



Desenvolvimento do corpo de uma mira telescópica em material compósito

RÚBEN JOSÉ MENDES OLIVEIRA

outubro de 2025

**DESENVOLVIMENTO DO CORPO DE UMA MIRA
TELESCÓPICA EM MATERIAL COMPÓSITO**

Rúben José Mendes Oliveira

**Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Mecânica, Área de Especialização em
Construções Mecânicas**

Orientador: João Francisco Machado Gomes da Silva, ISEP

Júri:

Presidente:

Professor António Gonçalves Magalhães, Professor coordenador, ISEP

Vogais:

Professor António Torres Marques, Professor Emérito, FEUP

Porto, outubro 2025

Dedicatória

Aos meus pais, por todo o amor, coragem, apoio incondicional e pela base sólida que sempre me deram. Foram, e são, o alicerce de tudo o que sou. Cada conquista que alcanço tem, nas suas raízes, o vosso esforço, sacrifício e dedicação.

Aos meus avós, pela sabedoria e valores transmitidos, pelos gestos silenciosos de carinho e por todo o acompanhamento.

À minha madrinha, à minha prima e ao meu tio, por toda a preocupação e carinho genuíno pelas palavras certas nos momentos certos e pelo apoio que, de formas diferentes, me deram ao longo deste caminho.

Ao meu irmão, que com a sua inocência, sem saber, foi uma fonte constante de motivação.

À minha namorada, por estar sempre ao meu lado independentemente da situação. Obrigado por me dares ânimo quando faltava energia, por acreditares em mim mesmo quando eu próprio duvidei, e por seres uma presença firme, serena e cheia de amor ao longo desta jornada.

Aos meus amigos, pelos bons momentos passados, pela presença constante e pela capacidade de me lembrarem que há vida para além da exigência académica. Obrigado por cada conversa, desafio e incentivo partilhado. A vossa amizade não só me deu equilíbrio, como também contribuiu de forma profunda para o meu crescimento pessoal, ensinando-me a ver o mundo com outras perspetivas e a reconhecer a importância das relações verdadeiras ao longo do caminho.

Ao meu orientador, pelo acompanhamento atento, pelos conselhos valiosos e pela exigência que me fez crescer como investigador e como pessoa. Estendo também o meu agradecimento a todos os docentes, funcionários e colegas do ISEP que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a concretização desta dissertação, quer através do conhecimento partilhado, do apoio técnico ou de pequenos gestos do dia a dia que tornaram este percurso mais leve e possível.

Aos meus orientadores na empresa Leica – Aparelhos Óticos de Precisão, S.A., pelo acompanhamento rigoroso, pela partilha de conhecimento e pela confiança depositada em mim durante este processo. Um agradecimento especial a todos os que integram o departamento de Tecnologia e Inovação, bem como a todas as pessoas envolvidas na empresa, que com a sua disponibilidade, profissionalismo e espírito colaborativo, contribuíram significativamente para o desenvolvimento desta dissertação e para o meu enriquecimento pessoal e profissional.

A todos vocês, o meu mais sincero obrigado.

Resumo

A presente dissertação insere-se na continuidade de um trabalho previamente desenvolvido por um discente da mesma instituição de ensino superior, Instituto Superior de Engenharia do Porto, em colaboração com a empresa Leica – Aparelhos Óticos de Precisão, S.A. A evolução das miras telescópicas tem sido catalisada pela crescente procura por dispositivos que apresentem, não só uma elevada precisão, mas também características como peso reduzido e elevada durabilidade. Esta investigação teve como principal objetivo o desenvolvimento de um processo de fabrico do corpo de uma mira telescópica em material compósito, nomeadamente de fibra de carbono com uma resina epoxídica, utilizando o processo de moldação com manga insuflável.

A metodologia baseou-se na revisão de literatura e na análise crítica da solução anterior, com foco na otimização e identificação de oportunidades de melhoria ao nível dos materiais e equipamentos utilizados e também na elaboração dos protótipos. Procedeu-se à definição rigorosa de todas as etapas do processo de fabrico, desde a preparação dos materiais até à cura final das peças, com particular destaque na aplicação da moldação com manga insuflável, cuja viabilidade foi cuidadosamente avaliada. Constatou-se que, apesar de certas limitações, este processo revela-se adequado pela sua versatilidade, qualidade e compatibilidade com as exigências geométricas e estéticas do produto. Foi ainda estudado e proposto alternativas mais eficazes em relação à manga insuflável previamente utilizada, como a manga de borracha vulcanizada e a de silicone não curada tendo-se verificado melhor controlo dimensional e maior repetibilidade. Os protótipos desenvolvidos evidenciaram melhorias significativas relativamente ao trabalho anterior, com especial destaque para a uniformidade estética, a integridade estrutural e a eficiência do processo. A substituição do tecido impregnado manualmente por pré-impregnados permitiu um fabrico mais limpo, rápido e com menor desperdício de materiais, reduzindo também o número de equipamentos necessários e simplificando o processo. Do ponto de vista funcional, verificou-se uma redução de aproximadamente 13% na massa do conjunto corpo da mira telescópica, em relação à solução em compósito, comparativamente à versão anterior em alumínio, mantendo os componentes metálicos nos insertos. A análise crítica final confirmou que os protótipos se aproximam das especificações técnicas exigidas, embora persistam algumas limitações, sobretudo, em relação aos recursos técnicos disponíveis. Os resultados obtidos validam a metodologia adotada e comprovam que é possível obter o corpo de uma mira telescópica em compósito de fibra de carbono, contribuindo significativamente para o aprofundamento do conhecimento nesta área e para o desenvolvimento de novas abordagens aplicáveis ao fabrico de miras telescópicas em contextos industriais futuros.

Palavras-chave: Mira telescópica, Moldação, Manga insuflável, Pré-impregnado, Fibra de carbono/epóxido, Protótipo

Abstract

This dissertation builds upon previous work developed by a student of the same higher education institution, the Instituto Superior de Engenharia do Porto, in collaboration with the company Leica – Aparelhos Óticos de Precisão, S.A. The evolution of rifle scopes has been driven by the growing demand for devices that not only ensure high accuracy but also exhibit characteristics such as reduced weight and high durability. The primary goal of this research was to develop a manufacturing process for the body of a rifle scope using composite material, specifically carbon fiber reinforced with an epoxy resin, through the inflatable bladder molding process.

The methodology was based on a literature review and a critical analysis of the previous solution, focusing on optimizing and identifying opportunities for improvement in the materials, equipment, and prototype manufacturing stages. All manufacturing steps were rigorously defined, from material preparation to the final curing of the parts, with particular emphasis on the application of the inflatable bladder molding process, whose viability was carefully assessed. Despite certain limitations, this process proved suitable due to its versatility, quality, and compatibility with the geometric and aesthetic requirements of the product. More effective alternatives to the previously used bladder were studied and proposed, such as vulcanized rubber and uncured silicone bladders, which provided better dimensional control and higher repeatability.

The developed prototypes showed significant improvements over the previous work, particularly in terms of aesthetic uniformity, structural integrity, and process efficiency. Replacing manually impregnated fabric with prepregs enabled a cleaner, faster manufacturing process with less material waste, while also reducing the required equipment and simplifying production. Functionally, a mass reduction of approximately 13% was achieved in the telescopic sight body assembly, in comparison with the previous aluminum version, while retaining the metallic components in the inserts.

The final critical analysis confirmed that the prototypes meet the required technical specifications, although some limitations remain, mainly related to the available technical resources. The results validate the adopted methodology and demonstrate that manufacturing a telescopic sight body in carbon fiber composite is viable, contributing significantly to advancing knowledge in this field and fostering the development of new approaches applicable to the industrial production of telescopic sights in the future.

KEYWORDS: Telescopic sight, Bladder Molding, Inflatable Bladder, Prepreg, Carbon/epoxy fiber, Prototype

Índice

Lista de Figuras.....	xii
Lista de Tabelas.....	xv
Acrónimos e Símbolos.....	xvii
1. Introdução.....	1
1.1. Contextualização.....	1
1.2. Objetivos de investigação.....	2
1.3. Opções metodológicas.....	2
1.4. Estrutura.....	3
1.5. Leica – Aparelhos Óticos de Precisão S.A.....	3
2. Revisão Bibliográfica.....	7
2.1. Indústria Ótica.....	7
2.1.1. Produtos e aplicações.....	7
2.1.2. Miras telescópicas.....	8
2.1.3. Contextualização da indústria.....	9
2.1.4. Princípio de Funcionamento.....	10
2.1.5. Etapas e processos de fabrico do corpo de uma mira telescópica.....	12
2.1.6. Processo de fabrico das lentes.....	14
2.1.7. Revestimento das Lentes.....	15
2.2. Materiais compósitos.....	16
2.2.1. Definição e conceitos associados.....	16
2.2.2. Aplicações.....	16
2.2.3. Fibras de reforço.....	18
2.2.4. Matriz polimérica.....	19
2.2.5. Pré-impregnados.....	19
2.2.6. Moldação com manga insuflável (<i>Bladder molding</i>).....	20
2.3. Desenvolvimento do corpo de uma mira telescópica a partir de pré-impregnado de carbono/epóxido.....	21
2.3.1. Trabalho realizado.....	22
2.3.1.1. Seleção de materiais e processos utilizados.....	22
2.3.1.2. Equipamentos.....	24
2.3.1.3. Processos de fabrico dos protótipos.....	28
2.3.2. Trabalho a desenvolver.....	28
2.3.2.1. Mangas insufláveis.....	29
2.3.2.2. Maquinagem de materiais compósitos.....	30
2.3.3. Estado de Arte.....	31

3. Métodos e Aplicação.....	33
3.1. Processo de fabrico	33
3.1.1. Seleção do processo de fabrico	33
3.2. Materiais	34
3.2.1. Seleção dos materiais	34
3.3. Equipamentos	38
3.3.1. Equipamentos alterados	38
3.3.2. Equipamentos adquiridos	40
3.4. Elaboração dos protótipos	42
3.4.1. Limpeza e preparação dos materiais e equipamentos necessários	42
3.4.2. Processo de fabrico	45
3.4.3. Desmoldagem	47
4. Resultados e Discussão	49
4.1. Apresentação dos resultados.....	49
4.1.1. Resultado do 1º Protótipo	49
4.2. Otimização e discussão de resultados	51
4.2.1. Resultado do 2º Protótipo	51
4.2.2. Resultado do 3º Protótipo	53
4.2.3. Resultado do 4º protótipo	55
5. Conclusão.....	57
5.1. Conclusões finais.....	57
5.2. Limitações	58
5.3. Trabalhos futuros	59
Referências.....	63
Declaração de Integridade	67
6. Anexos.....	69
6.1. Anexo A - Materiais alternativos para a manga insuflável e suas propriedades	69
6.2. Anexo B – Ficha técnica do pré-impregnado Carbono/Epóxido	70
6.3. Anexo C – Ficha técnica do desmoldante Mikon 2480	75
6.4. Anexo D – Ficha técnica Fenform™50 Silicone Não Curada.....	77
6.5. Anexo E – Ficha técnica do saco de vácuo tubular PA205	81
6.6. Anexo F - Ficha técnica da mangueira de silicone.....	82
Glossário.....	83

Lista de Figuras

Figura 1 - Fundador da Leica - Ernest Leitz [1]	3
Figura 2 – Logótipo atual da Leica [2]	4
Figura 3 - Trinovid Classic [2]	5
Figura 4 - Unidade fabril localizada em Portugal [2]	5
Figura 5 - Esquerda: – Microscópio <i>Nexcope NIB630 Inverted</i> [5] Direita: Máquina fotográfica Leica SL3 [6]	8
Figura 6 - Leica Calonox 2 com visão noturna (esquerda), Leica Fortis 6 sem visão noturna (direita) [6]	9
Figura 7 - Mira telescópica de Chapman-James [7]	9
Figura 8 - Constituintes de uma mira telescópica [9]	10
Figura 9 - Fenómeno do erro de paralaxe (em cima) e ausência do fenómeno do erro de paralaxe (em baixo), adaptado de [12]	12
Figura 10 - Princípio de funcionamento do processo de maquinagem, adaptado de [13]	12
Figura 11 - Ilustração do corpo da mira telescópica após o processo de maquinagem [14]	13
Figura 12 - Processo de anodização do alumínio (adaptado de [20])	14
Figura 13 - Tipos de revestimentos das lentes (adaptado de [9])	15
Figura 14 - Evolução dos materiais compósitos ao longo dos anos [28]	17
Figura 15 - Composição da estrutura de um Boing 787 [29]	18
Figura 16 - Colocação de pré-impregnados em moldes (adaptado de [38])	20
Figura 17 - Processo de moldação com manga insuflável (adaptado de [41])	21
Figura 18 – Corpo da mira telescópica [42]	22
Figura 19 - Molde para o protótipo	24
Figura 20 – Inseto totalmente maquinado (esquerda), Inseto por maquinar (direita) [42] ...	25
Figura 21 - Tampas de posicionamento [42]	25
Figura 22 - Manga insuflável de polietileno [42]	26
Figura 23 - Tampa de entrada de ar comprimido [42]	26
Figura 24 - Macho posicionador [42]	27
Figura 25 - <i>Gabarit</i> [42]	27
Figura 26 – Tabela de caracterização das mangas insufláveis (adaptado de [39])	29
Figura 27 - Delaminação durante o processo de furação numa placa de PRFC [46]	31
Figura 28 - Diferentes zonas de uma mira telescópica	34
Figura 29 - Pré-impregnado de carbono/epóxico [53]	36
Figura 30 - Fenform™50 Silicone Não Curada para Moldagem a Vácuo F999 UC SHT 1000 [53]	37
Figura 31 - Saco de vácuo tubular PA205, com 50µm (micrómetros) de espessura e 75 mm de largura (diâmetro de 47,75 mm) [53]	38
Figura 32 - Deformações no molde	39
Figura 33 - Molde após retificação	39
Figura 34 - Insetos parcialmente maquinados	40
Figura 35 - Mangueira de silicone [53]	40

Figura 36 - Conjunto de engate rápido e válvula e vácuo [53]	41
Figura 37 - Aplicador HDPE [53]	41
Figura 38 - Local e materiais utilizados para na limpeza do molde	42
Figura 39 - Esquema de camadas.....	43
Figura 40 - Recortes em papel	44
Figura 41 - Restantes equipamentos necessários à realização do protótipo	45
Figura 42 - Recortes do pré-impregnado de carbono/epóxico	45
Figura 43 - Utilização do <i>aplicador HPDE</i>	46
Figura 44 - Posicionamento do inserto entre as camadas	46
Figura 45 - Molde fechado introduzido no forno.....	47
Figura 46 - Ciclo de temperatura e pressão	47
Figura 47 - Desmoldagem do protótipo	48
Figura 48 - Primeiro protótipo	49
Figura 49 - Defeitos observados no primeiro protótipo	50
Figura 50 - Defeito identificado - Má adesão entre a matriz epóxida e o inserto metálico da objetiva	50
Figura 51 - Corpo obtido no segundo protótipo	51
Figura 52 – Defeitos observados no segundo protótipo.....	52
Figura 53 - Imperfeições no interior do corpo	52
Figura 54 - Resina <i>Araldite</i>	53
Figura 55 - Inserto impregnado com <i>Araldite</i>	53
Figura 56 - Corpo do terceiro protótipo.....	54
Figura 57 – Defeitos observados no terceiro protótipo.....	54
Figura 58 - Quarto protótipo elaborado	55
Figura 59 – Imperfeições.....	56
Figura 60 - Imagem ilustrativa do acoplamento das torres de ajuste e ocular [42]	60

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Vantagens e desvantagens do processo de maquinagem (adaptado de [16])	13
Tabela 2 - Valores dos cálculos obtidos.	35
Tabela 3 - Sequência de empilhamento das camadas	44

Acrónimos e Símbolos

Lista de Acrónimos

ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
P.Porto	Instituto Politécnico do Porto
I&D	Investigação e desenvolvimento
T&I	Tecnologia e Inovação
PRFC	Polímeros reforçados com fibras de carbono
JWST	Telescópio espacial <i>James Webb</i>
CTA	Rede de Telescópios <i>Cherenkov</i>
PTFE	Politetrafluoretileno
BMI	Bismaleimida
PI	Poliimida
PRFC	Polímeros reforçados com fibras de carbono

Lista de Símbolos

m	Massa	kg
T	Temperatura	°C
P	Pressão	MPa
t	espessura do laminado	mm
G_f	gramagem da fibra	g/m^2
ρ_f	massa volúmica da fibra	g/cm^3
ρ_p	massa volúmica da matriz	g/cm^3
w_f	fração mássica da fibra	—
N	número de camadas de fibra	—
w_p	fração mássica da matriz	—

1. Introdução

Neste capítulo será realizada a contextualização do estudo que serve de base à presente dissertação. Serão abordados, de forma sistemática, o enquadramento teórico do tema em análise, a sua relevância no panorama científico e profissional, as questões de investigação que orientam o trabalho desenvolvido, bem como os objetivos que se pretendem alcançar. Por fim, apresenta-se a estrutura que organiza o presente documento, de modo a fornecer ao leitor uma visão clara e coerente do percurso investigativo seguido.

1.1. Contextualização

A presente dissertação insere-se na continuidade de um trabalho previamente desenvolvido por um discente da mesma instituição de ensino superior, em colaboração com a empresa Leica – Aparelhos Ópticos de Precisão, S.A.

A evolução das miras telescópicas tem sido catalisada pela crescente procura pelos dispositivos que apresentem não só uma elevada precisão, mas também características que lhe conferem um reduzido peso e uma elevada durabilidade.

As miras telescópicas desempenham um papel fundamental em diversas áreas, nomeadamente atividades militares, desportivas e científicas, onde a precisão e a durabilidade dos dispositivos são fatores cruciais. Tradicionalmente, as miras telescópicas foram construídas a partir de materiais metálicos como o alumínio e o aço, devido à sua robustez e facilidade de fabrico.

No entanto, no processo de fabrico, com recurso a estes materiais, existe um elevado desperdício quer de material quer de tempo de processamento, o que resulta num elevado custo de fabrico.

Nos últimos anos, com o avanço tecnológico e de materiais, os compósitos têm emergido como uma alternativa inovadora para a construção deste tipo de dispositivos. As fibras de carbono embebidas numa matriz epóxida são reconhecidas pela alta resistência e rigidez, associada a um peso significativamente reduzido, oferecem uma série de vantagens que são extremamente relevantes para o design de diversos equipamentos. Além disso, a capacidade do compósito de fibra de carbono/epóxido absorver vibrações e choques é outra característica que contribui para a estabilidade e a durabilidade dos dispositivos óticos, permitindo que a precisão do disparo seja mantida mesmo em condições de uso intensivo.

As miras telescópicas em compósito de fibra de carbono/epóxido apresentam vantagens significativas, como é o caso do conforto do utilizador. O peso do material facilita o

Introdução

manuseamento prolongado do dispositivo ótico, reduzindo a fadiga em atividades como a caça, tiro desportivo, entre muitas outras.

Adicionalmente e comparativamente com o material anteriormente utilizado, o compósito de fibra de carbono/epóxido ao ser implementada neste tipo de dispositivo, para além de melhorar as suas propriedades mecânicas poderá também, reduzir os custos associados ao tempo e ao desperdício durante o processo de maquinagem.

O problema de investigação que norteia este trabalho está centrado na análise de como a introdução de materiais sofisticados, em particular pré-impregnados de fibra de carbono, com recurso ao processo de fabrico *Bladder Molding*, poderá obter resultados mais significativos comparativamente com o trabalho já efetuado.

A investigação tem como objetivo avaliar o impacto do uso pré-impregnados de fibra de carbono no fabrico do corpo de miras telescópicas, permitindo uma redução a nível do custo e tempo associado ao processo de maquinagem.

1.2. Objetivos de investigação

Sequencialmente e na continuidade da contextualização anteriormente apresentada, procedeu-se à formulação e definição dos objetivos que orientam a presente dissertação, os quais visam nortear a investigação e delimitar o âmbito de atuação.

