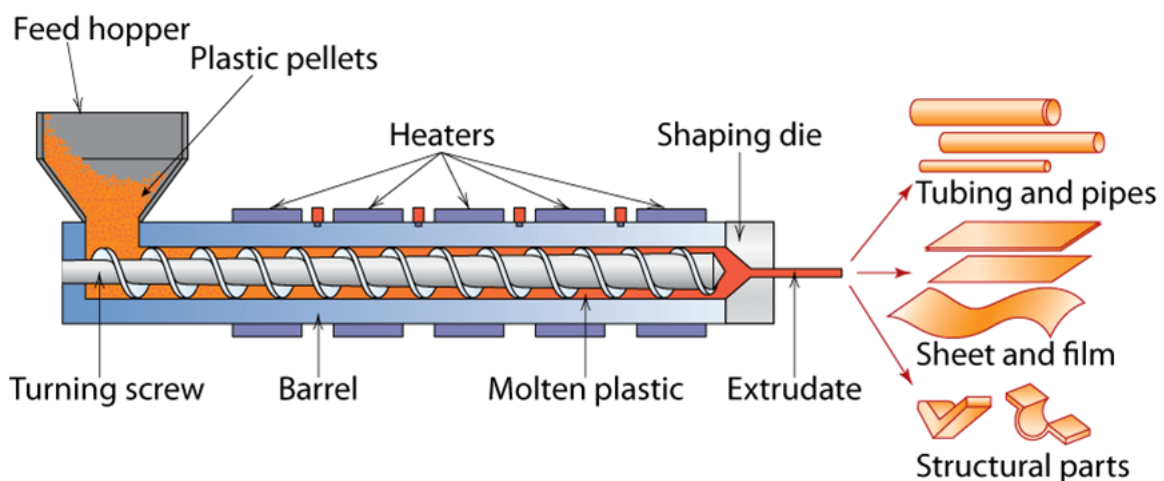


Figura 10: Processo de extrusão[44].

As extrusoras podem ser caracterizadas como sendo monofuso ou de duplo fuso, se apresentarem, respetivamente, um ou dois parafusos de Arquimedes, sendo as suas características definidas mediante o produto e a forma final do mesmo que se pretenda obter. No caso de extrusoras de duplo fuso, as mesmas podem ainda ser caracterizadas pelo seu funcionamento em ação co-rotativa ou contra-rotativa[45].

Na ação co-rotativa, os dois parafusos rodam no mesmo sentido, facilitando uma mistura longitudinal do produto e a criação de um efeito de auto-limpeza nos elementos do fuso. Contudo, a produtividade alcançada com este tipo de ação é relativamente baixa. Na ação contra-rotativa, os dois parafusos rodam em sentidos opostos, proporcionando uma boa eficiência no transporte do produto e eficiente pressurização. Contudo, ao contrário do sistema de ação co-rotativa, este sistema apresenta uma ineficiente mistura longitudinal.

Um dos problemas mais comuns do processo de extrusão relaciona-se com a presença de substâncias voláteis nos materiais, como a humidade. De forma a contornar esta questão, pode ser, por isso, acoplada uma zona de desgaseificação ou desvolatilização, que permite a remoção destas substâncias após a alimentação da matéria-prima na linha de extrusão. Este aspeto levará a uma economia de custos, nomeadamente de energia e de manutenção, facilitando também o manuseamento da matéria-prima[45].

Tendo em conta o grau de complexidade deste tipo de processo, devem ser consideradas algumas propriedades intrínsecas dos polímeros a utilizar para que a obtenção de materiais compósitos seja viável, nomeadamente[46]:

- Viscosidade, uma vez que na gama típica de temperaturas de extrusão, os polímeros fundidos possuem viscosidades da ordem dos 10^2 a 10^4 Pa s. Isto leva a que o n^o de Reynolds seja muito baixo, implicando um regime laminar de escoamento, e o desenvolvimento de pressões elevadas na feira, entre outros motivos;
- Elasticidade dos polímeros fundidos;
- Condutividade térmica, geralmente cerca de $0,2 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$, originando que as etapas de fusão e arrefecimento sejam ineficazes e implicando desta forma consumos elevados de energia. Porém, o efeito conjugado da baixa condutividade térmica e do comportamento viscoelástico garante ao material fundido a consistência mecânica necessária para suportar o trajeto entre a feira e a unidade de arrefecimento;

- Cristalinidade, uma vez que, na etapa de arrefecimento ocorre uma organização estrutural dos materiais, a qual determina as suas propriedades óticas e mecânicas;
- Temperatura de processamento, uma vez que alguns polímeros e fibras apresentam maiores dificuldades para suportar as temperaturas e os tempos de residência inerentes à extrusão sem sofrerem níveis indesejáveis de degradação térmica. Nestes casos, as condições operatórias são mais limitadas, podendo ser eventualmente necessário recorrer a algum tipo de aditivação específica, como estabilizadores térmicos;
- Comportamento higroscópico, pelo que certos polímeros devem ser secos antes do processo de extrusão, de forma a evitar a libertação de vapor de água sob a forma de vazios presentes no produto final.

