



# ESCOLA NAVAL

talant de bi-faire



Ricardo Filipe Mota Gomes

## Desenvolvimento de um sistema de superfície autónomo para monitorização permanente e persistente de veículos na coluna de água

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Ciências Militares Navais,  
na especialidade de Engenharia Naval Ramo Mecânica



Alfeite  
2023

NÃO CLASSIFICADO

NÃO CLASSIFICADO



# ESCOLA NAVAL



talant de bi-faire



Ricardo Filipe Mota Gomes

## **Desenvolvimento de um sistema de superfície autónomo para monitorização permanente e persistente de veículos na coluna de água**

**Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Ciências Militares Navais, com especialização em Engenharia Naval Ramo Mecânica**

**Orientação de:** Professor Doutor Vitor Lobo

**Coorientação de:** Primeiro-tenente Pedro Miguel de Castro Fernandes

**Coorientação de:** Professor Pedro Teodoro

O Aluno Mestrando

O Orientador

---

ASPOF EN-MEC Mota Gomes

---

Professor Doutor Vitor Lobo

**Alfeite**

**2023**

NÃO CLASSIFICADO

NÃO CLASSIFICADO

“A mudança é a lei da vida. E aqueles que olham apenas para o passado e para o presente irão certamente perder o futuro.”

John F. Kennedy



## **Agradecimentos**

Só foi possível a realização desta dissertação de mestrado, com o auxílio de inúmeras pessoas, às quais, não poderia de maneira nenhuma deixar de demonstrar o meu total reconhecimento por todo o apoio e tempo que me disponibilizaram.

Agradecer aos meus orientadores, Srs. 1TEN EN-MEC Castro Fernandes, Professor Vitor Lobo e Professor Pedro Teodoro, porque suportam e proporcionaram os recursos necessários para o desenvolvimento da dissertação de mestrado, bem como para o meu desenvolvimento técnico-profissional. Enaltecendo a possibilidade de desenvolver e coordenar um projeto desta escala.

Ao Sr. CTEN ST-MEC Marco Guimarães em representação da excelente equipa da CEOV pela ajuda da realização das tarefas necessárias para a concretização do projeto, aprendizagem transmitida, e momentos de confraternização.

Aos Sr. Engenheiros CMG EN-MEC Pires da Silva e ao 1TEN EN-MEC ACN Lopes Nunes, da DN, pela disponibilidade e conhecimento transmitido durante a realização da presente dissertação durante a realização de estudos de estabilidade do projeto, bem como disponibilização de ferramentas para tal.

À minha família pelo acompanhamento e motivação durante o presente ano, durante a realização deste trabalho, não menosprezando os passados.

Aos meus camaradas pela discussão de ideias, motivação e presença nos momentos de descontração que existiram durante a realização da dissertação de mestrado.

Aos docentes militares e civis do Departamento de Ciência e Tecnologias da Escola Naval, que me ministraram conhecimentos indispensáveis para a realização deste trabalho, nomeadamente os professores das cadeiras: Eletrotécnica, Eletrónica, Arquitetura Naval, Órgãos de Máquinas, Máquinas Marítimas, Mecânica de Sólidos, Mecânica de Fluidos e Transferências de Calor.

Tal como aos docentes do CENFIM do núcleo de Ermesinde, que através da realização do CET de Mecatrónica Industrial antes da entrada na Escola Naval, pela formação e projetos desenvolvidos durante o curso, que se acabou por verificar grande experiência durante a realização e coordenação do projeto.

## RESUMO

Este trabalho descreve o processo para o projeto de uma plataforma de superfície autónoma para monitorização da coluna de água. Primeiramente, é feita uma pesquisa e análise de produtos já existentes no mercado por forma a perceber e compreender o racional por detrás desses mesmos produtos.

De seguida, foi feito o levantamento de requisitos por forma a criar uma linha de pensamento e saber a qual o emprego operacional e limitações de projetos. Modelação e análise estática de uma estrutura interna que suportará os esforços internos e externos. Análise hidrodinâmica com recurso a diversas ferramentas tais como, *SolidWorks*, *DELFTShip* e *MAXSURF*.

É ainda abordada o sistema de comando e controlo (C2) e produção e distribuição de energia a bordo da plataforma.

Por último, ainda durante a fase de projeto, é realizado plano de trabalho e orçamentação para o desenvolvimento do projeto. Concluindo-se com os resultados obtidos nas provas de mar.

**PALAVRAS-CHAVE: Plataforma Superfície Autónoma, Modelação, C2.**



## **ABSTRACT**

This work describes the process for designing an autonomous surface platform for monitoring the water column. First, it's done a search and analysis of products already existing to understand the rationale behind these same products.

Next, requirements were mapped to create a line of thinking and know which operational employment and project limitations. Modelling and static analysis of an internal structure that will support the internal and external efforts. Hydrodynamic analysis using various tools such as SolidWorks, DELFTShip and MAXSURF. The system of command and control (C2) and production and distribution of energy on board the platform is also addressed.

Even during the project phase, the elaboration of work plan and budgeting for the development of the project is carried out.

Finally, the results obtained in sea trials are described.

**KEYWORDS: Autonomous Surface Platform, Modeling, C2.**



# ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS.....	VII
RESUMO.....	IX
ABSTRACT .....	XI
ÍNDICE GERAL.....	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XVII
ÍNDICE DE TABELAS .....	XIX
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS .....	XXI
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 <i>Motivação.....</i>	<i>1</i>
1.2 <i>Âmbito da Dissertação .....</i>	<i>3</i>
<b>2. ESTADO DE ARTE.....</b>	<b>7</b>
2.1 <i>Produtos no mercado .....</i>	<i>7</i>
2.2 <i>Noções de Arquitetura Naval.....</i>	<i>11</i>
<b>3. IMPLEMENTAÇÃO DO PROJETO .....</b>	<b>29</b>
3.1 <i>Necessidades do projeto.....</i>	<i>29</i>
3.2 <i>Levantamento de Requisitos.....</i>	<i>29</i>
<b>4. DESENVOLVIMENTO DE PROJETO.....</b>	<b>33</b>
4.1 <i>Equipamentos e Sensores .....</i>	<i>33</i>
4.2 <i>Propulsão e Produção de Energia.....</i>	<i>33</i>
4.3 <i>Esquemas Elétricos .....</i>	<i>33</i>
4.4 <i>Comando e Controlo.....</i>	<i>33</i>
4.5 <i>Estrutura Interna .....</i>	<i>33</i>
4.6 <i>Monocasco .....</i>	<i>33</i>
4.7 <i>Processo de fibragem .....</i>	<i>33</i>
<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>35</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS OU BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>39</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>43</b>
<i>Apêndice A - Montagem de impressora Ender 6 da Creality® .....</i>	<i>43</i>
<i>Apêndice B – Caderno de pesos.....</i>	<i>47</i>
<i>Apêndice C – Consumos (full time).....</i>	<i>48</i>