Os objetivos delineados para a realização deste relatório englobam:

- Definição do processo produtivo utilizado na produção dos protótipos em fibra de carbono/epóxido;
- Estudo da viabilidade do processo de fabrico *Bladder Molding* com uso de pré-impregnados de fibra de carbono/epóxido na construção do corpo de uma mira telescópica;
- Análise do trabalho realizado anteriormente e identificação de possíveis melhorias;
- Avaliação de uma alternativa em relação à manga insuflável anteriormente utilizada;
- Elaboração de um protótipo do corpo de uma mira telescópica com recurso aos componentes previamente elaborados, como, molde, gabarit, entre outros;
- Reflexão crítica das peças produzidas para verificar o cumprimento perante as exigências impostas.

Assim, este trabalho permite a elaboração do corpo de uma mira telescópica em material compósito.

1.3. Opções metodológicas

A metodologia aplicada nesta dissertação envolve a revisão de conceitos fundamentais para compreender o fabrico e o funcionamento de uma mira telescópica, através da pesquisa em artigos científicos. Assim, foi necessário realizar o estudo da aplicabilidade dos materiais pré-impregnados de fibras de carbono no fabrico do corpo das miras telescópicas, com recurso ao processo de fabrico *Bladder Molding*.

A revisão do processo Bladder Molding consistiu numa etapa importante para melhorar alguns aspetos menos eficientes na tese desenvolvida pelo aluno anterior.

1.4. Estrutura

A presente dissertação encontra-se organizada em cinco capítulos devidamente estruturados.

O primeiro capítulo, a introdução, tem como propósito a introdução e a contextualização do tema, a enumeração de hipóteses orientadoras, a metodologia de investigação utilizada e a estrutura do documento.

O segundo capítulo, revisão bibliográfica, apresenta a fundamentação teórica do tema em estudo com referência aos conceitos essenciais para a execução do trabalho.

O terceiro capítulo apresenta o processo de fabrico do corpo da mira telescópica. De seguida, o quarto capítulo demonstra os resultados obtidos em cada protótipo elaborado, bem como as principais conclusões obtidas em cada um deles.

Por fim, o quinto capítulo, apresenta as conclusões finais decorrentes do projeto, bem como as limitações, trabalhos futuros e propostas para trabalhos futuros.

1.5. Leica – Aparelhos Óticos de Precisão S.A.

A Leica Camera AG é uma empresa de origem alemã, cuja história remonta ao ano de 1849, quando o jovem mecânico Carl Kellner fundou um instituto ótico dedicado inicialmente à produção de óculos e telescópios. Em 1864, Ernst Leitz, Figura 1, integrou o instituto e, poucos anos mais tarde, em 1869, assumiu a sua direção. A partir desse momento, a entidade passou a designar-se Ernst Leitz – Optische Werke, localizada em Wetzlar, Alemanha.

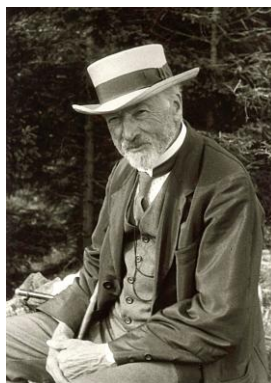


Figura 1 - Fundador da Leica - Ernest Leitz [1]

A designação atual da empresa, Leica, foi adotada em 1986 e resulta da combinação das três primeiras letras do apelido do seu diretor histórico (Leitz) com as duas primeiras letras da palavra camera, formando assim o acrónimo Leica (LEItz CAmera).

Introdução

Na Figura 2 podemos observar o logótipo atual.



Figura 2 – Logótipo atual da Leica [2]

Em 1876, a empresa desenvolveu o seu primeiro microscópio, marcando um avanço significativo e um sucesso. Posteriormente, em 1925, foi comercializada a primeira câmara fotográfica da marca, a Leica I, que rapidamente se afirmou como um êxito comercial e tecnológico.

Ao longo de quase dois séculos de existência, a Leica consolidou a sua posição como referência internacional na produção de lentes de elevada precisão, destacando-se particularmente nas áreas da fotografia e da cinematografia. Paralelamente, a empresa tem-se afirmado como especialista no domínio das óticas desportivas, com produtos de excelência como binóculos, miras telescópicas e equipamentos *rangefinder*.

Atualmente, a empresa Leica conta com uma presença global sólida, refletida nas mais de 120 lojas físicas distribuídas estrategicamente por diversos países.

A presença industrial da Leica em Portugal remonta ao ano de 1973, com a instalação da sua primeira unidade fabril em Vila Nova de Famalicão, inicialmente dedicada exclusivamente à montagem de microscópios.

Quatro décadas mais tarde, a empresa inaugurou novas e modernas instalações na freguesia de Lousado, no mesmo concelho, o que veio proporcionar condições significativamente mais favoráveis à expansão e modernização da capacidade produtiva.

Em 2015, teve início a instalação de dois novos departamentos estratégicos: uma unidade de Investigação e Desenvolvimento (I&D), onde decorre o presente estágio, e um serviço de *Customer Care*. Ambos os departamentos foram oficialmente inaugurados em 2017.

Desde então, a área de I&D — internamente designada como T&I (Tecnologia e Inovação) tem vindo a consolidar um percurso notável dentro do grupo Leica, quer pelo alargamento do portefólio de produtos desenvolvidos, quer pelo reforço da sua especialização tecnológica, com especial incidência nos domínios da engenharia mecânica, ótica e eletrónica.

Entre os marcos mais relevantes destaca-se o desenvolvimento do *Trinovid Classic*, Figura 3, um binóculo de elevado prestígio, inteiramente concebido e produzido em território nacional, que se tornou, em janeiro de 2020, o primeiro produto da marca integralmente "made in Portugal".



Figura 3 - Trinovid Classic [2]

Atualmente, a unidade industrial da Leica em Portugal, Figura 4, está organizada em três grandes áreas de produção: Mecânica, Ótica e Montagem, refletindo a diversidade e sofisticação tecnológica da sua atividade.



Figura 4 - Unidade fabril localizada em Portugal [2]

A marca Leica é amplamente reconhecida pela sua reputação de excelência, construída ao longo de uma trajetória histórica sólida e sustentada por uma tradição de fabrico de produtos de elevada qualidade, integrando tecnologias de ponta e soluções inovadoras que respondem às exigências dos mercados mais especializados.

Introdução

2. Revisão Bibliográfica

O presente capítulo tem como objetivo principal dar seguimento ao trabalho previamente realizado numa dissertação anterior, ao mesmo tempo que visa aprofundar os conhecimentos essenciais para a consecução dos objetivos estabelecidos, particularmente no que respeita ao desenvolvimento do corpo de uma mira telescópica.

2.1. Indústria Ótica

Este subcapítulo aborda a indústria ótica, iniciando com uma contextualização deste setor de atividade e, em seguida, apresentando vários produtos e aplicações. Na sequência, serão detalhados o princípio de funcionamento das miras telescópicas, o processo de fabrico do corpo de uma mira telescópica e, por fim, o processo de fabrico das lentes e os revestimentos das mesmas.

2.1.1. Produtos e aplicações

A indústria ótica assume um papel crucial no desenvolvimento de múltiplas tecnologias associadas à visão, abrangendo desde o fabrico de lentes oftálmicas até dispositivos óticos avançados, como microscópios, telescópios, câmaras fotográficas e miras telescópicas.

Este setor, ótica, constitui um alicerce tecnológico em várias indústrias, destacando-se particularmente o fabrico de lentes para óculos e lentes de contato.

Adicionalmente, a produção de sistemas óticos de precisão, incluindo lentes para câmaras de alta resolução e sensores infravermelho, tem registado uma aplicação crescente nas indústrias, como o setor automóvel e aeroespacial. No setor da defesa, a ótica assume uma posição estratégica, sendo amplamente utilizada em sistemas de visão noturna, miras de alta precisão e sensores avançados de vigilância [3].

Outro aspeto de elevada relevância prende-se com o contributo da indústria ótica na promoção da sustentabilidade energética, especialmente no fabrico de lentes para sistemas de energia solar. Estes dispositivos óticos são utilizados para concentrar a luz solar em células fotovoltaicas, proporcionando um incremento substancial na eficiência da conversão energética, sobretudo em regiões caracterizadas por elevados índices de insolação [4].

Adicionalmente, a incorporação de tecnologias óticas em dispositivos médicos, tais como endoscópios e microscópios de alta precisão, tem impulsionado transformações significativas

nos procedimentos diagnósticos e terapêuticos. As técnicas avançadas de imagem baseadas em espectroscopia ótica, incluindo a tomografia, têm revelado um elevado potencial na detecção precoce de patologias, nomeadamente glaucoma e neoplasias malignas.

Na Figura 5 é possível observar alguns produtos elaborados por este tipo de indústria.



Figura 5 - Esquerda: – Microscópio *Nexcope NIB630 Inverted* [5] Direita: Máquina fotográfica Leica SL3 [6]

2.1.2. Miras telescópicas

As miras telescópicas consistem em dispositivos óticos de elevada precisão, projetados com o propósito de ampliar imagens e proporcionar uma visão nítida de alvos a longa distância. O princípio de funcionamento fundamenta-se na ótica do telescópio refratário, como será abordado no subcapítulo 2.1.4.

O desenvolvimento compreende diversas etapas complexas e fundamentais, que englobam desde a fase do design, passando pela prototipagem, até à realização de testes rigorosos. Estas fases são essenciais para garantir que o produto final cumpra os padrões de precisão, durabilidade e funcionalidade que são impostos.

Atualmente, as miras telescópicas desempenham um papel amplamente difundido em contextos militares, caça e no tiro desportivo. Dotadas de funcionalidades avançadas, como visão noturna e deteção térmica, as miras telescópicas satisfazem um elevado número de exigências. A evolução tecnológica deste tipo de dispositivo evidencia a importância crucial na história do tiro de precisão ao longo dos séculos. A Figura 6 ilustra dois modelos distintos de miras telescópicas da Leica, destacando a diversidade de opções disponíveis.



Figura 6 - Leica Calonox 2 com visão noturna (esquerda), Leica Fortis 6 sem visão noturna (direita) [6]

2.1.3. Contextualização da indústria

A história das miras telescópicas reflete o progresso da tecnologia de armamento e a procura pela maior precisão nos disparos. Estas miras surgiram no início do século XIX, através de Morgan James, frequentemente citado como o inventor da primeira versão prática por volta de 1835. Durante a década de 1850, surgiram vários modelos mais avançados, como a mira Chapman-James que proporcionava uma ampliação básica e auxiliava no alinhamento, contribuindo significativamente para a precisão dos disparos. Posteriormente, foram introduzidos avanços importantes por fabricantes como William Malcolm, que, em 1855, desenvolveu lentes acromáticas, favorecendo a qualidade ótica [7].

O desenvolvimento das miras telescópicas foi impulsionado, sobretudo, pela necessidade de aumentar a eficácia e a precisão dos disparos de longo alcance, especialmente em contextos militares. Durante a Guerra Civil Americana, as miras telescópicas foram amplamente utilizadas por franco-atiradores, proporcionando uma precisão inigualável, muito superior à das miras tradicionais. Este avanço tecnológico continuou nas guerras mundiais, período onde surgiram inovações como ampliações ajustáveis e designs mais sofisticados, consolidando-as como ferramentas indispensáveis em várias condições de combate [8].

Ao longo do século XX, especialmente em consequência das duas guerras mundiais e da Guerra do Vietname, registaram-se avanços significativos no desenvolvimento e comercialização das miras telescópicas. A Figura 7 apresenta a mira telescópica de Chapman-James, um exemplo emblemático da evolução destes dispositivos.



Figura 7 - Mira telescópica de Chapman-James [7]

2.1.4. Princípio de Funcionamento

O funcionamento interno de uma mira telescópica assemelha-se, de forma substancial, ao de um telescópio convencional. As lentes internas têm a função de ampliar a imagem recorrendo ao redireccionamento e foco da luz incidente.

No interior de uma mira telescópica, ocorrem diversos fenómenos óticos e mecânicos, tais como o erro de paralaxe e a refração, os quais serão abordados em detalhe posteriormente. Consequentemente, estes fenómenos atuam em conjunto para proporcionar ao utilizador uma visão nítida e precisa, garantindo, assim, o correto funcionamento do dispositivo ótico [9].

Uma mira telescópica é constituída por:

- Corpo; (Scope tube)
- Lente Objetiva; (Objective assembly)
- Lente Ocular; (Ocular assembly)
- Lentes internas (Sistema eretor); (Erector zoom system)
- Lentes de foco de 1º e 2º plano; (First focal plane reticle and second focal plane)
- Torres de Ajuste. (Elevation adjustment)

A Figura 8 ilustra o interior e situa os componentes na mira telescópica.

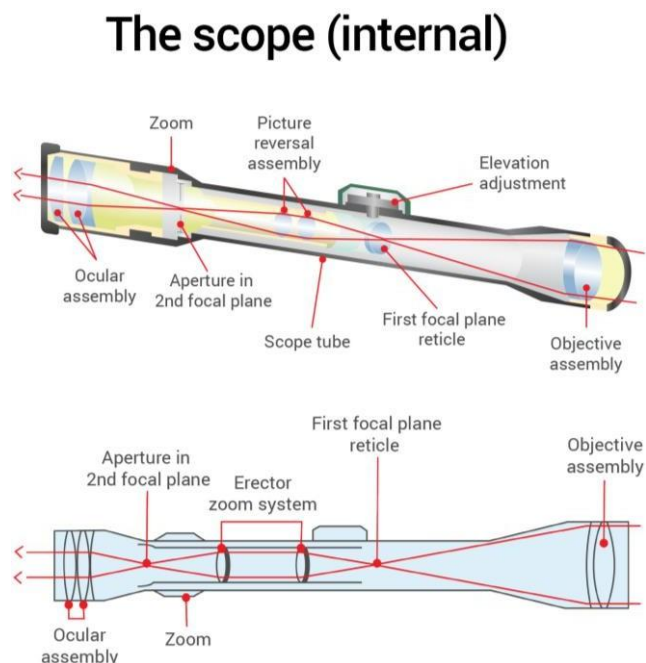


Figura 8 - Constituintes de uma mira telescópica [9]

Assim, pela análise da Figura 8 é possível identificar os principais constituintes de uma mira telescópica. Deste modo, o corpo desempenha uma função essencial, ao assegurar a proteção

dos componentes, garantindo que se mantenham devidamente e estáticos durante a sua utilização.

Em síntese, a luz ambiente incide inicialmente sobre a lente objetiva e é transmitida para a lente ocular. O utilizador encosta o olho e durante esse período a luz passa pelos componentes descritos anteriormente no interior do corpo. A retícula constitui o ponto ou a cruz usada como referência que permite visualizar a partir deste tipo de dispositivo ótico quando colocado num dos planos de focagem e, assim, são responsáveis por corrigir o erro de paralaxe, através da aproximação ou do afastamento destas lentes.

O erro de paralaxe, Figura 9, é um fenómeno ótico que se refere à aparente mudança de posição de um objeto quando é observado a partir de diferentes ângulos ou posições. Em miras telescópicas, este efeito ocorre quando a retícula (ponto ou cruz usada como referência) e a imagem do alvo não estão exatamente no mesmo plano focal. Consecutivamente, pode resultar numa perceção incorreta da posição do alvo em relação á retícula, especialmente se o olho do utilizador não estiver corretamente alinhado com o eixo ótico da mira. Simplificando para linguagem mais comum, o erro de paralaxe pode ser demonstrado da seguinte forma: Imagine-se um vidro com uma retícula e um alvo distante. Ao estar distante, e mudando o ângulo de visão a retícula vai “deslocar-se” em relação ao alvo, por outro lado se o vidro com a retícula estiver encostado ao alvo (no mesmo plano focal) não importa o angulo de visão. Este problema é resolvido através do ajuste da distância da mira ao alvo. Resumindo o erro de paralaxe é o desvio aparente do reticulo em relação ao alvo causado pela diferença dos planos focais.

O sistema eretor é um conjunto de lentes ou prismas que têm a função de corrigir posicionalmente a imagem que passa pelo sistema ótico. Por sua vez, quando a luz entra na mira telescópica, a lente objetiva foca a luz para formar uma imagem, mas devido às leis da ótica essa imagem é projetada de forma invertida. A correção feita por este sistema garante que ela seja exibida corretamente e orientada para o utilizador. Por fim, as torres de ajuste possuem três propósitos que são:

1. **Ajuste vertical** – faz a compensação relativamente à diferença de elevação entre o utilizador e o alvo.
2. **Ajuste Horizontal** – faz compensações relacionadas com o desvio provocado pelo vento horizontalmente.
3. **Correção do efeito de paralaxe** – faz referência à correção do efeito de paralaxe, redefinindo os parâmetros da mira em relação à distância à qual o alvo se encontra.

Este ajuste é feito manualmente e realizado pelo utilizador [9], [10], [11].

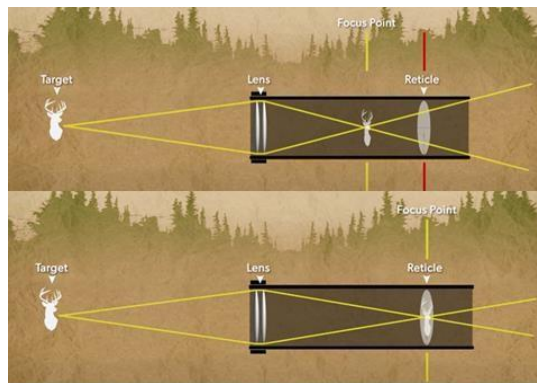


Figura 9 - Fenómeno do erro de paralaxe (em cima) e ausência do fenômeno do erro de paralaxe (em baixo), adaptado de [12]

2.1.5. Etapas e processos de fabrico do corpo de uma mira telescópica

O processo atualmente utilizado para o fabrico do corpo de uma mira telescópica é a maquinagem. Este processo de fabrico envolve o uso de uma ferramenta de corte afiada para remover o material da peça. O material é removido na forma de aparas, permitindo a formação da geometria desejada. Assim, à medida que o material é removido, uma nova superfície é exposta, garantindo a precisão e a qualidade da peça final.

Deste modo, é possível remover este material através de dois movimentos denominados:

- Movimento de avanço;
- Movimento primário.

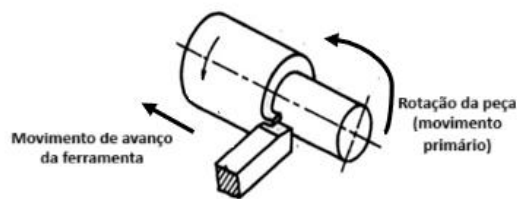


Figura 10 - Princípio de funcionamento do processo de maquinagem, adaptado de [13]

O movimento de avanço pode ser fornecido pela máquina-ferramenta ou manualmente, e é responsável por aproximar a ferramenta de corte ao material da peça, iniciando o processo de remoção. O movimento primário pode ser aplicado à ferramenta ou à peça através de uma máquina-ferramenta. Este movimento resulta na rotação da ferramenta ou da peça, permitindo a remoção contínua de material até se alcançar a forma final desejada [13].



Figura 11 - Ilustração do corpo da mira telescópica após o processo de maquinagem [14]

A Figura 11 ilustra o princípio de funcionamento da maquinagem e a Figura 12 apresenta o corpo da mira telescópica após a conclusão de todo o processo de fabrico.

Este processo é frequentemente utilizado para dar forma a metais, podendo servir de base como complemento a outros processos, ou como processo único. A maquinagem é um dos processos de fabrico mais importante.

A revolução industrial e o crescimento da economia mundial, baseada na manufatura, devem-se em grande parte, ao desenvolvimento das várias operações de maquinagem [15], [16].

A Tabela 1 apresenta algumas vantagens e desvantagens associados a este tipo de processo.

Tabela 1 - Vantagens e desvantagens do processo de maquinagem (adaptado de [16])

Vantagens	Desvantagens
Elevada diversidade de materiais.	Elevados níveis de desperdício.
Possível maquinar geometrias com elevada complexidade.	
Alta precisão dimensional.	Tempos de produção elevados.
Excelente acabamento superficial.	

Como referido anteriormente, estes dispositivos exigem resistência à corrosão e elevada durabilidade. Para corresponder a estes requisitos, os dispositivos óticos são submetidos a um tratamento superficial conhecido como anodização.

A anodização, também conhecida como oxidação eletroquímica, é um processo simples e de baixo custo utilizado para a síntese de camadas de óxidos metálicos na superfície de substratos metálicos.