Em termos de processamento, cada composto requer um tempo de residência na extrusora para a mistura, incorporação e desgaseificação serem promovidas, tendo então em conta que o comprimento da zona de processamento do fuso deverá ser o suficiente para a formulação correta do composto. Contudo, por outro lado, o comprimento do fuso não deverá igualmente ser demasiado longo, para que não ocorra degradação do produto, além do aumento no consumo de energia inerente[46].

No caso concreto da extrusão de compostos com fibras, normalmente a limitação do equipamento está na capacidade de incorporação/alimentação da fibra, uma vez que a mesma pode originar dificuldades no processamento do composto se a quantidade introduzida for excessiva. Esta limitação pode, no entanto, ser resolvida com o aumento da rotação da extrusora. Embora o aumento da produção não seja linear ao aumento de rotação dos eixos da extrusora, devido à perda de eficiência do transporte, é possível com o aumento da rotação do fuso aumentar a alimentação e, conseqüentemente, o escoamento da extrusora[46].

4 Tendências e Oportunidades

O recurso aos materiais compósitos deve-se às suas propriedades mais atrativas, nomeadamente a elevada resistência específica e ao elevado módulo de elasticidade específico, garantindo estruturas extremamente rígidas e leves, o que potencialmente significa grande poupança de peso. Estas propriedades aliadas à sua excelente resistência à fadiga, fácil formabilidade, resistência à corrosão, baixo coeficiente de expansão térmica e boas características de amortecimento, torna os materiais compósitos ideais para operarem em ambientes com condições severas[47].

Por outro lado e atendendo à sua heterogeneidade, as propriedades estruturais dos compósitos laminados podem também ser ajustadas aos requisitos dos projetos, pela escolha do material da matriz, do material das fibras de reforço, da orientação das fibras de reforço e da sua fração volúmica em cada camada, do número de camadas e da sequência do seu empilhamento, a possibilidade de selecionar um revestimento, permitindo desta forma fazer um melhor enquadramento ao ambiente envolvente, em conformidade com a aplicação pretendida[26].

As múltiplas possibilidades da elaboração de projetos com a incorporação destes materiais, acompanhando a exigência requerida nas aplicações tecnologicamente mais evoluídas, e pela diligência cada vez mais presente na obtenção de resultados, leva a uma necessidade crescente de conhecer cada vez melhor o comportamento das novas estruturas obtidas, e perceber o seu correto funcionamento físico e mecânico. Neste campo, as estruturas obtidas com estes materiais permitem, pela facilidade de embebedimento de sensores, monitorizar em tempo real, desde o momento de produção, e durante todo o tempo de vida útil do material ou estrutura. Cada vez mais é claro que, os materiais compósitos têm tido cada vez mais aplicações em tudo um pouco que nos rodeia no dia-a-dia, visto que os vários estudos têm permitido um alargamento do conhecimento deste tipo de material contribuindo para uma diminuição do preço e pelo facto de terem adquirido comportamentos mecânicos cada vez melhores associados a uma baixa densidade. As fibras de vidro aliadas a matrizes de poliéster insaturado são hoje em dia usadas no fabrico de carcaças de automóveis, cascos de barcos, piscinas, silos e tanques, já a resina epóxi reforçada com fibra de vidro é comumente utilizada em circuitos impressos e componentes para a indústria eletrónica, como é o caso de placas pré-sensibilizadas. Encontram-se também compósitos à base de fibras celulósicas e resina fenólica aplicados em laminados para o revestimento de móveis e divisórias, engrenagens e circuitos

impressos. As fibras de carbono com uma matriz de poliamida são utilizadas frequentemente no fabrico de peças para a indústria aeronáutica e aeroespacial devido à sua resistência a altas temperaturas. As fibras de carbono com uma matriz epóxi encontram-se bastante em equipamentos de desporto e reatores industriais. Relativamente às fibras de poliamida aromática com resina epóxi encontram-se aplicações na produção de tubos resistentes a altas pressões para a indústria do petróleo. Também se encontram fibras de poliamida aromática com matriz de poliamida para o fabrico de peças resistentes ao calor para a indústria aeronáutica e aeroespacial[48].

Uma das principais aplicações dos compósitos poliméricos com fibras vegetais tem sido na indústria automóvel, nomeadamente nos painéis das portas, painéis de instrumentos, capas internas do motor, para-sóis, forros de arranque, filtros do óleo e do ar e encostos dos bancos. O seu uso tem-se igualmente mostrado promissor na construção civil e na produção de produtos de uso geral e desportivo, como é o caso de barbatanas, pranchas de surf e canas de pesca[35].