Apêndice D – Consumos (standby) .....	49
Apêndice E – Desenhos técnicos arranjo estrutura interna “Trator do Mar” .....	50
Apêndice F – Comparação Critérios de Estabilidade – Navio militares, Embarcações de recreio superiores a 24 metros, Critérios “Trator do Mar” .....	51
Apêndice G – Análise Externa - Flow Simulation no SolidWorks® (parametrização).....	52
Apêndice H – Validação do modelo em DELFTShip® via MAXSURF da Rhinoceros 3D® .....	53
Apêndice I – Relatório de Hidrostático – DELFTShip.....	54
Apêndice J – Carenas Direitas – Trator do Mar .....	55
Apêndice K – Carenas Inclinadas – Trator do Mar .....	56
Apêndice M – Curva de estabilidade – Trator do Mar.....	57
Apêndice N – Análise Externa – Distribuição das pressões sobre o casco .....	58
Apêndice O – Balizas para fibragem (Esquema) – Trator do Mar .....	59
<b>ANEXOS .....</b>	<b>61</b>
Anexo A – XXX .....	61
Anexo B – XXX .....	62
Anexo C – XXX .....	63
Anexo D – XXX .....	64
Anexo E – XXX.....	65
Anexo F – XXX.....	66
Anexo G – XXX.....	67
Anexo H – XXX.....	68
Anexo I – XXX .....	69
Anexo J – XXX .....	70
Anexo K – XXX .....	71
Anexo L – XXX.....	72
Anexo M – XXX.....	73
Anexo N – XXX.....	74
Anexo O – XXX.....	75
Anexo P – XXX .....	76
Anexo Q – XXX.....	77
Anexo R – XXX .....	78
Anexo S – XXX.....	79
Anexo T – XXX.....	80
Anexo U – XXX .....	81
Anexo V – XXX .....	82
Anexo W – XXX.....	83

<i>Anexo X – XXX</i> .....	84
<i>Anexo Y – Esquemas Elétricos do Catamaran desenvolvido pela CEOV</i> .....	85
<i>Anexo Z – Geral - C2 do “Trator do Mar” em C++</i> .....	86
<i>Anexo AA – decode_nmea- C2 do “Trator do Mar” em C++</i> .....	87
<i>Anexo AB – navigation_functions- C2 do “Trator do Mar” em C++</i> .....	88
<i>Anexo AC– ruder- C2 do “Trator do Mar” em C++</i> .....	89



## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1 – The Seagull a lançar torpedos.....</i>	<i>8</i>
<i>Figura 2 - The Seagull com metralhadora de proa .....</i>	<i>8</i>
<i>Figura 3 – Descrição externa do DriX.....</i>	<i>9</i>
<i>Figura 4 – Sensores de navegação do DriX.....</i>	<i>10</i>
<i>Figura 5 - Tipos de estabilidade .....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 6 - Situações de imersão de um corpo num determinado líquido.....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 7- Condição de equilíbrio .....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 8 - Equilíbrio estável.....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 9 - Equilíbrio instável .....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 10 - Estabilidade transversal (Curva GZ).....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 11 - Estabilidade inicial.....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 12 - Triângulo GMZ.....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 13 - Exemplo de curva de estabilidade .....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 14 - Deslocação de pesos a bordo .....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 15 - Embarque de cargas.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 16 - Desembarque de cargas .....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 17 - Elevação de cargas .....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 18 - Estabilidade Longitudinal .....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 19 - Centro de Flutuação e Área de Flutuação.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 20 - À esquerda a condição de caimento negativo; À direita condição de caimento positivo.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 21 - Trabalho (W) realizado por uma força (F) dum deslocamento (ds).....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 22 - Estabilidade dinâmica para um adornamento de 25° .....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 23 - Exemplo de estabilidade dinâmica para diferentes ângulos de adornamento.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 24 - Determinação da altura metacêntrica inicial.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 25 - Curva de estabilidade positiva.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 26 - Adornamento de um navio com estabilidade neutra .....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 27 - Curva de estabilidade neutra.....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 28 - Adornamento de um navio em condição instável .....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 29 - Curva de estabilidade instável.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 30 - Disposição de todas as peças e partes da impressora.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 31 – Montagem da estrutura externa e eixos .....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 32 - Instalação da proteção lateral e módulo de controlo.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 33 - Ligações do módulo de controlo da impressora .....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 34 - Instalação de proteções laterais, traseira e apoios .....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 35 - Instalação das portas de proteção .....</i>	<i>45</i>

*Figura 36 – Montagem final da impressora 3D – Ender 6* ..... 46

## ÍNDICE DE TABELAS

<i>Tabela 1 - Resume de informação do exemplo.....</i>	<i>18</i>
<i>Tabela 2 - Características do Navio .....</i>	<i>30</i>



## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

AMN	Autoridade Marítima Nacional
B	<i>Center of Buoyancy</i> (Centro de Flutuação)
C	Centro de carena
CCA	Comandante do Corpo de Alunos
DCPM	Direção de Combate a Poluição no Mar
DGAM	Direção-geral da Autoridade Marítima
EN	Escola Naval
FFAA	Forças Armadas
G	Centro de gravidade
GM	Altura Metacêntrica
GZ	Braço de Estabilidade
IMO	<i>International Maritime Organization</i> (Organização Internacional Marítima)
OTAN	Organização do Tratado do Atlântico Norte
PML	Plano Mar Limpo
RC	Remotamente Controlado
SAN	Serviço de Apoio a Navios
SAR	<i>Search and Rescue</i> (Busca e Salvamento)

UAV	<i>Underwater Autonomous Vehicles</i> (Veículo Autônomo Submarino)
USV	<i>Unmanned Surface Vessel</i> (Embarcação de superfície não-tripulada)

# 1. Introdução

## 1.1 Motivação

O tema da presente dissertação de mestrado teve origem no interesse pessoal pelo desenvolvimento de projeto, investigação e inovação de tecnologias. Quando em contacto com a Célula de Inovação e Experimentação Operacional de Sistemas Não Tripulados (CEOV), com objetivo de compreender em que tipo de projetos trabalhavam e atualmente desenvolviam, o 1TEN EN-MEC Castro Fernandes, Diretor Técnico da CEOV, propôs trabalhar num projeto que se iniciaria na área da navegação autónoma, algo atual e desafiador.

A Indústria 4.0 permite uma redução de custos e aumento da capacidade tecnológica. É considerada a Quarta Revolução Industrial que agrega tecnologias e métodos disruptivos <sup>1</sup> como *Big Data*, *Advanced Analytics*, Ciber Sistemas, IoT (*Internet of Things*) e *Cloud Computing*, em que os dispositivos estarão cada vez mais autónomos, eficientes e customizáveis. (Caldas Pinto, 2021)

Com o surgimento da Indústria 4.0, as empresas devem adaptar-se e procurar o progresso e inclusão da mesma na sua organização com o objetivo de inovação. A Marinha Portuguesa, como um ramo das Forças Armadas (FFAA) deverá acompanhar esse progresso, continuando a disponibilizar recursos para a pesquisa e desenvolvimento de tecnologia que possibilitem realizar as suas missões de forma rápida, eficaz e segura.