O processo de anodização foi utilizado comercialmente pela primeira vez em 1920, com o objetivo de formar uma película protetora e decorativa no alumínio e nas ligas. Além de melhorar a proteção contra a corrosão, a anodização contribui para a parte estética do produto, proporcionando uma superfície mais resistente e visualmente atrativa [17].

O processo de anodização, Figura 12, funciona com base na troca de iões. Durante este processo, os catiões de alumínio (Al^{3+}) deslocam-se do substrato metálico em direção ao

eletrólito, enquanto os aniões (O^{2-} e OH^-) seguem no sentido oposto, ou seja, do eletrólito para o substrato metálico, criando a uma película protetora [18], [19].

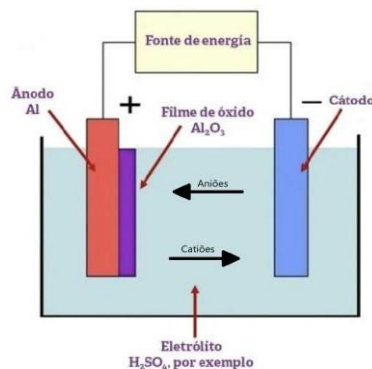


Figura 12 - Processo de anodização do alumínio (adaptado de [20])

Concluindo, ao modificar o material e os processos de fabrico é necessário ter em atenção e garantir que os corpos das miras telescópicas continuem com elevada durabilidade, resistência, e precisão e, por fim, um bom acabamento estético.

2.1.6. Processo de fabrico das lentes

O fabrico das lentes das miras telescópicas é um processo técnico altamente rigoroso, que exige tolerâncias extremamente apertadas. Este processo inicia com a seleção de matérias-primas de elevada qualidade, como vidros óticos, que apresentam propriedades óticas superiores, como baixa dispersão e alta transparência. Desta forma, é possível garantir que a transmissão da luz pelas lentes ocorra com a mínima perda e distorção. A utilização de matérias-primas de alta qualidade é essencial para assegurar a excelência e a qualidade das lentes, o que, por sua vez, é fundamental para o desempenho ótico do produto final.

O processo de fabrico das lentes das miras telescópicas começa com a fusão das matérias-primas, como areia de quartzo de alta pureza, carbonato de sódio e óxido de boro. Estes materiais são fundidos a elevadas temperaturas, formando um vidro homogéneo.

No caso das lentes das miras telescópicas, o vidro ótico deve ser tratado com extremo cuidado para evitar inclusões ou bolhas que poderiam prejudicar o desempenho e o comportamento do aparelho ótico. Após a fusão, o vidro é moldado em blocos ou chapas e arrefecido lentamente, de modo a evitar variações bruscas de temperatura que possam gerar tensões internas. Estes blocos são então cortados num bloco com o tamanho já aproximado das lentes [21].

Em seguida, os blocos passam pelo processo de lapidação, que confere à lente a forma desejada, seja côncava ou convexa, de acordo com as especificações óticas requeridas. Após essa etapa, são submetidos a diversas fases de polimento. Inicialmente, realiza-se um desbaste mais grosseiro através de máquinas avançadas, resultando numa superfície áspera e semitransparente. Posteriormente, o polimento é efetuado com recurso a pastas de diamante, até alcançar a espessura desejada, embora a superfície ainda permaneça ligeiramente áspera.

Por fim, é utilizado o equipamento similar, porém com abrasivos diferentes como, pastilhas de poliuretano e óxido de cério, para melhorar a qualidade final da superfície com a suavidade, transparência e poder de refração [22].

2.1.7. Revestimento das Lentes

As lentes de uma mira telescópica de alta qualidade são revestidas, sendo as lentes totalmente multi-revestidas a escolha mais recomendada. O revestimento ótico de uma lente desempenha um papel crucial, contribuindo para a melhoria do desempenho e da durabilidade do produto. Assim, maximiza a transmissão de luz para a ótica, reduzindo o brilho causado por reflexos e tornando as lentes praticamente invisíveis. Posto isto, esta característica proporciona aos utilizadores menor exposição em relação à sua localização, além de oferecer maior conforto durante o uso. Adicionalmente, o revestimento confere às lentes uma resistência adicional a arranhões, para além de aumentar a robustez [9], [22].

Os diferentes níveis de revestimento das lentes são os seguintes [9]:

- **Revestido** – Possui pelo menos uma camada de proteção aplicada a uma superfície da lente.
- **Totalmente revestido** – Apresenta uma camada de revestimento em todas as superfícies da lente;
- **Multi – revestimento** – Contém múltiplas camadas de revestimento aplicadas em pelo menos uma superfície da lente.
- **Totalmente multi - revestido** – Dispõe de múltiplas camadas de revestimento em todas as superfícies da lente.

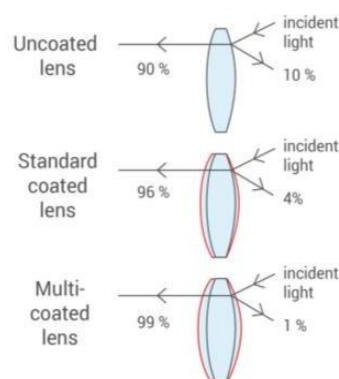


Figura 13 - Tipos de revestimentos das lentes (adaptado de [9])

A Figura 13 apresenta as diferenças na absorção e reflexão da luz em função do tipo de revestimento.

2.2. Materiais compósitos

Neste subcapítulo, são apresentados as definições e os conceitos básicos associados aos materiais compósitos. Além disso, serão discutidas algumas aplicações desses materiais em diversos setores industriais.

2.2.1. Definição e conceitos associados

Os materiais compósitos são combinações heterogêneas, ao nível macroscópico, de dois ou mais constituintes com propriedades químicas e físicas distintas. Assim, quando combinados resultam num composto cujas propriedades são superiores às de cada componente individual. As características desses materiais não podem ser alcançadas pela simples soma dos materiais de forma individual [23].

Os compósitos possuem dois componentes principais: a matriz, que é responsável por garantir a coesão do material, e o reforço, cuja função é fornecer resistência estrutural. A interface entre esses componentes é um fator essencial, pois determina como as propriedades dos materiais interagem e se integram.

Um exemplo prático é a combinação de fibras de carbono ou vidro com resinas poliméricas ou metais. Esta junção proporciona materiais que apresentam elevada resistência, rigidez e durabilidade, sem comprometer o peso [24].

2.2.2. Aplicações

Há muito tempo que o ser humano utiliza materiais compósitos para satisfazer as suas necessidades.

Um exemplo primitivo é a mistura de palha seca com argila utilizada na construção civil para produzir tijolos. Com o crescimento mundial e o aparecimento de conflitos, como as guerras, os materiais começaram a desempenhar um papel cada vez mais estratégico. Neste sentido, os metais ganharam destaque, sendo amplamente utilizados no fabrico de ferramentas e armas, objetos essenciais para a sobrevivência e para corresponder à procura da época.

Um outro exemplo é o caso dos arcos mongóis, as partes sujeitas à compressão eram tradicionalmente confecionadas com chifre, enquanto as áreas submetidas à tração eram constituídas por uma combinação de madeira e tendões de vaca, unidos para formar uma estrutura resistente e eficaz [25].

A evolução da humanidade está intrinsecamente relacionada com a capacidade de criar e transformar materiais. Esta conexão é tão significativa que levou as civilizações a serem nomeadas em períodos históricos com base na sua capacidade de manipular materiais, como a Idade da Pedra, Idade do Bronze, Idade do Ferro [26].

Os diversos avanços na área da metalurgia permitiram o desenvolvimento de ligas metálicas como o bronze, obtido pela combinação de cobre e estanho, e o latão, alcançado através da fusão de cobre com zinco. Assim, com os exemplos anteriormente referidos, é possível observar

que as combinações de materiais diferentes permitem criar outros com propriedades superiores.

Com a revolução industrial, surgiram diversos materiais compósitos, como o betão, a fibra de carbono, a fibra de vidro. Estes materiais destacam-se pelas propriedades que oferecem nomeadamente a rigidez, a resistência e a leveza [27].

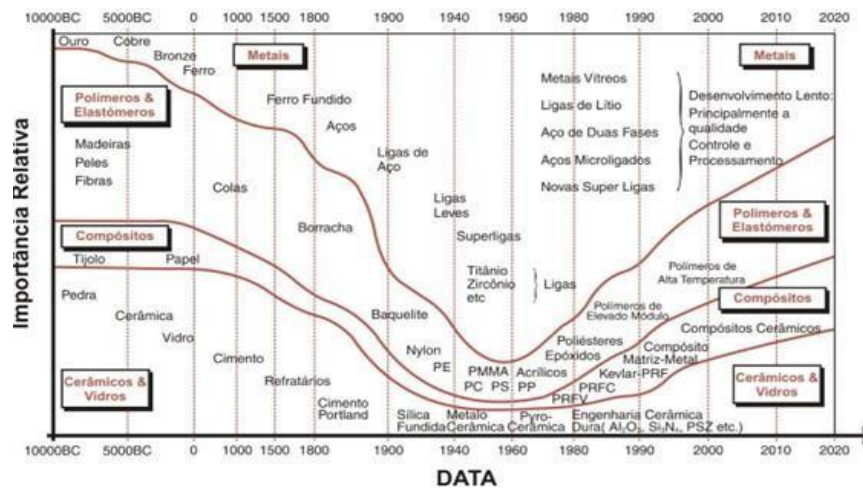


Figura 14 - Evolução dos materiais compósitos ao longo dos anos [28]

A Figura 14 ilustra a evolução dos materiais desde 10000 a.C. até 2020 d.C., verificando que, a partir da segunda metade do século XX, houve um avanço notório no desenvolvimento de novos materiais. Entre esses, os materiais poliméricos e compósitos emergiram com crescente relevância, refletindo uma ascensão significativa impulsionada pelas propriedades inovadoras e pela ampliação das propriedades tecnológicas.

Há aproximadamente 25 anos, as estruturas das aeronaves eram predominantemente constituídas por ligas de alumínio, titânio e aço, representando entre 80% a 90% do total.

Atualmente, cerca de 50% da estrutura de uma aeronave, como o Boeing 787, é composta por materiais compósitos, Figura 15. Deste modo, este valor representa um avanço significativo em comparação com modelos anteriores, Boing 777, destacando um crescimento bastante significativo na utilização desses materiais na indústria aeronáutica [29].



Figura 15 - Composição da estrutura de um Boing 787 [29]

Desta forma, os materiais compósitos destacam-se por corresponderem a requisitos técnicos rigorosos, sendo cada vez mais utilizados em diversas indústrias. Os setores que mais se destacam são os da aeroespacial, aeronáutica, automóvel, militar, além das aplicações de ponta utilizadas em competições na área do esporte e na área da medicina.

2.2.3. Fibras de reforço

As fibras desempenham um papel estrutural fundamental nos compósitos, proporcionando uma elevada resistência mecânica do material, elevada rigidez e baixa densidade [30]. Desta forma, a seleção das fibras deve ser cuidadosamente realizada, tendo em consideração as propriedades e funções que o material final deve apresentar [24].

O reforço proporcionado pelas fibras incrementa a resistência do compósito em relação à matriz, otimizando e melhorando as características desejadas do material compósito. No entanto, o desempenho do compósito pode ser influenciado por diversos fatores. As propriedades finais do compósito dependem diretamente de características como a forma, orientação, comprimento e composição das fibras, assim, como das propriedades mecânicas da matriz utilizada [31].

Os fatores anteriormente referidos desempenham um papel crucial na eficiência do material, sendo determinantes para a obtenção das propriedades mecânicas ideais para cada aplicação em específico.

Os compósitos poliméricos são frequentemente reforçados com fibras de vidro ou carbono, devido às propriedades de resistência. No entanto, nos últimos anos, com o aumento das preocupações ambientais e na sustentabilidade, as fibras naturais têm sido utilizadas como alternativas viáveis.

As fibras de juta, cânhamo ou sisal, utilizadas como reforços, oferecem uma opção mais ecológica, com um impacto ambiental reduzido na produção, comparadas com as fibras sintéticas.

2.2.4. Matriz polimérica

Os materiais compósitos podem apresentar na sua constituição matrizes de origem polimérica, cerâmica ou metálica. Em geral, a matriz caracteriza-se como o componente com menor resistência à tração ou a menor rigidez comparada com o elemento de reforço. Desta forma, a principal função da matriz é estabelecer a ligação com as fibras, formando um material único, de modo que as fibras e a matriz funcionem de maneira conjunta para suportar as diversas cargas aplicadas [32].

A matriz desempenha as seguintes funções [24]:

- Proteção das fibras do meio envolvente;
- Distribuição uniforme do carregamento pelas fibras;
- Manter as fibras na posição correta relativamente umas às outras.

As matrizes poliméricas podem ser classificadas em dois tipos principais: termoplásticas e termoendurecíveis.

Os compósitos de matriz termoplástica distinguem-se por geralmente apresentarem baixa resistência á temperatura. Ainda assim, os materiais podem ser moldados repetidamente, pois, ao atingirem o ponto de fusão, é possível obter as mesmas propriedades através de um processo de polimerização, o que os torna recicláveis [33].

Em contrapartida, os compósitos de matriz termoendurecíveis, para os quais a matriz é geralmente designada por resina, são geralmente obtidos pela combinação de um catalisador e/ou endurecedor. Desta forma, estas resinas solidificam quando expostas à temperatura ambiente ou a temperaturas elevadas, através do processo cura. Este processo é irreversível, e, ao serem submetido a temperaturas elevadas, os materiais decompõem-se, o que torna a reciclagem destes materiais difícil. Apesar disso, as resinas são amplamente utilizadas na indústria automóvel e aeroespacial devido às suas excelentes propriedades e à sua baixa viscosidade [34].

2.2.5. Pré-impregnados

Os pré-impregnados constituem materiais formados por fibras contínuas, que podem ser unidirecionais ou tecidos, previamente impregnados com uma quantidade controlada de resina já catalisada [35].

Para iniciar o processo de cura, geralmente é preciso aquecer o material até à temperatura de ativação. Os pré-impregnados têm as seguintes vantagens [36]:

- Maior fração volumétrica de fibras;
- Combinação otimizada entre resina e fibra;
- Baixos níveis de vazios (inferiores a 2%);
- Elevada repetibilidade nos resultados.

Os pré-impregnados são comercializados em forma de rolos ou folhas, estando prontos para utilização imediata, o que permite a aplicação direta nos moldes sem a necessidade de impregnação com resina líquida. Assim, esta característica elimina o contacto direto dos operadores com substâncias químicas. Ainda assim, parâmetros como o fluxo da resina, a aderência, a maleabilidade e o tempo necessário para que atinja um estado imóvel a uma determinada temperatura podem ser ajustados de acordo com os requisitos específicos de cada utilizador.

O armazenamento é um fator essencial na manutenção da qualidade dos pré-impregnados. Para evitar a ocorrência de reações de polimerização cruzada, processo que ocorre lentamente à temperatura ambiente, recomenda-se o armazenamento a temperatura aproximadamente de -18°C . Assim sendo, nestas condições, a durabilidade do material é preservado por vários anos [36].

Atualmente, as fibras predominantemente utilizadas em pré-impregnados incluem aramida, carbono e vidro. As fibras são combinadas com as matrizes poliméricas, como resinas epoxídicas, BMI (bismaleimida), fenólicas ou PI (poliimida). Contudo, é tecnicamente exequível a conceção de qualquer combinação de fibra/matriz, de acordo com os requisitos específicos de cada utilização.

Devido ao elevado desempenho, à consistência e aos rigorosos critérios de qualificação dos materiais, os pré-impregnados destacam-se como amplamente utilizados em setores de elevada exigência, tais como os setores aeroespacial, defesa, marítimo, transporte e, por fim, energia renovável. Contudo, o custo elevado constitui um fator crítico, que deve ser rigorosamente avaliado durante o planeamento e a análise da viabilidade da aplicação [37].

A Figura 16 ilustra um material pré-impregnado composto por fibras de carbono e resina epóxida.

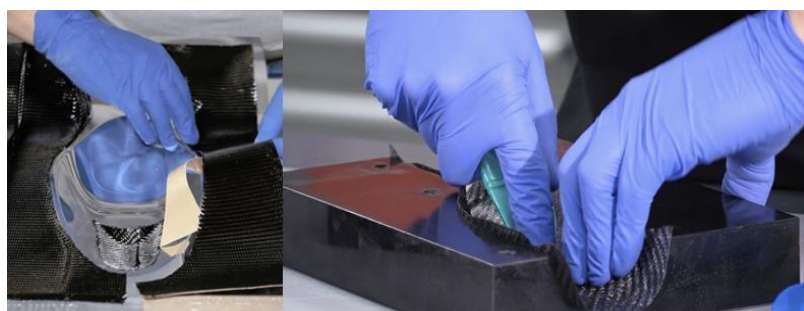


Figura 16 - Colocação de pré-impregnados em moldes (adaptado de [38])

2.2.6. Moldação com manga insuflável (*Bladder molding*)

A moldação com manga insuflável constitui um processo amplamente utilizado no fabrico de componentes com geometrias complexas, especialmente componentes ocos, a partir de materiais compósitos. Neste processo, o material compósito, frequentemente na forma de pré-

impregnado, que são cuidadosamente posicionados no interior do molde. De seguida, introduz-se a manga insuflável, e o molde é fechado. Em seguida, aplica-se pressão na manga insuflável, a qual comprime o material compósito contra as paredes do molde, forçando-o a adquirir a forma pretendida. Por fim, o conjunto é colocado num forno, onde ocorre o processo de cura do material compósito, consolidando-se assim a peça final [39], [40].

O compósito de fibra de carbono/epóxico é o material mais amplamente utilizado no processo de moldagem por manga insuflável. No entanto, outras fibras, como a fibra de vidro ou as aramídicas, também podem ser usados nesse processo.

O princípio de funcionamento da manga insuflável no interior do molde está exemplificado na Figura 17 evidenciando o processo de pressurização do material que força o material compósito contra as paredes do molde. A figura destaca, ainda, a aplicação do calor para a realização da cura, resultando na obtenção da peça final.

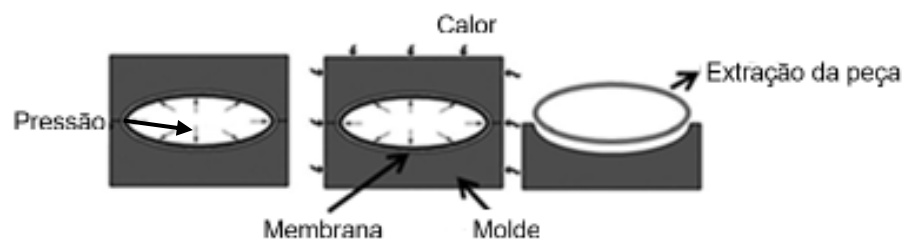


Figura 17 - Processo de moldagem com manga insuflável (adaptado de [41])

A Tabela 2 apresenta de forma simplificada as principais vantagens e desvantagens associadas ao processo de moldagem por manga insuflável.

Tabela 2 – Vantagens e desvantagens do processo Moldagem com Manga Insuflável [41].

Vantagens	Desvantagens
Capacidade de formar geometrias complexas.	Aparecimento de rugas.
Bom acabamento superficial das peças produzidas.	
Custo relativamente baixo porque a cura pode ser realizada num forno em vez de exigir uma autoclave.	Espessura da parede desigual devido a variações de pressão na manga insuflável.
Acabamento consistente com juntas suaves.	

2.3. Desenvolvimento do corpo de uma mira telescópica a partir de pré-impregnado de carbono/epóxico

Este subcapítulo apresenta a contextualização do trabalho previamente realizado, bem como a descrição do trabalho a ser desenvolvido no âmbito do presente estudo. Assim, serão detalhados os procedimentos envolvidos no desenvolvimento do corpo de uma mira telescópica, utilizando um material compósito do tipo pré-impregnado de carbono/epóxico.

2.3.1. Trabalho realizado

Como referido anteriormente, a presente investigação dá continuidade ao estudo desenvolvido na dissertação de mestrado do investigador anterior, cujo principal objetivo consistiu no desenvolvimento do corpo de uma mira telescópica utilizando material compósito. Nessa fase, foram realizados estudos preliminares relativamente aos requisitos técnicos e funcionais do sistema, incluindo a seleção dos materiais mais adequados e à definição do processo de fabrico mais viável.

