

Desenvolvimento de uma Gaivota de Água com Recurso à Engenharia Inversa

Relatório de Estágio apresentado para a obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Mecânica, especialização em Construção e Manutenção de
Equipamentos Mecânicos

Autor

Sandro Miguel Neves Trindade

Orientador

Pedro Miguel Soares Ferreira

Professor do Departamento de Engenharia Mecânica
Instituto Superior de Engenharia de Coimbra

Supervisor

Sérgio André Pereira Leirinha

ScalesOceans, Lda.

Coimbra, julho de 2020

Agradecimentos

No desenvolvimento deste projeto contei com o importante apoio e incentivo de diversas pessoas que direta ou indiretamente estiveram associadas ao mesmo, agradeço a todas elas correndo o risco de injustamente não mencionar alguma destas pessoas.

- Ao meu orientador, Professor Pedro Miguel Soares Ferreira, pela orientação prestada, disponibilidade e confiança depositada em mim que sempre demonstrou.
- Aos responsáveis na ScalesOceans, engenheiro Sérgio Leirinha e Bruna Goes, pelo acompanhamento e conhecimentos fornecidos, pela ajuda e apoio, desde o primeiro dia na empresa bem como no desenvolvimento de todo o trabalho.
- A todos os colaboradores da ScalesOceans, desde o meu colega de projeto Joaquim Diniz bem como todos os restantes colegas tanto da secção de maquinagem como da preparação dos moldes.
- Por fim agradeço a toda a família e amigos que me têm apoiado ao longo de todo o meu percurso académico.

Resumo

A engenharia inversa teve a sua origem na análise de objetos, peças e equipamentos de forma a obter vantagem comercial ou militar. Esta técnica permite acelerar o processo de desenvolvimento de um equipamento do qual se tem pouca informação. Também quando existe necessidade de replicar algum componente com superfície de forma livre, esta é uma técnica valiosa quando utilizada com equipamentos de digitalização tridimensional e interligá-la com o desenho assistido por computador (CAD) e o fabrico assistido por computador (CAM). Sendo assim é possível reproduzir uma determinada peça ou objeto com um muito elevado grau de precisão dimensional.

Este trabalho de estágio está inserido no 2º ano do Mestrado de Engenharia Mecânica, especialização em Construção e Manutenção de Equipamentos Mecânicos no Instituto Superior de Engenharia de Coimbra no âmbito da unidade curricular de Estágio.

O estágio foi realizado em ambiente industrial, nomeadamente na empresa ScalesOceans. Foi a empresa que propôs o projeto e foi na empresa que foram aprofundados conhecimentos sobre engenharia inversa, digitalização tridimensional, materiais compósitos, desenho assistido por computador e fabrico assistido por computador por forma a ser possível produzir duas matrizes de molde de uma gaivota de água de acordo com as especificações solicitadas pelo cliente.

Palavras-chave: Engenharia inversa, digitalização tridimensional, desenho assistido por computador, fabrico assistido por computador, moldagem

Abstract

The reverse engineering had its origin in the analysis of objects, parts and equipment in order to obtain commercial or military advantage. This technique allows to accelerate the process of developing a piece of equipment with little information. Also when there is a need to replicate any component with a free-form surface, this is a valuable technique when used with three-dimensional scanning equipment and interconnected with computer-aided design (CAD) and computer-aided manufacturing (CAM). Therefore, it is possible to reproduce a particular piece or object with a very high degree of dimensional accuracy.

This internship is part of the 2nd year of the Master of Mechanical Engineering, specialization in Construction and Maintenance of Mechanical Equipment at the Superior Engineering Institute of Coimbra and it is inserted in the curricular unit of Internship.

The internship was carried out in an industrial environment, namely at ScalesOceans. It was the company that proposed the project and it was in the company that the deepened knowledge about reverse engineering, three-dimensional scanning, composite materials, computer-aided design and computer-aided manufacturing it was made, in order to be able to produce two molds of a water gull from according to the specifications requested by the customer.

Key words: Reverse engineering, three-dimensional scanning, computer aided design, computer aided manufacturing, molding

Índice

RESUMO	V
ABSTRACT	VII
ÍNDICE	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE TABELAS	XIII
ABREVIATURAS	XV
1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 - Objetivos	2
1.2 - Estrutura do Relatório	4
1.3 - A Empresa ScalesOceans	5
2 - ENGENHARIA INVERSA	9
2.1 - Técnicas de digitalização 3D	13
2.1.1 - Com contacto físico	15
2.1.2 - Sem contacto físico	16
3 - MODELAÇÃO DA GAIVOTA	19
3.1 - Digitalização dos elementos	20
3.2 - Modelação dos elementos	21
4 - MATERIAIS	31
4.1 - Materiais Compósitos	32
4.2 - Moldação das fibras	36
4.2.1 - Moldação Manual	37
4.2.2 - Moldação por Projeção	38
4.2.3 - Moldação por Vácuo	38
4.2.4 - Moldação em Autoclave	39
4.2.5 - Enrolamento Filamentar	40
4.2.6 - Pultrusão	40
4.3 - Manipulação das fibras e resinas	41
5 - PRODUÇÃO DA GAIVOTA	43
5.1 - Produção do protótipo	43
5.1.1 - Processo de maquinagem	44
5.1.2 - Processo de moldagem	47
5.2 - Produção do modelo final	51
6 - CONCLUSÕES	57
BIBLIOGRAFIA	59

Índice de Figuras

FIGURA 1.1 - LOGÓTIPO SCALESOCEANS (DEPARTAMENTO NÁUTICO).	5
FIGURA 1.2 - LOGÓTIPO SCALESTECH (DEPARTAMENTO TÉCNICO).	5
FIGURA 1.3 - LOGÓTIPO SCALESFORM (DEPARTAMENTO DOS MOLDES).	6
FIGURA 1.4 - ORGANIGRAMA DA EMPRESA.	6
FIGURA 2.1 - EXEMPLO DE UMA DIGITALIZAÇÃO 3D, COM APRESENTAÇÃO DA NUVEM DE PONTOS QUE DEFINE A GEOMETRIA. COROFLOT (2015)	10
FIGURA 2.2 - EXEMPLO DA SOBREPOSIÇÃO DAS SUPERFÍCIES CRIADAS COM OS PONTOS OBTIDOS DA DIGITALIZAÇÃO. TRYBER (2016)	10
FIGURA 2.3 - EXEMPLO DO DESENHO CAD DE UMA PEÇA DEPOIS DA APLICAÇÃO DE ENGENHARIA INVERSA. TRYBER (2016)	11
FIGURA 2.4 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS ETAPAS DA DIGITALIZAÇÃO 3D.	12
FIGURA 2.5 - DIAGRAMA EXPLICATIVO DOS VÁRIOS MÉTODOS DE LEVANTAMENTO DE FORMA (HOMEM, 2009).	14
FIGURA 2.6 - MEDIÇÃO DE PEÇA PONTO A PONTO, ATRAVÉS DE UMA Sonda DE CONTACTO. RENISHAW (2019)	16
FIGURA 2.7 - EXEMPLO DE UMA DIGITALIZAÇÃO 3D SEM CONTACTO FÍSICO POR TRIANGULAÇÃO ÓTICA. CREAFORM3D (2020)	17
FIGURA 3.1 - EQUIPAMENTO DE DIGITALIZAÇÃO <i>CREAFORM EXASCAN</i> USADO PARA AQUISIÇÃO DA GEOMETRIA DA GAIVOTA EXISTENTE. CREAFORM3D (2020)	20
FIGURA 3.2 - RESULTADO DA DIGITALIZAÇÃO DO BANCO DA GAIVOTA.	21
FIGURA 3.3 - ÂNGULOS DE INCLINAÇÃO: (A) ZERO INCLINAÇÃO; (B) INCLINAÇÃO POSITIVA; (C) INCLINAÇÃO NEGATIVA. FIBREGLAST (2020)	21
FIGURA 3.4 - REPRESENTAÇÃO DE UMA LINHA DE PARTIÇÃO DE UM MOLDE. FIBREGLAST (2020)	22
FIGURA 3.5 - VISUALIZAÇÃO DA MALHA DOS BANCOS E DA ZONA DOS PEDAIS NO <i>SOFTWARE FUSION 360</i> .	23
FIGURA 3.6 - RESULTADO FINAL DOS BANCOS E DA ZONA DOS PEDAIS NO <i>SOFTWARE FUSION 360</i> .	23
FIGURA 3.7 - MODELO CAD DE AUTOMÓVEL USADO PARA ADAPTAÇÃO À GAIVOTA DE ÁGUA.	24
FIGURA 3.8 - SUPERFÍCIES DO MODELO DE CAD DO AUTOMÓVEL APÓS PROCESSO DE SIMPLIFICAÇÃO.	25
FIGURA 3.9 - GEOMETRIA FINAL DO MODELO DE CAD DO AUTOMÓVEL QUE SE IRÁ IMPLEMENTAR NA GAIVOTA DE ÁGUA.	25
FIGURA 3.10 - GEOMETRIA FINAL SUPERIOR DA GAIVOTA DE ÁGUA, DEPOIS DA ADAPTAÇÃO DO MODELO DE CAD DO AUTOMÓVEL À GEOMETRIA DOS BANCOS.	26
FIGURA 3.11 - VISUALIZAÇÃO DA DIGITALIZAÇÃO DE UMA ZONA DO CASCO E ORIENTAÇÃO DA DIGITALIZAÇÃO NO <i>SOFTWARE FUSION 360</i> .	27
FIGURA 3.12 - MODELAÇÃO DO PERFIL DO CASCO QUE IRÁ SER USADO NA CRIAÇÃO DA GAIVOTA DE ÁGUA.	27
FIGURA 3.13 - GEOMETRIA DA CAVIDADE DESENVOLVIDA PARA AS PÁS DA GAIVOTA.	28
FIGURA 3.14 - RESULTADO FINAL DA MODELAÇÃO DA ZONA FRONTAL DO CASCO.	28

FIGURA 3.15 - MODELO DA RODA DESENVOLVIDA PARA A GAIVOTA DE ÁGUA.	29
FIGURA 3.16 - MODELO DE CAD FINAL DA GAIVOTA DE ÁGUA.	30
FIGURA 4.1 - CLASSIFICAÇÃO DOS DIFERENTES TIPOS DE MATERIAIS DE ENGENHARIA.	31
FIGURA 4.2 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA CONSTITUIÇÃO DE UM MATERIAL COMPÓSITO.	32
FIGURA 4.3 - MORFOLOGIA DOS COMPÓSITOS (MARCELO F.S.F DE MOURA, 2010)	33
FIGURA 4.4 - BOBINE DE ROVING. SERRACIMENTS (2017)	35
FIGURA 4.5 - MANTA DE FIBRA DE VIDRO. SERRACIMENTS (2017)	35
FIGURA 4.6 - REPRESENTAÇÃO DO PROCESSO DE MODELAÇÃO MANUAL (LOPES, 2009).	37
FIGURA 4.7 - REPRESENTAÇÃO DO PROCESSO DE MOLDAÇÃO POR PROJEÇÃO (LOPES, 2009).	38
FIGURA 4.8 - REPRESENTAÇÃO DO PROCESSO DE MOLDAÇÃO POR VÁCUO (LOPES, 2009).	39
FIGURA 4.9 - REPRESENTAÇÃO DO PROCESSO MOLDAÇÃO EM AUTOCLAVE (LOPES, 2009).	39
FIGURA 4.10 - REPRESENTAÇÃO DO PROCESSO DE MOLDAÇÃO ENROLAMENTO FILAMENTAR (LOPES, 2009).	40
FIGURA 4.11 - REPRESENTAÇÃO DO PROCESSO DE MOLDAÇÃO PULTRUSÃO (LOPES, 2009).	41
FIGURA 4.12 - ELEMENTOS DE SEGURANÇA QUE SÃO NECESSÁRIOS USAR PARA APLICAÇÃO DE RESINAS NA SCALESOCEANS.	42
FIGURA 5.1 - EXEMPLIFICAÇÃO DOS BLOCOS DE MDF PARA A MATRIZ DO CASCO (A) E PARA A MATRIZ DA COBERTURA (B).	44
FIGURA 5.2 - REPRESENTAÇÃO DO SISTEMA DE FIXAÇÃO DOS BLOCOS DE MDF À MAQUINA DE CNC E LOCALIZAÇÃO DOS ZEROS PEÇAS; (A) MATRIZ DO CASCO E (B) MATRIZ DE COBERTURA.	45
FIGURA 5.3 - OPERAÇÃO DE DESBASTE DO BLOCO DE MDF, REFERENTE À MATRIZ DE COBERTURA DO PROTÓTIPO DA GAIVOTA.	46
FIGURA 5.4 - ÁRVORE DOS CICLOS QUE FORAM CRIADOS PARA MAQUINAGEM DAS MATRIZES DO PROTÓTIPO DA GAIVOTA DA ÁGUA.	47
FIGURA 5.5 - RESULTADO FINAL DA APLICAÇÃO DO VERNIZ DE POLIURETANO, NA MATRIZ NO MOLDE DO CASCO (A) E NA MATRIZ DO MOLDE DA COBERTURA DO PROTÓTIPO (B) DA GAIVOTA.	48
FIGURA 5.6 - EXEMPLO DA APLICAÇÃO DO GEL COAT NA MATRIZ DO MOLDE DA COBERTURA DO PROTÓTIPO DA GAIVOTA DE ÁGUA.	49
FIGURA 5.7 - APLICAÇÃO DA FIBRA VÉU (A), DA PRIMEIRA CADA DE FIBRA MATE (B) E DAS RESTANTES 4 CAMADAS DE FIBRA MATE (C) NA MATIZ DE COBERTURA DA GAIVOTA DE ÁGUA.	50
FIGURA 5.8 - APRESENTAÇÃO DOS DEFEITO QUE SE OBTIVERAM DO DESMOLDE DA MATRIZ DO MOLDE DO CASCO (A) E DA MATRIZ DO MOLDE DA COBERTURA (B).	50
FIGURA 5.9 - RESULTADO DA JUNÇÃO DOS BLOCOS DE EPS NA MATRIZ DE MOLDE DO CASCO (A) E NA MATRIZ DO MOLDE DA COBERTURA (B).	52
FIGURA 5.10 - RESULTADO DA OPERAÇÃO DE MAQUINAGEM DA MATRIZ DO MOLDE DO CASCO, EM EPS, DA GAIVOTA DE ÁGUA PARA PRODUÇÃO DO MODELO FINAL.	53
FIGURA 5.11 - RESULTADO DA OPERAÇÃO DE MAQUINAGEM DA MATRIZ DO MOLDE DA COBERTURA, EM EPS, DA GAIVOTA DE ÁGUA PARA PRODUÇÃO DO MODELO FINAL.	54
FIGURA 5.12 - MODELO FINAL DA GAIVOTA LANORIA (2020)	55
FIGURA 5.13 - MODELO FINAL DA GAIVOTA VISTA FRONTAL LANORIA (2020)	56
FIGURA 5.14 - MODELO FINAL DA GAIVOTA VISTA DE TOPO LANORIA (2020)	56

Índice de Tabelas

TABELA 1.1 - EVOLUÇÃO DAS ETAPAS DE ESTÁGIO.

3

Abreviaturas

- CAD - Computer Aided Design
- CAM - Computer Aided Manufacturing
- CNC - Computer Numerical Control
- EPS - Expanded Polystyrene (Poliestireno expandido)
- MDF - Medium Density Fiberboard
- CCD - Charge-coupled device
- stl - Stereolithography

1 - Introdução

Com a crescente competitividade que existe no meio industrial, em termos de diversidade de produtos e à crescente complexidade dos produtos, as empresas necessitam cada vez mais da introdução de novas técnicas e ferramentas produtivas para que o desenvolvimento de novos produtos seja feito no menor espaço de tempo, permitindo desta forma que as empresas sejam competitivas num mercado global cada vez mais competitivo.

Com a introdução de novos processos de produção cada vez mais complexos e *softwares* cada vez mais poderosos, mas ao mesmo tempo cada vez mais complexos, a criatividade humana não tem limite. Se por um lado, o mercado cada vez mais globalizado, pressiona as empresas a produzirem o mais rápido possível e a desenvolver produtos distintos e inovadores. Por outro pressiona também as empresas a produzirem de forma acessível para os consumidores, ou seja, é a lei da oferta e procura.

Em termos económicos, a lei da oferta e procura determina o preço de mercado, uma vez que, os consumidores procuram no mercado os produtos e/ou serviços que desejam, enquanto as empresas oferecem para o mercado os produtos e/ou os serviços que dispõem. Ora, se por um lado os consumidores procuram cada vez mais os produtos e/ou serviços, quanto menor for o preço, as empresas indicam o preço dos produtos e/ou os serviços relativo a quantidade, ou seja, quanto maior a quantidade dos produtos e/ou os serviços maior é o preço. Seguindo a lógica da lei da oferta e procura e para que as empresas possam ser competitivas neste mercado cada vez mais global, é necessário que as empresas entrem em processos de desenvolvimento de produto constante e necessitam de metodologias avançadas de conceção e fabrico como forma de reduzir o tempo de criação de ideias e de aquisição de conhecimento. É aqui que a *Engenharia Inversa* é vista como um dos processos tecnológicos que apoia de forma inequívoca o desenvolvimento de novos produtos, pois permite diminuir significativamente os tempos de desenvolvimento de um produto (Homem, 2009).