Esta melhoria das capacidades da Marinha Portuguesa passa pelos seguintes pontos:

- Perceção de situação operacional em tempo real através de sensores avançados de recolha e análise de dados.
- Através da robótica, automação e Inteligência Artificial (IA) melhorar o

---

<sup>1</sup> é um processo em que uma tecnologia, produto ou serviço é transformado ou substituído por uma solução inovadora superior, normalmente com quebra de padrões já existentes.

desempenho das *Task Force*, dando mais oportunidades, às pessoas, de realização de outras tarefas.

- Manutenção preditiva com a constante monitorização dos sistemas, criação de bases de dados dos parâmetros de funcionamento e tratamento dos mesmos por forma a reduzir o tempo de paragem dos sistemas e aprontamento para missões.
- Sistemas de Apoio à Decisão, através de *Machine Learning*, para sugerir aos militares possíveis decisões com base em casos anteriores.
- Com a otimização da utilização e distribuição de recursos, tem-se como consequência maior eficiência nas operações militares.

Como abordado por Caldas Pinto (2021), os veículos autónomos também têm revolucionado a indústria nos últimos anos devido ao aumento de eficácia na realização de tarefas, redução de custos e aumento de segurança na realização de tarefas. O mesmo se verifica para diversas aplicações militares, tais como: o aumento da eficácia das operações, tarefas realizadas mais rapidamente, de forma precisa e empenhamento de menos recursos humanos, bem como, o aumento de segurança devido à dispensa de operadores humanos (reduzindo os acidentes de trabalho). Tal como anteriormente referido, sistemas equipados com sensores capazes de recolher e analisar informação em tempo real, permitem uma perceção em tempo real da operação a decorrer. Como estas missões podem durar muito tempo, e podendo ainda ser aumentado com recurso aos veículos autónomos, consegue-se reduzir o custo de missões diminuindo número de operadores humanos e os custos a estes associados (salários, treinos, subsídios, entre outros).

Com tudo, também existem desvantagens, desde técnicas a financeiras, que devem ser ponderadas. Existe um aumento do nível de complexidade técnica e tecnológica, o que gera a necessidade de qualificar os funcionários para resolução de diversos problemas técnicos e avarias, bem como as infraestruturas nas quais são desenvolvidos estes projetos. Outra é a limitação de teatros de operação que por serem situações complexas ou áreas de operação distintas, que não tendo sido

exploradas/treinadas anteriormente podem gerar conflito e dificultar operação do veículo. Devido a serem sistemas que são pré-programados ou com Inteligência Artificial (IA) poderão não conseguir lidar com situações inesperadas, atempadamente, comparando com um operador humano.

Por último, expor um problema moderno que é o risco de cibersegurança. Os veículos autónomos possuem sistemas próprios e complexos de Comando e Controlo (C2) e *networks*, tornando-os vulneráveis a *hacking* e ciberataques, o que compromete a missão colocando em risco os operadores e a instituição que representam (Cisco, 2018). Segundo David Greenfield (2018), o sistema *fog* ao invés do *cloud* permite que os sistemas não precisem de estar em contacto com o exterior para realizar determinados processamentos de dados o que permite que informação sensível seja tratada no sistema de C2 local.

Posto isto, surgiu um projeto que tem em vista abordar as temáticas anteriormente expostas, através da inovação e desenvolvimento de tecnologias existentes. A dissertação de mestrado passa pelo “Desenvolvimento de um sistema de superfície autónomo para monitorização permanente e persistente de veículos na coluna de água”, dando origem ao título do presente documento.

## 1.2 Âmbito da Dissertação

Cada vez mais existe a necessidade da deslocação de recursos para diversas áreas de aplicação, quer sejam recursos materiais ou humanos.

O meio militar não é exceção à regra exposta no parágrafo anterior, devido aos diferentes tipos de missões que desempenha (carácter humanitário, científico ou natureza militar) e celeridade das missões atribuídas. Sendo assim, deverá ter à sua disposição meios para agir rapidamente e com um grau de segurança elevado. Dois exemplos bastante ilustrativos são o patrulhamento de áreas de interesse e o combate à poluição.

A Marinha Portuguesa tem interesse no patrulhamento de áreas devido aos diferentes empenhamentos, tais como a fiscalização, *Search and Rescue* (SAR) e

ameaças à segurança nacional. Um exemplo ilustrativo é com uma embarcação RC e auxílio de UAVs seria possível observar à distância diversas embarcações pesqueiras, tentando perceber se cometem algum tipo de infração ou caso existam suspeitas de outras atividades, sem colocar em risco vidas humanas. Passava-se a ter a capacidade de deslocar um meio, devido às pequenas dimensões, para locais próximos de costa (falésias), que outros meios aquáticos e aéreos, onde não podem operar por causa do risco associado. E por último, um exemplo de passagem de um canal rocegado<sup>2</sup> que punha em causa a segurança de uma guarnição inteira na sua passagem e com o auxílio desta embarcação poder-se-ia tentar encontrar uma rota pela qual fosse segura a sua passagem.

Já numa perspetiva de combate à poluição, a Direção de Combate à Poluição no Mar (DCPM) é o organismo da responsável da Direção-geral da Autoridade Marítima (DGAM) a quem compete, nos espaços de jurisdição da Autoridade Marítima Nacional (AMN) pelo combate à poluição no mar. Tal como referido na Convenção das Nações Unidas sobre Direito do Mar, a poluição do mar significa a introdução pelo Homem, direta ou indiretamente, de substâncias ou de energia no meio marítimo, riscos à saúde do Homem, entrave às atividades marítimas, alteração da qualidade da água do mar, o que se refere à sua utilização e deterioração dos locais de recreio ((ONU), 1997). E ainda descrito no Decreto-Lei nº233/2009 de 15SET, terá de executar as operações de combate à poluição do mar no 1º grau de prontidão do Plano Mar Limpo (PML), apoiar os restantes órgãos e serviços da DGAM no combate à poluição de 2º e 3º graus de prontidão quando necessária, e representar a DGAM em reuniões e fóruns internacionais no âmbito de combate à poluição. Possuindo dois navios, UAM 688 Vazante e o UAM 688 Enchente, tem estão como principal missão o combate à poluição (AMN, 2023).

A utilização de pequenas embarcações comandadas remotamente a partir de outro navio próximo, ou mesmo unidades em terra, possibilitaria deslocar uma unidade

---

<sup>2</sup> Local no mar, lago ou rio com existência de objetos no seu fundo (ferros, minas, entre outros objetos).

para intervir nas áreas de interesse da Marinha Portuguesa, tanto a nível de ações militares como de combate à poluição. Estas unidades conseguiriam realizar a missão perfeitamente monitorizadas e/ou controladas, por um operador, e assim reduzir o número de pessoas empregues num resgate. No caso de ir a um acesso perigoso ou difícil acesso irá um navio de pequenas dimensões, ou no arraste de barreiras móveis no combate a um derramamento de crude numa área, possibilitando um navio estar numa extremidade da barreira e a unidade RC na outra, utilizando assim a um único navio para uma grande área de intervenção.