Na Figura 18 podemos observar o corpo da mira telescópica. Este é composto por 3 secções, nomeadamente:

- 1 corresponde à secção da objetiva
- 2 e 3 correspondem à secção cónica e reto do corpo respetivamente

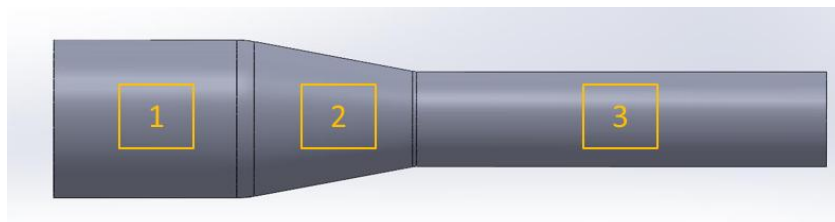


Figura 18 – Corpo da mira telescópica [42]

O modelo do corpo da mira telescópica a desenvolver é a “Fortis 42” produzido pela Leica Camera AG e disponível no site da mesma.

O trabalho anteriormente realizado constitui uma base metodológica e científica robusta, a partir da qual esta dissertação se propõe a aprofundar a análise, nomeadamente no que respeita à seleção do material compósito mais apropriado e à avaliação dos processos de fabrico que possam ser aplicados à produção do componente em questão [42].

2.3.1.1. Seleção de materiais e processos utilizados

Como referido anteriormente, os materiais compósitos a utilizar neste estudo são formados pela combinação de fibras de reforço com uma matriz polimérica, resultando num material com propriedades mecânicas otimizadas para aplicações específicas.

No âmbito desta investigação, foram analisados os seguintes tipos de fibras de reforço:

- Fibra de vidro;
- Fibra de carbono.

Relativamente às matrizes poliméricas consideradas, destacam-se os seguintes materiais:

- Poliésteres insaturados;
- Resinas de vinil éster;
- Resinas fenólicas;

- Bismaleimida;
- Resinas epoxídicas;
- Poliimida termoendurecíveis.

Após a análise comparativa das diferentes combinações possíveis entre fibras de reforço e matrizes poliméricas, o material selecionado foi a fibra de carbono impregnada com resina epoxídica.

Esta escolha para a fibra de reforço fundamenta-se nas excelentes propriedades mecânicas, nomeadamente na elevada rigidez, leveza, reduzido coeficiente de expansão térmica, elevada resistência à fadiga, à corrosão e ao impacto, bem como na qualidade superior do acabamento superficial.

Por sua vez, a resina de epóxido desempenha um papel fundamental na eficiência do compósito, ao assegurar uma transferência de carga entre a matriz e o reforço, o que contribui significativamente para a integridade estrutural do compósito.

Além disso, apresenta baixa contração durante o processo de cura, o que reduz substancialmente a probabilidade de ocorrência de deformações. Entre as diversas propriedades destacam-se a excelente resistência química à fadiga e ao impacto, baixa propagação de fissuras e acabamentos superficiais de alta qualidade.

Deste modo, as combinações das propriedades destes dois componentes tornam a aplicação particularmente adequada para o desenvolvimento do corpo de uma mira telescópica.

De entre uma ampla variedade de processos de fabrico disponíveis para os materiais compósitos, foram analisados os seguintes métodos:

- Moldação Manual;
- Enrolamento Filamentar;
- Moldação por injeção;
- Moldação por injeção a baixa pressão e por transferência;
- RTM (Resin Transfer Moulding);
- RIM (Reaction Injection Moulding);
- Moldação em Autoclave;
- Infusão por Vácuo;
- Moldação com Manga Insuflável (Bladder Molding).

Com base no estudo realizado, concluiu-se que o processo mais adequado é a moldação com manga insuflável, em conjugação com a impregnação manual da resina na fibra de carbono. Esta metodologia apresenta diversas vantagens, nomeadamente a boa relação entre qualidade final, custo e versatilidade. Tais características tornam este método particularmente eficaz para corresponder aos requisitos específicos do projeto.

Os restantes processos analisados revelaram, na sua maioria, a exigência de equipamentos complexos e a utilização de componentes com elevado custo de difícil acesso, o que comprometeria a viabilidade da aplicação na produção de protótipos em quantidade limitada.

Para além disso, verificou-se que alguns desses processos não apresentavam compatibilidade com a geometria específica exigida para o corpo da mira telescópica [42].

2.3.1.2. Equipamentos

A implementação do processo de moldação com manga insuflável exigiu a prototipagem e o fabrico de diversos componentes essenciais ao sucesso da metodologia proposta. De seguida, apresentam-se os principais elementos desenvolvidos, os quais foram projetados com o objetivo de assegurar a viabilidade e eficiência do método de fabrico.

– Molde

A Figura 19 apresenta o molde desenvolvido. Para a aplicação no processo de moldação com manga insuflável, foram idealizados e fabricados dois meios-moldes em alumínio da liga Al 6061, especificamente para aplicação no processo de moldação com manga insuflável [42].

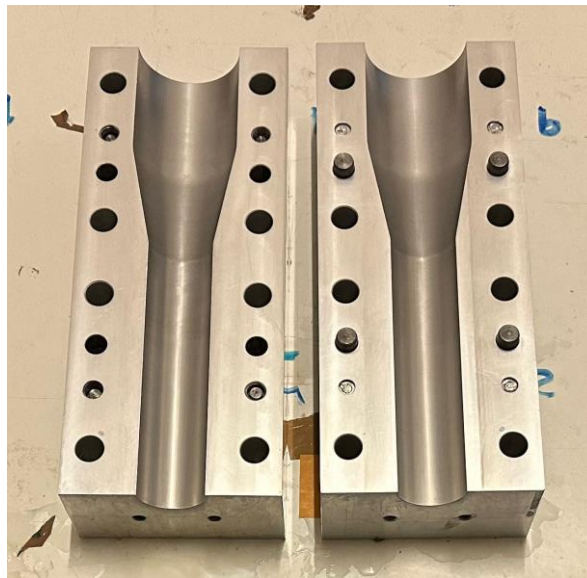


Figura 19 - Molde para o protótipo

– Insertos

Foram realizados dois insertos específicos, Figura 20, destinados à zona da objetiva, com o objetivo de garantir a precisão da geometria correta do corpo da mira telescopia que não é possível atingir apenas com o material compósito. Estes insertos foram modelados em dois tipos, um com a geometria final do corpo de uma mira e outro com uma espessura maior para uma possível maquinagem posterior [42].



Figura 20 – Inserto totalmente maquinado (esquerda), Inserto por maquinar (direita) [42]

– Tampas de posicionamento

Além dos insertos elaborados, foi também necessário desenvolver tampas, cuja função consiste em assegurar o posicionamento correto durante todo o processo. A tampa localizada à esquerda, ilustrada na Figura 21, garante o posicionamento do inserto através de roscagem entre componentes. Já a tampa à direita, igualmente apresentada na Figura 21, apresenta um diâmetro ligeiramente inferior ao diâmetro interno do inserto e contém dois o-rings, responsáveis por restringir o movimento da peça.

Com o objetivo de evitar deslocamentos durante o processo, foi desenvolvido um sistema de rasgos, como observado na Figura 21. Após o molde fechado, as tampas são fixadas por parafusos e orientadas por pinos, garantindo a posição estática ao longo do processo [42].



Figura 21 - Tampas de posicionamento [42]

– Manga insuflável

O material selecionado para a membrana foi o polietileno, devido às suas características como a elevado alongamento até à rotura, impermeabilidade, baixo custo, disponibilidade e à inércia química em relação aos demais componentes do processo, o que facilita a remoção após o uso. Entre as variações do polietileno, optou-se pelo de baixa densidade, pois oferece maior capacidade de deformação.

As membranas foram elaboradas a partir de sacos semelhantes aos usados para embalar frutas nos supermercados (Figura 22). O processo de fabrico envolveu a realização de medições

precisas, cortes adequados e, posteriormente, a soldagem dos materiais, utilizando um equipamento de embalagem a vácuo [42].



Figura 22 - Manga insuflável de polietileno [42]

– **Tampa de entrada de ar comprimido**

Foi desenvolvida uma tampa, Figura 23, adequada para permitir a roscagem de um engate rápido de ar comprimido, viabilizando o processo de insuflação da manga [42].



Figura 23 - Tampa de entrada de ar comprimido [42]

– **Macho posicionador**

Com o objetivo de garantir o posicionamento processo do material no interior do molde, foi desenvolvido um macho com geometria semelhante à do corpo a ser obtido. Para o fabrico deste elemento, o material seleccionado foi o politetrafluoretileno, (PTFE), devido ao seu baixo coeficiente de atrito. Esta característica, aliada ao contacto directo com o compósito durante o processo, contribui significativamente para a facilidade de desmoldagem [42].



Figura 24 - Macho posicionador [42]

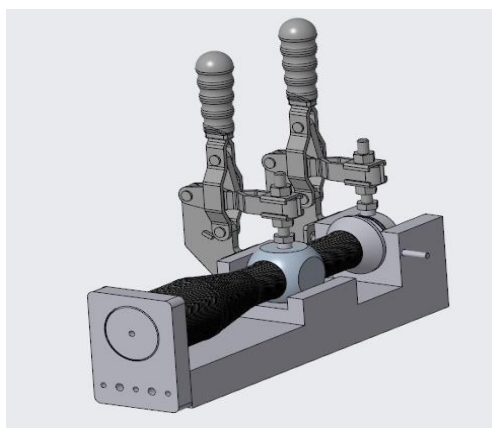
– **Gabarit**

Por fim, após o fabrico do corpo da mira telescópica, a peça ainda não se encontra finalizada. Assim, com o objetivo de dar continuidade à montagem, foi desenvolvido um sistema denominado *Gabarit*, cuja função é auxiliar na fixação do componente destinado à acomodação das torres de ajuste, bem como no elemento responsável pelo posicionamento da ocular, utilizando o processo de colagem.

Devido à elevada complexidade geométrica desses componentes, o fabrico no material compósito apresenta diversas limitações práticas, sendo, por essa razão, elaborados em alumínio.

Para garantir a estabilidade e o correto posicionamento dos insertos, foram adquiridos grampos específicos, adequados às exigências do processo. O posicionamento das torres é indispensável para o funcionamento eficiente da mira telescópica, o que impõe a necessidade de tolerâncias rigorosas durante o fabrico [42].

Pela análise da Figura 25 é possível observar o modo de atuação entre o sistema completo e o corpo da mira telescópica.

Figura 25 - *Gabarit* [42]

2.3.1.3. Processos de fabrico dos protótipos

Iniciou-se, assim, a fase de fabrico de um protótipo do corpo de uma mira telescópica através do processo de moldação por manga insuflável. A obtenção do protótipo, exigiu o cumprimento rigoroso de diversas etapas. Numa fase inicial, procedeu-se à limpeza da superfície para a aplicação do desmoldante nos meios moldes. Posteriormente, aplicou-se álcool polivinílico nas superfícies que iriam entrar em contacto com a resina.

Os pré-impregnados foram previamente cortados de acordo com as dimensões exigidas e, em seguida, embebidos manualmente em resina. Após essas etapas, o tecido já impregnado foi posicionado no macho e no inserto. Com o material devidamente posicionado, procedeu-se à instalação da manga insuflável, garantindo a vedação através da aplicação da fita adesiva apropriada “mastic”. Posteriormente, a tampa de entrada do ar comprimido foi instalada e os moldes foram apertados.

O processo foi realizado com uma pressão aplicada no molde através da manga insuflável de cerca de 0,2 MPa (2 bar), sendo mantido essa pressão até a cura estar completa. Finalmente, procedeu-se ao processo de desmoldagem do protótipo.

No total, foram realizados cinco protótipos, com o intuito de permitir a obtenção de resultados progressivamente melhores [42].

2.3.2. Trabalho a desenvolver

Após todo o trabalho efetuado, conclui-se que o uso de fibras de carbono e a impregnação manual geravam grandes dificuldades no posicionamento do material, o que resultava em defeitos superficiais. Estas limitações resultaram na ocorrência desses defeitos, comprometendo a obtenção da geometria e das propriedades mecânicas desejadas para o componente final.

A resolução das dificuldades identificadas poderá ser alcançada através da utilização de pré-impregnados de fibra de carbono. Este método simplifica significativamente o posicionamento do material, eliminando a necessidade de componentes como o macho para auxiliar no posicionamento. Por outro lado, a utilização de pré-impregnados requer um forno para realizar o processo de cura, o que possibilita um controlo mais preciso da cura em comparação com o método anteriormente utilizado.

O fecho do molde revelou-se um problema, este apresentava deformações nas superfícies o que permitia o escoamento da resina indesejada para essas deformações, as causas foram a prensagem de algumas camadas de fibra durante o fecho do molde e os esforços aplicados durante a desmoldagem. Consequentemente, o fecho completo do molde tornou-se impossível, a solução possível para este tipo de problemas consiste na realização de uma retificação das superfícies do molde, permitindo corrigir as deformações e restabelecer a sua funcionalidade.

Foi igualmente perceptível que a manga insuflável utilizada não era adequada para o processo, pois apresentava constantes ruturas, além de não se expandir completamente, resultando em

corpos com superfícies internas e externas deficientes, o que não cumpria com os requisitos do corpo da mira. Além disso, com a utilização de pré-impregnados de fibra de carbono, pode ser necessário alterar o material da manga insuflável, uma vez que a temperatura de fusão do polietileno é próxima da temperatura de cura do pré-impregnado, o que comprometeria a eficácia do processo [42].

Neste subcapítulo, será realizado um estudo sobre possíveis alternativas para a manga insuflável. Além disso, dado que os moldes apresentam uma folga no que toca ao comprimento do corpo da mira, será necessário realizar um estudo sobre a maquinação dos materiais compósitos, para otimizar o processo e garantir a precisão das peças a produzir.

2.3.2.1. Mangas insufláveis

A manga insuflável é o componente responsável por compactar o material compósito contra as paredes do molde, como descrito no subcapítulo 2.2.6.

A escolha do tipo adequado de manga insuflável constitui, habitualmente, uma tarefa complexa. Além das condições económicas, a escolha depende de diversos fatores relacionados com o processo, tais como:

- Estabilidade mecânica e térmica para suportar as pressões e temperaturas durante o processo de moldação, garantindo total vedação;
- Deformabilidade da manga insuflável para se moldar à geometria interna da peça sem causar a formação de rugas, assegurando uma superfície lisa;
- Aderência à matriz;
- Reutilização da manga insuflável.

Como podemos observar na tabela da Figura 26, as mangas insufláveis são caracterizadas pelo seu dimensionamento, flexibilidade, capacidade de voltar à posição inicial após serem deformadas e pela sua reutilização [39].

Tipo de manga insuflável	Elasticidade da manga insuflável	Comportamento da deformação	Reutilização
Subdimensionada	Elástica	Reversível	Sim
		Irreversível	Não
	Não Elástica		-
Exata	Elástica	Reversível	Sim
		Irreversível	Não
	Não Elástica		Sim
Sobredimensionada	Elástica	Reversível	Sim
		Irreversível	Não
	Não Elástica		Sim

Figura 26 – Tabela de caracterização das mangas insufláveis (adaptado de [39])

As mangas insufláveis também são distinguidas pela forma como a pressão é aplicada, podendo surgir através de ar comprimido, gás ou líquidos.

Atualmente, diversos materiais como a borracha, a poliamida (nylon) e o silicone são utilizados na produção destas mangas.

Como referido anteriormente, a escolha da manga insuflável depende de vários fatores.

O Anexo A apresenta, materiais alternativos para a manga insuflável e suas propriedades, tendo uma tabela que integra algumas das propriedades essenciais a considerar na escolha da manga insuflável [43].

2.3.2.2. Maquinagem de materiais compósitos

Como referido anteriormente, nas últimas décadas, os materiais compósitos têm se destacado como um dos grupos de materiais tecnológicos mais atrativos. A crescente aplicação deve-se às excelentes propriedades, como o baixo peso, alta resistência mecânica e rigidez.

A maquinagem de materiais compósitos torna-se necessária para a montagem de diferentes peças complexas num conjunto, podendo, em alguns casos, ser substituída pela colagem com adesivos estruturais, além de corresponder à necessidade de cumprir tolerâncias apertadas. Esta operação apresenta uma certa complexidade e dificuldades, principalmente devido à sua heterogeneidade e anisotropia, o que faz com que as suas propriedades variem conforme os materiais utilizados como matriz e reforço, a fração volumétrica de fibras, a sequência de empilhamento, a orientação das fibras, além da sensibilidade ao calor e da abrasividade das fibras.

Os métodos tradicionais de maquinagem, embora aplicáveis, precisam de ajustes a nível de parâmetros e ferramentas para minimizar os danos causados por efeitos térmicos ou mecânicos.

Segundo Tagliaferri [44], devido à anisotropia e heterogeneidade dos compósitos, não é possível alcançar um acabamento similar ao obtido em peças metálicas [45].

A utilização deste processo pode provocar descontinuidades nas fibras, enfraquecendo o desempenho mecânico do componente, além da degradação do material, uma vez que as temperaturas alcançadas durante a operação podem exceder a temperatura da cura da resina. Além disso, a ocorrência de laminagens é outra problemática, sendo este o mais crítico. Assim sendo, através deste processo é bastante difícil obter bons acabamentos superficiais através deste processo [24], [46].

A análise da Figura 27 permite observar a ocorrência de delaminação durante o processo de furação numa placa de Polímeros reforçados com fibras de carbono, (PRFC).

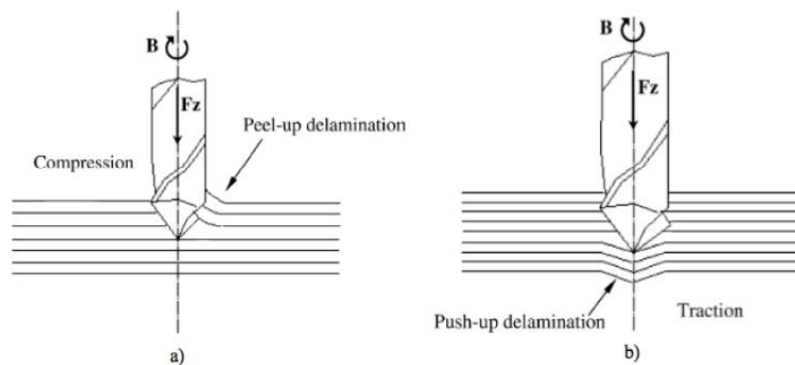


Figura 27 - Delaminação durante o processo de furacão numa placa de PRFC [46]

Devido às dificuldades associadas à maquinagem de materiais compósitos, o desenvolvimento e a implementação de técnicas alternativas têm se tornado cada vez mais frequentes. Desta forma, alguns métodos como a maquinagem a laser ou por descarga elétrica têm se revelado opções promissoras e altamente eficazes, quando comparados com a maquinagem tradicional com ferramentas de corte [46], [47].

2.3.3. Estado de Arte

Com base na pesquisa realizada, observa-se que o desenvolvimento deste tipo de produto é pouco divulgado, o que dificulta significativamente a consulta de artigos e a recolha de informações pertinentes. Assim, uma possível justificação para essa limitação reside no interesse estratégico das indústrias, em especial do setor militar, em manter o sigilo sobre este tipo de desenvolvimento, para preservar vantagens competitivas e garantir a confidencialidade tecnológica.

Nesta mesma indústria, o desenvolvimento de diversos componentes utilizados em armas de fogo, como coronhas e canos fabricados em materiais compósitos, especialmente em fibra de carbono, apresenta um maior nível de divulgação.

De acordo com a divulgação de artigos realizada pelo jornal líder mundial de armas em espanhol, “Arma Larga” [48], pela Universidade Da Defesa Nacional na Colômbia [49] e pela empresa líder no mercado de canos em fibra de carbono “PROOF” [50], o uso de fibra de carbono em canos de armas proporciona benefícios que vão além da redução de peso e do aumento de resistência.