Por norma o desenvolvimento de um novo produto carece de uma sequência lógica que, começa na ideia do novo produto e através de *softwares* de desenho passa-se a ideia para um desenho digital. Depois de se ter o desenho geométrico do produto, e antes de passar à produção do produto, é normalmente necessário verificar as condições estruturais do produto, ou seja, pode-

se através de *softwares* aplicar cargas ao produto e verificar se o mesmo resiste a essas solicitações. Caso não resista é possível efetuar correções dimensionais ou geométricas ao desenho original. A última fase é a fase de produção do produto. Pode-se questionar onde é que a engenharia inversa pode entrar na sequência de desenvolvimento apresentada anteriormente. A resposta a essa questão é fácil de obter pois quando um determinado produto não entra nesta sequência normal de desenvolvimento, pois o objetivo é reproduzir, ou otimizar, objetos já existentes e sem que haja informação em formato digital, a forma mais rápida de se obter o modelo geométrico digital é aplicar o processo de engenharia inversa.

Importa por último referir que, nos dias de hoje, a digitalização de um objeto é uma das formas de *Engenharia Inversa* mais utilizada em termos industriais, no entanto, a digitalização de objetos é também aplicada no sector da medicina e até mesmo na arqueologia, etc.

1.1 - Objetivos

O principal objetivo do estágio desenvolvido na empresa ScalesOceans foi o de aprofundar os conhecimentos sobre a *Engenharia Inversa*. Dos muitos projetos que estavam em curso na empresa e dos que foram chegando ao longo do tempo de estágio, o que despertou mais interesse foi o projeto de desenvolvimento de uma gaivota de água. Esse projeto necessita de se proceder à digitalização de um objeto de pequenas dimensões, posterior manipulação para junção a um objeto já produzido anteriormente e posterior produção de uma gaivota de água à escala real.

Para além de este projeto ter por base o desenvolvimento de uma gaivota de água recorrendo à engenharia inversa, fazendo uso de um *scanner* 3D, é necessário proceder à modelação CAD do objeto, produção de um protótipo para posteriormente se obter os moldes de fibra de vidro, com vista à produção em escala real da gaivota de água. É neste tipo de projetos que a ScalesOceans pode ser uma mais-valia no mercado, uma vez que a empresa detém conhecimentos em todas as áreas de desenvolvimento do produto, desde a digitalização 3D, passando pela modelação CAD, manipulação de materiais compósitos, maquinaria e produção de peças complexas.

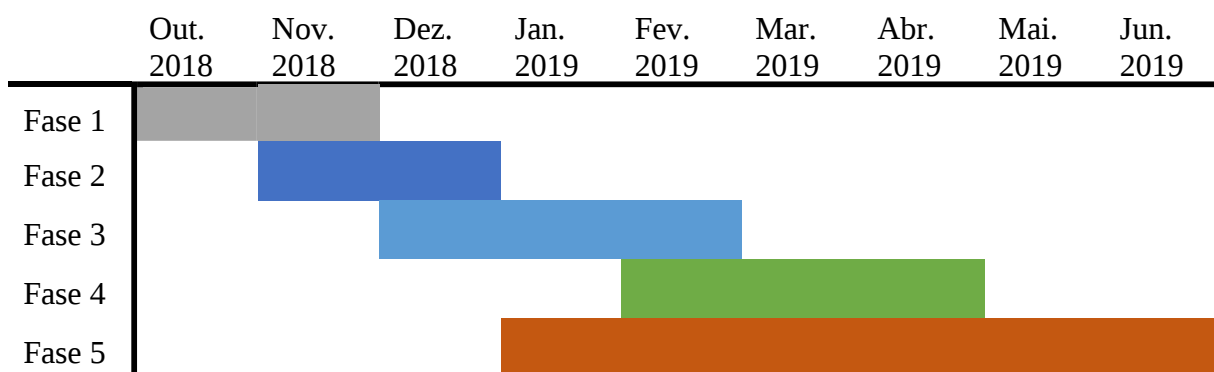
Com base num modelo de um veículo automóvel, uma gaivota já produzida e através da engenharia inversa pretende-se produzir uma nova gaivota de água com a utilização de

componentes da gaivota anteriormente produzida. Ou seja, e de uma forma resumida e concreta, o que se pretende é aplicar as formas do veículo automóvel ao casco anteriormente desenvolvido e apresentar um novo modelo da gaivota. Assim, para a realização do estágio, foram definidas cinco fases de evolução temporal, que são:

- Fase 1 – Integração na empresa e formação sobre os métodos de trabalho da empresa
- Fase 2 – Engenharia Inversa – Digitalização da gaivota
- Fase 3 – Modelação
- Fase 4 – Produção da gaivota (protótipo e molde final)
- Fase 5 – Elaboração do relatório do projeto

A Tabela 1.1 concede uma visão geral e de distribuição temporal da distribuição das diferentes fases ao longo de todo o período de estágio.

Tabela 1.1 - Evolução das etapas de estágio.



Na primeira fase do período de estágio, foi apresentada de um modo geral a empresa e a sua organização interna, os seus colaboradores, os seus clientes principais e a forma de trabalho dentro da empresa. Foram ainda apresentados os trabalhos que a empresa tinha em curso tanto a nível da produção, como a nível de projeto. Importa referir que esta apresentação de colaboradores e dos principais clientes ajudou na integração do estagiário no ambiente empresarial. Relativamente aos métodos de trabalho da empresa, foram apresentados os *softwares* com que a empresa normalmente trabalha para além de ser também explicado como os equipamentos funcionam. Por último, mas não menos importante, foi referida a organização da atribuição de trabalhos no escritório, assim como toda a organização em termos empresarial de como é gerido um projeto na empresa ScalesOceans. Relativamente ao desenvolvimento de um novo modelo da gaivota, este projeto está englobado na fase 2 a fase 4, tal como é possível visualizar na Tabela 1.1. Na fase 2, foi necessário proceder à digitalização das zonas de interesse da gaivota anteriormente produzida e após uma análise cuidada, verificou-se que as zonas que

eram necessárias digitalizar para incorporar no novo projeto eram em primeiro lugar o casco da gaivota devido à sua importância em termos de eficiência hidrodinâmica e, por outro lado, os bancos da gaivota devido à sua ergonomia em termos de conforto dos ocupantes.

Na fase 3 (a fase mais complexa) procedeu-se à junção de todos os elementos digitalizados, ou seja, casco da gaivota, bancos da gaivota e modelo do veículo automóvel. Importa referir que, as maiores alterações foram efetuadas na zona inferior do veículo automóvel, por forma a embutir o casco da gaivota. Também a zona superior do veículo teve de ser manipulada para que fosse possível inserir os bancos anteriormente digitalizados. Em ambas as adaptações, tentou-se sempre obter uma geometria harmoniosa entre os elementos, não esquecendo a sua funcionalidade em termos de conjunto e capacidade de resistência mecânica para suportar os componentes mecânicos, que serão necessários introduzir na gaivota.

A penúltima fase compreendeu a produção que será composta por duas etapas, uma primeira etapa onde será executado um protótipo à escala, como intuito de fazer um ensaio experimental e validação da gaivota e por último a produção do molde da gaivota à escala real. Na fase 5 procedeu-se à redação do relatório de estágio.

1.2 - Estrutura do Relatório

Tratando-se de um relatório de estágio e pelo que o aluno teve de assinar um acordo de confidencialidade relativamente ao desenvolvimento do projeto da gaivota de água, importa referir que houve a necessidade de suprimir algumas imagens e ideias de desenvolvimento em virtude da confidencialidade do projeto. No entanto, o relatório do estágio desenvolve-se através de seis capítulos e a sua estrutura permite um seguimento orientado do desenvolvimento que foi feito durante o estágio. Desta forma, no primeiro capítulo é efetuado o enquadramento e objetivos do trabalho de estágio, estrutura-se o relatório e apresenta-se a empresa onde decorreu o estágio. No capítulo dois aborda-se a engenharia inversa como processo produtivo, explicando de uma forma resumida, todo o processo e as técnicas que podem ser usadas. No capítulo três, expõe-se todo o processo de modelação que foi necessário efetuar para que fosse possível produzir a gaivota de água.

Os tipos de materiais que podem ser usados no processo produtivo neste tipo de produtos são explicados no capítulo quatro sendo que a explicação de todo o processo produtivo é feita no capítulo cinco. Por último, no capítulo seis apresentam-se as conclusões do trabalho realizado.

1.3 - A Empresa ScalesOceans

A ScalesOceans teve início em 2014, na Figueira da Foz, é uma empresa que inicialmente se dedicou à produção de artigos de desporto náutico, desde pranchas e quilhas para surf bem como kayak, tendo mais tarde iniciado na produção de moldes, matrizes e protótipos para a indústria náutica (Figura 1.1). Desde então dedica-se à produção e desenvolvimento de protótipos e equipamentos deste tipo. Tem vindo a criar uma equipa com conhecimentos no processo de fabrico que tem à sua disposição variados equipamentos de maquinaria (CNC de 3 e 5 eixos), digitalização e validação (scanner 3D e CMM) e instalações com cabines com ambiente controlado.



Figura 1.1 - Logótipo ScalesOceans (departamento náutico).

Em 2015 foi fundada a ScalesTech, esta focada no desenvolvimento de equipamentos de controlo dimensional e controlo de qualidade, principalmente para a área automóvel (Figura 1.2).



Figura 1.2 - Logótipo ScalesTech (departamento técnico).

Já em 2016 nasce a ScalesForm que tem como objetivo a produção de moldes, protótipos e caixas de macho para a indústria de injeção de plástico e fundição (Figura 1.3).



Figura 1.3 - Logótipo ScalesForm (departamento dos moldes).

Deste modo, os diferentes departamentos têm desenvolvido variados projetos nas diversas áreas de trabalho onde a qualidade e inovação são palavras de ordem. A empresa tem uma estrutura organizacional do tipo horizontal, onde a base está concentrada no Chefe Executivo e é então subdividida em 4 departamentos, produção, projeto, gestão e qualidade (Figura 1.4). Cada departamento conta com colaboradores especializados dependendo das funções a desempenhar dentro do seu departamento.

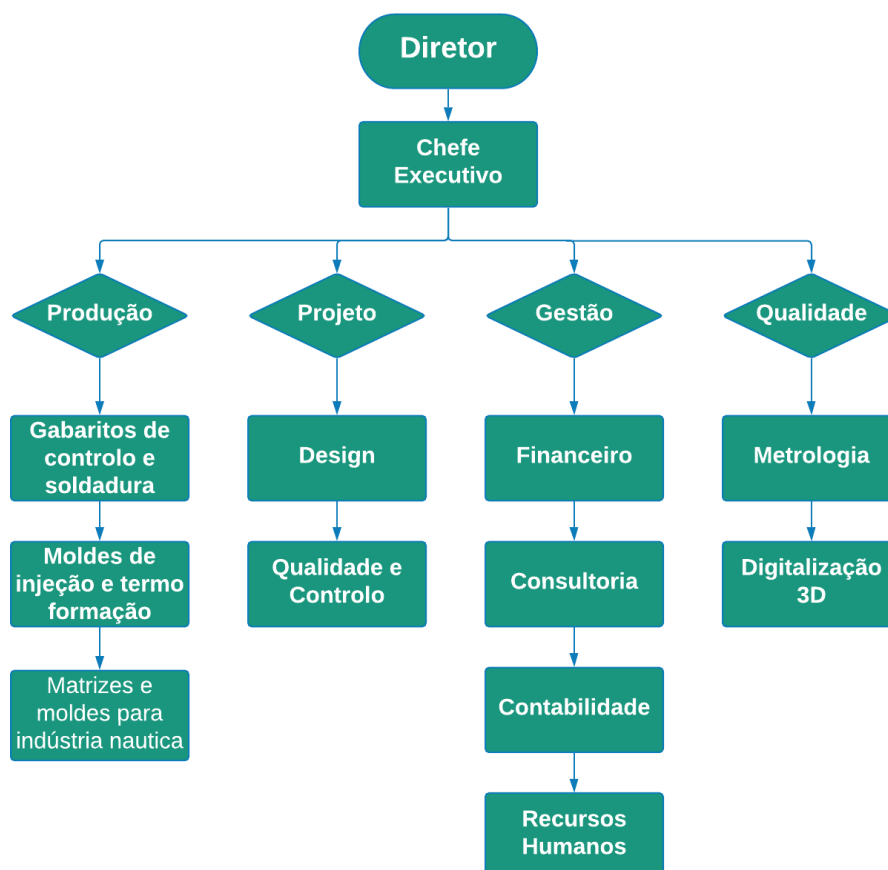


Figura 1.4 - Organograma da Empresa.

A organização da empresa encontra-se disposta em quatro departamentos: gestão, projeto, produção e, por fim, qualidade. Tudo começa na empresa quando uma proposta de projeto é enviada ao diretor da empresa. Este encaminha-a ao departamento de gestão, que é responsável pela avaliação do projeto em si. O departamento de gestão analisa o projeto tanto ao nível dos recursos humanos, garantindo que é possível satisfazer todas as exigências do cliente tanto a nível de prazos estipulados como ao nível financeiro, em que é descrito um orçamento para a execução do projeto. Ainda a partir do departamento de gestão é elaborada uma proposta de execução de trabalhos para o cliente, que, por sua vez, é responsável por analisar a proposta e, caso seja necessário, indicar as alterações pretendidas. Caso o projeto apresentado pela empresa não cumpra o exigido pelo cliente, este é reformulado conforme as indicações enviadas e entregue de novo ao cliente até este conceder a aprovação para avançar com o trabalho. Uma vez aprovado o projeto, inicia-se a ordem de trabalhos. O trabalho é apresentado ao departamento de projeto que está encarregue de desenvolver o produto pretendido pelo cliente.

Nesta etapa o departamento de projeto apresenta o produto desenvolvido ao cliente e verifica se é necessário proceder a revisões ao produto. Uma vez aprovado, o produto segue para a fase de produção. O produto é apresentado ao departamento de produção que tem a função de produzir o produto, de acordo com as especificações do cliente e do departamento de projeto.

Por fim, a última etapa é verificar se o produto se encontra de acordo com os parâmetros de exigência do cliente e verificar se está pronto a ser entregue ao cliente.

2 - Engenharia Inversa

O conceito de engenharia inversa ou engenharia reversa, como algumas vezes é referido, é apresentado como o processo a partir de uma ideia é criado um novo produto, no entanto isso não é engenharia inversa, pelo contrário, engenharia inversa parte de uma solução já existente para perceber os princípios tecnológicos de um dado dispositivo, equipamento ou objeto através da análise do seu funcionamento, função ou forma. Em ambiente industrial pode-se dizer que engenharia inversa é o processo que consiste em produzir uma peça tomando como base um original ou modelo físico existentes, sem o uso de desenhos de engenharia. Esta é, portanto, uma técnica bastante utilizada quando existe a necessidade de replicar uma peça já existente da qual não se possuem desenhos técnicos ou ainda quando a peça foi produzida manualmente (Ferneda, 1999).

A engenharia inversa pode ser feita de várias formas, no entanto a forma usual nos dias de hoje é preceder-se à digitalização tridimensional do objeto já existente. Com equipamentos capazes de replicar qualquer tipo de objeto digitalmente e com elevada precisão, torna-se possível replicar qualquer peça ou equipamento para fins de manutenção, desenvolvimento ou simplesmente duplicação. Esta técnica é vastamente utilizada em casos onde determinadas peças ou objetos foram produzidos manualmente e se pretende não só voltar a produzi-las, mas também efetuar alterações nas mesmas.

O processo de engenharia inversa está dividido em quatro fases principais, que são: aquisição digital do modelo e pré-processamento do modelo digital, segmentação das zonas de digitalização, criação das superfícies do modelo digital e geração do modelo digital.

A primeira fase, tal como já foi referido anteriormente, compreende a aquisição do modelo digital através da digitalização, no entanto é também necessário proceder à remoção de informação que é adquirida aquando da digitalização e que está fora da zona de interesse do objeto, sendo esta fase designada por pré-processamento dos dados digitais adquiridos (Stamati & Fudos, 2007). Na Figura 2.1, apresenta-se uma imagem da digitalização de um objeto, onde é possível verificar a existência de zonas que estão fora da zona de interesse do objeto. Essas zonas são vulgarmente designadas por “lixo de digitalização” ou “ruído da digitalização”.



Figura 2.1 - Exemplo de uma Digitalização 3D, com apresentação da nuvem de pontos que define a geometria. coroflot (2015)

A terceira fase, que é responsável pela segmentação e criação de superfícies, tem como principal objetivo o de decompor o grande conjunto de dados da digitalização (pontos) em um conjunto de dados de menor tamanho, ou seja, a criação de superfícies para que desta forma se possa chegar à última fase do processo que consiste na obtenção do modelo digital. Na Figura 2.2, apresenta-se a imagem da sobreposição das superfícies criadas com os pontos obtidos da digitalização.



Figura 2.2 - Exemplo da sobreposição das superfícies criadas com os pontos obtidos da digitalização. Tryber (2016)

Tal como já foi referido anteriormente a criação do modelo CAD, que corresponde à última fase do processo de engenharia inversa (Várady, Martin, & Cox, 1997) e (Stamati & Fudos,

2007). Na Figura 2.3, apresenta-se um exemplo do resultado final da aplicação da engenharia inversa a um objeto, que é a obtenção de um modelo CAD.



Figura 2.3 - Exemplo do desenho CAD de uma peça depois da aplicação de engenharia inversa. Tryber (2016)

Pode-se, desta forma, afirmar que é uma tecnologia bastante utilizada em termos industriais devido à sua versatilidade pois, permite por um lado replicar uma peça existente e da qual não se possuem desenhos técnicos ou ainda obter o desenho CAD de uma peça que foi produzida manualmente, por exemplo uma escultura (Ferneda, 1999).