Desta forma, até há relativamente pouco tempo, os períodos de desenvolvimento tecnológico estavam ligados às mudanças no uso dos materiais, como seja a idade da pedra, do bronze e a do aço. No entanto, nos anos mais recentes a força motora nas mudanças tecnológicas foram alteradas em muitos aspetos em função da tecnologia da informação. Não é necessário olhar muito mais longe, para verificar o papel do microprocessador nas aplicações domésticas diárias que nos rodeiam, para ilustrar a “inteligência” existente nos nossos edifícios. É também importante, no entanto, notar que esta época da tecnologia de informação não deixou a engenharia de materiais intocável, e que a fusão entre a conceção de materiais e a potência de armazenamento e processamento de informação, levou a uma nova abordagem na área da engenharia dos materiais e estruturas[5].

A maioria dos materiais e estruturas da engenharia que nos são mais familiares são limitados, isto é, eles são processados e/ou projetados para oferecer uma série de respostas em número bastante limitado a um estímulo externo. Estas respostas são usualmente otimizadas para uma dada série de condições genéricas, mas, por outro lado não estão otimizadas para preencher a gama de cenários para os quais o material ou a estrutura possam estar expostos. As asas de um avião, por exemplo, têm de estar otimizadas para a função de levantar voo e de aterragem, logo preparadas para

funções de voo rápido e lento, embora apresentem limitações quanto aos ventos cruzados que possam ocorrer quando essas situações surgem[49].

Nas aplicações tais como aeronaves, ultraleves e satélites, é necessário que as estruturas possam operar muito próximo dos seus limites. Assim sendo, pretende-se que estas estruturas, e já não estamos muito longe temporalmente, possam transmitir aos engenheiros da manutenção um relatório completo do histórico do seu desempenho, assim como a localização de qualquer defeito que possa ter ocorrido durante o seu período de funcionamento, ou que possam atuar contra condições potencialmente perigosas ou indesejáveis, tais como vibrações excessivas, ou mesmo, de realizar uma autorreparação. Neste sentido, estaremos a caminho das estruturas ou materiais, com a capacidade de atuarem autonomamente, em função das ações exteriores a que possam estar sujeitas[49].

Os materiais ou estruturas que se vão aproximando de tais propriedades podem-se, desde já, designar de “inteligentes”, na medida em que podem oferecer a possibilidade de atuar em uma série de situações, não efetuadas até então, com a possibilidade de se tornarem mais ou menos “inteligentes”, em função das situações a que possam responder. As potenciais aplicações destes são extensas e muito variadas. O ambiente doméstico é também um potencial mercado para estes materiais ou estruturas, com a possibilidade de um “uso fácil” ou “facilidade de manuseamento” em aplicações diárias. Estes conceitos podem parecer, porventura, demasiado perfeitos e, por isso, mesmo, de difícil concretização.

O conjunto dos materiais e estruturas inteligentes está em rápida ascensão, com as inovações tecnológicas a surgir na engenharia dos materiais, com novos sensores, e atuadores, e muitos deles com integração mecânica. Assim, os materiais inteligentes podem-se entender ou agrupar segundo diversas formas, nomeadamente, materiais a funcionarem como sensores ou atuadores; materiais que têm múltiplas respostas a um estímulo numa forma coordenada; materiais com características para atuarem quando surgem mudanças bruscas; materiais ou sistemas que reproduzem funções biológicas.

É exemplo prático, a vibração e ruído nos aviões, nos comboios de alta velocidade e de uma grande parte da maquinaria industrial, tem um impacto direto na nossa sociedade, perturbando a saúde pública, e inevitavelmente os indivíduos que mais de perto interagem com o equipamento. O que de uma forma global, leva à alteração do estilo de vida, com repercussão também no meio

ambiente. Assim, dada a possibilidade de poder controlar melhor as vibrações e ruído, tornou-se uma das potenciais áreas de aplicação dos materiais e estruturas inteligentes. Outras aplicações com enorme potencial surgem, imediatamente, como seja a monitorização das estruturas aeroespaciais, nomeadamente na fase de lançamento, mas também em outras estruturas de uso mais comum, como as estruturas de engenharia civil, as pontes, viadutos, barragens e diques, por exemplo. Com um maior controlo destas situações será possível ter um melhor estado de segurança no dia-a-dia da nossa sociedade[50].

Nos últimos anos, a NASA (National Aeronautics and Space Administration), esteve a desenvolver um projeto inovador para aplicação em aeronaves, e que consistia na construção das estruturas com recurso a materiais inteligentes, sendo o objetivo principal o de proporcionar a modificação da estrutura da aeronave em pleno voo. Tratava-se de um projeto baseado nos seres vivos, nomeadamente no comportamento das aves, que pretendia aumentar a eficiência e performance das aeronaves no futuro. Esse projeto teve como intuito desenvolver novos materiais, que poderão ser usados em aviões “inteligentes”, com a possibilidade de alterar a sua configuração, de acordo com as condições de voo. O projeto de pesquisa previa uma série de materiais, sensores e atuadores, que, trabalhando em conjunto, permitiriam á aeronave sentir literalmente o ambiente. Entretanto, esta tecnologia já está a surgir lentamente, com a criação de bombardeiros “mutantes”, com possibilidade de se modificarem para aviões mais ágeis caso seja necessário[51].