## 2. Estado de Arte

### 2.1 Produtos no mercado

Foi realizada uma pesquisa para perceber como estão a ser desenvolvidas tecnologias militares e civis que procuram satisfazer problemas semelhantes aos que têm vindo a ser expostos durante a presente dissertação de mestrado.

Após alguma pesquisa, decidi explorar o estudo sobre dois USVs que têm participado em diversos testes e exercícios internacionais de veículos autónomos. Sendo estes o *The Seagull* e o *DriX*.

#### *The Seagull Unmanned Surface Vessel (USV)*

A empresa israelita, Elbit Systems, desenvolveu a plataforma multi-funções que utiliza diversos payloads para desempenhar diferentes missões operacionais, tais como MCM (*mine counter-measures*), ASW (*Anti-submarine Warfare*), ISR (*Intelligence, Surveillance e Reconnaissance*), EW (*Eletronic Warfare*), Segurança Marítima, bem como missões de carácter hidrográfico.

Durante exercícios internacionais e com algumas das frotas de marinhas de todo o mundo, onde a Elbit participa, o *Elbit America's Vice President of Naval Systems*, Jeff Hoyle faz a analogia entre a utilização dos USVs e dos *smartphones* no dia-a-dia. Ambos são sistemas que permitem recolha e tratamento de informação para formas de aquisição, processamento e utilização dos dados para apoio à decisão.

O *Seagull USV* tem um comprimento de 12 metros feito de alumínio e materiais compósitos, podendo atingir velocidades de 60km/h e operação continua até 4 dias. Possui diversos *payloads* para as missões operacionais que realiza, tais como: sensores de navegação, eletro-óticos (EO), infravermelhos (IR), sensores sonar laterais, frontais e multifeixes e sonar de profundidade. A capacidade de transporte de outros veículos remotamente controlados (ROVs), ESM (*eletronic support measures*) e ECM (*eletronic counter measures*) é uma característica que vale a pena realçar. Consegue ainda embarcar armas (metralhadoras, minas ou torpedos) para ASuW e ASW, e outras de

caráter não letal. Acabando por ter uma reserva de flutuabilidade de 2,5 toneladas (Figura 1 e Figura 2).



*Figura 1 – The Seagull a lançar torpedos*



*Figura 2 - The Seagull com metralhadora de proa*

### *DriX USV*

O *DriX USV* da empresa iXblue é um veículo de superfície não tripulado capaz de operar em modo RC ou autonomamente, com assistência de um operador-supervisor. É

uma plataforma versátil, visto conseguir levar diferentes *payloads*, e adquirir dados com alta qualidade em águas restritas e águas profundas.

O *DriX* é um monocasco de carbono reforçado com *kevlar*, com um deslocamento de 1,4 toneladas. É uma plataforma de cerca de 7,7 m de fora-a-fora, boca de 0,8m e calado de 2m. Possui um motor diesel de 38 HP de consumo médio 2L/h, com um tanque de combustível de 250L, alimentando diretamente o veio do hélice de passo fixo.

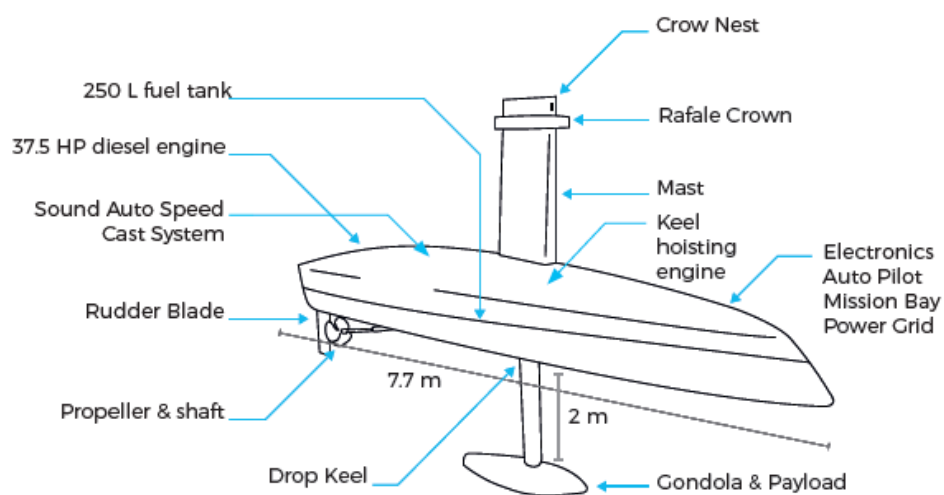


Figura 3 – Descrição externa do *DriX*

Está ainda equipada com diversos sensores submarinos e de superfícies (Figura 3). A “gondola” é capaz de acomodar *payloads* e sensores com base na tarefa que irá realizar, tais como, sonares multifeixes (MBES – *Multi-Beam EchoSounder*), *Side Scan Sonar* (SSS), *Sub-bottom profiler* (SBP), e/ou odômetros. Sendo necessárias cerca de 3 horas para a troca de *payloads*.

Passando agora para alguns dos sensores de superfícies podem identificar-se câmaras (vídeo), sensores óticos de infravermelhos (IR), radares e LiDARs (*Light Detection and Ranging*). Com recursos a estes sensores é capaz de realizar uma navegação autónoma, auxiliados por 3 sensores de curto, médio e longo alcance são capazes de planejar uma manobra para a situação atual da navegação (Figura 4).



## 2.2 Noções de Arquitetura Naval

Neste capítulo serão abordados diversos conceitos relacionados com Arquitetura Naval e, mais especificamente, a estabilidade de uma embarcação. Sendo que a estabilidade é a capacidade da embarcação voltar à posição de equilíbrio original quando inclinada por uma força externa.

Serão explicitadas noções relativamente a diferentes tipos de estabilidade, representadas no diagrama abaixo indicado (Figura 5).

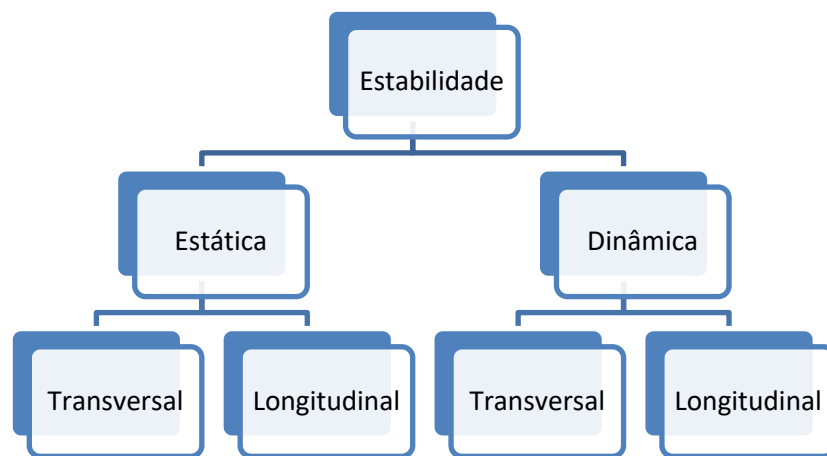


Figura 5 - Tipos de estabilidade

### 2.2.1 Estabilidade estática

A estabilidade estática é a tendência do navio se manter na posição de direito, ou de voltar a esta quando não sujeito a uma força que perturbe esse estado.