Com o aparecimento de equipamentos de Digitalização 3D, tornou-se possível obter com elevada precisão, objetos e partes ou detalhes de objetos, superfícies e texturas. Esta é uma ferramenta com capacidade de acelerar o processo de projeto de bens de consumo, bem como criar novas possibilidades no seu *design* (Silva et al., 2010). Assim, a digitalização 3D é uma das ferramentas de engenharia inversa mais utilizadas em áreas como engenharia, medicina, arqueologia, etc.... Se não vejamos, em termos de aplicações médicas, a digitalização 3D pode ser utilizada na medicina dentária com o objetivo de estudar a dentição e assim, encontrar e corrigir possíveis deficiências dentárias (por exemplo). No entanto, se pensarmos em termos de medicina de reabilitação também aqui a engenharia inversa desempenha um papel extremamente importante, pois através do uso de imagens médica (TAC) é possível aplicar o conceito de engenharia inversa e modelar essas imagens para se obter um desenho CAD e a partir desse desenho CAD é possível estudar a superfície corporal para

produzir próteses com elevada precisão, sendo essas próteses únicas pois foram desenvolvidas especificamente para uma pessoa.

Tal como já foi referido anteriormente, recorrendo à digitalização 3D é possível obter uma geometria e textura semelhante a uma já produzida criando uma réplica digital de um objeto já produzido. Permite deste modo, a produção de um duplicado do objeto assim como a possibilidade de efetuar um desenvolvimento ou alteração nesse mesmo objeto num período bastante inferior, quando comparado com o tempo de desenvolvimento de uma dada peça ou objeto a partir do início. No entanto, e tal como já foi referido anteriormente, a aquisição de um objeto físico é um passo essencial no processo de aplicação da tecnologia da engenharia inversa, e cuja finalidade final é a obtenção de informação digital necessária para gerar a réplica desse objeto. Desta forma, é impreterível que o levantamento de forma deva ser executado com uma estratégia adequado ao objeto em causa, pois se assim não for, não vai ser possível atingir um resultado final satisfatório. Na Figura 2.4, apresenta-se sob a forma de um esquema, qual o procedimento que se deve adotar para maximizar o uso desta tecnologia.

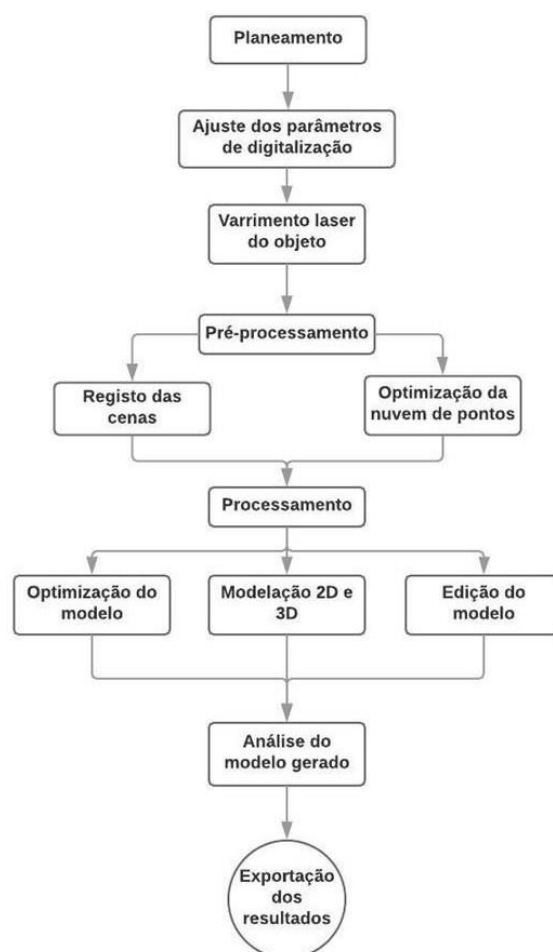


Figura 2.4 - Representação gráfica das etapas da digitalização 3D.

Outro campo de aplicação da engenharia inversa compreende a aplicação desta tecnologia no controlo de qualidade. Através da sobreposição de uma peça digitalizada com o modelo CAD da mesma peça é possível analisar as imperfeições da mesma. Deste modo, torna-se possível a uma empresa decidir previamente se a peça está a ser produzida dentro das tolerâncias definidas ou se tem de ser revista e feitas alterações à sua geometria ou ao processo de produção.

2.1 - Técnicas de digitalização 3D

Tal como é referido por, Homem (2009), ao longo dos últimos anos, tem-se assistido ao desenvolvimento de vários métodos para levantamento de forma tridimensional (3D). Estes métodos podem ser divididos em métodos passivos ou métodos ativos, como se pode verificar na Figura 2.5. No que diz respeito às técnicas passivas, estas necessitam da luz ambiente para obter informação acerca da superfície. Já as técnicas ativas são caracterizadas por projetar um feixe de luz ou energia para a superfície da peça adquirindo a informação necessária através do seu reflexo. Relativamente à tecnologia, esta pode ser dividida em aquisição de pontos com contacto e sem contacto físico, como se pode verificar mais uma vez na Figura 2.5. Desta forma pode-se dizer que a continuidade ou não continuidade da aquisição da nuvem de pontos define a técnica, ou seja, ponto a ponto ou varrimento. Quanto à técnica ponto a ponto, os pontos vão sendo adquiridos de forma discreta (um ponto de cada vez). Já a técnica de varrimento significa que a aquisição é realizada de uma forma contínua ao longo de uma linha ou trajetória.

Existem várias abordagens para a digitalização 3D, entre elas, as mais comuns são por contacto, onde uma sonda de um equipamento de medição (CMM) toca num determinado objeto e permite, através de um conjunto de pontos, recriar a forma da peça uma vez que o sistema conhece a coordenada do centro da esfera (apalpador) quando esta se encontra na sua posição de referência, e por cada vez que o apalpador se move é registada a coordenada de um ponto. A digitalização de varrimento por contato é em tudo semelhante à digitalização de contato por ponto a ponto, apenas difere na posição de referência que não é fixa. O princípio de funcionamento das medições com contacto por varrimento é em tudo semelhante, apenas difere na posição de referência que não é fixa. Nas medições sem contacto o princípio de funcionamento é designado por triangulação ótica, ou seja, um feixe laser é emitido por um

dispositivo, esse feixe incide sobre as superfícies da peça e o ângulo da reflexão é medido por um sensor ótico. Nas medições sem contacto ponto a ponto, o *software* de medição regista as coordenadas dos pontos com base na posição de referência da sonda e na análise da reflexão. O princípio de funcionamento da técnica de medição ótica por varrimento é idêntica à medição ótica ponto a ponto, com a capacidade de medir pontos ao longo de uma secção da peça apenas com um posicionamento, isto é, na mesma posição de referência é possível registar os pontos que definem um perfil (Homem, 2009).

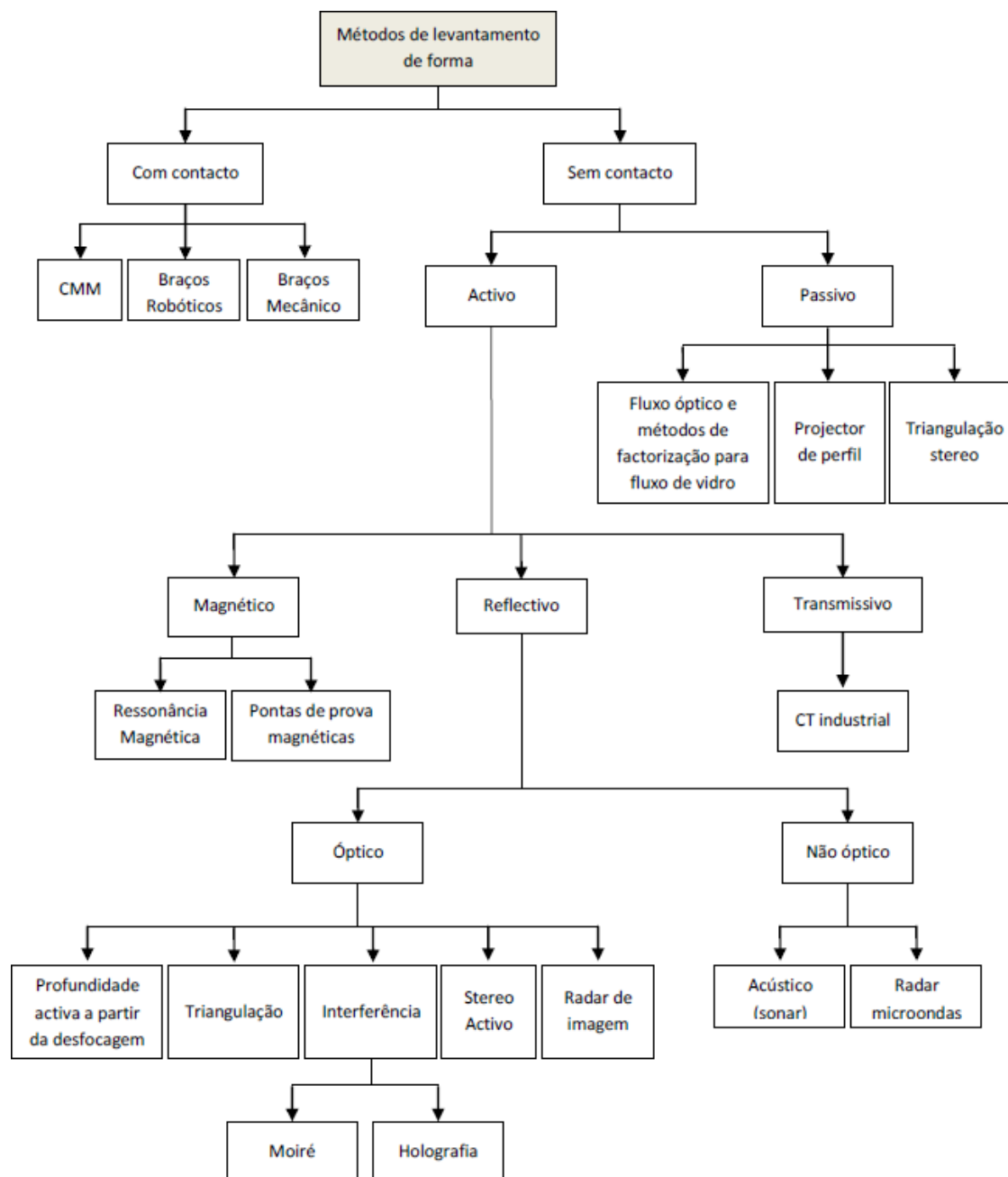


Figura 2.5 - Diagrama explicativo dos vários métodos de levantamento de forma (Homem, 2009).

Entre estes dois métodos existem vantagens e desvantagens. Como tal, cabe ao utilizador definir qual o melhor método de digitalização dependendo do objeto que pretende digitalizar. O utilizador deverá ter em conta parâmetros tais como: a resolução necessária, a dimensão da peça a digitalizar e o custo da digitalização.

Relativamente aos parâmetros anteriormente mencionados, importa referir que uma digitalização sem contacto físico tem à partida uma resolução inferior a uma digitalização por contacto. Essa diferença surge porque na digitalização sem contacto, existe um valor mínimo de distância entre pontos limitado pelo equipamento enquanto que, na digitalização por contacto não existe esta limitação, ou seja, o utilizador tem a possibilidade de obter a quantidade de pontos que desejar. Por outro lado, a dimensão da peça pode também limitar a escolha da técnica por parte do utilizador, uma vez que a digitalização por contacto é limitada pela dimensão do equipamento. Já a digitalização sem contacto com scanner móvel não tem limite de dimensão. Por fim, também em função dos parâmetros anteriormente referidos, o utilizador necessita de ter em conta o custo da digitalização. Quanto maior a resolução pretendida, maior será o custo do equipamento, bem como quanto maior a dimensão da peça a digitalizar maior será também o custo da digitalização. É, portanto, impreterível que se efetue uma escolha criteriosa da tecnologia e da técnica a usar, tal como foi descrito anteriormente. Seguidamente apresenta-se uma breve explicação sobre cada uma das tecnologias de digitalização 3D.

2.1.1 - Com contacto físico

A digitalização 3D por contacto físico ponto a ponto, trata-se de uma técnica que permite a obtenção de uma nuvem de pontos, através de um sistema em que uma máquina tem a capacidade de reconhecer a coordenada do centro de uma esfera, que se move segundo um sistema de coordenadas reconhecidas pelo equipamento. À medida que o sistema se move, o equipamento regista a posição (coordenada x, y e z) de cada ponto e assim sucessivamente, tal como se pode verificar na Figura 2.6. Importa referir que esta forma de digitalização 3D apresenta alguma imprecisão nos movimentos regidos pela máquina o que pode levar a erros de medição. Para combater tal desvantagem, os *softwares* utilizam uma compensação do raio da esfera, por forma a minimizar tais desvios de medição. Para além de compensarem os desvios, os *softwares* possuem ainda a vantagem de realizar cálculos de dimensões de elementos de geometria regular tendo por base os pontos medidos. Sendo assim, a tolerância típica dos *scanners* de contacto varia entre os 0.01 e os 0.02 mm.



Figura 2.6 - Medição de peça ponto a ponto, através de uma sonda de contacto. renishaw (2019)

2.1.2 - Sem contacto físico

A digitalização 3D sem contacto físico, subdivide-se em duas técnicas: por triangulação ótica e por varrimento ótico, tal como já foi referido anteriormente. No entanto ambas fazem uso de um laser para proceder à aquisição da geometria.

A digitalização 3D sem contacto físico por triangulação ótica faz incidir um feixe *laser* na peça ou objeto, em que o ângulo de reflexão é medido através de um sensor ótico (CCD), tal como pode ser visualizado na Figura 2.7. Mais uma vez, os erros de medição estão ligados à imprecisão dos movimentos da máquina, mas também às medições realizadas fora dos limites das capacidades da sonda. A digitalização 3D sem contacto físico por varrimento ótico também se assemelha em grande quantidade ao funcionamento da técnica de digitalização 3D por triangulação ótica. No entanto, estas diferem entre si na medida em que, através da técnica por varrimento ótico é possível registar os pontos que definem um perfil na mesma posição de referência. Isto é exequível devido ao facto de existir um sistema ótico, capaz de focar o feixe de laser em várias posições ao longo de uma determinada largura. Para além da imprecisão dos movimentos da máquina, os erros de medição estão igualmente relacionados com medições realizadas fora dos limites das capacidades da sonda. A tolerância típica dos *scanners* sem contacto varia entre 0.025 e 0.2 mm. Com a utilização de equipamentos específicos, que permitem a captura automática de uma grande quantidade de dados em curto espaço de tempo,

torna-se possível digitalizar e visualizar em tempo real, a superfície que está a ser digitalizada através de aquisição de uma nuvem de pontos (Groetelaars & Amorim, 2011).



Figura 2.7 - Exemplo de uma digitalização 3D sem contacto físico por triangulação ótica. creaform3d (2020)

Neste projeto foi utilizada a digitalização 3D sem contacto físico por triangulação ótica através de um scanner 3D móvel. A digitalização 3D é um procedimento que permite capturar as formas, texturas das superfícies de um objeto, criando uma réplica digital do objeto para arquivar ou modificar (Celani & Cancherini, 2009).

3 - Modelação da Gaivota

Como referido anteriormente, este projeto tem por base o desenvolvimento de uma gaivota de água recorrendo à engenharia inversa. O equipamento utilizado na digitalização foi o *Creaform exascan*, tal como pode ser visualizado na Figura 3.1. Este equipamento apresenta uma precisão de 0.1 mm e uma exatidão de 0.08 mm, conforme especificações do fabricante. Com este equipamento foi possível recriar as formas da gaivota já existente (engenharia inversa) e posteriormente proceder a alterações.

O princípio de funcionamento do *scanner Creaform exascan* é o de digitalização 3D sem contacto físico e por triangulação ótica. Para tal, o equipamento dispõe de dois componentes essenciais para se proceder à digitalização. Primeiramente, e dado que este é um *scanner* portátil e apresenta a capacidade de efetuar uma digitalização em qualquer plano e posição, é necessário antes de se proceder a qualquer digitalização que se proceda a orientação do *scanner*. Deste modo são colocados, previamente à digitalização pequenos autocolantes que são espalhados pela superfície a digitalizar e que refletem a luz sobre eles incidida. Estes pequenos autocolantes são designados de “targets”.

O segundo componente é um feixe laser, que se faz incidir na peça. Ao incidir este feixe laser na peça, e com a reflexão dos targets, o *software* regista a distância relativa entre, no mínimo, três targets e efetua a leitura e registo de cada ponto registado pelo *scanner*. Assim, com um elevado número de pontos é gerada a primeira previsão 3D da superfície, chamada de nuvem de pontos (Boehler et al., 2002).

A nuvem de pontos é a representação mais básica diretamente obtida por qualquer *scanner* 3D. Esta nuvem consiste na representação espacial de cada ponto registado pelo *scanner* que é constituído por três coordenadas cartesianas (x, y e z) e que definem esse ponto no espaço tridimensional (Groetelaars & Amorim, 2011).

O *VXelements* é o *software* fornecido pela marca do *scanner* e foi utilizado para processar a digitalização da gaivota. Esta ferramenta permite uma previsão em tempo real da digitalização, assim como, possibilita efetuar medições de forma a certificar a qualidade da digitalização. É possível ainda fazer variar a densidade dos pontos, dependendo da precisão pretendida. Posteriormente à obtenção da nuvem de pontos, é feita uma triangulação entre os pontos

interligando-os entre si e gerando triângulos. Estes triângulos irão formar uma malha, sendo essa malha gerada consoante a quantidade de pontos obtida na digitalização. Quantos mais pontos existentes, melhor a qualidade da malha bem como maior a quantidade de memória necessária para a processar.