A manifestação de estruturas e/ou materiais inteligentes é baseada na multidisciplinaridade tecnológica do material, das ciências de informação e da engenharia de estruturas. Hoje em dia é possível realizar um dispositivo eletrónico integrado, com a faculdade de sentir e atuar com materiais compósitos em fibra reforçada. Assim o material compósito sensor, com o embebimento de sensores tais como, sensores em fibras óticas, materiais piezoelétricos e outros, terão funções de “sentir”, funções estas similares às dos nervos biológicos. Enquanto que o material atuador tomará a resposta necessária correspondente à informação dada pelo sensor, através de uma atuação que se assemelhará aos músculos. Os piezocerâmicos, ligas com memória de forma e materiais electro-reológicos, são alguns dos materiais mais comuns a poderem funcionar como atuadores[50].

5 Casos de Estudo

Tendo em conta as vantagens associadas a este tipo de evolução ao nível das tecnologias de produção, já existem alguns produtos comerciais disponíveis no mercado, com base neste tipo de fabrico. Assim, neste capítulo, serão enunciados três diferentes produtos fabricados a partir da técnica de manufatura aditiva. Os produtos em questão pertencem a indústrias diferentes, portanto simbolizam exemplos práticos da aplicação deste tipo de materiais.

5.1 Indústria Aeroespacial

A seleção de materiais na indústria aeroespacial em particular é muito importante. Existem várias restrições e requisitos impostos a estes veículos, aeronaves, tais como o peso, a duração e a estabilidade térmica. O peso é determinante para o custo de lançamento do satélite, uma vez em órbita deve-se manter em serviço durante 10 a 30 anos, o que obriga a duplicar ou triplicar os sistemas alternativos. Quando em órbita, o satélite é submetido a elevados gradientes de temperatura, muito elevadas na face que se encontra exposta ao sol e, em contrapartida, temperaturas muito baixas na face à sombra, para além da radiação que afeta os materiais. Da mesma forma que algumas antenas incorporadas em estações espaciais e satélites, quando expostas diretamente aos raios solares, necessitam de manter a sua estabilidade dimensional, no sentido de se manterem em correto funcionamento, no envio do sinal para a base. Assim, o grau de exigência, em termos comportamentais, dos materiais em condições ambientais mais extremas, é muito elevado[52].

Tal como é o caso dos vaivém espaciais, reservatórios do combustível, os escudos de proteção para a reentrância na atmosfera terrestre das aeronaves espaciais, por exemplo. Na figura 11, é possível ver duas das aplicações mais exigentes, em que são aplicados materiais compósitos. As suas especificidades resultam num tipo de produção em pequena escala, em que os custos de produção podem ser elevados, podendo, no entanto, ser compensados pelos menores custos operacionais[52].

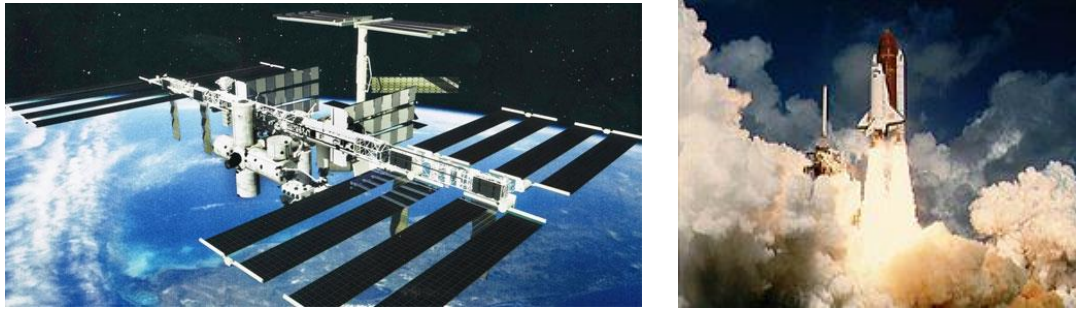


Figura 11: a) Estação orbital. b) Vaivém espacial no momento da decolagem[52].

5.2 Engenharia Civil

O uso destes materiais começou também a generalizar-se na construção civil, com aplicações, nos revestimentos exteriores dos edifícios, na realização de painéis de fachada e reforços para betão. Por outro lado, existem aplicações mais convencionais, com sejam, em piscinas, portas e mobiliário, nomeadamente o sanitário[53][54].

A sua utilização surge também na construção de pontes pedonais, muitas delas em zonas de laser, e em que impacto ambiental é menor, e menos agressivo, mas também, e mais recentemente, na construção de pontes de grande envergadura para circulação automóvel, como mostra a figura 12, uma componente de uma autoestrada, construída em Inglaterra, tratando-se da primeira ponte do género na Europa. Uma outra empresa na Dinamarca construiu uma ponte em material compósito, neste caso em perfil pultrudido. A empresa reclama que esta tem a mesma capacidade de carga que uma ponte convencional, quer fossem em metal ou em betão[55][56].