Existem dois tipos de estabilidade estática: a estabilidade estática transversal quando o navio está sujeito a forças que alterem a sua posição em relação ao meio navio (*pitch*); e a estabilidade estática longitudinal é quando existem forças que alteram a posição em relação ao eixo do comprimento de fora-a-fora do navio (*roll*)

## Impulsão

Os objetos que se encontrem, totalmente ou parcialmente imersos num líquido, esta sujeito à pressão hidrostática, força distribuída na superfície molhada, resultando a impulsão. A impulsão é uma força igual e oposta ao peso, gerado pelo peso do navio imerso (Princípio de Arquimedes - Figura 6).

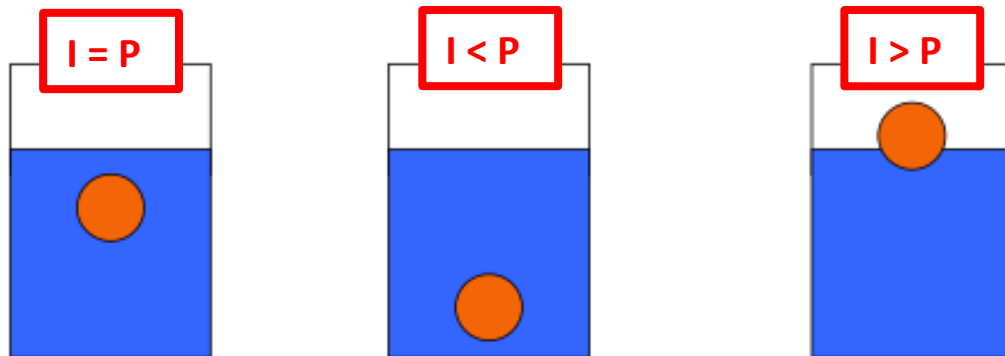


Figura 6 - Situações de imersão de um corpo num determinado líquido

## Deslocamento

A massa do navio a flutuar é igual à quantidade de água deslocada pelas obras vivas<sup>3</sup>(volume imerso em m<sup>3</sup>) e depende da densidade do fluído líquido no qual o objeto está colocado (densidade da água salgada considerada é de 1,025 t/m<sup>3</sup>), a esta massa de água dá-se o nome de deslocamento (t).

$$\Delta = \text{Volume Imerso} \times \text{Densidade Fluído} \quad \text{Eq.1}$$

## Reserva de estabilidade

A reserva de estabilidade é o volume do navio acima da superfície da água e que se pode tornar estanque.

---

<sup>3</sup> Distância entre a quilha e a linha de água

### 2.2.1.1 ESTABILIDADE TRANSVERSAL

#### Condição de equilíbrio

Existem 3 condições de equilíbrio: equilíbrio positivo, negativo e o neutro. O que os caracteriza são as diferentes localizações do centro de carena – centro geométrico da parte imersa (C) - onde é aplicada a força de impulsão, e o centro de gravidade do navio (G) - onde é aplicado o peso do navio. Para que o navio fique numa posição de equilíbrio é necessário que os momentos das forças presentes sejam nulos – quando o C e G se encontram na mesma reta que os define verticalmente (Figura 7).

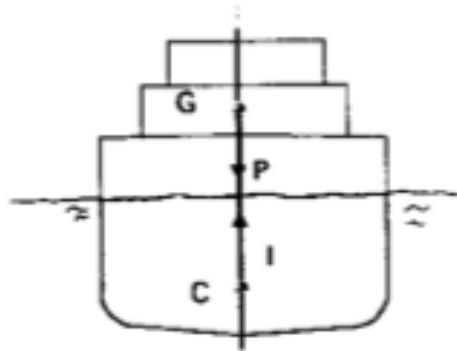


Figura 7- Condição de equilíbrio

Equilíbrio positivo (Figura 8): O corpo está em equilíbrio estável quando, sendo afastado da sua posição de equilíbrio volte a ela logo que cesse a causa perturbadora. Sempre que o G estiver abaixo do C encontramos nesta condição (exemplo submarino completamente submerso - Figura 8: a)). Quando existe um corpo parcialmente mergulhado existe uma outra condição em que o corpo se encontra neste estado, quando o metacentro (M) estiver acima do G (Figura 8: b)).

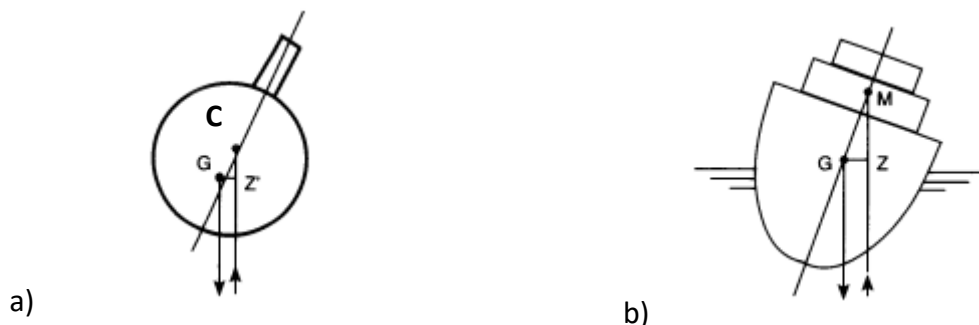
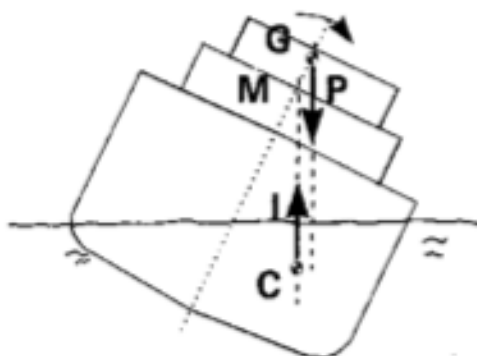


Figura 8 - Equilíbrio positivo

Equilíbrio negativo (Figura 9): Quando o corpo, quando perturbado, não volta imediatamente à posição de equilíbrio na ausência da perturbação. Antes de voltar à posição de equilíbrio vai para uma posição, possivelmente invertida, e começar a diminuir o ângulo de adornamento <sup>4</sup> aos poucos até atingir então a posição de equilíbrio. Sendo assim, quando o G se encontra acima do C, o corpo pode encontra-se neste estado de equilíbrio, mas não é condição suficiente.