O processo patenteado para o fabrico desses canos inicia com a utilização de blanks de aço inoxidável 416R, que passam por um processo de maquinagem para redução do peso. De seguida, o cano é revestido com fibra de carbono de alta resistência impregnada com uma resina especial, e este revestimento contribuiu significativamente para a melhoria na dissipação de calor, permitindo que o cano arrefeça de forma mais rápida, mantendo a precisão por mais tempo e conseqüentemente uma vida útil mais elevada. O resultado é um cano com uma redução de peso de aproximadamente 64%, além de ser mais robusto e preciso, correspondente aos elevados padrões de desempenho e confiabilidade.

Revisão Bibliográfica

Na indústria ótica, o desenvolvimento de produtos com uso de materiais compósitos tem evoluído significativamente ao longo das últimas décadas. Um exemplo notável desse progresso é a aplicação desses materiais em telescópios espaciais JWST (Telescópio espacial James Webb) e CTA (Rede de Telescópios Cherenkov) [51], [52].

3. Métodos e Aplicação

Neste capítulo, apresenta-se o processo de fabrico definido, juntamente com a descrição dos materiais selecionados e dos equipamentos escolhidos, incluindo as alterações realizadas. Por fim, é descrito detalhadamente a elaboração dos protótipos.

3.1. Processo de fabrico

Este subcapítulo aborda a seleção do processo de fabrico utilizado, bem como as alterações realizadas em relação ao processo utilizado pelo colega anterior, com o objetivo de promover melhorias no produto final.

3.1.1. Seleção do processo de fabrico

Como referido anteriormente, com base no estudo realizado na solução anterior, concluiu-se que o processo mais adequado seria a moldação com manga insuflável.

A utilização deste processo apresenta diversas vantagens quando comparado com outros processos, os quais, na sua maioria, requerem a necessidade de equipamentos complexos e componentes de elevado custo. Desta forma, o processo de moldação com manga insuflável destaca-se pela relação equilibrada entre qualidade, custo e versatilidade, tornando-o particularmente vantajoso para satisfazer os requisitos do projeto. Além disso, é especialmente adequado em componentes ocios, proporcionando um acabamento superficial de elevada qualidade.

A alteração no processo consiste na substituição da impregnação manual das fibras de carbono com resina pela utilização do pré-impregnado. Esta modificação simplifica significativamente o processo, tornando-o mais limpo, enquanto elimina problemas de posicionamento das fibras de carbono.

Em contrapartida, a utilização de pré-impregnados exige um forno para realizar o processo de cura o que implica a obtenção de outros materiais e equipamentos, estes serão apresentados nos capítulos seguintes.

3.2. Materiais

Este subcapítulo é dedicado à seleção dos materiais necessários para o fabrico dos protótipos do corpo de uma mira telescópica através do processo de moldação com manga insuflável e a aplicação de pré-impregnado de carbono/epóxico.

3.2.1. Seleção dos materiais

– Pré-impregnado de carbono/epóxico

Inicialmente, foi realizada uma pesquisa criteriosa de potenciais fornecedores de materiais, tendo em consideração que umas das principais restrições identificadas residia na exigência de aquisições em grandes quantidades, condição que se revelou desajustadas face à escala do projeto. Assim, privilegiou-se a seleção de um fornecedor que possibilitasse a comercialização em quantidades mais reduzidas, o que se traduziu numa redução significativa dos custos para a empresa. Nesta fase de criação de um protótipo o fornecedor selecionado foi a empresa Castro Composites. Subsequentemente, foram efetuados os devidos cálculos para a determinação do número de camadas requeridas para a construção dos protótipos, o que permitiu selecionar, entre os materiais disponibilizados, aquele com a gramagem mais adequada, assegurando o cumprimento dos requisitos técnicos e funcionais estabelecidos pela empresa.

Os requisitos definidos pela empresa eram conseguir assegurar uma espessura de 0,5 mm na zona do inserto da objetiva e 1 mm para a secção cónica e para o resto do corpo. Na Figura 28 estão identificadas as diferentes zonas que compõem uma mira telescópica.



Figura 28 - Diferentes zonas de uma mira telescópica

A determinação da espessura total foi calculada a partir da expressão (1):

$$t = G_f \times \left[\frac{1}{\rho_f} + \frac{1 - w_f}{\rho_p \times w_f} \right] \times N \quad (1)$$

Onde:

- t – Espessura, em mm
- G_f – Gramagem das fibras do pré-impregnado, em g/m^2
- ρ_f – Massa volúmica da fibra de carbono, em g/cm^3
- ρ_p – Massa volúmica da matriz de epóxico, em g/cm^3
- w_f – Fração mássica da fibra de carbono
- N – Número de camadas do pré-impregnado

O valor da gramagem das fibras do material pré-impregnado foi obtido a partir das especificações técnicas do fornecedor, assim como, o valor da fração mássica da resina, cujo valor é 0,42. Com base nestes dados, procedeu-se ao cálculo da fração mássica da fibra de carbono. A Equação (2) demonstra o cálculo realizado para obter o valor da fração mássica da fibra de carbono.

$$w_f = 1 - w_p \Leftrightarrow w_f = 1 - 0,42 \Leftrightarrow w_f = 0,48 \quad (2)$$

A massa volúmica da fibra e da matriz são respetivamente 1,85 e 1,16 g/cm^3 . Após reunir estes dados foi possível realizar o cálculo para obter o número de camadas e assim selecionar a melhor gramagem possível entre as disponíveis.

Na Tabela 2 estão presentes os valores dos cálculos obtidos.

Tabela 2 - Valores dos cálculos obtidos.

Gramagem (g/m^2)	Espessura de uma camada (mm)	Nº de Camadas (Zona da objetiva)	Nº de Camadas (Secção cónica)
200	0,23299	2,146	4,292
245	0,2853	1,752	3,504
285	0,3320	1,506	3,012
416	0,4849	1,031	2,063

Como é possível observar na Tabela 2, não existe um número unitário exato de camadas, o que impossibilita o cumprimento dos cálculos teóricos. Desta forma, escolheu-se uma gramagem em que o valor excedesse ligeiramente a unidade. Por conseguinte, conseguimos evitar o sobredimensionamento da espessura e, por consequência, problemas ao realizar o fecho do molde. Conclui-se que as únicas gramagens ligeiramente acima da unidade é a de 200 g/m^2 com 2,146 camadas na zona da objetiva e 4,292 camadas na secção cónica e a de 416 g/m^2 com 1,031 camadas na zona da objetiva e 2,063 camadas na secção cónica. Apesar do erro cometido ao escolher a gramagem de 416 g/m^2 ser mais baixo, esse tipo de pré-impregnado não estava

disponível no fornecedor escolhido, para evitar problemas relacionados com o tempo espera em relação aos materiais adquiridos foi selecionada a gramagem de 200 g/m² que já estava disponível.

Em contrapartida, como não conseguimos utilizar as 2,146 camadas e apenas 2, é cometido um pequeno erro. Através da Equação (3) é possível calcular a gramagem ideal para que utilizássemos 2 camadas.

$$t = G_f \times \left[\frac{1}{\rho_f} + \frac{1 - w_f}{\rho_p \times w_f} \right] \times N \Leftrightarrow G_f = 214,6 \text{ g/m}^2 \quad (3)$$

Na Equação (4) obtemos o erro ao utilizar uma gramagem de 200 g/m².

$$Er\% = \left| \frac{VT - VU}{VT} \right| \times 100 \Leftrightarrow Er\% = 7\% \quad (4)$$

Onde:

- VT – Valor teórico, em g/m²
- VU – Valor utilizado, em g/m²

Na Figura 29 destaca-se o pré-impregnado de carbono/epóxico selecionado.

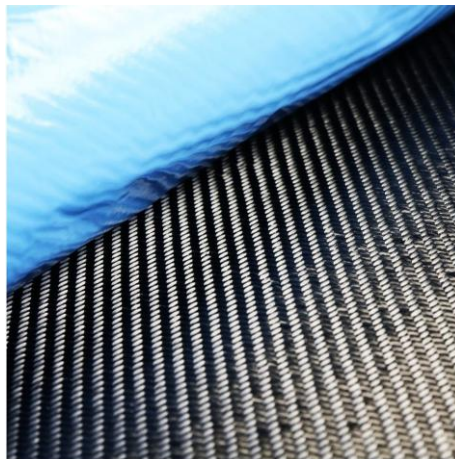


Figura 29 - Pré-impregnado de carbono/epóxico [53]

O pré-impregnado selecionado foi o “MTC510-C200T-HS-3K-42%RW” de 200 g/m². Este contém algumas características importantes como bom acabamento superficial, temperatura de serviço até 135 °C e uma temperatura de cura entre os 80 °C e 120 °C. Podemos encontrar as restantes informações na ficha técnica presente no Anexo B.

– **Desmoldante**

Devido á alteração no processo de fabrico surgiu a necessidade de se realizar uma cura com temperatura, consequentemente, a necessidade de um desmoldante com capacidade de resistir a altas temperaturas. Após pesquisa, o desmoldante eleito foi o “Mikon 2480”.

Este desmoldante é provido de algumas vantagens como:

- Fácil e rápido de aplicar;
- Suporta temperaturas até 450 °C;
- Alto brilho e bom acabamento superficial.

As restantes informações a cerca deste produto estão presentes na ficha técnica no Anexo C.

– **Material para a membrana insuflável**

Como mencionado anteriormente no capítulo 2.3.2, a membrana insuflável utilizada apresentava ruturas constantes resultando em protótipos com superfícies internas e externas deficientes, o que não respeitava os requisitos da empresa. Para solucionar este problema foi realizado uma pesquisa das possíveis alternativas de materiais a utilizar nas membranas. Era necessário um material que tivesse bastante elasticidade, resistisse a altas temperaturas e á pressão a ser aplicada. Desta forma, foi escolhido o “Fenform™50 Silicone Não Curada para Moldagem a Vácuo F999 UC SHT 1000”, Figura 30, como o material ideal a utilizar. Este material também foi obtido no fornecedor Castro Composites.



Figura 30 - Fenform™50 Silicone Não Curada para Moldagem a Vácuo F999 UC SHT 1000 [53]

Este material é fornecido na forma de tapete, sendo necessário realizar o corte, a soldagem e a cura de acordo com as dimensões desejadas para a membrana. Esses procedimentos serão detalhados posteriormente.

Este material possui algumas vantagens como:

- Temperaturas de trabalho ente 150 °C e 250 °C;
- É reutilizável;
- Capacidade de alongamento de 600%.

As restantes informações a cerca deste produto estão presentes na ficha técnica no Anexo D.

– **Saco de vácuo tubular**

Com o objetivo de realizar diversos testes relacionados com a produção dos protótipos e, assim, obter resultados progressivamente mais próximos dos desejados, foram adquiridos sacos de vácuo que possibilitam a introdução de alterações no processo de fabricação, com o objetivo de obter melhorias contínuas. Os sacos adquiridos correspondem ao modelo “Saco de vácuo tubular PA205, com 50 μ m (micrómetros) de espessura e 75 mm de largura (diâmetro de 47,75 mm)”, Figura 31.



Figura 31 - Saco de vácuo tubular PA205, com 50 μ m (micrómetros) de espessura e 75 mm de largura (diâmetro de 47,75 mm) [53]

Estes sacos possuem uma temperatura máxima de trabalho até 205 °C, o que os torna adequados para este processo. As demais informações relativas a este produto encontram-se disponíveis na ficha técnica, apresentada no Anexo E.

3.3. Equipamentos

Este subcapítulo aborda os equipamentos adquiridos que se revelaram necessários para o fabrico dos protótipos do corpo de uma mira telescópica, utilizando o processo de moldação com manga insuflável e a aplicação de pré-impregnado de carbono/epóxico. Além disso, são também descritas as modificações realizadas nos equipamentos previamente desenvolvidos pelo colega anterior, como referido no subcapítulo 2.3.2.1.

3.3.1. Equipamentos alterados

– **Molde**

Como referido no Subcapítulo 2.3.2, o molde desenvolvido no estudo anterior apresentou deformações resultantes dos esforços contínuos aplicados tanto durante o fecho e na fase de desmoldagem. Estas deformações comprometeram o fecho completo do molde, o que levou

ao escoamento de resina pelas laterais, dificultando o processo de desmoldagem e originando corpos com imperfeições. Na Figura 32 conseguimos observar as deformações.

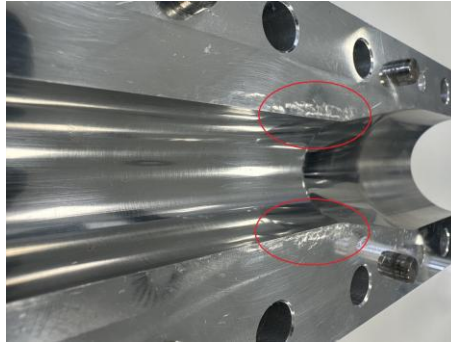


Figura 32 - Deformações no molde

A solução adotada consistiu na retificação do molde em ambas as faces, de forma a eliminar os problemas anteriormente identificados. Na Figura 33 é possível observar o molde após a retificação, já isento de defeitos.



Figura 33 - Molde após retificação

– Insertos

No subcapítulo 2.3.2.1 são apresentados dois tipos de insertos, Figura 20, em que o da esquerda é totalmente maquinado com a geometria final do corpo de uma mira, e o da direita com espessura maior para uma eventual maquinagem posterior. Considerando que todos os insertos completamente maquinados já haviam sido utilizados pelo colega responsável pela fase anterior do projeto, tornou-se necessário proceder à maquinagem de novos insertos. Com o objetivo de reduzir os custos associados à elaboração dos protótipos, optou-se por executar apenas a roscagem essencial à precisão da geometria do corpo da mira telescópica desconsiderando as restantes roscagem. Esta abordagem, além de reduzir os custos de fabrico, contribuiu também para minimizar os problemas com a rotura da membrana.

Na Figura 34 é possível observar os insertos parcialmente maquinados.



Figura 34 - Insertos parcialmente maquinados

3.3.2. Equipamentos adquiridos

– Mangueira

Considerando que o processo de cura é realizado no forno e que é imprescindível manter a membrana pressurizada durante esta etapa, surgiu a necessidade de adquirir uma mangueira resistente a altas temperaturas. Assim, foi realizado uma pesquisa sobre o material mais apropriado e obteve-se uma “Mangueira de Vácuo de Silicone Vermelha HOSE-R-160 para forno até 160 °C com comprimento de 3 metros”. Na Figura 35 é possível observar a mangueira de silicone.



Figura 35 - Mangueira de silicone [53]

A mangueira possui as seguintes características, Anexo F:

- Temperatura máxima de utilização – 160 °C
- Máxima pressão externa – 0,9 MPa (9 bar)

– **Conjunto de engate rápido e Válvula de vácuo**

Para simplificar o processo e de modo a garantir a vedação durante a pressurização da membrana, foi fundamental a aquisição de uma válvula de vácuo. Após a aquisição da mangueira e referida válvula, foi necessário adquirir um conjunto de engate, Figura 36, rápido para interligar estes equipamentos.



Figura 36 - Conjunto de engate rápido e válvula e vácuo [53]

Este conjunto possui algumas características técnicas relevantes como:

- Temperatura máxima de serviço – 210 °C;
- Máxima pressão de serviço – 1,6 MPa (16 bar).

– **Aplicador de pré – impregnado**

De modo a facilitar o manuseamento do material pré-impregnado no interior molde e simplificar o processo, foi adquirido um aplicador HDP, Figura 37, para pré-impregnados. Esta ferramenta viabiliza uma aplicação mais eficiente, promovendo uma melhor adesão do pré-impregnado ao molde, facilitando a sua colocação.

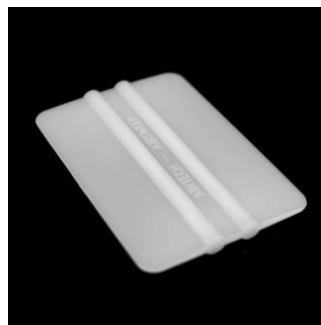


Figura 37 - Aplicador HDPE [53]

Este aplicador auxilia na compactação de materiais pré-impregnados, especialmente em zonas de difícil acesso, como cantos e ângulos fechados. Além disso, também contribui para a eliminação de rugas e de bolsas de ar entre as dobras do material.

3.4. Elaboração dos protótipos

No presente subcapítulo, são descritas as três etapas fundamentais para a elaboração dos protótipos.

3.4.1. Limpeza e preparação dos materiais e equipamentos necessários

A primeira etapa para a elaboração dos protótipos consistiu na limpeza e preparação dos materiais e equipamentos a serem utilizados. Inicialmente, preparou-se um local higienizado e protegido. Em seguida, procedeu-se à limpeza do molde e do inserto metálico. Para a execução da operação, utilizou-se um agente solvente, álcool etílico, e papel de cozinha. A limpeza foi realizada nas superfícies de contato do molde e na parte externa do inserto metálico.

O uso deste agente solvente garantiu a remoção completa de impurezas, tais como poeiras e resíduos de gordura presentes nas superfícies, que poderiam comprometer a adesão do desmoldante.

Após as superfícies estarem livres de contaminações foi aplicado o desmoldante líquido “Mikon 2480”. Considerando que o molde foi submetido a uma retificação, foram aplicadas três camadas sucessivas de desmoldante, com um intervalo de 30 minutos entre cada aplicação. Este procedimento foi realizado com o auxílio de uma trincha, evitando verter desmoldante nos orifícios pertencentes ao sistema de aperto do molde. Após a aplicação da última camada, o desmoldante foi deixado a secar durante 1 hora, como recomendado pelo fabricante e descrito na ficha técnica, disponível no Anexo F.

Na Figura 38 é possível observar o local assim como os equipamentos e materiais utilizados



Figura 38 - Local e materiais utilizados para na limpeza do molde

Em seguida, procedeu-se ao corte de uma secção do pré-impregnado, cujas dimensões excediam ligeiramente o meio do molde. Utilizando o aplicador Airsweep, garantiu-se a fixação adequada do recorte no molde. Posteriormente, com o auxílio de um x-ato, foi removido o material excedente.

Seguidamente, o recorte do pré-impregnado foi retirado do molde e transferido para papel, onde foi fixado novamente. Este procedimento revelou-se fundamental para a planificação da área dos meios moldes, permitindo, assim, o recorte preciso das camadas necessárias à execução do protótipo. Em seguida, realizou-se uma nova limpeza das superfícies dos meios moldes, utilizando álcool etílico para eliminar quaisquer resíduos remanescentes do pré-impregnado.

Como demonstrado no subcapítulo 3.2.1, são necessárias duas camadas de pré-impregnado na região da objetiva e quatro camadas para o resto do corpo. Com o objetivo de disfarçar a junta dos moldes e obter o melhor acabamento estético possível, assim como uma junta coesa e com melhores propriedades, foram idealizados os tamanhos das camadas, Figura 39.

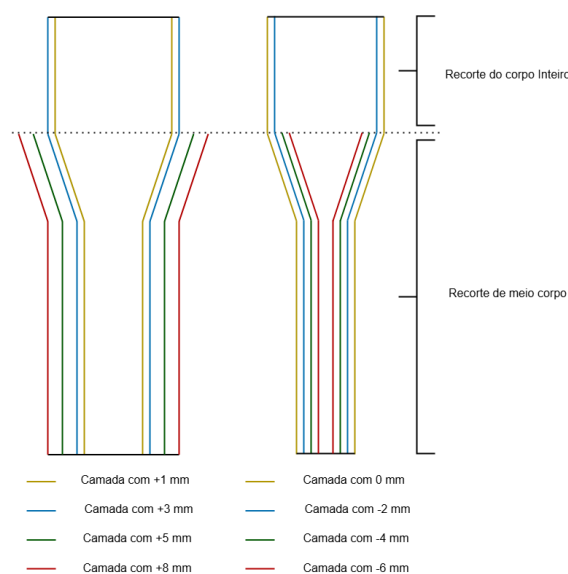


Figura 39 - Esquema de camadas.

Os offsets das camadas têm como objetivo formar uma “escada” no meio molde positivo que sobrepõem as camadas do meio molde negativo, facilitando assim a junção das camadas aquando do processo de cura, melhorando as propriedades mencionadas anteriormente. A Tabela 3 apresenta a sequência de empilhamento das camadas e as suas respetivas medidas.