Figura 3.1 - Equipamento de digitalização *Creaform exascan* usado para aquisição da geometria da gaivota existente. creaform3d (2020)

3.1 - Digitalização dos elementos

O primeiro componente a ser modelado, foi o assento da gaivota onde se fez uso da digitalização de uma parte de uma gaivota anteriormente produzida, para desenvolver um assento ergonómico e confortável para os ocupantes. O resultado dessa digitalização é apresentado na Figura 3.2. Atendendo a que a gaivota necessita de se movimentar com recurso a pedais, quando se digitalizou a zona dos bancos também se procedeu à digitalização da zona dos pedais, uma vez que essa zona irá ser importante aquando da integração no projeto final da gaivota.

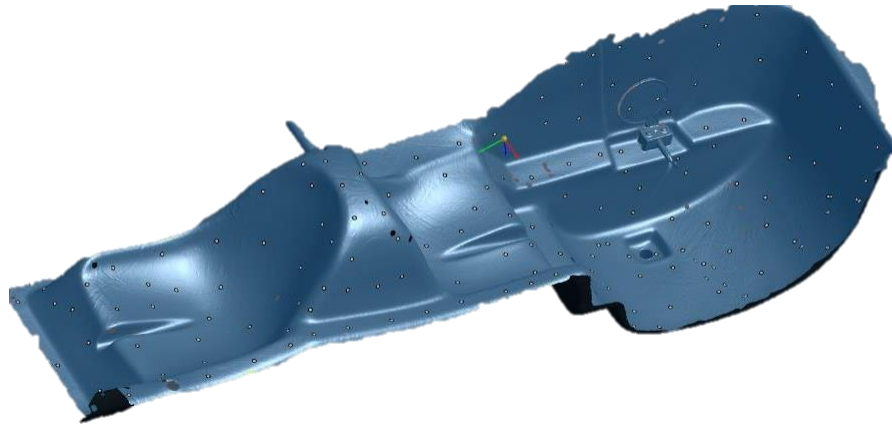


Figura 3.2 - Resultado da digitalização do banco da gaivota.

3.2 - Modelação dos elementos

Sendo este projeto destinado à produção de um molde de fibra é fundamental que, aquando da modelação dos modelos se tenha em consideração que é necessário retirar a peça do molde. Na produção de moldes de fibra de vidro é essencial garantir ângulos de saídas positivos em todos os modelos pois, caso contrário é impossível proceder ao desmolde das peças (Figura 3.3). Quanto maior o ângulo de saída, mais fácil será a remoção da peça do molde. Este ângulo deverá ser no mínimo 1 grau. Assim, garantiu-se que todo o modelo tem no mínimo 3 graus de ângulo de saída positiva.



Figura 3.3 - Ângulos de inclinação: (a) zero inclinação; (b) inclinação positiva; (c) inclinação negativa. Fibreglast (2020)

Uma vez que a gaivota possui uma geometria fechada, tornava-se necessário que esta fosse separada por uma linha intermédia. Esta linha intermédia é conhecida como sendo a linha de partição (Figura 3.4) entre a parte superior e a parte inferior do molde. Assim, dividiu-se a gaivota em duas partes, superior e inferior, onde se garantiu que existia um ângulo de saída positivo em todo o modelo.

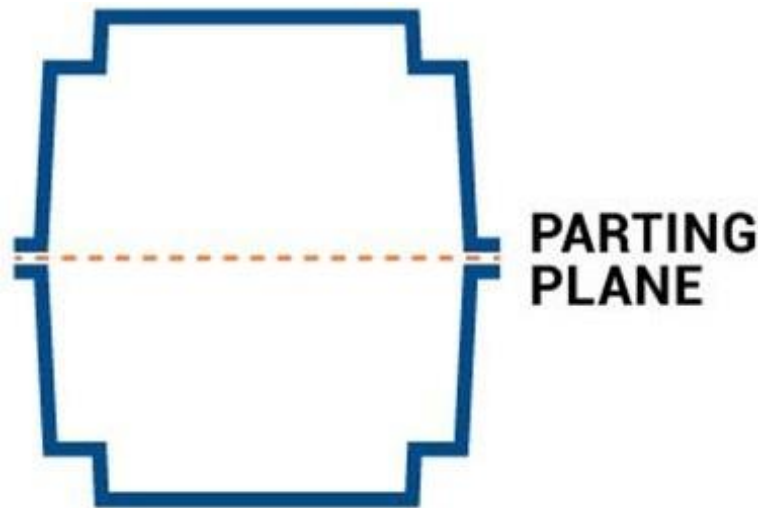


Figura 3.4 - Representação de uma linha de partição de um molde. Fibreglast (2020)

Relativamente ao processo de modelação da gaivota de água, foi utilizado o *software Fusion 360*. A escolha deste *software* deveu-se à facilidade com que ele permite a fácil e ágil modelação de superfícies livres. Para além disso, o *software Fusion 360* possibilita ao utilizador sobrepor a digitalização com a superfície modelada. Ora, esta interligação entre a sobreposição da digitalização e a superfície modelada, permite ao utilizador corrigir em tempo real e adaptar a superfície modelada de forma a minimizar os erros que possam surgir aquando da geração das superfícies.

Desta forma é possível dizer que, o *software Fusion 360* foi a ponte entre a digitalização, a modelação da digitalização e a adaptação do modelo automóvel com os componentes digitalizados. O primeiro passo na modelação da gaivota foi inserir a digitalização dos bancos e da zona dos pedais no *software fusion 360*, com recurso ao ficheiro em formato “stl”, tal como se pode visualizar na Figura 3.5. Depois de inserida a digitalização da peça no programa, o passo seguinte será o de alinhá-la com os planos XYZ através da translação e rotação da peça.

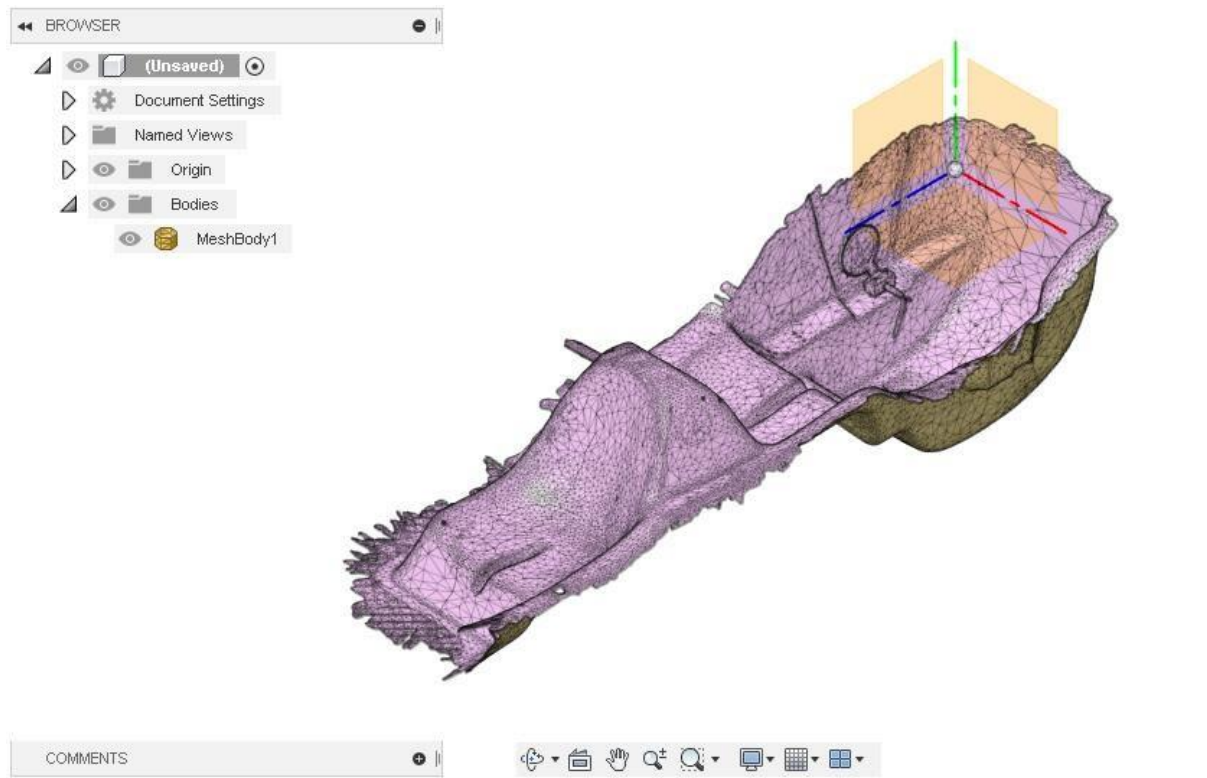


Figura 3.5 - Visualização da malha dos bancos e da zona dos pedais no *software fusion 360*.

Depois de alinhada a peça, o processo de modelação baseia-se na criação de elementos tais como: planos, linhas, curvas e superfícies por forma a se obter uma geometria que seja a mais próxima possível da digitalização. Na Figura 3.6, apresenta-se o resultado final depois de efetuada a modelação da malha dos bancos e da zona dos pedais no *software fusion 360*.

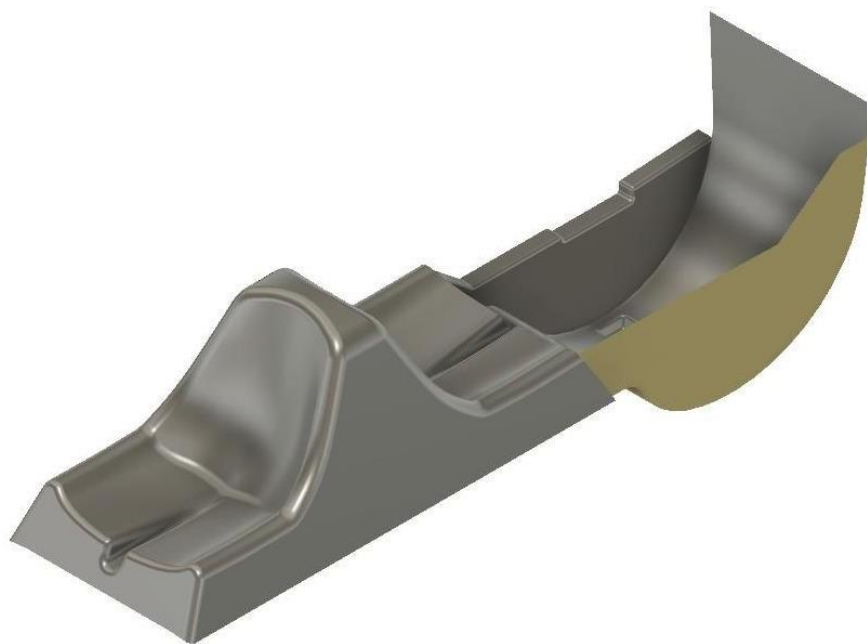


Figura 3.6 - Resultado final dos bancos e da zona dos pedais no *software fusion 360*.

Importa referir que, era possível converter diretamente a digitalização em superfície e utilizar diretamente a superfície digitalizada. No entanto, atendendo ao facto de que a digitalização era de uma peça real, esta continha já deformações que iriam diminuir a qualidade do molde final. Assim, modelando de novo as superfícies, aumenta-se a qualidade do trabalho e o resultado final terá maior precisão e qualidade.

Terminada a fase de modelação dos bancos e da zona dos pedais, procedeu-se à adaptação da forma exterior de um automóvel ao formato da gaivota. Para tal em primeiro lugar, utilizou-se um CAD de um veículo automóvel previamente modelado, de acordo com os requisitos impostos pelo cliente. Na Figura 3.7 apresenta-se o modelo de CAD do veículo automóvel que foi usado para a adaptação à gaivota de água.



Figura 3.7 - Modelo CAD de automóvel usado para adaptação à gaivota de água.

Atendo a que o modelo de CAD do veículo do automóvel se encontrava dividido em superfícies, foi fácil proceder à filtragem das geometrias necessárias à produção da gaivota. Desse modo, retiraram-se as zonas desnecessárias para a gaivota tais como: os vidros, os espelhos, as rodas, as peças do interior, etc... de forma a simplificar o processo de adaptação. Na Figura 3.8 apresenta-se o resultado do modelo de CAD que resultou do processo de simplificação.

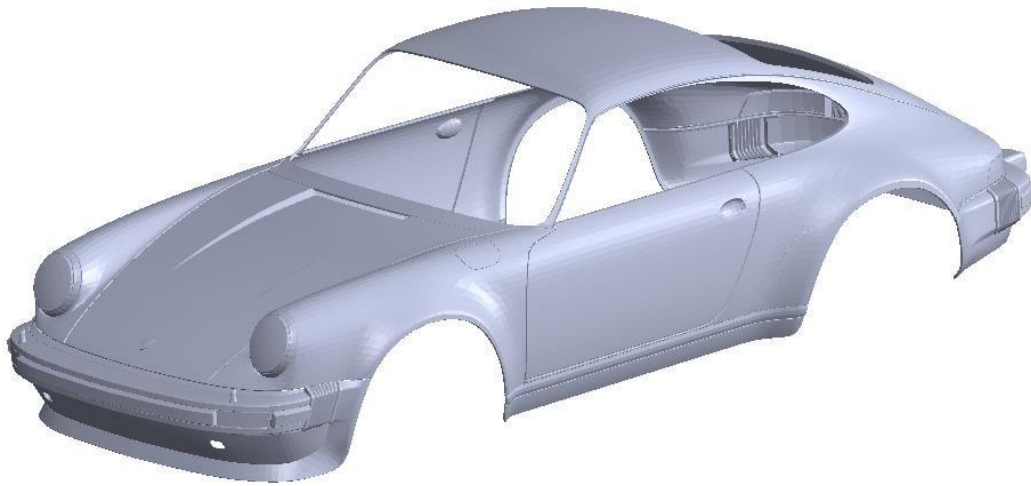


Figura 3.8 - Superfícies do modelo de CAD do automóvel após processo de simplificação.

Após eliminação dos elementos desnecessários para a criação da gaivota, a geometria obtida ainda não será a geometria final a utilizar na gaivota, uma vez que, por exemplo a geometria do teto irá ser totalmente eliminada bem como, uma secção da zona inferior do modelo de CAD do automóvel, onde o ângulo de saída é negativo. Sendo assim, depois de efetuadas todas essas alterações, apenas será usada uma secção da geometria do automóvel. A geometria final que se irá utilizar é a que se apresenta na Figura 3.9.



Figura 3.9 - Geometria final do modelo de CAD do automóvel que se irá implementar na gaivota de água.

Terminadas as etapas anteriores, procedeu-se então à união dos bancos modelados com o modelo do automóvel. Mais uma vez, a união dos referidos modelos foi realizada através da criação de planos, linhas e superfícies, por forma a se conseguir adaptar o modelo de CAD do automóvel à geometria dos bancos. Importa referir que a adaptação foi realizada sempre no pressuposto de garantir que se obtinha uma geometria harmoniosa de uma gaivota de água com aparência de um automóvel. O resultado final desse processo de adaptação é apresentado na Figura 3.10.

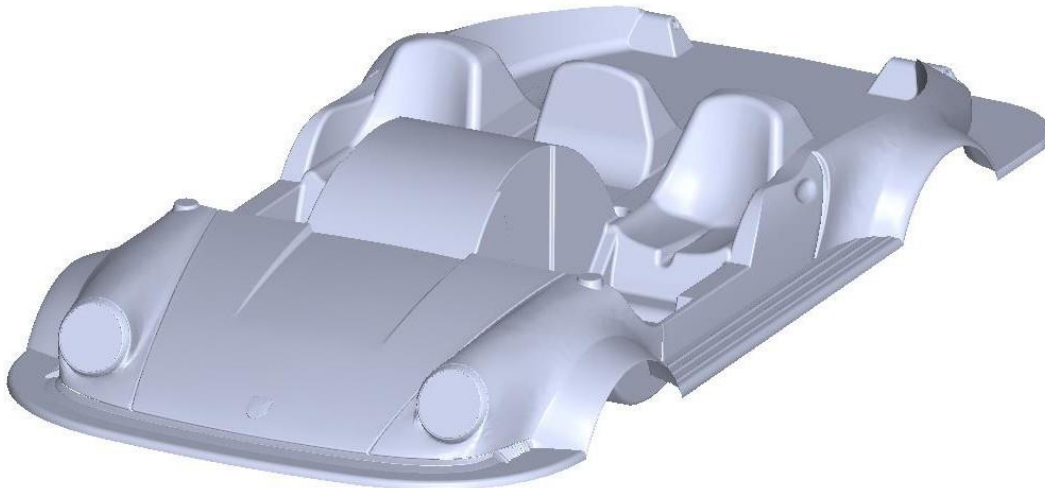


Figura 3.10 - Geometria final superior da gaivota de água, depois da adaptação do modelo de CAD do automóvel à geometria dos bancos.

Após a adaptação dos bancos com o modelo automóvel, definiu-se uma zona plana que viria a ser a zona de junção entre as duas partes da gaivota. Ou seja, ficou-se com uma zona que se pode designar por cobertura da gaivota (Figura 3.10) e a zona inferior que estará em contacto com a água e que se designará por casco.

Com a zona da cobertura finalizada, procedeu-se à modelação da zona do casco da gaivota. A primeira etapa na modelação do casco, foi semelhante à modelação dos bancos, ou seja, procedeu-se à inserção do ficheiro de digitalização do casco no *software fusion 360* e procedeu-se ao seu alinhamento com os planos de referência (Figura 3.11).