*Figura 9 - Equilíbrio negativo*

Equilíbrio neutro: Acontece quando o G coincide com o C e não existe posição de equilíbrio definida – não volta à posição inicial quando perturbado.

### **Estabilidade inicial**

A estabilidade do navio perto da posição de direito, ou a tendência para voltar a ela quando inclinado de pequenos ângulos (até cerca de 10 graus) (Gonçalves dos Reis, 1998)(Figura 10), chama se estabilidade inicial. A posição normal do navio é direito e com o centro de gravidade, G, acima do centro de carena, C<sup>5</sup>; a força de impulsão, I, é igual e oposta ao peso, P, do navio e, se os respetivos centros de aplicação, estiverem na mesma vertical, o navio fica em equilíbrio nessa posição sem tendência para se inclinar; antes procura reagir a qualquer força inclinante, se o navio, por efeito do mar, vento ou qualquer outra causa externa, sofrer uma inclinação para um bordo, a carena,

<sup>4</sup> é a inclinação em graus de uma embarcação para um dos seus bordos.

<sup>5</sup> Referente à Figura 10 tem-se que B deve ser lido como C, centro de carena

ou parte imersa do casco, em geral muda de forma e o seu centro geométrico, ou cento de impulsão, desloca-se da mediania para C.

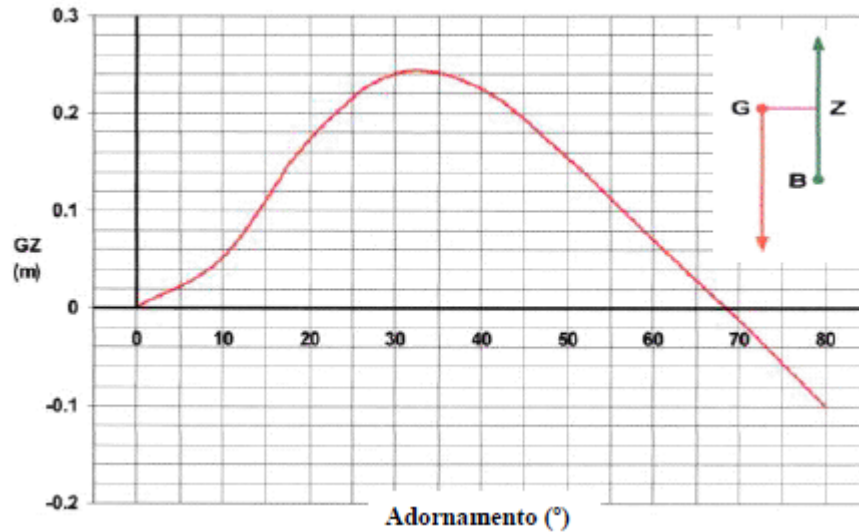


Figura 10 - Estabilidade transversal (Curva GZ)

Se nenhum peso mudar de posição a bordo, G mantém-se e a impulsão, I, agora aplicada em C', não fica na mesma vertical que o peso, P; nestas condições, I e P formam um binário que tende a endireitar o navio; o navio fica inclinado e em equilíbrio estável, enquanto se mantiver a causa inclinante. Porém, logo que esta causa externa deixe de atuar - desaparecendo o momento inclinante - o referido momento leva o navio à posição de direito, gerado pelo braço do momento endireitante (GZ). Este momento endireitante ( $M_e$ ), define-se pelo valor do momento:

$$M_e = \Delta \cdot GZ \quad \text{Eq.2}$$

Chama-se metacentro ao ponto, M, onde a direção da impulsão com o navio inclinado corta o plano de mediania. O metacentro move-se com a inclinação do navio, mas para pequenos ângulos <sup>6</sup>considera-se, com pequeno erro, que está fixo. A distância do metacentro ao centro de carena chama-se raio metacêntrico e convencionou-se

<sup>6</sup> < 10°, a chamada estabilidade inicial

representar pela letra  $r$  (Figura 11). A distância do centro de gravidade,  $G$ , ao centro de carena,  $C$ , convencionou-se representar pela letra  $a$  (Figura 11). A diferença  $(r-a)$ , que é a altura do metacentro sobre o centro de gravidade (também representada por  $GM$ ), chama-se altura metacêntrica.

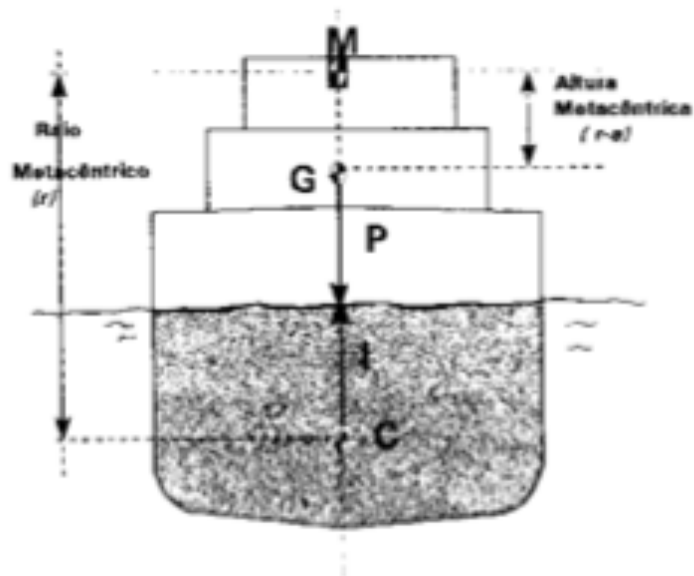


Figura 11 - Estabilidade inicial

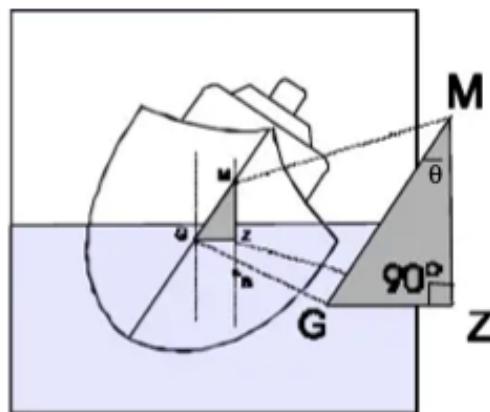


Figura 12 - Triângulo GMZ

Da Figura 12 deduz-se, onde  $\alpha$  é o ângulo de inclinação do navio:

$$GZ = GM \cdot \text{sen } \alpha \quad \text{Eq.3}$$

Substituindo o valor de GZ na expressão do momento (Eq.2) de estabilidade tem-se:

$$M_e = \Delta \cdot (r - a) \cdot \text{sen } \alpha \quad \text{Eq.4}$$

Esta expressão mostra que a estabilidade inicial dos navios aumenta com a altura metacêntrica, GM. Se a altura metacêntrica for positiva a estabilidade também é positiva e o navio tem equilíbrio estável (M está acima de G). Por outro lado, quando a altura metacêntrica é negativa e o equilíbrio é instável o navio tem tendência a adornar ou virar-se devido ao binário das forças, I e P, serem de carácter inclinante em vez de endireitante.