Tabela 3 - Sequência de empilhamento das camadas

Sequência das camadas	Recortes	A- Meio molde positivo (mais baixo)	B-Meio molde Negativo (mais alto)
1ª	Corpo inteiro	+1 mm	0 mm
2ª		+3 mm	-2 mm
3ª	Meio corpo	+5 mm	-4 mm
4ª		+8 mm	-6 mm

Considerando que o pré-impregnado de carbono/epóxico deve ser armazenado a aproximadamente $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ para preservar as suas propriedades e prolongar a vida útil, inicialmente foram realizados os recortes em papel, como descrito na Figura 40.



Figura 40 - Recortes em papel

Inicialmente, foi idealizada a realização de uma membrana de silicone do tipo Fenform™50. Contudo, optou-se por realizar, em primeiro lugar, protótipos experimentais utilizando uma membrana insuflável em borracha vulcanizada, devido à sua elevada elasticidade e facilidade de obtenção.

Por fim, colocaram-se o restantes equipamento prontos para a realização do protótipo, nomeadamente a manga insuflável, o filme desmoldante, o compressor e o forno. Na Figura 41 podemos visualizar o forno e o compressor prontos a serem utilizados.



Figura 41 - Restantes equipamentos necessários à realização do protótipo

3.4.2. Processo de fabrico

A segunda etapa consistiu na realização dos recortes do pré-impregnado de carbono/epóxico. Este material é armazenado a uma temperatura de $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, sendo necessário um período de aproximadamente 30 minutos de exposição à temperatura ambiente para que ocorra a sua ativação, o que corresponde, neste caso, ao tempo estimado necessário para a execução dos recortes. Na Figura 42, são apresentados os recortes do material pré-impregnado após a sua preparação.



Figura 42 - Recortes do pré-impregnado de carbono/epóxico

Posteriormente, os recortes foram empilhados nos meios-moldes, seguindo a sequência especificada na Tabela 3. Para auxiliar na compactação do material contra as paredes dos moldes, recorreu-se à utilização do aplicador HDPE, conforme ilustrado na Figura 43. O inserto da objetiva foi posicionado no meio-molde positivo logo após a colocação das

Métodos e Aplicação

camadas correspondentes ao recorte inteiro e antes da inserção das camadas referentes ao recorte de meio corpo.

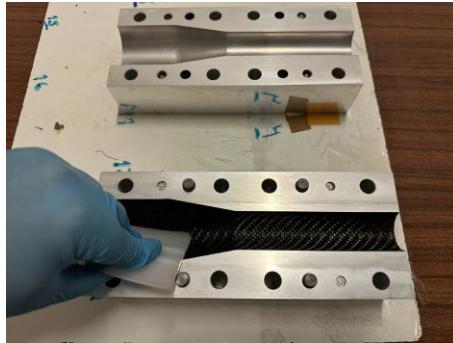


Figura 43 - Utilização do *aplicador HPDE*

Na Figura 44, é possível observar a disposição das camadas e dos insertos já empilhados nos moldes.



Figura 44 - Posicionamento do inserto entre as camadas

A etapa seguinte consistiu em envolver a manga insuflável num filme desmoldante, posicioná-la por dentro do inserto e realizar o aperto do molde garantindo que nenhuma camada ficava a obstruir o mesmo. Na Figura 45 podemos ver o molde fechado dentro do forno pronto para inicializar a cura.



Figura 45 - Molde fechado introduzido no forno

Após o posicionamento do molde no interior do forno, este foi fechado e a membrana insuflável foi pressurizada aproximadamente a 0,2 MPa (2 bar), dando-se então início ao ciclo de cura. Os parâmetros para a realização da cura foram um aumento de temperatura de 3°C por minuto até atingir os 100°C e, manter durante quatro horas a 100°C, como indicado na ficha técnica do pré-impregnado, Anexo B, no fim do ciclo manter a pressurização e deixar arrefecer naturalmente dentro do forno. Na Figura 46, podemos visualizar o gráfico que correspondente ao ciclo da temperatura a que o conjunto foi submetido.

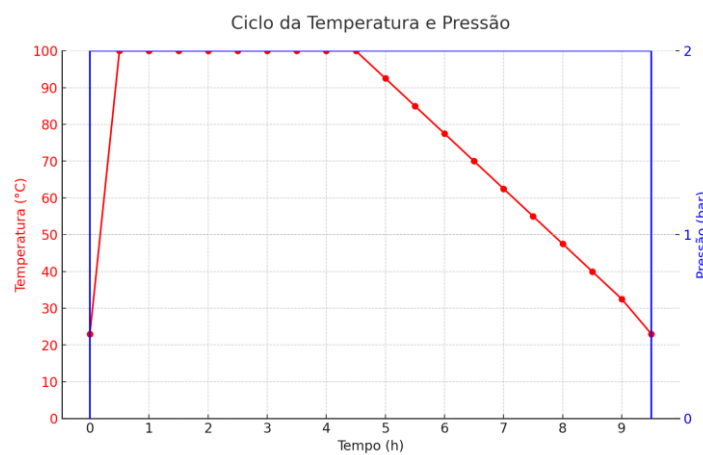


Figura 46 - Ciclo de temperatura e pressão

3.4.3. Desmoldagem

A última etapa do processo de fabrico do protótipo consistiu na desmoldagem. Este procedimento revelou-se simples e rápido, tendo sido realizado apenas com o desaperto do molde, sem necessidade de esforços adicionais ou uso de ferramentas auxiliares.

Métodos e Aplicação

Esse resultado deve-se, principalmente, à utilização de um desmoldante apropriado, com características adequadas ao processo em questão. O produto utilizado, Mikon 2480, é um agente de desmoldagem semipermanente de evaporação ultrarrápida, especialmente fácil e rápido de aplicar (limpar e deixar agir), não requerendo o uso adicional de selantes de moldes. Destaca-se ainda o rigoroso cumprimento das instruções de aplicação descritas na respectiva ficha técnica, Anexo C, bem como a cuidadosa higienização realizada previamente.

Na Figura 47, é possível observar o processo de desmoldagem do protótipo.

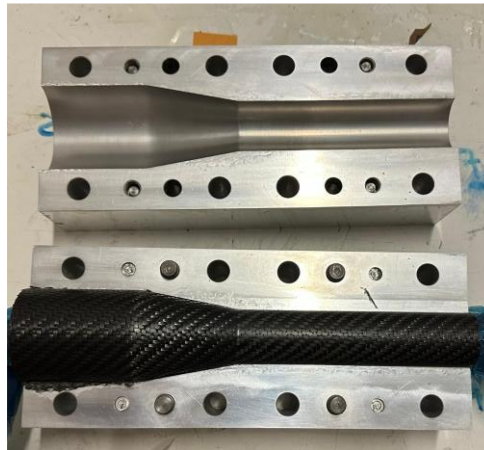


Figura 47 - Desmoldagem do protótipo

4. Resultados e Discussão

Neste capítulo, são apresentados os diferentes protótipos desenvolvidos ao longo do processo experimental, bem como as melhorias implementadas progressivamente na sua construção. Além disso, é realizada uma análise crítica dos resultados obtidos, com o objetivo de identificar os principais avanços alcançados e os desafios enfrentados durante o desenvolvimento dos protótipos.

4.1. Apresentação dos resultados

Seguidamente, são apresentados os resultados obtidos com a execução do processo descrito no subcapítulo 3.4, bem como a identificação dos defeitos observados. Adicionalmente, são discutidas possíveis soluções para a correção desses defeitos, com base na análise crítica do processo e nos critérios de qualidade previamente definidos.

4.1.1. Resultado do 1º Protótipo

Seguindo o procedimento descrito no subcapítulo 3.4, foi obtido o primeiro protótipo, como pode ser observado na Figura 48.



Figura 48 - Primeiro protótipo

O corpo da mira telescópica apresenta alguns defeitos, sobretudo na região cônica. Na Figura 49, à esquerda, são visíveis defeitos superficiais caracterizados pela falta de uniformidade na superfície do corpo. À direita, observa-se que o interior do corpo também apresenta irregularidades.

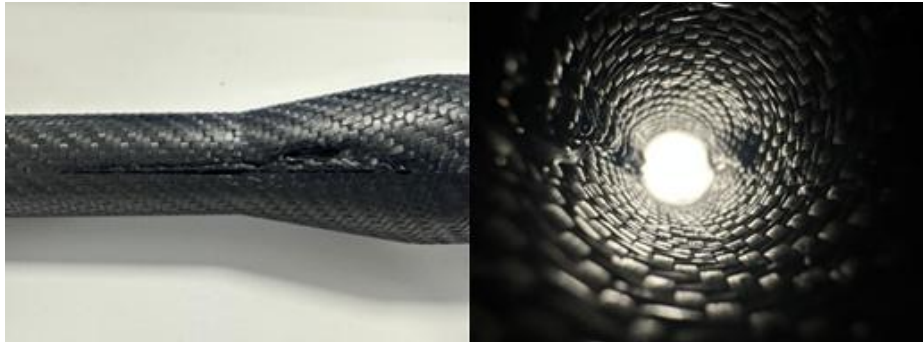


Figura 49 - Defeitos observados no primeiro protótipo

As discontinuidades observadas no corpo do protótipo devem-se á rotura da manga insuflável durante o processo de cura. No início da cura, a viscosidade da resina diminui, e com o passar do tempo, a viscosidade aumenta.

Como a membrana rompeu logo no início do processo, não houve pressão suficiente para garantir a compactação adequada do pré-impregnado contra o molde, resultando nos defeitos superficiais observados.

A rotura da manga foi causada pela aplicação de uma pressão excessiva sobre a membrana, decorrente da ausência de uma válvula reguladora de pressão no compressor, tendo sido ajustada manualmente, o que comprometeu o controlo preciso da pressão aplicada.

Durante a desmoldagem, verificou-se que, no momento do fecho do molde por descuido, algumas camadas foram prensadas inadvertidamente realizando pequenas deformações no molde. Esta ocorrência serviu como alerta para os cuidados necessários na execução dos protótipos subsequentes.

Outro defeito identificado foi a má adesão entre a matriz epóxica e o inserto metálico da objetiva, conforme pode ser observado na Figura 50.



Figura 50 - Defeito identificado - Má adesão entre a matriz epóxica e o inserto metálico da objetiva

A má adesão observada pode ser atribuída a três possíveis causas principais:

- Limpeza inadequada da superfície;
- Superfície excessivamente polida;
- Falta de pressão adequada exercida pela membrana sobre o inserto.

Considerando que não foi possível tirar conclusões definitivas com base num único protótipo, a primeira abordagem adotada para solucionar o problema consistiu na colagem posterior do inserto com resina epoxídica.

4.2. Otimização e discussão de resultados

Neste subcapítulo, são apresentadas as diferentes iterações realizadas, bem como as otimizações implementadas na tentativa de melhorar os protótipos.

4.2.1. Resultado do 2º Protótipo

Tendo sido identificados os erros cometidos no fabrico do primeiro protótipo, procedeu-se à realização de um segundo protótipo.

– Otimização

Em relação ao primeiro protótipo, os equipamentos utilizados e o processo de fabrico mantiveram-se inalterados. No entanto, foram adotados cuidados adicionais durante o fecho do molde e na aplicação da pressão na membrana insuflável. Embora a regulação da pressão tenha continuado a ser realizada manualmente, nesta iteração não ocorreu a rotura da membrana.

– Resultados e Discussão

Na Figura 51 podemos observar o corpo obtido.



Figura 51 - Corpo obtido no segundo protótipo

Apesar de se obter melhorias significativa na estética do corpo, como ilustrado na Figura 52, este ainda apresenta algumas deformações. A saliência visível deve-se à menor pressão

Resultados e Discussão

exercida na região cônica em comparação com a zona de diâmetro inferior, e também à imprecisão do molde, o que resulta numa compactação deficiente do material pré-impregnado durante o processo de cura.



Figura 52 – Defeitos observados no segundo protótipo

Adicionalmente, na Figura 53, onde determinadas áreas estão assinaladas a vermelho, podem ser identificadas outras imperfeições no interior da peça. Estas são parcialmente atribuídas à mesma causa anteriormente referida e também à presença do inserto, que limita a expansão total da membrana, dificultando a sua adaptação adequada à geometria local durante a fase de pressurização.

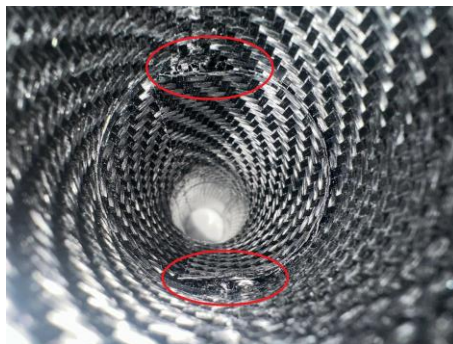


Figura 53 - Imperfeições no interior do corpo

Neste protótipo, também se verificou a má adesão do inserto metálico em alumínio ao material pré-impregnado. Após uma análise, concluiu-se que essa falha não se deveu à falta de pressão durante o processo nem a uma limpeza inadequada da superfície, mas sim ao polimento excessivo da superfície.

Existem diversas soluções que podem ser consideradas para resolver este problema, nomeadamente:

- Criação de travas mecânicas no inserto metálico;
- Recartilhar a superfície do inserto metálico;

- Colagem do inserto metálico.

4.2.2. Resultado do 3º Protótipo

Com o objetivo de melhorar o acabamento estético e estrutural, foi desenvolvido um terceiro protótipo.

- **Otimização**

A primeira alteração efetuada teve como objetivo colmatar o problema da fraca adesão do inserto metálico ao pré-impregnado, consistindo na colagem á priori do inserto com recurso a uma resina epóxida designada “Araldite” Figura 54 , por se tratar da solução mais viável em todos os aspetos.



Figura 54 - Resina *Araldite*

A análise da Figura 55 permite observar que o inserto está impregnado antes de se realizar o fecho do molde.

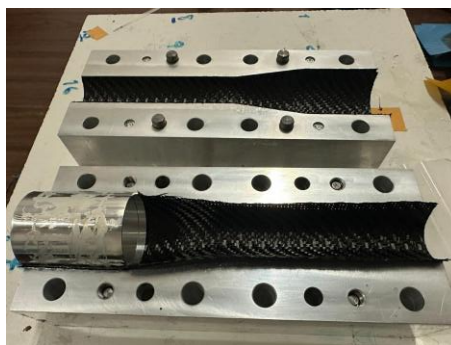


Figura 55 - Inserto impregnado com *Araldite*

A segunda alteração consistiu na tentativa de aumentar a pressão exercida pela membrana, apesar da regulação do sistema continuar a ser efetuada manualmente.

– **Resultados obtidos e discussão**

Na Figura 56, é apresentado o corpo correspondente ao terceiro protótipo desenvolvido, evidenciando as melhorias introduzidas nas fases anteriores.



Figura 56 - Corpo do terceiro protótipo

Importa salientar que, com as alterações implementadas, foi possível obter uma melhoria no acabamento estético do corpo. No entanto, persistem defeitos na união das camadas, particularmente na zona cónica e na região da objetiva, conforme se pode observar na Figura 57.



Figura 57 – Defeitos observados no terceiro protótipo

Através do aspeto visual e, sobretudo, a nível do tato, é possível constatar que a impregnação da resina é significativamente mais eficaz na zona da ocular (região com o menor diâmetro) do que na parte cónica e nas restantes áreas do corpo. Na zona da ocular, a superfície apresenta-se lisa e brilhante, evidenciando a presença predominante de resina. Em contraste, nas outras regiões, a superfície revela-se áspera, sendo possível sentir a textura do tecido, o que indica uma impregnação deficiente.

Uma das causas deste problema prende-se à geometria apresentar variações de diâmetro, enquanto a membrana mantém um diâmetro constante. Esta discrepância faz com que a expansão e a distribuição de pressão não ocorram de forma uniforme ao longo do corpo. Como

consequência, a pressão exercida sobre o pré-impregnado durante o processo de cura é inferior nessa zona, resultando numa impregnação deficiente. No entanto, a principal razão reside na presença do inserto metálico, que oferece resistência à deformação da membrana, impedindo a sua expansão adequada, no fato do pré-impregnado adquirido apresentar um baixo teor de resina e o molde ser de fraca qualidade.

A colagem *á priori* do inserto revelou-se eficaz, correspondendo às expectativas inicialmente previstas.

4.2.3. Resultado do 4º protótipo

De modo a melhorar a impregnação na zona da objetiva foi realizado um quarto protótipo com algumas alterações.

– Otimização

Para colmatar o problema observado no protótipo anterior, procedeu-se à realização de um novo protótipo, mas desta vez, sem o inserto metálico com a intenção de realizar a colagem do mesmo *á posteriori*. Desta forma, o inserto deixou de oferecer resistência á expansão da membrana, sendo expectável obter-se uma melhor impregnação.

– Resultados obtidos e discussão

Na Figura 58, é possível observar o quarto protótipo desenvolvido



Figura 58 - Quarto protótipo elaborado

Assim, na Figura 59 é possível verificar que as imperfeições e a má impregnação na zona da ocular permanecem, assim como zonas porosas entre os tecidos no interior do corpo. Conclui-se, as alterações não funcionaram e todos estes defeitos se devem a uma pressão demasiado baixa e pouco constante, ao fato de o pré-impregnado adquirido apresentar um teor de resina relativamente baixo e ainda á baixa precisão e qualidade do molde.

Resultados e Discussão

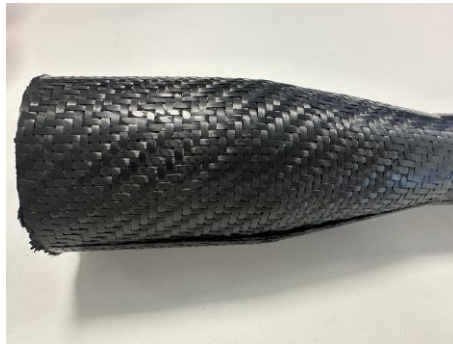


Figura 59 – Imperfeições

Deste modo, para se obter melhorias no processo, é necessária a utilização de equipamentos mais adequados, nomeadamente um compressor com válvula reguladora de pressão e um molde com materiais de melhor qualidade como por exemplo aço cromado em substituição do molde em alumínio.

5. Conclusão

Este último capítulo apresenta as conclusões finais do trabalho desenvolvido, reunindo as principais considerações relativas ao grau de cumprimento dos objetivos propostos nesta dissertação. São sintetizadas as conclusões decorrentes do percurso realizado, bem como identificadas as limitações encontradas ao longo do estudo. Adicionalmente, são também apresentadas sugestões e perspectivas para desenvolvimentos futuros no âmbito do projeto.

5.1. Conclusões finais

A presente dissertação teve como principal finalidade o estudo e desenvolvimento de um processo produtivo para o fabrico do corpo de uma mira telescópica, recorrendo à utilização de pré-impregnados de fibra de carbono/epóxico e ao processo de Bladder Molding. Ao longo da dissertação, foi possível definir com rigor o processo produtivo utilizado na elaboração dos protótipos, abrangendo todas as etapas essenciais, desde a preparação dos materiais até à cura final das peças.

Foi também avaliada a viabilidade da aplicação do processo Bladder Molding neste contexto específico, concluindo-se que, apesar de algumas limitações, este método se revelou o mais adequado, devido à sua relação favorável entre qualidade, custo e versatilidade. O processo demonstrou um elevado potencial no fabrico de componentes com geometrias complexas e elevados requisitos estéticos ao nível estético e do desempenho mecânico, tornando-se particularmente eficaz para satisfazer os requisitos específicos do projeto.

A análise crítica ao trabalho previamente realizado permitiu identificar pontos de melhoria, tanto a nível da conceção dos protótipos, como nos materiais e equipamentos adotados para a realização dos mesmos.

Paralelamente, foi avaliada e implementada uma alternativa à manga insuflável anteriormente utilizada, permitindo propor soluções mais eficazes e adaptadas às exigências do processo, como a manga de borracha vulcanizada ou a manga de Fenform™50 Silicone não curada. Estas alternativas permitiram uma melhor repetibilidade e controlo dimensional dos protótipos finais. Com base nas melhorias identificadas, foram desenvolvidos novos protótipos do corpo da mira telescópica, incorporando os conhecimentos adquiridos e os componentes previamente desenvolvidos, os quais foram posteriormente modificados em alguns casos.

Referências

Um dos resultados mais significativos deste processo, em comparação com o anterior, foi a melhoria estética e estrutural obtida através da utilização de pré-impregnado de carbono/epóxico, em vez de tecido de fibra de carbono com impregnação manual.