Figura 12: Componente de uma autoestrada, em Inglaterra[56].

Cada vez mais é evidente que as propriedades mecânicas destes materiais concorrem com os materiais tradicionais de utilização estrutural, situação que se verifica no reforço de colunas de pontes em regiões sismicamente ativas, como na Califórnia e no Japão[57].

5.3 Engenharia Eólica e Estruturas Marítimas

Nas aplicações da área da energia eólica, com a crescente utilização dos aerogeradores para a produção de energia, a produção destes tem aumentado significativamente, assim como a utilização de uma maior diversidade de materiais compósitos. Deixou de ser só nas pás, para passar a ser também em muitos casos, nas próprias torres. Situação que também ocorre nas estruturas offshore, em que há um aumento significativo da percentagem deste tipo de material que é utilizado. Na figura 13, está representada um exemplo destas estruturas[52].

Algumas das empresas reclamam a construção das maiores pás para aerogeradores, com 61,5 metros de comprimento, como é o caso da “L M Glasfiber”. Há também outras grandes empresas empenhadas na construção de grandes aerogeradores[58][59][60].



Figura 13: Aerogerador[60].

5.4 Transporte aéreo, terrestre e marítimo

Estes materiais são também comumente utilizados na construção de planadores, de aviões de turismo, de aviões militares, assim como centenas de peças para aviões de grande porte (asas, estabilizadores verticais, e discos de travagem para aviões e elementos de transmissão, a título de exemplo). Estão, também, a ser utilizados na construção de hélices, todas em compósito, para o motor principal dos helicópteros, e com isso vão permitir que os mesmos consigam levantar uma carga adicional de 900 Kg e voar mais rápido. Os fabricantes esperam, também, que as

mesmas tenham um tempo de vida duas vezes superior às das hélices em metal. O avião comercial da Airbus, o A340, possui já uma quantidade substancial de material compósito, em toda a superfície envolvente do avião, e mesmo em algumas aplicações estruturais. Na figura 14, todas as partes a sombreado são em material compósito. Num outro avião, o A380, o maior avião comercial do mundo, que já voa nos céus de França, inclui 30 toneladas de material compósito, o que é cerca de 22% do material utilizado[61][62][63][64].



Figura 14: Avião comercial A340 da Airbus[64]

Nos transportes terrestres, mais recentemente, empresas inglesas e alemãs têm estado empenhadas em desenvolver um produto que seja economicamente viável para a construção de um carro, todo ele em material compósito, desde o chassis aos painéis exteriores. O material compósito empregue deverá ser reciclável, o que é uma mais valia, nos dias de hoje, dadas as restrições ambientais. No entanto, existem inúmeros exemplos de automóveis do nosso quotidiano que incorporam materiais deste tipo, desde as caixas de fusíveis, para o alojamento das componentes elétricas, e a cobertura das caixas de carga de alguns veículos. Em elementos mais estruturais, como sejam as zonas frontais, elemento que suporta o radiador e a grelha dianteira fazendo a ligação dos pilares frontais, e também em carroçarias completas para os automóveis, elementos de suspensão, da transmissão, depósitos para o combustível, em cisternas para camiões além de caravanas e autocaravanas. Mais recentemente, pode-se ver a introdução dos materiais compósitos em diversos componentes estruturais, caso do Aston Martin V12 Vanquish, e nos comboios de alta velocidade, com a construção dos vagões, dos bancos e painéis interiores[62].

No transporte marítimo podem-se ver aplicações em hovercrafts, embarcações de salvamento e barcos de ação rápida para as forças militares, figura 15, e em inúmeras aplicações de barcos.



Figura 15: Embarcação Militar.

5.5 Desporto

Com os avanços da engenharia, estes materiais são cada vez mais utilizados no desporto de alta competição e também, por arrasto, em áreas das atividades de laser, muito embora, nestas últimas é, em grande parte, devido às ações de marketing, em que o objetivo será proporcionar aos praticantes de uma determinada modalidade desempenhos de elevado nível, fazendo-os sentir como se estivessem em alta competição. Os exemplos destas aplicações são, hoje em dia, muito diversificadas, entre as quais podem-se referir[62]:

- Os desportos motorizados, como sejam os carros de Fórmula 1.
- O ciclismo, com bicicletas estilizadas, em função da modalidade a que se destinam, e podendo ser adaptadas às exigências de cada atleta.
- Os desportos de água, com a produção de pranchas de windsurf, de surf, de canoas e caiaques, e cada vez mais em embarcações de competição, quer de velocidade, caso dos Fórmula 1 de água, assim como em grandes veleiros e catamarans, usados nas travessias dos oceanos e voltas ao mundo.
- Os desportos de neve, com os esquis a serem feitos com materiais da última geração, os quais incluem dispositivos para amortecer as vibrações, e assim permitirem um maior controlo e maneabilidade, mas também em pranchas de snowboard, com a mesma tecnologia a ser empregue.
- O ténis, com as raquetes, que são cada vez mais leves e eficazes, ao conseguirem imprimir uma maior velocidade à bola e também permitirem direcionar melhor a mesma.