Sendo assim, a partir da curva de estabilidade procura-se obter principalmente a seguinte informação:

- 1) Calcular o momento endireitante da estabilidade transversal (Equação 4)
- 2) O valor máximo do braço endireitante GZ e o respetivo ângulo de adornamento;
- 3) O intervalo de adornamento para os diferentes tipos de estabilidade (positiva, negativa ou neutra), bem como ângulo de estabilidade nula;
- 4) Ângulo correspondente à borda livre nula<sup>7</sup> ( $\theta_{DEI}$ ), valor de adornamento ao qual existe uma inflexão.

---

<sup>7</sup> *deck edge immersion*  $\theta_{DEI}$  - identificado na curva GZ pelo ponto de inflexão da curva, ou seja, quando o sentido da curvatura da curva altera.



Figura 13 - Exemplo de curva de estabilidade

Na Figura 13 retira-se as seguintes conclusões referentes aos valores anteriormente enunciados (Tabela 1).

Tabela 1 - Resume de informação do exemplo

Máximo GZ / Ângulo de adornamento	0,57 m / 39°
Estabilidade Positiva / Estabilidade Nula / Estabilidade Negativa	[0°, 64° [ / 64° / ]64°, 90° [
$\theta_{DEI}$	23°

### Movimento do centro de gravidade com a mudança de pesos

A movimentação de pesos altera o centro de gravidade (G) da embarcação, tal como se pode observar no que tem vindo a ser exposto. Verifique-se como a movimentação de peso faz variar o centro de gravidade e a influência na estabilidade da embarcação. Podem considerar-se deslocação de pesos, embarque de cargas, remoção de cargas e elevação de cargas.

O deslocamento de pesos faz com que o G se movimente paralelamente ao movimento do peso movido a bordo (Figura 14).

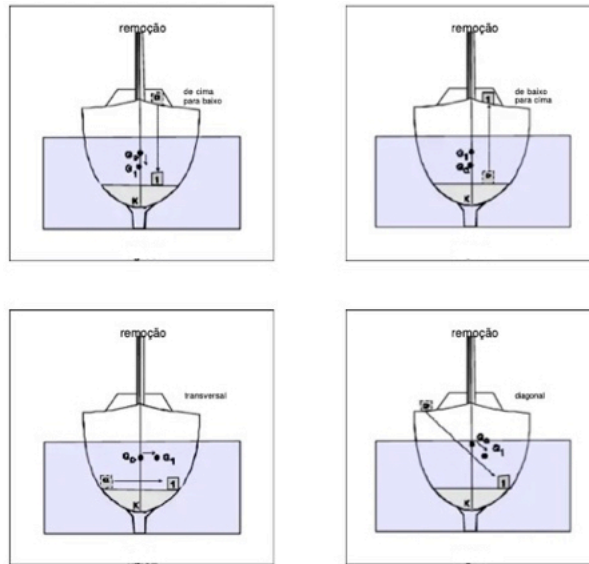


Figura 14 - Deslocação de pesos a bordo

Quanto ao embarque de cargas faz com que o G se movimente em direção ao peso embarcado (Figura 15).

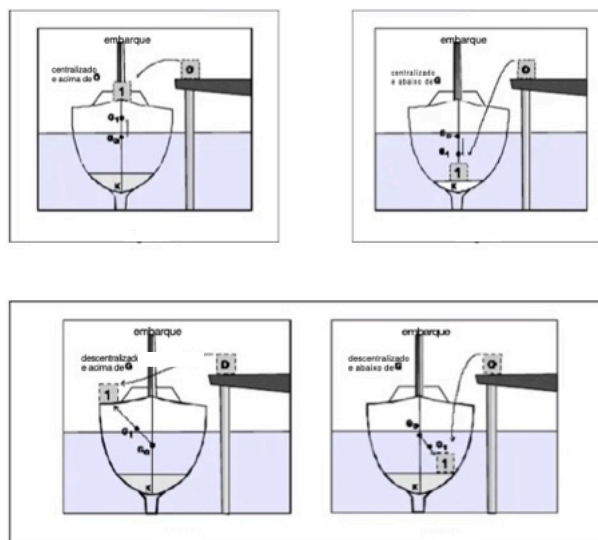


Figura 15 - Embarque de cargas

Por outro lado, o desembarque de cargas movimenta o G em direção oposta (Figura 16).

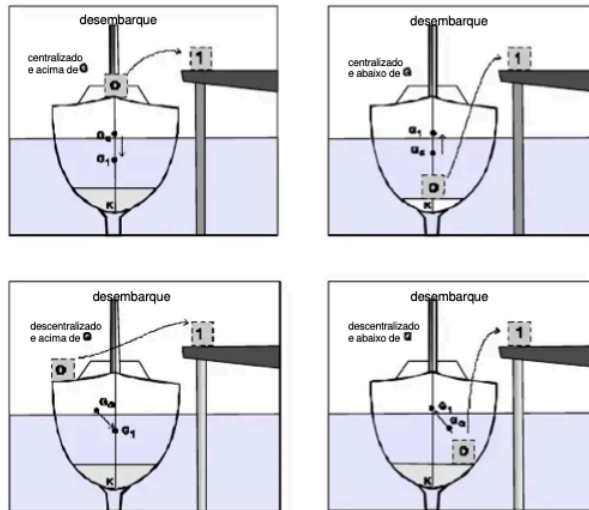


Figura 16 - Desembarque de cargas

Por último, quando a carga é içada tens que uma semelhança com a deslocação de pesos, movimentação paralela e na mesma direção ao movimento de carga (Figura 17).

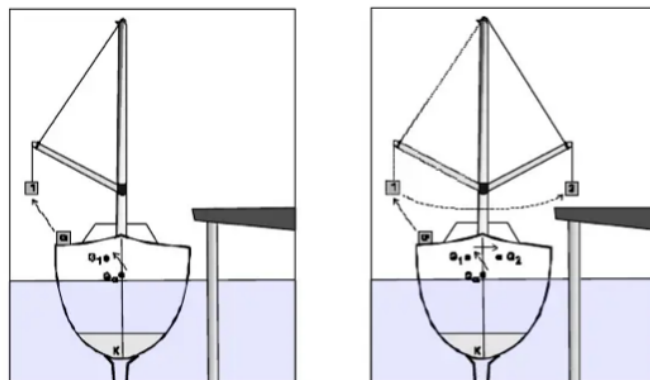


Figura 17 - Elevação de cargas

## 2.2.1.2 ESTABILIDADE LONGITUDINAL

### Condição de equilíbrio

É a propriedade que uma embarcação tem para voltar à posição normal quando perturbada longitudinalmente. Bem como, a propriedade de manter o calado.