A utilização deste material também simplificou consideravelmente o processo, exigindo menos equipamentos e proporcionando um ambiente de trabalho mais limpo. Desta forma, foram colmatados problemas relacionados com o posicionamento e manuseamento da fibra, assegurando-se uma melhor uniformidade no teor de resina ao longo do corpo, bem como a inexistência de resíduos típicos da impregnação manual. Estas melhorias resultaram numa redução do tempo total do processo, tanto na fase de preparação como na limpeza, em comparação com o método utilizado anteriormente.

Como era de esperar, este processo permite uma redução do desperdício de material e do tempo de processamento em comparação com o método atualmente utilizado, a maquinaria. No entanto, este processo exige mão de obra qualificada, o que torna necessária uma investigação mais aprofundada sobre a comparação dos custos entre os dois processos.

O conjunto do corpo da mira telescópica em alumínio, conjugado com o inserto das torres e da ocular, apresenta uma massa de 0,155 kg. Comparativamente, o conjunto composto pelo corpo em fibra de carbono e os insertos em alumínio possui uma massa de 0,135 kg. Conclui-se, assim, que é possível obter uma redução de peso aproximadamente de 13%.

Por fim, realizou-se uma reflexão crítica sobre as peças produzidas, considerando os requisitos técnicos, estruturais e funcionais definidos. Verificou-se que, de modo geral, os protótipos desenvolvidos aproximam-se bastante das especificações pretendidas, embora ainda não cumpram integralmente os requisitos estéticos e estruturais previamente estabelecidos pela empresa Leica. Em comparação com os resultados obtidos no trabalho realizado anteriormente, os protótipos agora produzidos apresentam melhorias substanciais a todos os níveis. Estes resultados reforçam a viabilidade da metodologia adotada e demonstram o potencial do processo proposto. Além disso, comprova-se a viabilidade de obtenção de um corpo de mira telescópica em fibra de carbono de acordo com os critérios estéticos definidos pela empresa, sendo, no entanto, necessário recorrer a equipamentos com maiores capacidades técnicas para garantir a conformidade total com os requisitos. Identificaram-se, ainda, oportunidades concretas de otimização, sobretudo relacionadas com as limitações impostas pelos equipamentos atualmente disponíveis, as quais serão devidamente analisadas nas limitações do estudo.

Deste modo, a presente dissertação contribui para o avanço do conhecimento na aplicação de materiais compósitos em diferentes produtos de elevada precisão, abrindo caminho para desenvolvimentos futuros nesta área.

5.2. Limitações

Ao longo do desenvolvimento do projeto, foram identificadas diversas limitações e adversidades. Embora algumas delas tenham sido abordadas ao longo da presente dissertação, neste subcapítulo são destacadas as que tiveram maior impacto nos resultados obtidos.

A restrição mais significativa consistiu na impossibilidade de aplicar pressão mais elevada e constante durante a fase de cura do compósito. Este fator influenciou diretamente a compactação das camadas de fibra de carbono e, por consequência, afetou a integridade estrutural e estética dos protótipos. A ausência de uma válvula reguladora de pressão no compressor limitou a obtenção de resultados que refletissem plenamente o potencial da metodologia proposta.

Adicionalmente, a precisão e a qualidade do molde utilizado revelou-se uma limitação importante, condicionando tanto a qualidade do acabamento superficial como a uniformidade da geometria final. A utilização de um molde com tolerâncias mais restritas e fabricado a partir de materiais de melhor qualidade como o aço cromado poderá contribuir para o aumento da repetibilidade e do rigor dimensional das peças produzidas.

Outro obstáculo relevante relacionou-se com a dificuldade no manuseamento do pré-impregnado de carbono/epóxico em condições de temperatura elevada. A ausência de um ambiente controlado, nomeadamente uma sala climatizada, agravou a complexidade do processo, resultando em tempos de trabalho prolongados e maior probabilidade de ocorrência de erros durante o manuseamento do material.

Ainda assim, foi notório uma dificuldade significativa na obtenção dos recortes com elevado rigor dimensional. A precisão dos cortes é fundamental para assegurar a correta sobreposição das camadas e a conformidade geométrica do produto final. A dificuldade na execução de cortes uniformes e precisos comprometeu a qualidade global dos protótipos.

Importa ainda referir que a dimensão e complexidade desta dissertação exigiram um investimento temporal considerável, o qual foi condicionado por fatores externos. Entre eles, destaca-se o tempo de espera associado à aquisição de materiais específicos.

Estas limitações, embora significativas, não comprometem os resultados promissores obtidos, mas indicam claramente áreas passíveis de otimização em futuros desenvolvimentos do projeto.

5.3. Trabalhos futuros

Com base nas limitações identificadas e nas oportunidades de melhoria observadas ao longo deste trabalho, propõem-se, para desenvolvimentos futuros, as seguintes ações, com o objetivo de otimizar o processo de fabrico e aumentar a qualidade dos protótipos obtidos:

– **Integração de equipamento mais sofisticado**

Nomeadamente a utilização de um compressor equipado com uma válvula reguladora de pressão, que permita um controlo mais preciso e constante da pressão aplicada durante a fase de cura e a aquisição de um molde mais sofisticado e de um material com melhores propriedades, garantindo uma melhor precisão e qualidade. Estas melhorias são essenciais para assegurar uma compactação uniforme e consistente das camadas de material compósito.

Referências

– **Substituição do material da manga insuflável pelo Fenform™50 Silicone Não Curada**

Propõe-se a implementação de uma solução que ofereça propriedades superiores de resistência térmica, mais adequada às exigências do processo, contribuindo assim para a obtenção de protótipos com maior qualidade superficial e precisão dimensional.

– **Aumento da precisão nos recortes do pré-impregnado**

A implementação de métodos de corte mais rigorosos e/ou automatizados. A uniformidade e exatidão das geometrias cortadas são determinantes para a correta sobreposição das camadas e para a integridade dimensional dos protótipos.

– **Realização de Protótipos através de vácuo**

Realização dos protótipos utilizando o mesmo processo de fabrico, mas recorrendo à aplicação de vácuo como técnica de compactação. Este ensaio paralelo permitirá comparar diretamente os resultados obtidos com diferentes métodos, avaliando as vantagens e limitações de cada abordagem.

– **Realização da maquinagem dos excessos de material**

Com a utilização de ferramentas e métodos adequados ao material compósito, é possível assegurar tolerâncias dimensionais mais restritas e acabamentos de elevada qualidade.

– **Execução do acoplamento dos insertos metálicos das torres de ajuste e da ocular**

A escolha de um adesivo adequado ao tipo de união pretendida, bem como a validação do *gabarit* desenvolvido, são fundamentais para garantir a precisão no posicionamento e na fixação dos componentes.

Na Figura 60 podemos observar o “*gabarit*” e perceber o modo de utilização do mesmo.

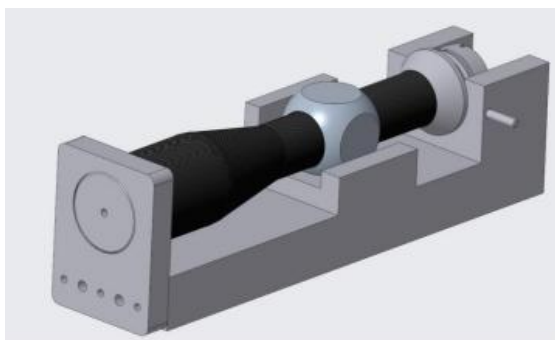


Figura 60 - Imagem ilustrativa do acoplamento das torres de ajuste e ocular [42]

– **Estudo e seleção do *Coating* a aplicar nos corpos finais**

Considerando o nível mais estético, proteção superficial, resistência ao desgaste e compatibilidade com os materiais compósitos, a aplicação de um revestimento adequado será determinante para a durabilidade e apresentação final do produto.

Referências

As propostas apresentadas têm como objetivo consolidar e otimizar os resultados alcançados, promovendo a evolução do processo em conformidade com os requisitos técnicos, funcionais e estéticos estabelecidos pela entidade proponente.

Referências

Referências

- [1] B.Berek, «Leica Barnack Berek Blog». Acedido: 29 de Julho de 2025. [Em linha]. Disponível em: <https://gmpphoto.blogspot.com/2019/04/april-26-176th-birthday-of-leica.html>
- [2] «Leica Portugal». Acedido: 29 de Julho de 2025. [Em linha]. Disponível em: <https://www.leica.pt>
- [3] A. Chandrinós, «A Review of Polymers and Plastic High Index Optical Materials», *J. Mater. Sci. Res. Rev.*, vol. 7, n. 4, pp. 1–14, 2021.
- [4] «Concentrated Photovoltaics», *Thermal Science and Engineering Progress*. Acedido: 15 de Dezembro de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/concentrated-photovoltaics>
- [5] «Bresser Group of Companies». Acedido: 23 de Dezembro de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://www.bresser.com/p/nexcope-nib630-inverted-research-microscope-with-tiltable-lighting-unit-NX40630>
- [6] «Leica». Acedido: 23 de Dezembro de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://leica-camera.com/en-int/leica-products>
- [7] Patriotic Hunter, «A Brief History of Rifle Scopes: Looking Back at the Old Times», [Em linha]. Disponível em: <https://patriotichunter.com/rifle-scopes-history/>
- [8] S. Dee, «An Early History of Rifle Scopes, 1776-1930», n. 01, February, 2022, [Em linha]. Disponível em: <https://hi-luxoptics.com/blogs/history/an-early-history-of-rifle-scopes-1776-1930>
- [9] Jon Gillespie-Brown, *Precision Long Range Shooting and Hunting: choosing and using a Long Rance Rifle Scope*, 1st ed. Portola Valley: Teach Me Interactive, 2018.
- [10] G.K.Sachdev, «A Practical Approach to Problems of Parallax In Telescopic Systems», *J. Opt.*, vol. 8, doi: <https://doi.org/10.1007/BF03549008>.
- [11] Paulo Bedran, «Lunetas: como elas funcionam». Acedido: 20 de Novembro de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://infoarmas.com.br/lunetas-como-elas-funcionam/>
- [12] S. USA, «Understanding Parallax | Shooting USA».
- [13] G.K.LAL, *Introduciton to Machining Science*. New Delhi: K.K Gupta dor New Age International, 2003.
- [14] Leupold Staff, «American Made: Inside Leupold’s Legacy», October 17, 2024. Acedido: 5 de Dezembro de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://www.leupold.com/blog/post/american-made-inside-leupolds-legacy>
- [15] W. A. K. Geoffrey Boothroyd, *Fundamentals of Machining and Machine Tools*, 3rd ed. Boca Raton: CRC Press, 2005.
- [16] M. P.Groover, *Fundamentals of Modern Manufacturing Materials, Processes, and Systems*, 5th ed. 2012.
- [17] Grzegorz D.sulka, *Nanostructured Anodic Metal Oxides*, 1st ed. 2020. doi: <https://doi.org/10.1016/C2017-0-04824-3>.
- [18] D. N. B. Wielage, B. Wielage, Th. Lampke, «Anodizing – a key for surface treatment of

Referências

- aluminium», *Trans Tech Publ.*, vol. 384, n. Switzerland, pp. 263–281, 2008, doi: :10.4028/www.scientific.net/KEM.384.263.
- [19] G. T. Giulia Scampone, «Anodizing Al–Si Foundry Alloys: A Critical Review», vol. 24, n. 4, 2022, doi: <https://doi.org/10.1002/adem.202101480>.
- [20] «Clube da Química». Acedido: 23 de Dezembro de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://clubedaquimica.com/2022/06/23/o-aluminio-e-a-industria-automotiva/>
- [21] miaozhunjie, «Processing Technology, Manufacturing Processes, and Quality Inspection of Optical Lenses, Red Dot Sights, Prism Scopes, and Riflescopes». Acedido: 18 de Novembro de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://www.focuhunteroptics.com/2024/06/20/>
- [22] «The Science Behind Lens Manufacturing: A Deep Dive into Optical Precision». [Em linha]. Disponível em: <https://www.allentownoptical.com/science-behind-lens-manufacturing/>
- [23] Ronald F. Gibson, *Principles of Composite Material Mechanics*, 4th Editio. Boca Raton: CRC Press, 2016. doi: <https://doi.org/10.1201/b19626>.
- [24] A. G. Moura, Marcelo F.S.F., Morais, Alfredo B. e Magalhães, *Materiais Compósitos – Materiais, Fabrico e Comportamento Mecânico*”. Porto: Publindústria. 2009.
- [25] S. W. tSA. Daniel Gay, Suong V.Hoa, *COMPOSITE MATERIALS DESIGN AND APPLICATIONS*. Boca Raton: CRC Press, 2003.
- [26] V. A. de Lima, «A Evolução dos Materiais ao Longo do Desenvolvimento da Humanidade». Acedido: 23 de Novembro de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://pt.linkedin.com/pulse/evolucao-dos-materiais-ao-longo-da-desenvolvimento-humano-lima>
- [27] G. S. M. Juliana Jeniffer Fernandes de Souza Rêgo, Dino Lincoln Figueiroa Santos, «Breve histórico da evolução do uso de materiais compósitos na indústria aeronáutica», *Mens Agit.*, vol. 15, pp. 35–42, 2020, [Em linha]. Disponível em: <https://mensagitat.org/data/documents/MA-15-2020-35-42.pdf>
- [28] D. R. H. Jones and M. F. Ashby, *Engineering Materials 2: an Introduction to Microstructures, Processing and Design*, 3rd ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2005.
- [29] Diogo Fernando Assunção Bento, «Estudo e validação de um processo de fabrico de materiais compósitos no projeto FLY.PT», Tese de Mestrado em Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2021.
- [30] O. I. Isaac M.Daniel, *Engineering Mechanincs of Composite Materials*. Oxford University Press, 1994.
- [31] T. W. C. D.Hull, *An Introduction to Composite Materials*, 2nd editio. Cambridge University Press, 2012. [Em linha]. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/CBO9781139170130>
- [32] S. M. Kurtz, *Compounds and Composite Materials*, 2nd ed. United Kingdom, 2019. doi: <https://doi.org/10.1016/C2016-0-02479-8> Editors.
- [33] Y. G. Z. Ru-Min Wang, Shui-Rong Zheng, *Polymer Matrix Composites and Technology*. 2011.

Referências

- [34] P.K. Mallick, *Fiber-Reinforced Composites*, 3rd ed. 2007. doi: <https://doi.org/10.1201/9781420005981>.
- [35] Charles A. Harper, *Modern plastics handbook*, 1.^a ed. New York: McGraw-Hill, 1994.
- [36] George Marsh, «Prepregs — raw material for high-performance composites», *Reinf. Plast.*, vol. 46, n. 10, pp. 24–28, 2002, doi: [https://doi.org/10.1016/S0034-3617\(02\)80172-2](https://doi.org/10.1016/S0034-3617(02)80172-2).
- [37] Guneri Akavali, *Hanbook of Composite Fabricantion*, 1st ed. iSmithers Rapra, 2001.
- [38] E. Composites, «Carbon fiber - prepregs». Acedido: 5 de Dezembro de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://www.easycomposites.eu/xc110-416g-22-twill-6k-prepreg-carbon-fibre>
- [39] C. S. Ewald Fauster, Ralf Schledjewski, «A methodology for determining preform compaction in bladder-assisted resin transfer molding with elastomeric bladders for tubular composite parts», *Int. J. Mater. Form.*, pp. 1–15, doi: doi:10.1007/s12289-018-1398-3.
- [40] M. A. D. Kennedy, «Development of Cost Effective Composites using Vacuum Processing Technique», Ohio University, 2018. [Em linha]. Disponível em: https://etd.ohiolink.edu/acprod/odb_etd/ws/send_file/send?accession=ohiou1523633403784733&disposition=inline
- [41] «What is Bladder molding:Molds, Materials,Types And Application», XJT Machining. Acedido: 12 de Dezembro de 2024. [Em linha]. Disponível em: https://cncpartstj.com/cnc-machining/cnc-machining-operations/bladder-molding/#What_Are_the_Materials_Used_for_Bladder_Molding
- [42] João Carlos Vieira Pereira, «Adaptação da geometria do corpo de uma mira para construção em material composto», Tese de Mestrado em Engenharia Mecânica, Instuto Superior De Engenharia do Porto, 2024.
- [43] B. Räckers, *Resin Transfer Moulding for Aerospace Structures*, 1.^a ed. Austrália: Springer Netherlands, 1998.
- [44] A. D. V. Tagliaferri, G. Caprino, «Effect of drilling parameters on the finish and mechanical properties of GFRP composites», *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, vol. 30, pp. 77–84, 1990.
- [45] A. LUÍS MIGUEL PEREIRA DURÃO, ANTÓNIO TORRES MARQUES e A. M. B. MAGALHÃES GONÇALVES, «MAQUINAGEM DE COMPÓSITOS DE MATRIZ POLIMÉRICA», *a Iberoam. Ing. Mecánica*, vol. 10, n. 2, pp. 59–67, 2006, [Em linha]. Disponível em: https://www.uned.es/universidad/dam/facultades/industriales/RIBIM/volumenes_hasta_2019/Vol10N2Mayo_2006/V10N2A06-Pereira.pdf
- [46] Filipe Gomes Ferreira, «ESTUDO DO INÍCIO DA DELAMINAÇÃO EM COMPÓSITOS», Mestrado em Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2015.
- [47] and S. Q. P. W. S. Lau, W. B. Lee, «“Pulsed Nd: YAG Laser Cutting of Carbon Fibre Composite Materials», *CIRP Ann. - Manuf. Technol*, vol. 39, n. 1, pp. 179–182, 1990.
- [48] Redacción Armas, «Nuevos materiales para los cañones del futuro», *Arma Larga*, Acedido: 24 de Dezembro de 2024. [Em linha]. Disponível em: https://www.armas.es/mundo-armas/nuevos-materiales-para-los-canones-del-futuro?utm_source=chatgpt.com

Referências

- [49] «Cañones para armas portátiles que emplean fibra de carbono». Acedido: 24 de Dezembro de 2024. [Em linha]. Disponível em: https://www.fie.undef.edu.ar/ceptm/?p=1599&utm_source=chatgpt.com
- [50] PROOF, «Industry Leading Rifle Barrels». Acedido: 24 de Dezembro de 2024. [Em linha]. Disponível em: https://proofresearch.com/barrels/?utm_source=chatgpt.com
- [51] R. K.-K. B. Saif, L. Feinberg, «High Speed Interferometry for James Webb Space Telescope Testing», vol. 11813, p. 11, 2021.
- [52] M. Dyrda, J. Michalowski, J. Niemiec, e M. Stodulski, «Open-structure composite mirrors for the cherenkov telescope array», *Proc. 33rd Int. Cosm. Rays Conf. ICRC 2013*, vol. 2013-October, pp. 1–4, 2013.
- [53] «Castro Composites». Acedido: 29 de Julho de 2025. [Em linha]. Disponível em: https://www.castrocompositesshop.com/pt/?srsltid=AfmBOoqkqbXYwQNCehZdT4-w3SrJ6_gbpOck2cYoOvAhT_h_oJ1KnISL

Declaração de Integridade

Declaro ter conduzido este trabalho académico com integridade. Não plagiei ou apliquei qualquer forma de uso indevido de informações ou falsificação de resultados ao longo do processo que levou à sua elaboração.

Declaro que o trabalho apresentado neste documento é original e de minha autoria, não tendo sido utilizado anteriormente para nenhum outro fim.

Declaro ainda que tenho pleno conhecimento do Código de Conduta Ética do P.PORTO.