Relativamente à digitalização do casco, apenas foi digitalizada uma pequena secção com aproximadamente 500 mm de comprimento, para se ter o perfil longitudinal do casco, tal como se apresenta na Figura 3.11.

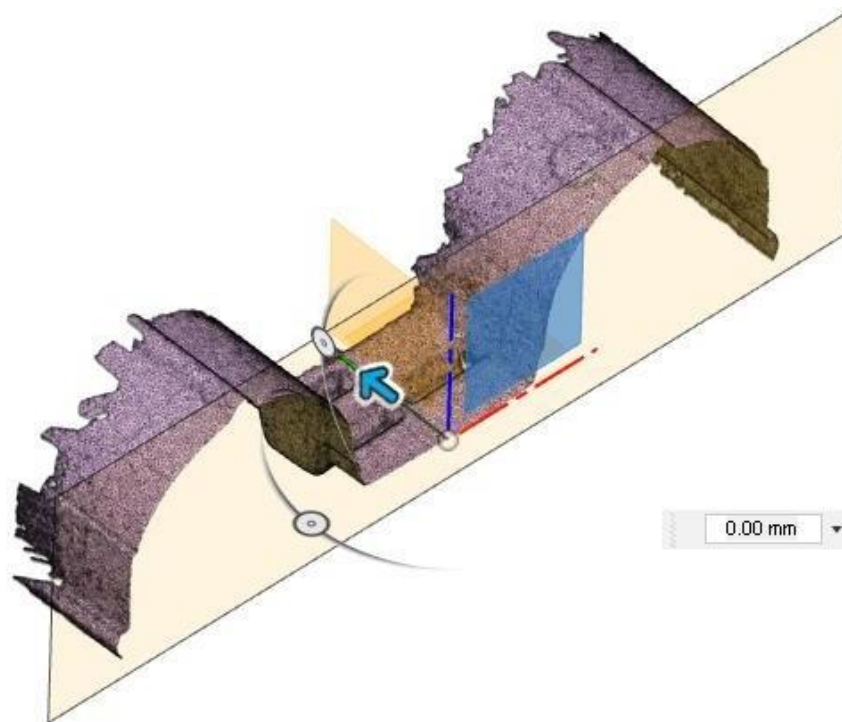


Figura 3.11 - Visualização da digitalização de uma zona do casco e orientação da digitalização no *software fusion 360*.

Terminado o processo de alinhamento, efetuou-se um corte perpendicular à malha da digitalização do casco e a partir desse corte foi possível extrair o perfil do casco. Tendo esse perfil modelado, estendeu-se o perfil para a direita e esquerda de forma a criar uma superfície com o comprimento total da gaivota. O resultado final da criação da superfície do casco, com o perfil que irá ser usado na gaivota é apresentado na Figura 3.12.

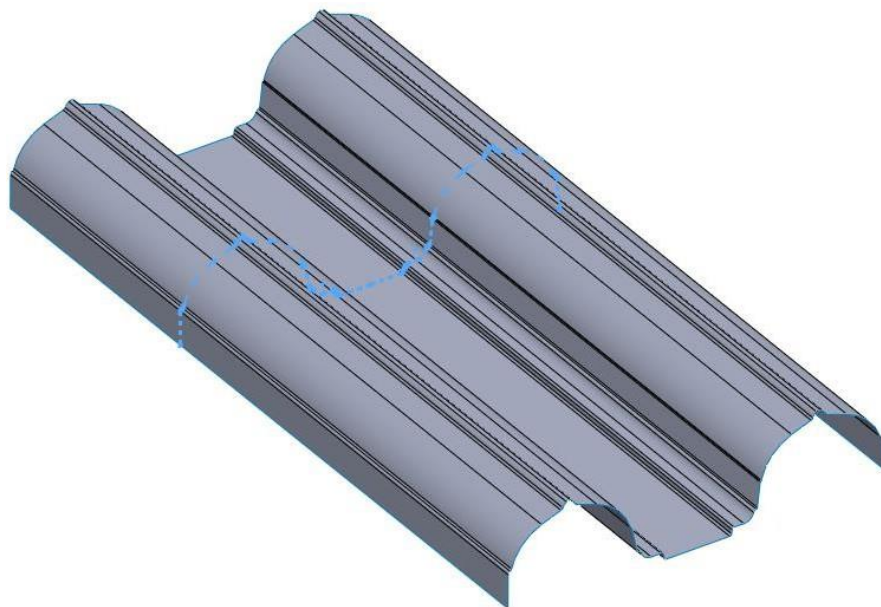


Figura 3.12 - Modelação do perfil do casco que irá ser usado na criação da gaivota de água.

Terminada a fase de criação do perfil do casco é ainda necessário modelar a cavidade para as pás da gaivota, bem como, a parte frontal e parte traseira do casco. A cavidade para alojar as pás responsáveis pela movimentação da gaivota, em termos de geometria é simplesmente um semicírculo, onde foram inseridas algumas saliências de modo a aumentar a resistência da peça final, para que não ocorram deformações nessa zona. Na Figura 3.13, apresenta-se a geometria da cavidade desenvolvida para as pás da gaivota.



Figura 3.13 - Geometria da cavidade desenvolvida para as pás da gaivota.

Para terminar a geometria do casco da gaivota, falta somente realizar a modelação da zona frontal do casco e da zona traseira do casco. Na Figura 3.14, apresenta-se o resultado final da modelação da zona frontal do casco.



Figura 3.14 - Resultado final da modelação da zona frontal do casco.

Sendo este um veículo aquático, é de elevada importância que a geometria submersa seja o mais hidrodinâmica possível. Sendo assim, procurou-se modelar uma geometria que fosse o mais suave possível.

A última etapa da modelação dos elementos da gaivota de água compreendeu um requisito que foi imposta pelo cliente, ou seja, apesar de a gaivota de água ser veículo aquático para divertimento, a gaivota de água será equipada com quatro rodas de modo a que seja mais fácil transportá-la quando a gaivota de água está fora de água. Assim, foi modelado um modelo de roda de acordo com as exigências do cliente, sendo estas acopladas à gaivota por um veio, garantindo desta forma que elas realizem a operação a que estão destinadas, ou seja, girar. O resultado final da modelação das rodas é apresentado na Figura 3.15.



Figura 3.15 - Modelo da roda desenvolvida para a gaivota de água.

Relativamente às rodas da gaivota, importa referir que no seu desenvolvimento teve-se em conta que elas tinham de ser leves, mas também tinham de ser resistentes. Sendo assim, o desenvolvimento das rodas foi realizado de forma a garantir um compromisso entre o peso da roda e a sua máxima resistência.

O resultado final de todo o processo de modelação da gaivota é apresentado na Figura 3.16. Em resumo, a gaivota de água é um equipamento de diversão fechado, sendo composta pela união de duas partes (a zona da cobertura e a zona do casco) e com quatro rodas de forma a facilitar o seu transporte fora de água.

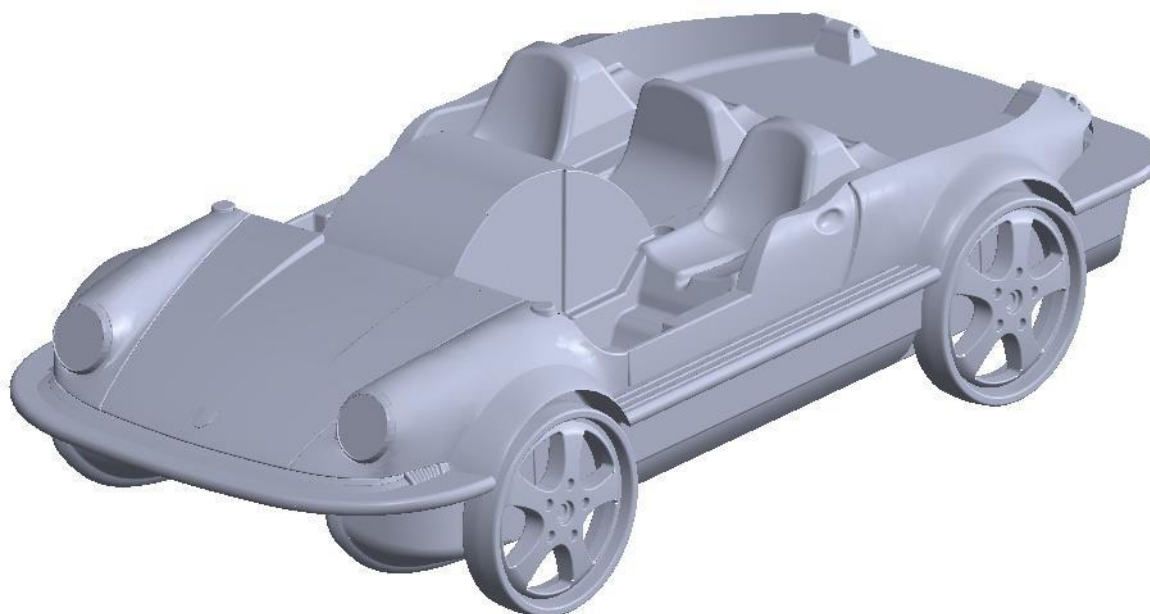


Figura 3.16 - Modelo de CAD final da gaivota de água.

4 - Materiais

Em engenharia os materiais são uma peça fundamental, dependendo da finalidade podem ser utilizados materiais metálicos, materiais poliméricos, materiais cerâmicos ou materiais compósitos, tal como pode ser visualizado na Figura 4.1.

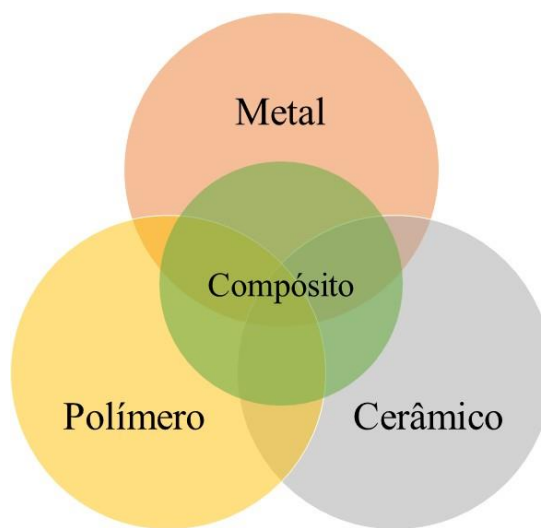


Figura 4.1 - Classificação dos diferentes tipos de materiais de engenharia.

Relativamente aos materiais metálicos, estes são caracterizados por apresentarem uma estrutura cristalina bem definida, e com valores altos de condutividade térmica e elétrica. É devido às suas propriedades mecânicas, que fazem com que os metais sejam matérias de ampla utilização em aplicações de engenharia. Os materiais cerâmicos têm estruturas amorfas ou complexas, com fortes ligações iónicas e, por isso é necessária muita energia para ativar e deslocar os átomos das ligações, daí a sua elevada resistência a altas temperaturas. Contudo, os materiais cerâmicos são materiais frágeis, apesar da sua elevada resistência térmica e elétrica e até mesmo à corrosão. Os materiais poliméricos são formados por um grande número de moléculas unitárias conhecidas por monómeros que são unidas por ligações covalentes. É devido ao facto de possuírem ligações covalentes que faz com que os polímeros sejam facilmente moldáveis, no entanto em certos casos a ligação que existe entre as moléculas faz aumentar a resistência mecânica desse polímero. No entanto, os polímeros são materiais com baixa densidade, baixa estabilidade térmica e pela baixa capacidade de conduzir calor ou até

mesmo a corrente elétrica. Por último, os materiais compósitos podem ser definidos como misturas (ao nível macroscópico) não solúveis de dois ou mais constituintes com distintas composições, estruturas e propriedades que se combinam e em que um dos materiais garante a ligação (matriz) e o outro a resistência (reforço). Estes materiais apresentam-se como sendo materiais com elevada resistência mecânica, baixo peso, sendo estes alguns dos objetivos da produção de materiais compósitos. Atendendo ao objeto que se pretende desenvolver ser um molde de gaivota de água, dos quatro grupos de materiais que se poderiam usar, a escolha recai obviamente sobre os materiais compósitos. Sendo assim, de seguida apresenta-se uma breve explicação sobre esse grupo de materiais.

4.1 - Materiais Compósitos

Os materiais compósitos são compostos pela combinação micro ou macroscópica de dois ou mais materiais de diferentes fases, onde o objetivo é combinar as melhores propriedades de ambos os materiais constituintes. Com este processo, é possível obter um material com as melhores características dos metais, dos cerâmicos ou dos polímeros, em função dos materiais que são escolhidos para a produção desse material compósito. Como já foi referido anteriormente, um material compósito é composto por dois elementos essenciais. O elemento de fase contínua é chamado de matriz, que é o elemento ligante e o elemento de fase descontínua é conhecido por ser o reforço, sendo ele que confere resistência ao material compósito, tal como é possível de visualizar na Figura 4.2.

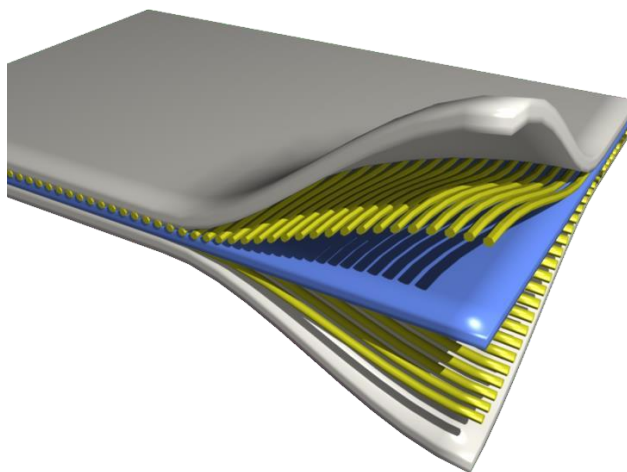


Figura 4.2 - Representação gráfica da constituição de um material compósito.

Os compósitos podem ser divididos, quanto à morfologia dos elementos ligantes em três categorias principais, ou seja, compósitos com partículas, compósitos com fibras e compósitos estruturais, tal como se apresenta na Figura 4.3.

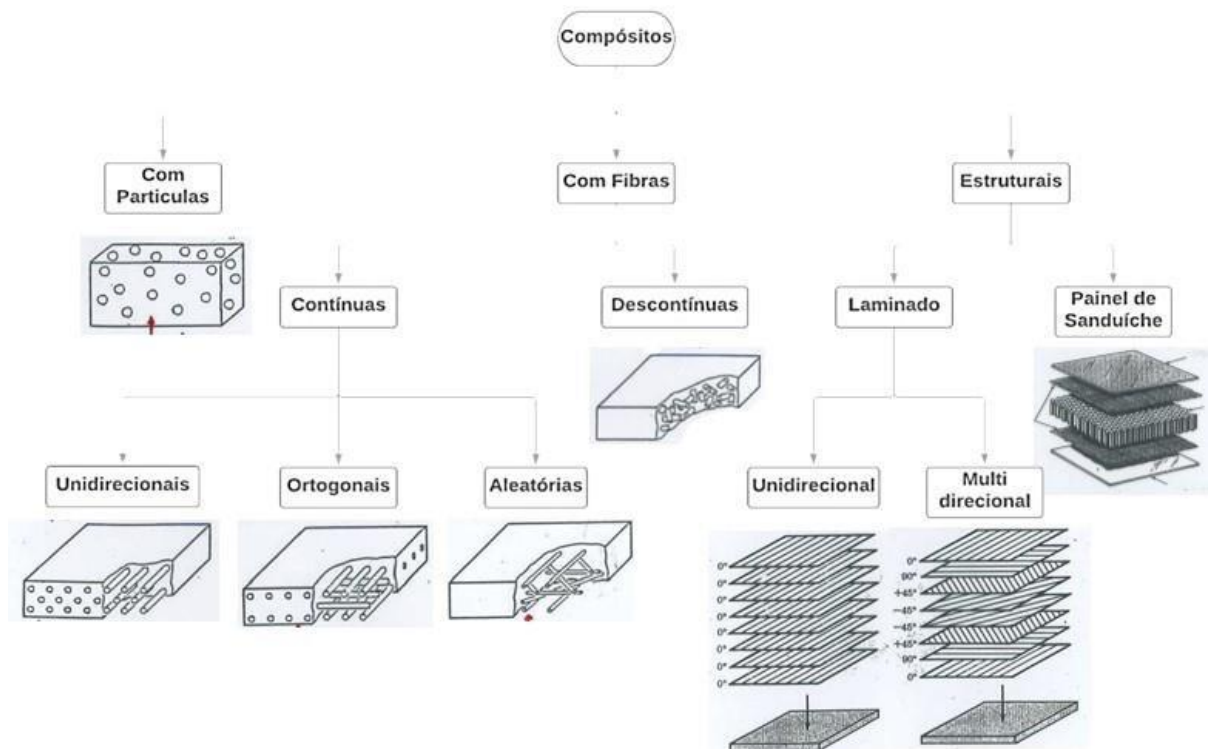


Figura 4.3 - Morfologia dos compósitos (Moura, 2010)

Atendendo mais uma vez ao tipo de objeto que se pretende desenvolver, será dada maior ênfase aos compósitos com fibras, dado que esta é a morfologia utilizada na produção da gaiivota de água. Sendo assim, e no que toca aos tipos de matriz, estas dividem-se em duas classes principais, que são: compósitos com fibras de matriz termoplásticas e compósitos com fibras de matriz termoendurecíveis. As primeiras são compostas essencialmente por plásticos técnicos, formados a partir de macromoléculas individuais ligadas por ligações secundárias. Quando aquecidas, estas ligações são quebradas e tornam-se maleáveis. Com o posterior arrefecimento, estas ligações são restabelecidas e o compósito torna-se novamente rígido. Deste modo, as resinas termoplásticas são utilizadas com frequência em peças processadas por injeção ou termoformação.