- O hóquei, com a utilização destes materiais na produção de equipamento de proteção dos jogadores, assim como dos bastões, os quais estão cada vez mais sofisticados ao ponto de imprimirem maiores velocidades às bolas e discos.
- E o golfe, com a realização de tacos, para a obtenção de melhores performances em termos de direção da bola.

6 Conclusões

Num Mundo onde cada vez mais dominado pela preocupação da sustentabilidade do Planeta e pela minimização da geração de resíduos após o final do ciclo e vida de determinados produtos, sobretudo naquilo que é a realidade industrial, tem-se assistido a um incremento na utilização de materiais poliméricos termoplásticos, em detrimento de materiais tradicionais como o aço, alumínio, entre outros. Estes materiais, além de originarem uma redução de peso nos componentes de veículos, em virtude da sua menor densidade, comparativamente com os materiais convencionais, permitem igualmente que as propriedades de desempenho mecânicas não sejam comprometidas. Por outro lado, a conjugação destes materiais com materiais fibrosos, dando origem a materiais compósitos, possibilitam o incremento das vantagens apontadas, além de constituírem um carácter mais ecológico e sustentável aos produtos finais. De entre os materiais fibrosos existentes, os mesmos podem ser divididos, de forma genérica, em naturais ou não naturais, em que as primeiras são disponibilizadas diretamente pela Natureza, enquanto as segundas são produzidas pelo Homem, de forma artificial ou sintética. No caso particular deste relatório de benchmarking, e em consonância com o carácter de sustentabilidade na base do mesmo, o enfoque é, portanto, direccionado para a utilização de materiais poliméricos e a evolução associada aos materiais compósitos e materiais avançados. Por outro lado, de forma paralela, uma outra via pode ser equacionada, por forma a ir de encontro à minimização dos resíduos gerados após o final do seu ciclo de vida, a qual consiste na reciclagem de fibras e carbono provenientes de materiais utilizados nas mais diversas áreas. Com estas fibras de carbono recicladas, pensa-se na sua utilização como reforço na conceção de compósitos de matriz termoplástica, destinados a componentes estruturais de painéis de porta e outros tipos de componentes.

Contudo, no caso da utilização das fibras naturais, em virtude das suas propriedades de superfície, a mesmas revelam alguma incompatibilidade com materiais poliméricos. A superfície das fibras naturais, tipicamente hidrofóbicas, demonstram reduzidas capacidades de molhabilidade, dificultando assim a sua adesão a outros materiais. Neste sentido, torna-se fundamental a aplicação de tratamentos de superfície nas mesmas, de forma a incrementar a sua molhabilidade, e assim tornar a adesão entre as fibras e o polímero mais efetiva, levando, conseqüentemente, a um aumento das propriedades mecânicas do material compósito final. Estes tratamentos de superfície podem ser físicos, químicos ou biológicos, embora os dois primeiros tipos sejam os mais comuns, atualmente. Já no que diz respeito à reciclagem de fibras de carbono, os processos até agora já alvo de algum estudo podem ser mecânicos, térmicos ou químicos, dos quais são exemplos os de pirólise, leitos fluidizados ou fluidos supercríticos. Existem vários processos de fabrico possíveis, cada um deles com a sua especificidade que obviamente irá condicionar as peças de material compósito a obter. Vários são os fatores, que

podem estar na seleção dos diferentes processos, tais como os requisitos em termos de propriedades mecânicas, das dimensões, da complexidade das formas, do volume e a reprodução de peças a realizar, podendo todos eles ser decisivos na seleção do processo de fabrico.

Uma boa escolha desses processos pode propiciar significativas reduções nos custos de mão-de-obra, dado o desenvolvimento tecnológico dos últimos anos, o que tem permitido aumentar o nível de automatização e tornar os processos de fabrico economicamente mais competitivos. A escolha pode também ser ditada pelo acabamento pretendido para as superfícies das peças a realizar, dado que em alguns deles só uma das faces apresenta um bom acabamento. No entanto, há uma grande vantagem, que é o facto de se realizarem peças de grandes dimensões e com geometrias complexas. Em algumas técnicas, por se usarem moldes fechados, ambas as superfícies de acabamento são boas, além da particularidade de haver também uma enorme redução das emissões de produtos voláteis, que são nocivos para a saúde, sendo a complexidade e tamanho das peças mais limitado. As constantes limitações de emissão destes poluentes para a atmosfera tem estimulado os investigadores e fabricantes para o desenvolvimento de novos materiais e métodos de fabrico.