NOME: Ruben José Mendes Oliveira

ISEP, Porto, 30 de julho de 2025

6. Anexos

6.1. Anexo A - Materiais alternativos para a manga insuflável e suas propriedades

	Silicone	Fluoro Silicone	Ethylene Propylene Diene (EPDM)	Nitrile or nitrobutyl rubber NBR or Buna N	Styrene-butadiene (SBR or Buna S)	Fluoro-elastomer (Viton [®])	Ethylene Acrylic (Namac [™])	Flexible Acrylic (Airpad [™])	Iso-butylene-isoprene (Butyl)	Poly chloroprene (Neoprene)
Permeability to Gases	high	medium	medium	low	medium	low	low	low	very low	medium
Maximum Service Temperature (°C)	260	230	175	150	120	210	170	190	150	105
Elongation (%)	100-800	200-500	100-700	400-800	450-500	180-220	200-300	500	300-800	100-800
Tear Resistance	poor to fair	poor to fair	fair to good	fair to good	fair	poor	good	good	good	good
Hardness (Durometer)	20A-90A	40A-90A	30A-90A	30A-100A	30A-90A	50A-75A	60A-77A	45A	30A-100A	20A-95A
Volumetric Coefficient of Thermal Expansion x 10 ⁻⁶ (cm ³ /cm ³ °C)	810	810	580	700	670		620	620	580	610
Resistance to Aromatic Hydrocarbons	poor	excellent	poor	good	poor	excellent			poor to fair	fair
Bladder Manufacturing Options	cast, lay-up, extrusion, spray, rotomold	lay-up, extrusion, cast, rotomold	extrusion, blow molding, compression molding	compression molding	blow molding, compression molding	lay-up	lay-up, blow molding	lay-up	blow molding, compression molding	blow molding, compression molding
Relative Cost	moderate	very high	low	low	low	high	moderate	moderate	low	low

6.2. Anexo B – Ficha técnica do pré-impregnado Carbono/Epóxido



Polígono Industrial A Granxa, 3ª
Paralela, Rúa C Cies, 190, 36400
O Pombo, España
info@castrocomposites.com
+34 986342953

MTC510 Epoxy Component Prepreg

Introduction

MTC510 is an epoxy resin system designed to cure between 80°C and 120°C allowing flexibility in component manufacture. It is a toughened epoxy resin system designed for component manufacturing that can be supplied on a variety of fabrics and in UD format.

Key Features & Benefits

- Cure temperature from 80°C - 120°C
- Service temperatures up to 135°C after postcure.
- Low CTE and shrinkage.
- Work life at 20°C: 28 days.
- Storage life at -18°C: 12 months.
- Very low VOC content – no added solvents during manufacture.
- Excellent surface finish.

Storage & Out Life

The material should be kept frozen at -18°C. It must be kept sealed in a polythene bag which must not be opened until fully thawed to room temperature. If the material is not fully used, then the material must be resealed in the polythene bag to prevent moisture absorption.

Mechanical Properties

MTC510-42%-2X2T-3K-T300-1250				
Compression Test - BS EN ISO 14126 : 1999				
	Sample	Dimensions (mm)	Max Load (kN)	Comp Strength (MPa)
001: 0 Direction	1	9.80 x 1.90	11.3	606
002: 0 Direction	2	9.78 x 1.90	11.3	608
003: 0 Direction	3	9.78 x 1.90	11.7	631
Mean			11.4	615
Standard Deviation			0.23	13.9
% Co-Efficient of Variance			2.02	2.26
Item 01: Through Thickness Shear				
Item 03: Through Thickness Shear				

MTC510-42%-2X2T-3K-T300-1250					
Tension - ISO 527-4: 9					
	Sample	Dimensions (mm)	Max Load (kN)	Tensile Strength (MPa)	Tensile Modulus (GPa)
004: Tension 0	1	1.93 x 24.87	32.00	666	55.00
005: Tension 0	2	1.95 x 24.89	30.70	633	55.60
006: Tension 0	3	1.95 x 24.84	30.80	637	54.90
Mean			31.20	645	55.20
Standard Deviation			0.72	18.00	0.38
% Co-Efficient of Variance			2.32	2.79	0.69

Issued 1st October 2013

Note: The information and assistance provided herein is for your consideration without legal responsibility. Users are required to perform verification and testing to confirm that the product meets with their requirements.

MTC510-42%-2X2T-3K-T300-1250							
DMA - AITM 1-0003 Issue 3							
	Sample	Width	Thickness	Span Length (mm)	Tg-Onset Tg (°C)	Tg-Loss Tg (°C)	Tg-Peak Tg (°C)
007: DMA	1	10.17	1.86	17.00	139.10	144.60	147.70
008: DMA	2	10.18	1.86	17.00	139.60	145.20	148.10
009: DMA	3	10.19	1.96	17.00	140.00	145.30	148.40
Mean						145.03	148.07
Standard Deviation						0.38	0.35
% Co-Efficient of Variance						0.26	0.24

MTC510-42%-2X2T-3K-T300-1250							
Flexure - ISO 14125 : 1998							
	Sample	Dimensions (mm)	Span	Maximum Load (kN)	Flexural Strength (MPa)	Flexural Modulus (GPa)	Strain to Failure (%)
010: Flexure 0°	1	15.29 x 1.90	75.50	0.42	870	59.00	1.5
011: Flexure 0°	2	15.32 x 1.89	75.50	0.41	852	60.20	1.4
012: Flexure 0°	3	15.33 x 1.87	75.50	0.44	924	61.10	1.6
Mean				0.42	882	60.10	1.5
Standard Deviation				0.02	37.50	1.05	
% Co-Efficient of Variance				3.61	4.25	1.75	
010: Tensile Fracture							
011: Tensile Fracture							
012: Tensile Fracture							

Issued 1st October 2013

Note: The information and assistance provided herein is for your consideration without legal responsibility. Users are required to perform verification and testing to confirm that the product meets with their requirements.

MTC510-42%-2X2T-3K-T300-1250							
Inter Laminar SB - BS EN 2563 : 1997							
	Sample	Dimensions (mm)	Span	Initial Load (kN)	Failure Load (kN)	Inter Shear Strength (MPa)	Shear Strength (MPa)
013: Inter Laminar SB	1	10.22 x 1.90	9.43	1.82	1.83	70.4	70.8
014: Inter Laminar SB	2	10.24 x 1.89	9.43	1.81	1.81	70.2	70.2
015: Inter Laminar SB	3	10.22 x 1.87	9.43	1.75	1.75	68.8	68.8
Mean				1.79	1.80	69.8	69.9
Standard Deviation				0.04	0.04	0.87	1.03
% Co-Efficient of Variance				2.11	2.32	1.25	1.47
013: Multiple Shear							
014: Multiple Shear							
015: Multiple Shear							

Mechanical testing carried out at 23+/- 2°C, 50+/- 5% RH.

DMA Specimens were conditioned at 105°C for a week prior to testing.

The test speed for compression = 1mm/min.

The test speed for tension = 2mm/min.

The test speed for flexure = 2mm/min.

The test speed for ILSS = 1mm/min.

All mechanical tests were completed independently by Exova UK Ltd who is a UKAS and Nadcap approved organisation. All tests results reported above can be supplied independently upon request.

1

Issued 1st October 2013

Note: The information and assistance provided herein is for your consideration without legal responsibility. Users are required to perform verification and testing to confirm that the product meets with their requirements.

Cure Cycles & Performance

Cure	Initial Min Cure (hours)	Tg
80°C (Min)	16	90°C
90°C	8	100°C
100°C (Optimum)	4	110°C
120°C (Max)	1	120°C
Post Cured at 120°C	1	130°C

- Initial cure: from 80°C to 120°C.
- Post cure (where required for high Tg) 1 hour dwell at 120°C – maximum ramp rate of 3°C per minute.

Health and Safety

MTC510 contains epoxy resin which can cause allergic reactions with skin contact and must avoid repeated and prolonged skin contact.

Please refer to the product Safety Data Sheet before using this material.

The following precautions must be taken when using epoxy resin prepregs:

- ☒ Overalls must be worn at all times when using MTC510
- ☒ Impervious gloves must be worn
- ☒ Curing schedule is meant to be as a guide only and is subject to local conditions.
- ☒ To avoid exotherm, particular care must be taken with thick laminates.
- Ramp rates must not exceed 3°C per minute

Resinas Castro S. L. cannot accept any liability for injury or damage where the above precautions have not been taken or where the material is used for any purpose other than its intended use.

Issued 1st October 2013

Note: The information and assistance provided herein is for your consideration without legal responsibility.

Users are required to perform verification and testing to confirm that the product meets with their requirements.

6.3. Anexo C – Ficha técnica do desmoldante Mikon 2480



Release Agent Mikon® 2480

page:	1 / 2
revision:	11.06.2024
author:	AL / DS
print:	11.06.2024

Description:

Release Agent Mikon® 2480 is an ultra-fast evaporating, multi-purpose semi-permanent mould release agent that is used to release most thermosetting resins from gelcoated and non-gelcoated mould materials. The product is especially easy and fast to apply (wipe on, leave on) and does not require the additional use of any mould sealer. After cure, the release film is temperature stable up to 450°C / 842°F, however the product is most commonly applied at temperatures in the range 10-80°C / 50-176°F. The moulded parts exhibit a high gloss surface finish and are not contaminated, hence allowing for direct varnishing or gluing without further treatments.

Our Mikon® 2480 product family has been adjusted with regard to different lubrication properties (L = low lubrication, M = medium lubrication, H = high lubrication). All Mikon® 2480 release agents are compatible with each other.

Application Fields:

Release Agent Mikon® 2480 is versatile in application and can universally be used to release thermosetting resins, such as polyester, vinyl ester, epoxy and phenolic resins from all kind of mould materials. The product is also ideally suited for many other moulding processes where a room/low temperature below 60°C (140°F) application is possible, such as rotational moulding. Note that the product is not suited to release isocyanate containing resins and silicone elastomers.

Application:

Please make sure that Release Agent Mikon® 2480 is only handled in well-ventilated areas.

Mould cleaning:

Ensure that the mould has been thoroughly cleaned from residues of wax and silicone with the help of a solvent-based cleaner such as our Cleaners from the Mikon® product series. Release Agent Mikon® 2480 has been adjusted in formulation to allow application over existing semi-permanent release agents without a further cleaning step. However, ensure that the mould is clean and dry.

Base coat:

When Release Agent Mikon® 2480 is used in production, there is no need for an additional mould sealer, even when using porous mould surfaces. Application is done with the help of a soaked, yet not dripping clean lint-free cloth. Wipe the wet cloth over a mould surface covering an area of approx. 0.5 m² - do not rub or polish afterwards. Continue by treating the adjacent mould areas in the same manner, frequently re-applying the product to the cloth. Special care should be taken to the overlap areas. Repeat this procedure until all parts of the mould are evenly coated. We suggest wiping along the outer border first, approaching the inside. When dry, allow a further 10-15 min before applying the consecutive release film layer. In total, 2-3 layers of Release Agent Mikon® 2480 should be applied to the mould surface. In case of new, porous or freshly repaired moulds apply an extra 1-2 coating layers as described above. After the final layer has been applied, allow the film to cure for at least 30 min at room temperature before moulding. Note that longer curing times or curing at elevated temperatures (e. g. 5 min at 60°C/140°F) will result in an improved release film durability.

Mould touch-up:

During running production, the release film wears and hence has to be refreshed frequently. We highly recommend to perform the touch-up prior to a drastic decrease in release performance to guarantee a constant high product quality and keep mould build-up low. The appropriate frequency for touch-ups depends on the individual production conditions and has to be determined in on-site trials. Please contact our technical service for assistance. For touch-up, applying one single layer of Release Agent Mikon® 2480 considering the curing time will be sufficient.

Release Agent Mikon® 2480 has been designed to chemically bond and integrate consecutively applied layers of itself,

Regulatory information on safety and transportation is provided in the material safety data sheet.

Technical product information and data is based on the best information available and does not constitute or imply a warranty or patent infringement of any kind. The user is responsible for testing product suitability prior to product use in production. The data mentioned above do not constitute viable parts of a specification, for which further, separate agreements are necessary.



thereby allowing for partial touch-ups. However, we recommend refreshing the complete release film.

Partial release film repairs:

Occasionally, a partial, drastic decrease in release performance might occur, requiring partial repair of the release film. In this case, remove the worn release film completely 10 cm around the affected area with the help of soft abrasion and wiping with solvent. Note that poor cleanings drastically impair the release film adhesion on the affected areas. Treat the cleaned areas as if they were new (cf. Base coat). Continue by refreshing the film after each demoulding for the first 4-6 releases after the repair. Keep in mind, that the repaired areas are more damageable than others.

Technical Data

Composition:	mixture of resins in solvent
Appearance:	colourless liquid
Density [g/cm³]:	approx. 0.76
Flashpoint [°C]:	0

Packaging:

Can 3.8 kg

Storage:

This product should be stored in tightly sealed containers and has to be protected from frost, heat and direct sunlight. If these rules are obeyed, the product can be stored for at least 24 months. The expiry date is stated beneath the production date on the labels of each container.

Regulatory information on safety and transportation is provided in the material safety data sheet.

Technical product information and data is based on the best information available and does not constitute or imply a warranty or patent infringement of any kind. The user is responsible for testing product suitability prior to product use in production. The data mentioned above do not constitute viable parts of a specification, for which further, separate agreements are necessary.

6.4. Anexo D – Ficha técnica Fenform™50 Silicone Não Curada

Specify FenForm™ Silicone Sheeting for Vacuum Bags in the VARTM and SCRIMP Processes

Composite Manufacturing

Increase Efficiency with Fenform™ Silicone Sheet for Vacuum Molding:

Because vacuum bags made with Fenner Precision's FenForm™ silicone sheeting are reusable, they provide a cost-effective and environmentally-friendly alternative to disposable plastic bags in the VARTM (Vacuum Assisted Resin Transfer Molding) and SCRIMP (Seemann Composites Resin Infusion Molding) processes.

FenForm™ Advantages:

- Reusable (environmentally friendly)
- Improved ergonomics for operators
- Excellent UV and ozone resistance
- Cost effective alternative to disposable bags
- Good chemical resistance
- Highly durable over a wide temperature range (-40°C to 200°C)
- High tear resistance
- High elongation with low modulus
- Flame resistant
- Will not crease like nylon film
- Translucent sheeting so resin flow can be observed
- Competitively priced

FenForm™ Typical Physical Properties:

- Standard thickness of 1mm to 3mm (0.04" to 0.125")
- Standard widths of up to 1450mm (57")
- Available in both cured and uncured
- Cured material has fine fabric impression to aid removal.
- Standard colors of translucent and grey

Markets Served:

- Aerospace
- Wind Power
- Military
- Marine
- Electronics



For more information, visit us at www.fennerprecision.com

FenForm™ Materials Properties



Property	Test Method	Units	Typical Values FenForm™50	Typical Values FenForm™70
Hardness	ASTM D2240	° Shore 'A'	51	72
Density	ASTM D792	g/cm3	1.15	1.22
Tensile Strength	ASTM D412 DIE C	MPa	10	9.5
Elongation @	ASTM D412 DIE C	%	600	475
Tear Strength	ASTM D624 DIE B	KN/m	33	40
Compression Set	ASTM D395 22h @ 177°C	%	≤ 45 (4 hours @ 200°C)	≤ 55 (4 hours @ 200°C)
Colors			Grey / Translucent	Grey / Translucent

For more information, visit us at www.fennerprecision.com

Silicone Membranes for use in the Moulding of Composites in the Aerospace & Defense Markets

FenForm™ Quality Rubber Membranes

Fenner Precision is a leading and trusted global manufacturer of rubber products, and has built a solid reputation as a quality supplier in a very competitive market.

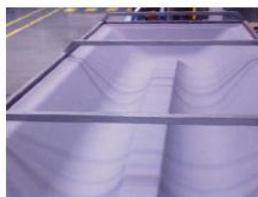
Benefits of the use of FenForm™ material on **Hot Drape Forming Tables** include:

- ✦ **Sheets can be reused up to 100 times**
- ✦ **Highly durable over a wide temperature range (-40 C to 200 C)**
- ✦ **High-Tear resistance**
- ✦ **Impression finish and smooth surface finish available**
- ✦ **High elongation with low modulus**
- ✦ **Large widths available, seamed and seamless**
- ✦ **Translucent and Grey colours available as standard**
- ✦ **Excellent “drawdown” strength when forming sharp definitions**
- ✦ **On test with several Aerospace OEM’s with positive results**

For more information visit www.fennerprecision.com or contact neil.parkinson@fennerprecision.com



(1) Prior to Vacuum



(2) Under Vacuum



(3) Cured Composite

ISO9001:2008

 **Fenner Precision**[®]
Designed To Fit Your Needs. Exactly.

FenForm™ Materials Properties



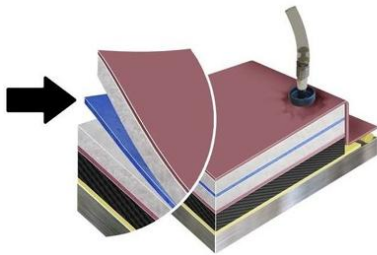
Property	Test Method	Units	Typical Values FenForm™50	Typical Values FenForm™70
Hardness	ASTM D2240	° Shore 'A'	51	72
Density	ASTM D792	g/cm ³	1.15	1.22
Tensile Strength	ASTM D412 DIE C	MPa	10	9.5
Elongation @	ASTM D412 DIE C	%	600	475
Tear Strength	ASTM D624 DIE B	KN/m	33	40
Compression Set	ASTM D395 22h @ 177°C	%	≤ 45 (4 hours @ 200°C)	≤ 55 (4 hours @ 200°C)
Colors			Grey / Translucent	Grey / Translucent

For more information, visit us at www.fennerprecision.com

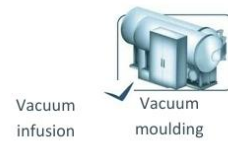
ISO 9001:2008
Made in England

 **Fenner Precision®**
Designed To Fit Your Needs. Exactly.

6.5. Anexo E – Ficha técnica do saco de vácuo tubular PA205



PA205 High Temp Polyamide Bagging Film



DESCRIPTION

PA205 is a casted polyamide vacuum film recommended for advanced composite manufacturing. This film has excellent heat stability and very good chemical properties. This is a styrene resistant film and it is non porous.

Do not use **PA205** in direct contact with phenolic resin.

STORAGE

Keep this film at room temperature and normal hygrometry. Do not expose this film to daylight as **PA 205** is UV sensitive.

CHARACTERISTICS

Raw material	Color	Thick.	Weight	Self Release	Styrene resistant	Max. serv. resistant	Packaging
PA6resin stab.	Transparent	50µ 75µ	54g/m ² 81 g/m ²	Yes	Yes	205 °C	Roll

Length	Standard Widths	Pressure	Elasticity		Breaking strength	
			MD	TD	MD	TD
100 &250 m	80 to 457Cm	8 bars (50µ)	400 %	425 %	83 MPa	87 MPa
		12 bars (75µ)				

Indice C Application date october 2012



Castro Composites - +34 986 34 29 53 – www.castrocompositeshop.com
Composite Process Materials - +33 478 868 500 - www.diatex.com

6.6. Anexo F - Ficha técnica da manguera de silicone



Polígono Industrial A Granxa, 3ª
Paralela Parcela, Rúa C Cies,
190, 36400 O Porriño, Pontevedra
www.castrocompositesshop.com

HOSE-R-160

Manguera de vacío de silicona para uso en hornos

DESCRIPCIÓN

Las mangueras **HOSE-R-160** de silicona están diseñadas para trabajar a altas temperaturas y presión. Consisten en un tubo de silicona con trenzado intermedio de poliéster de diámetro interior de 6 mm y diámetro exterior de 12 mm., siendo los extremos roscados de acero al carbono.

Han sido diseñadas para conectar la válvula hembra **HER-250** y esta a la bomba de vacío.

DATOS TÉCNICOS

Temperatura máxima de uso:	160 °C
Máxima presión externa sin que colapse la manguera:	9 bar
Color:	Rojo
Tipo de rosca:	Macho ¼" NPT

GAMA DE SUMINISTRO

Se puede suministrar la longitud de la manguera que se desee.

Se puede suministrar otros tipos de rosca bajo pedido.

Se pueden suministrar los extremos con un racor en el ángulo deseado.

Se pueden suministrar en rollos de 25 m de longitud para construir con el RACOR CONEXIÓN MANGUERA ¼" NPT la manguera de longitud deseada



Última Actualización 30-03-2016

El material es suministrado de acuerdo a las especificaciones indicadas en la hoja técnica. Debido a que la utilización de este material queda fuera de nuestro control, Resinas Castro, S.L. no asume ninguna responsabilidad y el usuario renuncia a posibles reclamaciones, derivadas del uso del mismo.

Glossário

Blanks

Os blanks são peças de metal inacabadas obtidas pelo corte transversal de bobinas e placas de metal, que passam por um processo de modelagem em ferramentas e máquinas, até se transformar em diversos objetos