Já os compósitos com fibras de matriz termoendurecíveis, são constituídos por polímeros em que as suas moléculas formam estruturas tridimensionais rígidas. Contrariamente aos primeiros, estes não podem ser reprocessados uma vez que assumem uma forma permanente após o processo de cura. Estes polímeros são fornecidos para processamento separadamente em dois

ou três componentes: resina, acelerador e catalisador. Quando se dá a mistura destes componentes inicia-se uma reação química que altera estes componentes quimicamente durante um período de tempo, denominado de “cura”. Dependendo dos tipos de componentes utilizados, o processo de cura poderá dar-se naturalmente pela mistura dos componentes ou poderá ser necessário o uso de calor ou pressão para se dar o processo. As vantagens do uso dos compósitos com fibras de matriz termoendurecíveis são a maior facilidade de impregnação do reforço bem como as melhores propriedades mecânicas caso se utilize um tratamento de pós-cura de alta temperatura. Relativamente à produção de moldes de fibra na ScalesOceans, as resinas mais utilizadas são do tipo termoendurecíveis, e são:

- A resina poliéster;
- A resina viniléster;
- A resina epóxi.

A resina de poliéster insaturado é a mais comum na produção de compósitos devido ao seu baixo custo, fácil processamento e relativamente boas propriedades mecânicas, elétricas e químicas. No processamento desta resina, adiciona-se um solvente reativo que desencadeia o processo de cura da resina.

Com características intermédias apresentam-se as resinas viniléster, que são compostas de resina de viniléster insaturada com resina de epóxi. Estas, apresentam excelente resistência química (corrosão), alta tensão de rotura e rápido tempo de cura. No entanto, apresentam elevados valores de contração que podem chegar aos 10 %.

Por último, as resinas epóxi são as de maior custo, mas também as que melhores propriedades mecânicas e químicas apresentam. Têm também como principal vantagem a sua grande estabilidade dimensional, devido à sua baixa contração.

Relativamente as formas que os reforços podem apresentar, as mais utilizadas são: o *roving*, as mantas, os tecidos e as malhas. O *roving* consiste num cordão de filamento contínuo enrolado numa bobine, como se pode verificar na Figura 4.4. Este é geralmente utilizado na moldação por projeção podendo também ser utilizado para a produção de mantas, entrançados ou malhas.



Figura 4.4 - Bobine de *roving*. Serraciments (2017)

Nas mantas, as fibras são dispostas aleatoriamente e agregadas com um ligante que é geralmente solúvel no processo de impregnação. As mantas podem ser divididas em três tipos: mantas de filamentos cortados (CSM), mantas de filamentos contínuos (CRM) e mantas de superfície. Nas mantas de filamentos cortados (CSM), as propriedades mecânicas são baixas devido ao comprimento dos filamentos ser curto. Já as mantas de filamentos contínuos (CRM) apresentam melhores propriedades mecânicas em virtude da continuidade dos filamentos. Por último, as mantas de superfície são caracterizadas pelo seu baixo peso. Na figura seguinte, apresenta-se uma manta de fibra de vidro, sendo esta uma manta de filamentos contínuos amplamente usada em termos industriais.



Figura 4.5 - Manta de fibra de vidro. Serraciments (2017)

A fibra de vidro é um dos compósitos mais utilizados devido em primeiro lugar devido à sua versatilidade e em segundo lugar por ser um dos compósitos que apresenta um baixo custo. Importa ainda referir que a manta de fibra de vidro, apresenta vantagens em contrapartida com outros polímeros em virtude de apresentar uma alta resistência à tração, um alto valor de resistência ao impacto e boa capacidade de resistir à flexão. A fácil capacidade de serem moldadas faz com que as de fibra de vidro sejam uma excelente opção para a produção de moldes simples e de baixo custo, muito utilizadas na indústria náutica.

Relativamente aos tecidos, estes são semelhantes às mantas, no entanto apresentam a particularidade da orientação das fibras não ser aleatória, tal como acontece nas mantas, mas sim orientados em dois sentidos e entrelaçados entre si. Por último têm-se as malhas, estas são compostas por várias camadas de fibras alinhadas que são cozidas numa única malha. Importa ainda referir que, existe uma gama dentro dos compósitos que é designada por *advanced composites*. Este tipo de compósitos são classificados como compósitos de elevado desempenho, ou seja, são compósitos com melhores propriedades que os compósitos comuns. Na indústria aeroespacial, os *advanced composites* têm vindo a ganhar cada vez mais utilidade uma vez que estão a substituir um elevado número de componentes metálicos, garantindo assim propriedades como elevado módulo de elasticidade e resistência e alta estabilidade dimensional na presença de grandes diferenças de temperatura.

4.2 - Moldação das fibras

A utilização de materiais compósitos oferece para além das muito boas propriedades mecânicas, uma grande flexibilidade no desenvolvimento de peças quando comparadas com os materiais metálicos. É devido a isso que cada vez mais se tem verificado o aumento da sua utilização nas diversas indústrias, sendo mais notória nas áreas da aeronáutica, automóvel, construção e desporto, como já foi referido anteriormente. Assim, existem diversos tipos de moldação dos materiais compósitos reforçados com fibra, entre os mais comuns são (Lopes, 2009):

- Moldação manual;
- Moldação por projeção;
- Moldação por vácuo;
- Moldação em autoclave;

- Enrolamento Filamentar;
- Pultrusão.

Dependendo do tipo de moldação que se utiliza é possível produzir peças com diferentes propriedades físicas, complexidades e dimensões. Seguidamente, apresenta-se uma breve explicação sobre cada um dos tipos de moldação.

4.2.1 - Moldação Manual

Para um pequeno número de séries, a moldação manual é o método mais comum devido à sua simplicidade e reduzido investimento inicial. Este método consiste na impregnação de várias camadas de reforço (várias camadas de manta de fibra de vidro), que são aplicadas manualmente num molde aberto, tal como se pode visualizar na Figura 4.6.

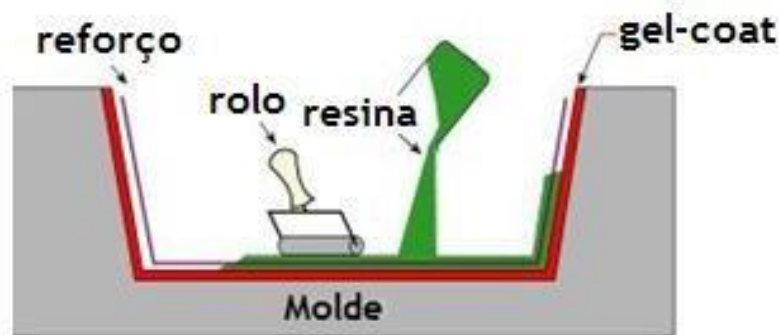


Figura 4.6 - Representação do processo de modelação manual (Lopes, 2009).

No entanto, e antes de se proceder à moldação da peça é necessário realizar um conjunto de operações no molde. Sendo assim, primeiramente é aplicado sobre o molde um agente desmoldante para facilitar posteriormente a desmoldação. De seguida, aplica-se sobre a face do molde uma resina de poliéster, designada de gel-coat que tem como função garantir um bom acabamento superficial. Depois de aplicado o gel-coat, o molde é aquecido num forno a uma temperatura de aproximadamente 50°C. Neste processo a percentagem de fibra no produto final é de cerca de 25%. Devido à libertação de gases, sobretudo estireno, exige-se que os operadores utilizem máscaras e que o processo seja realizado em locais de boa ventilação. Dado que este é um processo manual, requer muita mão-de-obra e habilidade e cuidado por parte do operário.

4.2.2 - Moldação por Projeção

A moldação por projeção baseia-se na aplicação de fibra e resina sobre o molde através de um equipamento denominado de pistola de projeção. Este equipamento projeta uma quantidade de matriz e reforço contra a superfície do molde dando-se a sua mistura de forma equilibrada (Figura 4.7). Este método é também adequado para se obter um pequeno número de peças sendo na maioria dos casos, a projeção realizada por um operário. No entanto de todos os métodos, este é o que mais facilmente se pode automatizar. Relativamente à qualidade das peças obtidas, a moldação por projeção apresenta a desvantagem de apresentar uma qualidade que é inferior à moldação manual. No entanto, apresenta a vantagem de ser um método mais rápido que a moldação manual, para obtenção de peças.

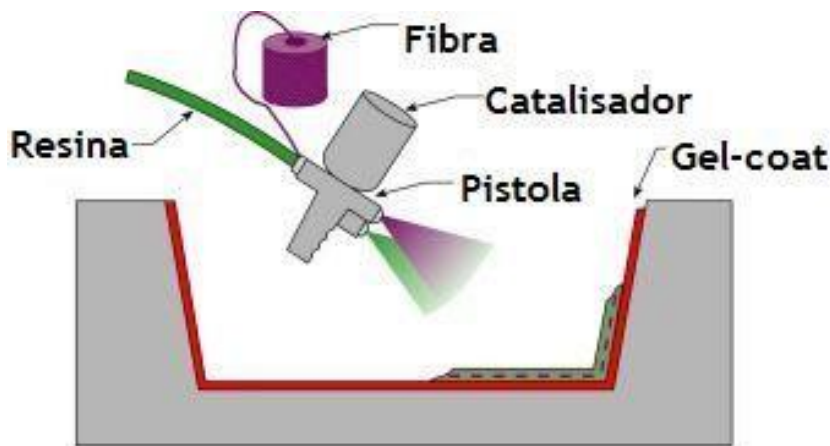


Figura 4.7 - Representação do processo de moldação por projeção (Lopes, 2009).

4.2.3 - Moldação por Vácuo

A moldação por vácuo assemelha-se à prensagem a frio, tendo, no entanto, como vantagem um menor investimento em moldes e equipamentos. Este método consiste na aplicação de vácuo no interior do molde permitindo assim a obtenção de duas superfícies lisas com uma quantidade de bolhas de ar muito reduzida (Figura 4.8).

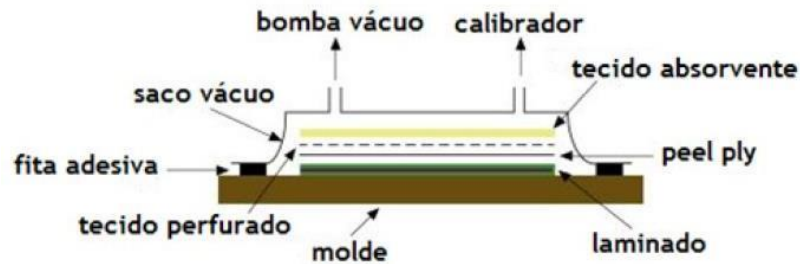


Figura 4.8 - Representação do processo de moldação por vácuo (Lopes, 2009).

A introdução da resina e do reforço poderá ser feita previamente no molde ou pode também ser injetada a baixa pressão no interior do molde. Independente da forma com é colocada a resina e o reforço, é sempre necessário a aplicação de um saco que envolve todo o molde, sendo depois criado o vácuo.

4.2.4 - Moldação em Autoclave

A moldação em autoclave, consiste na consolidação de um componente através da utilização de temperatura, pressão e vácuo. Com a aplicação destas variáveis é possível produzir peças de elevadas propriedades mecânicas, tal como se apresenta na figura seguinte.



Figura 4.9 - Representação do processo moldação em autoclave (Lopes, 2009).

O processo é semelhante à moldação por vácuo, no entanto a pressão utilizada pode chegar aos 7 bar. Neste processo, primeiramente procura-se eliminar os compostos orgânicos e voláteis através da redução da viscosidade da resina. Posteriormente inicia-se a cura e a consolidação

do componente, durante a qual a pressão é um parâmetro crucial. Caso não sejam usados pré-impregnados, a boa impregnação do reforço será também um objetivo fundamental. Este tipo de moldação permite a obtenção de peças de grandes dimensões e geometrias complexas, sendo adequado para produção de pequenas séries de componentes que exigem um elevado desempenho no que toca a propriedades mecânicas, por exemplo indústria aeronáutica e desporto automóvel. Tem como desvantagem o elevado investimento inicial e o tempo de produção tornando-o inviável à produção em larga escala.

4.2.5 - Enrolamento Filamentar

O enrolamento filamentar consiste na deposição sobre um molde geralmente cilíndrico produzindo componentes tubulares, peças esféricas ou reservatórios de pressão. Através de um sistema de guiamento, o reforço é desenrolado do *roving*, impregnado na resina é enrolado em várias camadas sobre o molde em rotação (Figura 4.10). Após o enrolamento procede-se à polimerização em forno ou através de luz infravermelha.

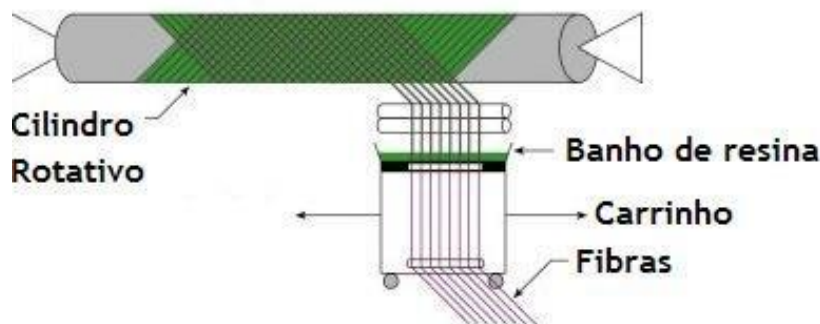


Figura 4.10 - Representação do processo de moldagem enrolamento filamentar (Lopes, 2009).

Este é um método que tem como vantagem a sua simplicidade e automatização, no entanto é limitado em termos de geometrias a produzir e requer sempre a presença de um operador para efetuar a troca de bobines e verificar o desenrolamento das fibras.

4.2.6 - Pultrusão

Este é um processo de produção de perfis de seção constante, ocos ou maciços. O reforço é puxado através de um recipiente com resina, onde é impregnado e conduzido por uma fieira de

aço pré-aquecida. Esta fiação tem a geometria do perfil pretendido que conforma à fibra a sua forma final. De seguida este perfil é conduzido à secção de cura sendo posteriormente cortado com o comprimento pretendido. A velocidade deste método está compreendida entre os 0,5 e os 2 metros por minuto dependendo da resina, espessura e complexidade do perfil. Na Figura 4.11, apresenta-se uma imagem representativa do processo.

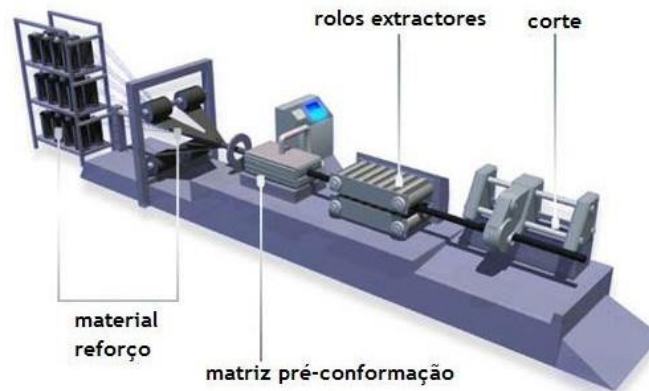


Figura 4.11 - Representação do processo de moldagem pultrusão (Lopes, 2009).

4.3 - Manipulação das fibras e resinas

Na manipulação de resina e fibra é importante ter em consideração a utilização de alguns elementos de segurança. Uma vez que a resina liberta gases tóxicos para o ser humano é fundamental o uso de máscara que contenha um filtro. Desta forma, o operador não vai inalar gases e outras partículas durante o processo de aplicação da resina.

Já a fibra de vidro é composta por filamentos extremamente finos de vidro que podem causar ao operador irritação na pele, olhos e nariz. No entanto, a situação mais grave acontece caso esses filamentos sejam inalados, pois podem causar graves problemas ao nível da garganta e pulmões. Assim, é obrigatória a utilização de um fato completo descartável de manga comprida, luvas, óculos e máscara de proteção na aplicação da fibra de vidro, tal como se apresenta na Figura 4.12.

Para além do que foi referido anteriormente, também o local onde são aplicadas as resinas e as fibras devem ser ventilados. Na ScalesOceans, o local para aplicação das resinas e fibras é em

estufas, estando estas equipadas com extratores de gases para garantir uma completa renovação de ar quando se está a manipular as fibras e as resinas.



Figura 4.12 - Elementos de segurança que são necessários usar para aplicação de resinas na ScalesOceans.

5 - Produção da Gaivota

Entrando na última fase do processo da produção da gaivota de água, a primeira etapa compreende a execução de um estudo da dimensão do modelo a produzir. São também definidos os parâmetros necessários para a produção do modelo, nomeadamente o material a utilizar, ciclos de maquinagem e a qualidade de acabamento do produto final.

Depois de efetuada essa análise concluiu-se que se iria proceder à maquinagem de um protótipo da gaivota de água numa escala 7 vezes inferior ao modelo final. A finalidade de produzir esse protótipo, tem como principal objetivo de perceber se o modelo desenvolvido vai de encontro ao que foi solicitado pelo cliente. Caso seja necessário efetuar alguma alteração a nível de projeto, ela irá ser realizada antes de se proceder à produção do modelo final. Para além do que foi referido anteriormente, a maquinagem do protótipo, permite ainda avaliar vários parâmetros de produção previamente à produção, à escala real, com um custo muito reduzido, quando comparado com a produção do modelo final.