Um dos maiores problemas associados à utilização de fibras de carbono recicladas, prende-se com a possível perda de propriedades mecânicas das mesmas, após o processo de reciclagem, comparativamente com fibras virgens. Neste sentido, torna-se importante uma seleção criteriosa do processo a adotar, para que se alcance o sucesso esperado por esta via.

Ao nível das estruturas inteligentes, hoje em dia, já começam a possuir alguns atributos até há muito pouco tempo considerados exclusivos da raça humana. O processador eletrónico que coordena a estrutura tem agora novas possibilidades: a capacidade de aprender pela experiência, e a faculdade de antecipar situações por ele interpretadas como perigosas. Assim, o referido processador “reage”, isto é, trata e transmite a informação, a uma velocidade superior à do sistema nervoso. No homem, a informação desloca-se sob a forma de pulsações eletroquímicas, a uma velocidade da ordem dos cem metros por segundo, enquanto que no processador, a informação pode deslocar-se à velocidade da luz.

7 Bibliografia

- [1] C. Amorim, “Relatório de sustentabilidade,” 2018. [Online]. Available: https://www.amorim.com/xms/files/Sustentabilidade/Relatorios/FINAL_Amorim_Rel_Sustentabilidade_2017_web_protect.pdf.
- [2] M. M. et al. REDDY, “Biobased plastics and bionanocomposites: Current status and future opportunities,” in *Progress in Polymer Science*, 2013, pp. 1653–1689.
- [3] L. S. et al. ADAMS, “Avaliação do Desempenho de Embalagens Plásticas Ambientalmente Degradáveis e de Utensílios Plásticos Descartáveis para Alimentos,” 2007.
- [4] C. FRANCHETTI, S. M. M.; MARCONATO, “Polímeros Biodegradáveis – Uma Solução Parcial Para Diminuir A Quantidade Dos Resíduos Plásticos,” 2006.
- [5] S. P. and T. Adeyemi, Olutobi, Ivan Grove Norton, “Advanced Monitoring and Management Systems for Improving Sustainability in Precision Irrigation,” 2017.
- [6] B. BAUERNHANSL, T.; TEN HOMPEL, M.; VOGEL-HEUSE, “Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik- Anwendung, Technologien und Migration.,” Alemanha: Springer Vieweg, 2014.
- [7] K. A. Kaw, *Mechanics of Composite Materials*, Second Edi. London: Taylor & Francis Group, LLC, 2006.
- [8] R. CHIPELLINI, E.; SOLARO, “Biodegradable polymeric materials,” *Adv. Mater. (Weinheim, Ger.) F. Full J. TitleAdvanced Mater. (Weinheim, Ger.,* pp. 305–313, 1996.
- [9] L. Marques, ““O que são polímeros e porque são interessantes?””
- [10] M. DE PAOLI, “Degradação e Estabilização de Polímeros,” 2º ed., CHEMKEYS, Ed. 2008, pp. 1–228.
- [11] “Material Properties.” [Online]. Available: http://www.efunda.com/materials/polymers/properties/polymer_datasheet.cfm?M.
- [12] M. de A. Gomes, ““Propriedades Mecânicas de Compósitos poliméricos reforçados com fibras de folhas de abacaxizeiro”,” 2015.
- [13] and M. T. H. Ku, H. Wang, N. Pattarachaiyakoop, ““A review on the tensile properties of natural fiber reinforced polymer composites”,” 2011, pp. 856–873.
- [14] and D. R. M. Milanese, H. Jacobus, C. Voorwald, ““Vegetal fibers in polymeric composites : a review”,” in *Polimeros*, 2015, pp. 9–22.
- [15] CTB, “Elastómeros Termoplásticos,” 2014.

- [16] S. K. and S. R. Schmid, "Chapter 10: Polymer Properties," in *Manufacturing Processes for Engineering Materials*, Fifth Edit., Perason Education, 2008.
- [17] F. MALI, S.; GROSSMAN, M. V. E.; YAMASHITA, "Filmes de amido : produção , propriedades e potencial de utilização," 2010.
- [18] "Introdução Ao Domínio Da Embalagem," pp. 53–69.
- [19] "Elastómeros termoplásticos vulcanizados: obtenção, estrutura, aditivação e propriedades," J. H. Junior," 2011.
- [20] Resinex, "TPU Ravathane® (TPE-U)," 2016. [Online]. Available: <http://www.resinex.pt/produtos/ravathane.html>.
- [21] E. T. and E. M. Sistemas, "Substituição da borracha termofixa EPDM por elastómeros termoplásticos em sistemas de vedação automotivos," 2011.
- [22] Resinex, "TPE – Elastómeros Termoplásticos," 2016. [Online]. Available: <http://www.resinex.pt/tipos-de-polimeros/tpe.html>.
- [23] P. Killian, "Understanding TPEs."
- [24] "Economia Circular A-Âmbito B-Contexto internacional."
- [25] BASF, "Thermoplastic Polyurethane Elastomers (TPU)," 2011.
- [26] A. M. and M. M. A. Morais, "Materiais compósitos - Materiais, Fabrico e Comportamento Mecânico," 2009.
- [27] J. I. F. P. Martins, "Capítulo 15: Materiais Compósitos.," Porto.
- [28] F. Piazza, "Compósitos poliméricos."
- [29] D. D. Brunelli, "Materiais Compósitos Poliméricos.," Departamento de Química.
- [30] A. Silva, "Compositos."
- [31] K. L. Pickering, "Properties and performance of natural-fibre composites.," 2008.
- [32] J. F. M. G. Da Silva, "Pré-impregnados de matriz termoplástica: fabrico e transformação por compressão a quente e enrolamento filamental," FEUP - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2005.
- [33] D. N. S. and J. P. Jog, "Natural Fiber Polymer Composites : A Review," in *Adv. Polym. Technol*, 1999, pp. 351–363.
- [34] S. T. and L. A. Pothan, "Natural Fibre Reinforced Polymer Composites: from Macro to Nanoscale.," 2008.
- [35] H. K. Antonio Lima, "APLICAÇÕES DE CARGAS MINERAIS EM POLÍMEROS," Engenharia

MEtalúrgica e de Materiais.

- [36] Mottors, “787 Dreamliner: Boeing enfrenta dificuldades com produção de avião comercial,” 2015. [Online]. Available: <http://www.mottors.com.br/2015/09/08/787-dreamliner-boeing-enfrenta-dificuldades-com-producao-de-aviao-comercial/>.
- [37] Z. A. and F. T. Davide De Cicco, “Use of Nanoparticles for Enhancing the Interlaminar Properties of Fiber-Reinforced Composites and Adhesively Bonded Joints,” Canada, 2017.
- [38] A. A. J. Leng, “Structural health monitoring of smart composite materials by using EFPI and FBG sensors,” 2003, pp. 330–350.
- [39] and D. H. M. Ho, H. Wang, J. Lee, C. Ho, K. Lau, J. Leng, “Critical factors on manufacturing processes of natural fibre composites,” in *Compos. Part B, vol. 8*, 2012, pp. 3549–3562.
- [40] R. F. C. R. Bárbara Maria Gama Guimarães, Diana Cayuela Marín, Welton Fernando Zonatti, Waldir Mantovani and H. S. J. and J. B.-R. Fernando Cunha, “Study of the Potential Employment of Malvaceae Species in Composites Materials,” 2015.
- [41] “Module 4: Polymers and Polymer Processing.” [Online]. Available: <http://paws.wcu.edu/ballaaron/www/met366/modules/module5/mod5.htm>.
- [42] O. Corning, “Processos de utilização e fabricação de compósitos.” [Online]. Available: <http://www.owenscorning.com.br/pt-br/compositos-processos-home>.
- [43] R. A. M. Preto, “Estudo experimental do comportamento mecânico de compósitos em fibras de basalto,” Instituto Superior Técnico de Lisboa, 2013.
- [44] C.Mota, “Rheological Behavior in Thermoplastic Foam,” Universidade do Minho, 2012.
- [45] M. T. Albernaz, “Novos desenvolvimentos em extrusão de compostos com fibras naturais.”
- [46] J. A. Covas, “O Processo de Extrusão e suas Aplicações,” Universidade do Minho.
- [47] R. Carus, M., Dammer, L., Hermann, A., & Essel, “Proposals for a Reform of the Renewable Energy Directive to a Renewable Energy and Materials Directive,” 2014.
- [48] G. Botelho, “Química, Degradação e Reciclagem de Polímeros,” 2011.
- [49] E. G. I. Knowles, “Active Materials and Adaptive Structures”, Proc. ADPA. 1991.
- [50] R. M. Measures, “Smart Structures in Nerves of Glass,” 1989.
- [51] “NASA.” [Online]. Available: <http://www.nasa.com/>.
- [52] LA-13976-MS, “Los Álamos National Laboratory,” 2003.
- [53] connecting the material Community, “materialstoday.” [Online]. Available:

<https://www.materialstoday.com/>.

- [54] "RTP co." [Online]. Available: <http://www.rtpcompany.com/>.
- [55] "Lower carbon." [Online]. Available: <https://www.wsp.com/en-GB/>.
- [56] "Fiberline." [Online]. Available: <https://www.fiberline.com/>.
- [57] "Owens Corning." [Online]. Available: <https://www.owenscorning.com.br>.
- [58] "LM Wind Power." [Online]. Available: <https://www.lmwindpower.com/>.
- [59] "Cyclics." [Online]. Available: <http://www.cyclics.com>.
- [60] "REPOWER." [Online]. Available: <https://www.repower.com/de>.
- [61] "Toray Global." [Online]. Available: <https://www.toray.com/#/>.
- [62] L. Y. et Al., "'Functionalized composite structures for new generation airframes: a review'," 2005.
- [63] "Ducommun." [Online]. Available: <https://www.ducommun.com/>.
- [64] "AIRBUS." [Online]. Available: <https://www.airbus.com/>.