5.1 - Produção do protótipo

Como já foi referido anteriormente, na produção do protótipo optou-se por produzir o modelo da gaivota de água numa escala de 1/7. Assim, a produção do protótipo inicia-se com a preparação do material para o processo de maquinagem. Analisando o modelo da peça verificou-se que para produzir as duas partes do protótipo da gaivota de água, seriam necessários dois blocos de madeira MDF com dimensões de 600 x 400 x 150 [mm]. Na figura seguinte apresentam-se a geometria dos blocos de MDF, onde é possível verificar a totalidade da envoltória para a matriz do casco (a) e para a matriz da cobertura (b).

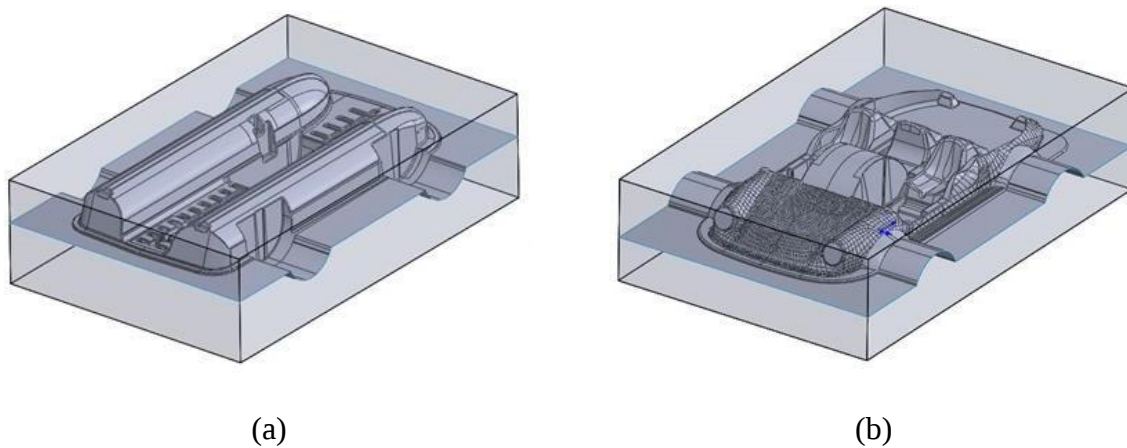


Figura 5.1 - Exemplificação dos blocos de MDF para a matriz do casco (a) e para a matriz da cobertura (b).

5.1.1 - Processo de maquinagem

Para se proceder ao processo de maquinagem das matrizes de MDF e antes de se colocar os blocos de MDF na máquina de CNC, é necessário proceder à elaboração dos ciclos de maquinagem. Atendendo a que na ScalesOceans, o *software* de Fabrico Assistido por Computador (CAM) é o MASTECAM 2017, as matrizes foram colocadas (em dois ficheiros separados) no referido software para se proceder à elaboração dos ciclos de maquinagem. O processo de elaboração dos ciclos de maquinagem, começa sempre por analisar a geometria que se pretende maquinar, de forma a identificar as zonas de aperto do bloco de material, identificação do número de aperto que é necessário realizar no bloco, de modo a obter a geometria pretendida, isto porque, o número de apertos implica a escolha criteriosa da localização dos zeros peças (sistema a partir do qual as trajetórias de maquinagem vão ser geradas pelo *software* de CAM). Analisando as duas matrizes do protótipo, concluiu-se que a fixação para ambas as matrizes seria realizada através de dois grampos laterais, que permite a fixação do bloco de MDF e a mesa da máquina de CNC, tal como se apresenta na figura seguinte.

Relativamente ao número de apertos que eram necessários para produzir cada matriz, verificou-se que a geometria seria realizada somente num aperto, visto a maquinagem seria somente na zona de topo do bloco de MDF, sendo assim a localização do zero peça foi colocado no centro geométrico do bloco de MDF, na superfície mais elevada (Figura 5.2).

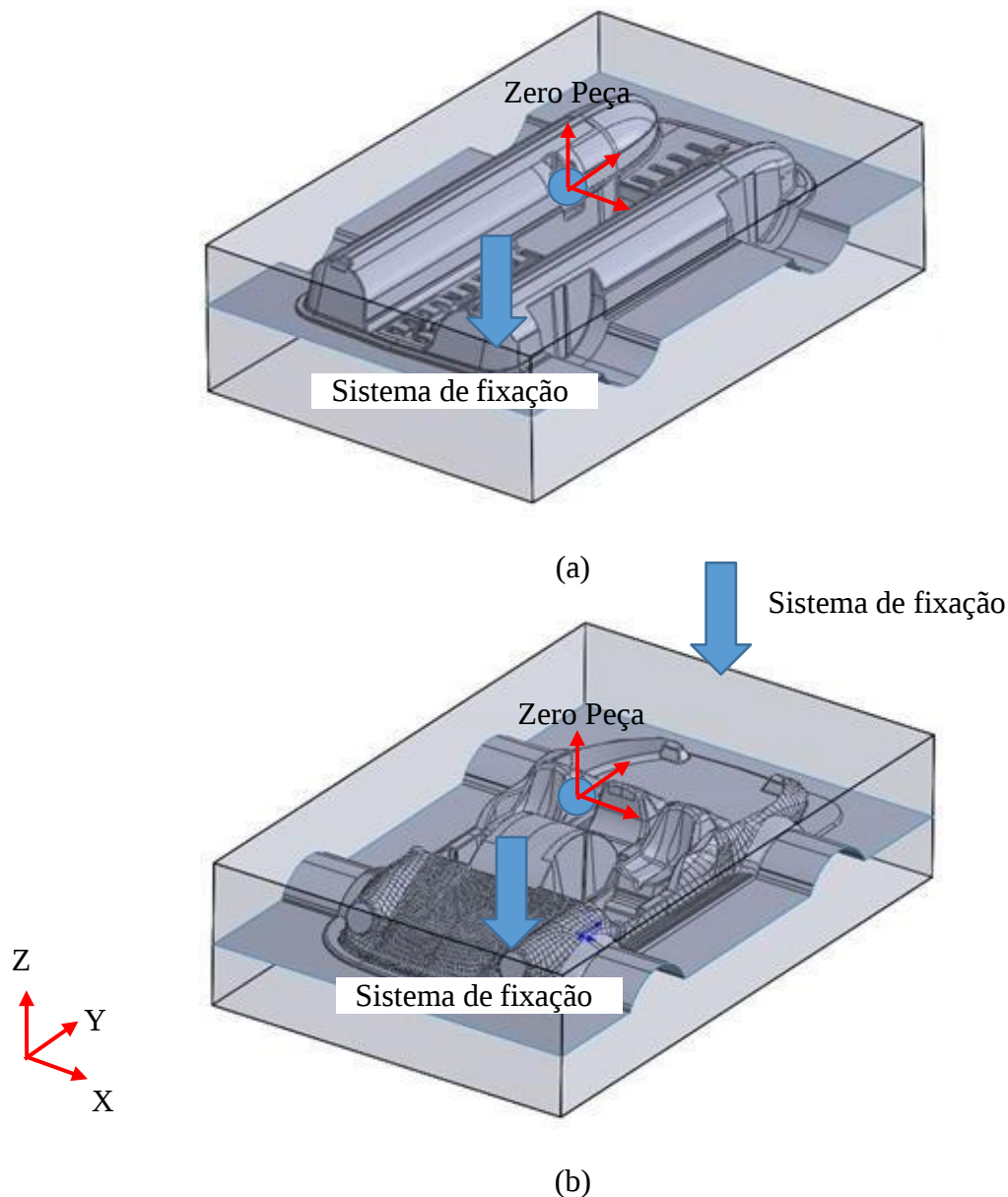


Figura 5.2 - Representação do sistema de fixação dos blocos de MDF à máquina de CNC e localização dos zeros peças; (a) matriz do casco e (b) matriz de cobertura.

Depois de definir o sistema de fixação e a localização dos zeros peças, procedeu-se à elaboração dos ciclos de maquinagem. Importa referir que, para ambas as matrizes adotou-se a mesma metodologia de fabrico, ou seja, primeiramente procedeu-se à realização de uma operação de desbaste e posteriormente foram aplicadas duas operações de acabamento. Relativamente ao ciclo de desbaste, o ciclo escolhido foi um “*Area Clearance*”, com uma fresa de topo plano de diâmetro de 10 mm, tendo a fresa 3 gumes de corte. A velocidade de corte que se escolheu foi de 200 m/min, uma profundidade de corte de 2 mm por passagem e 50% do diâmetro de corte

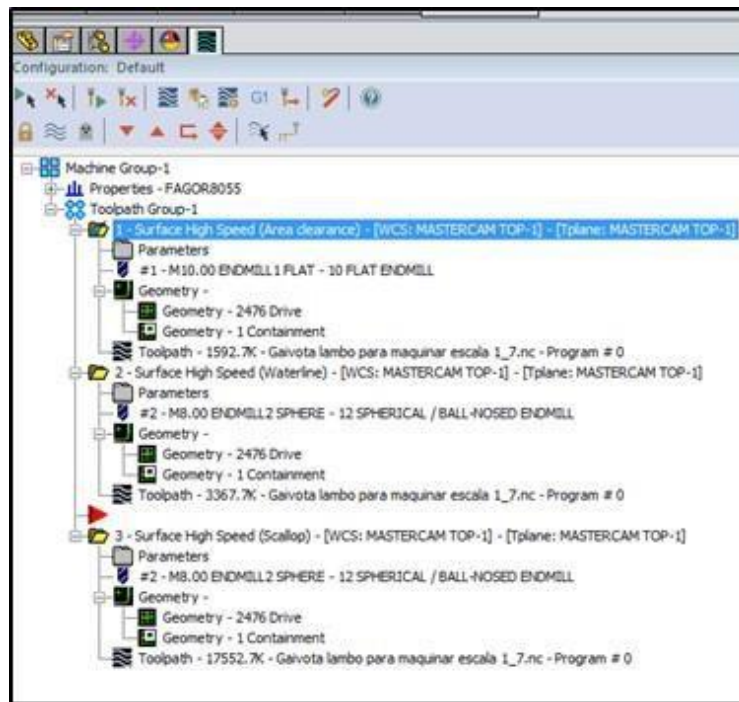
da fresa em termos de passagens laterais (stepover). Atendendo a que era uma operação de desbaste, foi deixada uma sobre espessura para operações de acabamento de 0,5 mm em toda a geometria das matrizes. Na Figura 5.3, apresenta-se uma imagem da operação de desbaste da matriz de cobertura, onde é possível identificar o sistema de aperto e a fresa de 10 mm a maquinar o bloco de MDF.



Figura 5.3 - Operação de desbaste do bloco de MDF, referente à matriz de cobertura do protótipo da gaivota.

Terminado o ciclo de desbaste procedeu-se à realização dos ciclos de acabamento. Relativamente aos ciclos de acabamento, as matrizes foram finalizadas com dois ciclos de acabamento. Primeiramente aplicou-se um ciclo de acabamento designado por “*Waterline*” com uma fresa de topo esférico de diâmetro de 12 mm, com dois gumes. Este ciclo utiliza valores de Z constantes e, como tal, tem como objetivo fazer o acabamento final das zonas mais verticais compreendidas entre 45° e 90°, removendo assim o material restante do ciclo de desbaste. De seguida e com a mesma fresa, realizou-se o ciclo de acabamento designado por “*Scallop*” que permitiu acabar as zonas mais horizontais, compreendidas entre 45° e 0°.

Relativamente aos parâmetros de corte que foram adotados, na fresa de topo esférica de 8 mm, a velocidade de corte foi de 225 m/mim e uma largura de corte de 0,4 mm. Na Figura 5.4, apresenta-se a árvore dos ciclos de maquinagem que foram criados pelo *software* de CAM.



Desbaste
Area Clearance

Acabamento 1
Waterline

Acabamento 2
Scallop

Figura 5.4 - Árvore dos ciclos que foram criados para maquinagem das matrizes do protótipo da gaivota da água.

5.1.2 - Processo de moldagem

Após a etapa de maquinagem estar concluída, inicia-se o processo de preparação das matrizes para o molde. O primeiro passo é impregnar as superfícies maquinadas de ambas as matrizes com a resina poliéster. A aplicação desta resina tem com primeira função, criar um revestimento superficial e preencher os poros existentes na superfície da madeira e assim obter uma superfície mais homogênea. Terminado o processo de cura da resina poliéster, procede-se à realização da lixagem das superfícies das matrizes, para se garantir uma melhor uniformidade da superfície em termos de acabamento superficial. As superfícies das matrizes são lixadas várias vezes com lixas de granulação cada vez mais fina, até que as superfícies se encontrem com uma baixa rugosidade. Uma vez atingida a qualidade superficial pretendida aplica-se o primário de poliuretano e posteriormente aplica-se o verniz de poliuretano. O resultado final da aplicação do verniz de poliuretano, na matriz do casco e na matriz de cobertura do protótipo da gaivota é apresentado na Figura 5.5.



(a)



(b)

Figura 5.5 - Resultado final da aplicação do verniz de poliuretano, na matriz no molde do casco (a) e na matriz do molde da cobertura do protótipo (b) da gaivota.

Nesta fase, a matriz encontra-se em condições para receber os primeiros produtos que farão parte do molde. O primeiro produto a ser aplicado é o desmoldante líquido, que é aplicado em duas etapas. Primeiramente aplica-se o tapa poros que tem como função a selagem de microfissuras que podem existir quando da aplicação do verniz de poliuretano.

Após 45 minutos da sua aplicação, é aplicado o desmoldante. O desmoldante tem como função de criar uma membrana na superfície da matriz, que irá permitir a separação do molde da matriz. Caso não se aplique desmoldante não existe garantia de que se consiga uma desmoldagem.

Passados mais 45 minutos da aplicação do desmoldante aplica-se o *gel coat*. O *gel coat* corresponde à camada exterior do molde e o elemento que garante ao molde um acabamento superficial brilhante e uniforme. Na Figura 5.6, apresenta-se a imagem da aplicação do *gel coat* na matriz de cobertura da gaivota de água.



Figura 5.6 - Exemplo da aplicação do *Gel Coat* na matriz do molde da cobertura do protótipo da gaivota de água.

Depois de um intervalo de 4 a 6 horas da aplicação do *Gel Coat*, aplica-se a primeira camada de fibra de vidro nas superfícies das matrizes. Esta primeira camada (Figura 5.7 (a)) utiliza-se uma fibra designada por fibra véu que é impregnada em resina vinilester. A fibra véu é uma fibra que é formada por filamentos dispostos aleatoriamente. A utilização da resina vinilester deve-se ao facto de que esta apresenta propriedades mecânicas intermédias relativamente às resinas epoxi e poliéster.

Depois de aplicada esta primeira camada, aplica-se uma camada de fibra mate também impregnada em resina vinilester (Figura 5.7 (b)). De seguida aplicam-se 4 camadas de fibra mate com resina vinilester de baixa contração, enriquecida com cargas para evitar a contração do molde (Figura 5.7 (c)). Assim, consegue-se garantir que o molde fica com as dimensões desejadas e que este não contraia demasiado e o resultado final ser um molde fora da tolerância desejada. Depois de curar, o desmolde é feito com a utilização de cunhas de madeira, que são inseridas entre o molde e a matriz. Uniformemente, em todo o contorno da matriz são inseridas pequenas cunhas que são gradualmente pressionadas até se dar a separação total entre a superfície do molde e da matriz. Esta etapa é de extrema importância pois é fundamental não danificar o molde.

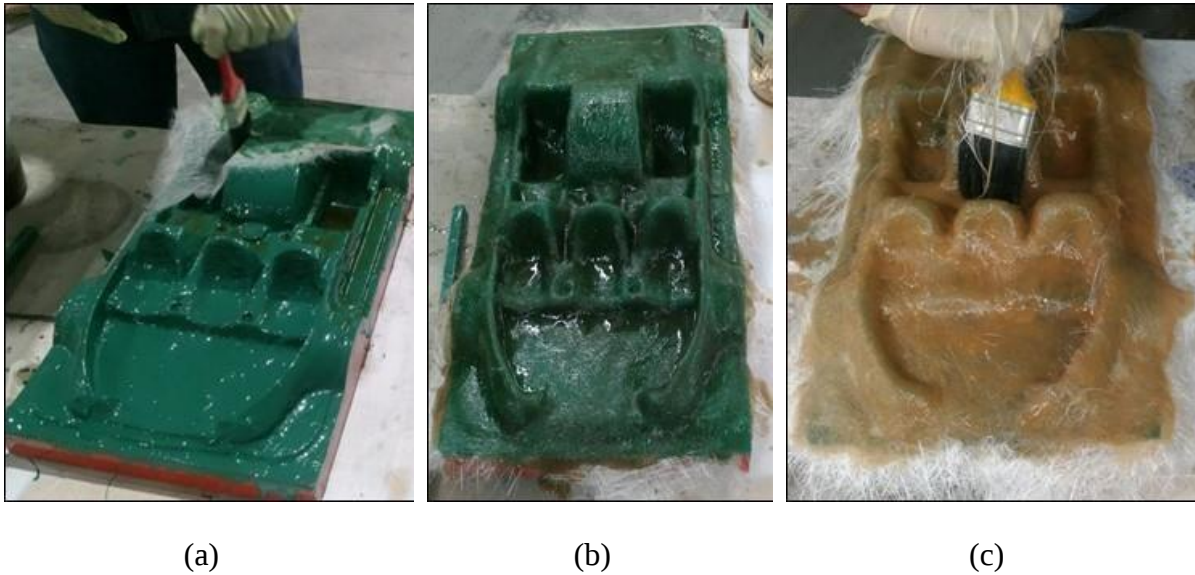


Figura 5.7 - Aplicação da fibra véu (a), da primeira cada de fibra mate (b) e das restantes 4 camadas de fibra mate (c) na matiz de cobertura da gaivota de água.

A etapa de desmolde da matriz do casco e da matriz da cobertura da gaivota de água, não decorreu da forma pretendida. Ao efetuar o desmolde, verificaram-se zonas onde não se deu o desmolde, tal como é possível visualizar na Figura 5.8.



(a)



(b)

Figura 5.8 - Apresentação dos defeito que se obtiveram do desmolde da matriz do molde do casco (a) e da matriz do molde da cobertura (b).

Essa falta de desmoldação de algumas zonas foi devido ao facto de, nessas zonas, não existir agente desmoldante. Importa referir que o protótipo tem também este propósito, ou seja, perceber quais as zonas críticas em termos de desmolde. Assim, ficou-se a saber quais as zonas críticas das matrizes em termos de desmolde, de modo a que na aplicação do agente desmoldante no molde à escala real se dê especial atenção a essas zonas, para que o desmolde do molde à escala real ocorra de acordo com o previsto.

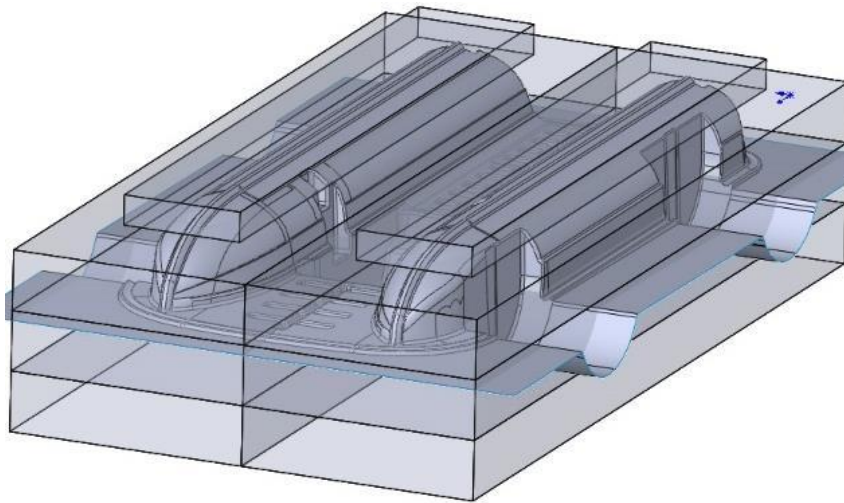
Terminada a etapa de desmolde, foi necessário proceder à reparação das zonas que ficaram afetadas pelo desmolde e posteriormente foi produzida uma peça que foi entregue ao cliente para obtenção da sua aprovação para a produção do molde à escala real.

5.2 - Produção do modelo final

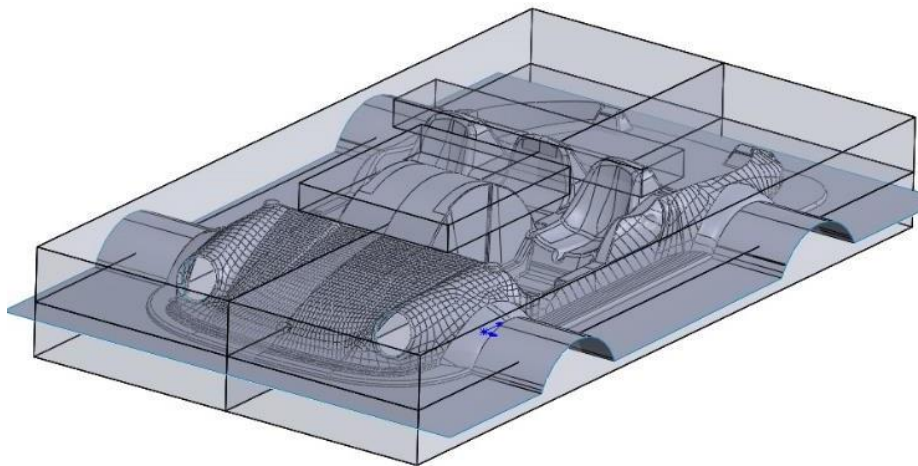
Posteriormente, e verificadas todas as condições no protótipo e com a aprovação do cliente, o molde à escala real foi produzido noutro equipamento CNC que é utilizado nos moldes e matrizes de grandes dimensões produzidos pela ScalesOceans. Esta alteração de equipamento resultou do facto de que o modelo final da gaivota apresenta dimensões consideradas acima da média que são 5000 x 3000 x 1800 (mm).

Nesta fase, o material utilizado para a produção da matriz do molde do casco e na matriz do molde da cobertura foi o poliestireno de alta densidade (EPS), em detrimento do MDF. O poliestireno de alta densidade é um material que é largamente utilizado na produção de matrizes de grandes dimensões devido ao facto de ser extremamente leve e de fácil maquinagem, para além de, apresentar uma boa resistência à compressão. A produção do molde do casco e na matriz do molde da cobertura à escala real foi muito semelhante à produção do protótipo em termos de processo de maquinagem e processo de desmoldagem. No entanto houve necessidade de se proceder a alguns ajustes em termos de dimensão dos blocos a maquinar, em virtude da altura máxima que a fresa consegue maquinar, ou seja 300 mm. Sendo assim, é impossível maquinar os dois blocos de EPS de modo a produzir a matriz do molde do casco e na matriz do molde da cobertura da gaivota de água, uma vez que a matriz o molde do casco, apresenta uma altura mínima de maquinagem de aproximadamente 700 mm enquanto que a matriz do molde da cobertura tem cerca de 900 mm de altura mínima para maquinagem. Depois de uma

cuidadosa análise e atendendo a que os blocos de EPS são vendidos nas dimensões de 5000 x 1200 x 300 mm, verificou-se que seriam necessários 10 blocos de EPS, mais alguns pequenos blocos de EPS, que normalmente resultam de outros trabalhos. Estes pequenos blocos, são vulgarmente designados por retalhos. Na figura seguinte, apresenta-se o resultado da junção que se efetuou na matriz de molde do casco (Figura 5.9 (a)) e na matriz do molde da cobertura (Figura 5.9 (b)), onde se pode visualizar a localização dos retalhos.



(a)



(b)

Figura 5.9 - Resultado da junção dos blocos de EPS na matriz de molde do casco (a) e na matriz do molde da cobertura (b).

Os ciclos de maquinagem do molde à escala real são idênticos aos ciclos do protótipo, apenas se procedeu à alteração da escala do protótipo para a dimensão final. A localização dos zeros peça e forma e localização dos sistemas de aperto também são os mesmos que se adotaram na

maquinagem das matrizes do molde do protótipo. A única alteração foi na dimensão do diâmetro das fresas utilizadas. No ciclo de desbaste, utilizou-se uma fresa de topo plano com 25 mm de diâmetro e com 4 gumes de corte, em detrimento da fresa de topo plano de 10 mm. Relativamente aos parâmetros de corte, a velocidade de corte que se aplicou foi de 300 m/min, a profundidade de maquinagem foi de 6 mm por passagem, a largura de corte foi de 50 % do diâmetro da ferramenta e foi deixada uma sobre espessura para operações de acabamento de 2 mm em toda a geometria das matrizes. Relativamente aos ciclos de acabamento, utilizou-se uma fresa de topo esférico de 25 mm sendo que a única alteração que foi feita teve a ver com a largura de corte que foi de 0,8 mm.

Como já se referiu anteriormente, tanto a fresa de topo plano de 25 mm de diâmetro com a fresa de topo esférica de 25 mm apresentam uma altura de maquinagem de 300 mm. Sendo assim o processo de maquinagem inicia-se por colar dois blocos de EPS da zona inferior para produzir um bloco único com 5000 x 2400 x 300 (mm) e é feita a maquinagem dos blocos até à cota de 300 mm. De seguida, cola-se outra camada de blocos e é feita a maquinagem entre as cotas de 300 mm a 600 mm e assim sucessivamente para ambas as matrizes. O resultado final são duas peças compostas por vários blocos de EPS colados e maquinados, tal como se pode visualizar na Figura 5.10 e na Figura 5.11.

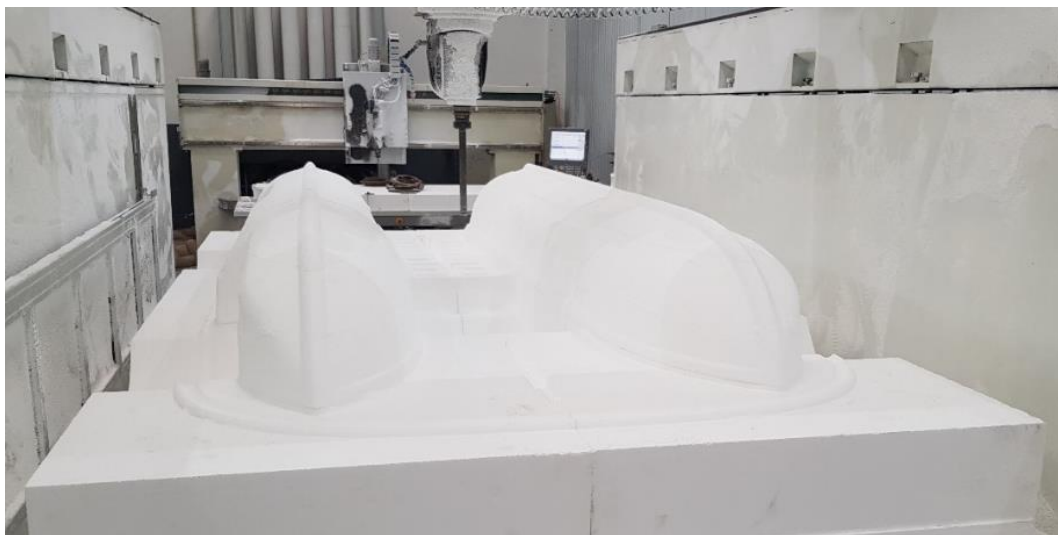


Figura 5.10 - Resultado da operação de maquinagem da matriz do molde do casco, em EPS, da gaivota de água para produção do modelo final.



Figura 5.11 - Resultado da operação de maquinagem da matriz do molde da cobertura, em EPS, da gaivota de água para produção do modelo final.

Finalizado o processo de fabrico das matrizes dos moldes, inicia-se o processo de moldagem à semelhança do que foi feito para a obtenção do protótipo. No entanto, foram introduzidas algumas alterações pois, a impregnação da superfície, desta vez foi realizada com resina epóxi, em detrimento da resina poliéster, pois ela é menos agressiva para a superfície do EPS.

Tal como aconteceu aquando da moldagem do protótipo, também aqui a aplicação da resina epóxi serve para uniformizar a camada superficial de EPS e tapar os poros, que existem em maior quantidade nesta superfície, quando comparado com a superfície da madeira MDF. A etapa seguinte do processo de moldagem é proceder-se à operação de lixagem das superfícies, pois sendo este um material menos “liso”, é importante que toda a superfície fique com um bom acabamento, de modo a não se verificarem irregularidades posteriormente aquando se efetue a desmoldagem. Concluída a operação de lixagem, aplica-se o primário poliuretano para preparar as superfícies para receberem a aplicação do produto final, ou seja, o verniz poliuretano.

Para finalizar o processo de moldagem e tal como foi feita quando se procedeu à produção das matrizes para o molde do protótipo, efetua-se a aplicação do tapa poros e o desmoldante líquido. Depois de o desmoldante líquido estar curado, procede-se à aplicação do *Gel Coat* e por fim a primeira camada de fibra véu de superfície impregnada em vinilester. De seguida, aplica-se uma camada de fibra mate com vinilester e por fim, aplicam-se oito camadas de fibra mate com vinilester de baixa contração enriquecida com cargas, para evitar a contração da matriz, sendo que como cada camada de fibra mate produz uma sobre espessura no molde de, aproximadamente 1mm de espessura o molde final terá uma espessura de aproximadamente 10 mm de espessura.

Por fim, resta apenas a etapa de desmoldar, sendo que neste molde (escala real), esta etapa torna-se ainda mais importante pois, devido à contração da fibra é extremamente complicado desmoldar um molde com cerca de 4 metros de comprimento o sem danificar. Sendo assim, a aplicação das cunhas de madeira revela-se aqui de primordial importância e atenção, pois o EPS apresenta uma baixa resistência à tração sendo fácil existir rotura do molde. Sendo assim, o objetivo no desmolde é efetuar o desmolde de uma só vez, pois em caso de quebra da matriz de EPS torna-se extremamente trabalhoso efetuar o desmolde.

Terminada a etapa de desmolde, efetuou-se a etapa final de polimento de acabamento de ambas as partes do molde. Depois de inspecionado todo o molde, de validado internamente e da validação por parte do cliente, o molde foi entregue ao cliente que posteriormente viria a produzir as gaivotas de água pelo processo de rotomoldagem.

Por motivos de confidencialidade não foi possível apresentar imagens do molde final, sendo apresentadas imagens da peça final (Figura 5.12 a Figura 5.14), depois do processo de rotomoldagem.



Figura 5.12 - Modelo final da gaivota. lanoria (2020)



Figura 5.13 - Modelo final da gaivota vista frontal. lanoria (2020)



Figura 5.14 - Modelo final da gaivota vista de topo. lanoria (2020)

6 - Conclusões

Como conclusões deste projeto, primeiramente importa referir que era objetivo deste trabalho o de produzir um molde de uma gaivota de água com uma nova geometria, mas que fosse ergonómica e eficiente. Terminado o processo, pode-se afirmar com toda a certeza que esse objetivo foi alcançado na sua plenitude. Para que fosse possível desenvolver o projeto, foi necessário aprofundar conhecimentos acerca de engenharia inversa, modelação de superfícies e também a manipulação de materiais compósitos. Na vertente da maquinagem, foi possível fazer um estudo, proceder à otimização da matéria prima necessária à produção do molde e implementação de soluções para resolver problemas com alturas máximas das ferramentas aquando da maquinagem do molde.

Na produção do protótipo aconteceram alguns imprevistos, nomeadamente na etapa de desmolde. Esta etapa não ocorreu da forma esperada, dando-se a quebra de algumas zonas da matriz que aconteceu devido à falta do agente desmoldante nessas mesmas zonas. Assim, foi necessário proceder à reparação do molde. Também devido ao diâmetro da ferramenta utilizada na maquinagem, alguns detalhes estéticos do protótipo não ficaram bem visíveis. No entanto, uma vez que a função do protótipo era perceber a funcionalidade da peça, esta não era uma questão problemática nesta fase e tendo sido possível validar o protótipo, assinalando as correções necessárias ao molde em escala real.

Na produção da gaivota em escala real, teve-se em consideração as correções necessárias e a produção do molde decorreu conforme o planeado. Deu-se maior atenção na etapa de aplicação de desmoldante nas zonas onde ocorreram as quebras no protótipo. Também se utilizou uma ferramenta com o diâmetro adequado de modo a que todos os detalhes estéticos ficassem bem definidos.

Bibliografia

- Boehler, W., Heinz, G., Marbs, A., & Siebold, M. (2002). 3D scanning software: an introduction. In CIPA Heritage Documentation. *International Workshop on Scanning for Cultural Heritage Recording*, (pp. 47-51).
- Celani, G., & Cancherini, L. (2009). Digitalização tridimensional de objetos: um estudo de caso. *Anais do Sigradi*, (pp. 309-311).
- COROFLOT (2015). <https://www.coroflot.com/nicholasflumerfeldt/3D-Scans>. Coroflot, Nova Iorque (acedido em novembro de 2019)
- CREAFORM (2020). <https://www.creaform3d.com/pt>. Creaform inc., Canadá (acedido em março de 2020)
- Ferneda, A. B. (1999). *Integração metrologia, CAD e CAM: uma contribuição ao estudo de engenharia reversa*. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo.
- FIBREGLAST (2020). https://www.fibreglast.com/product/mold-construction/Learning_Center. Fibre Glast Developments Corp., Ohio (acedido em março 2020)
- Groetelaars, N. J., & Amorim, A. L. (2011). Tecnologia 3D Laser Scanning: características, processos e ferramentas para manipulação de nuvens de pontos. *15th Iberoamerican Congress of Digital Graphics*, (pp. 490-494). Santa Fe (Argentina).
- Homem, N. (2009). *Estratégias Automáticas de Modelação em Processos de Engenharia Inversa*. Tese de Mestrado: Universidade de Aveiro.
- LANORIA (2020). <https://www.lanoria.net/es/>. La Noria, Espanha (acedido em março 2020)
- SERRACIMENTS (2017). <https://www.serraciments.com/pt/product/fibra-vidro-cem-fil-61-roving/>. Serraciments (acedido em novembro 2019)
- Lopes, I. (2009). *Estudo do processo de infusão a vácuo em materiais compósitos*. Tese de Mestrado: Univeridade do Porto.
- Marcelo F.S.F de Moura, A. B. (2010). *Materiais Compósitos*. Porto: Pubblindústria.
- RENISHAW (2019). <https://www.renishaw.com/en>. Renishaw plc. (acedido em novembro 2019)
- Silva, F. P., Duarte, L. D., Roldo, L., & Junior, W. (2010). A Digitalização Tridimensional Móvel e sua aplicação no Design de Produto. *Design & tecnologia, Vol. 1, nº 1*, 60-65.
- Stamati, V., & Fudos, I. (2007). Feature Based Approach to Re-engineering Objects of Freeform Design. Beijing.
- TRYBER (2016). <https://www.tryber.com.br/>. Tryber Tecnologia. (acedido em novembro 2019)

Várady, T., Martin, R. R., & Cox, J. (1997). Reverse engineering of geometric models - an introduction.