Devido à razão entre comprimento de fora-a-fora e a boca da embarcação, acrescida da dimensão do raio metacêntrico longitudinal sempre haverá altura metacêntrica longitudinal positiva. (Gonçalves dos Reis, 1998) (Ribeiro e Silva, 2014).

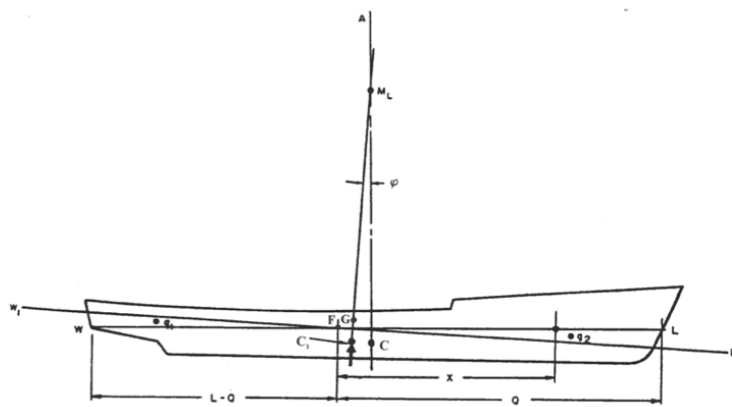


Figura 18 - Estabilidade Longitudinal

Inserindo o conceito de área de flutuação, é a secção gerada pela interseção das linhas de casco e a linha de água. Surgindo o centro de flutuação (F), como o centro geométrico da área de flutuação.

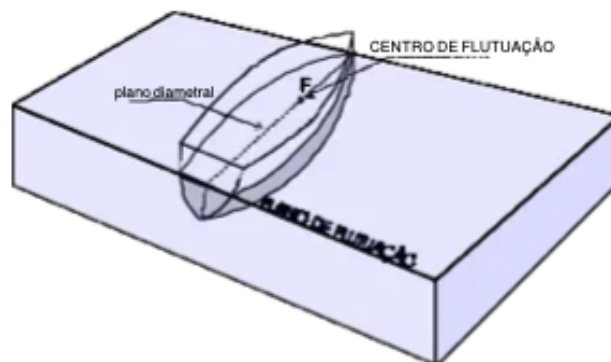
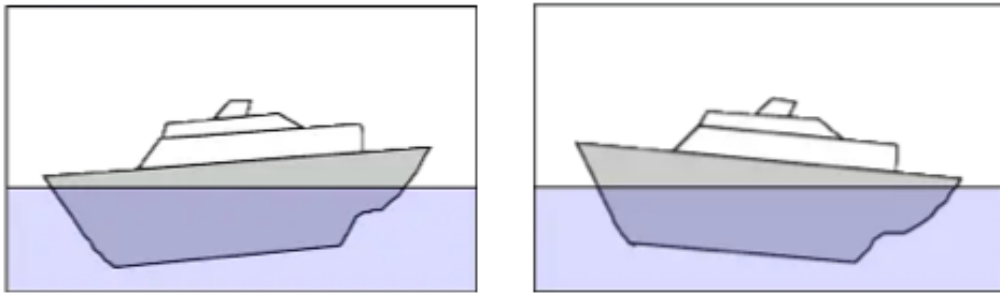


Figura 19 - Centro de Flutuação e Área de Flutuação

Quanto ao caimento é gerado por duas forças de intensidade igual e sentido oposto, provocando um momento inclinante longitudinalmente. Este continuará a inclinar-se até que os centros de aplicação das forças se encontrem na mesma vertical, à semelhança do que acontece com a estabilidade transversal. Verificam-se duas condições de caimento, conforme a diferença de calado a vante e calado a ré. Sendo consideradas duas situações da embarcação: quando caimento positivo (calado AV < calado AR) e outra quando caimento negativo (calado AV > calado AR).



*Figura 20 - À esquerda a condição de caimento negativo; À direita condição de caimento positivo*

### 2.2.2 Estabilidade dinâmica

A estabilidade dinâmica de um navio é o trabalho necessário para adornar um navio até um determinado ângulo.

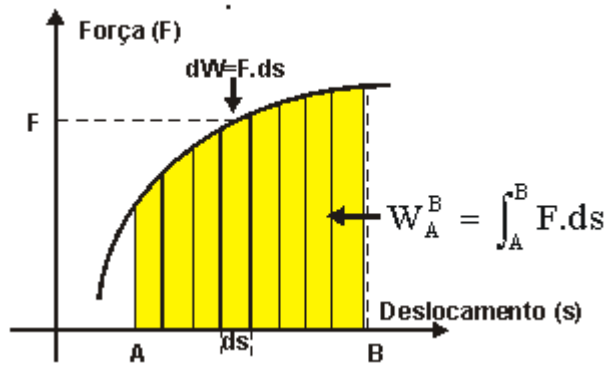


Figura 21 - Trabalho (W) realizado por uma força (F) dum deslocamento (ds)

Tendo em conta o exposto e pode-se aferir que:

$$W = \int_{\theta_0}^{\theta_i} GZ \, d\theta, \quad \theta_0 = 0^\circ \quad \text{Eq.5}$$

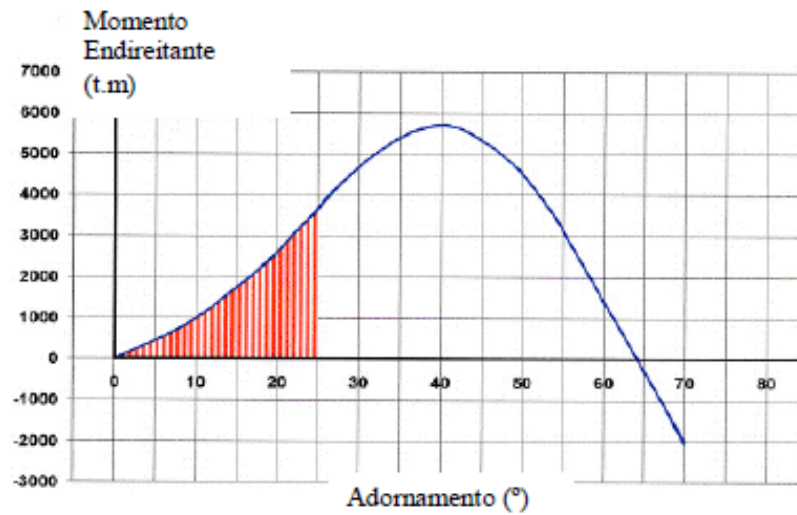


Figura 22 - Estabilidade dinâmica para um adornamento de 25°

A estabilidade dinâmica para um certo ângulo de adornamento, corresponde ao trabalho necessário a uma força exterior para adornar o navio até esse ângulo, e é medida pela área abaixo da curva dos momentos endireitantes (Rhodes, 2003).

Sendo assim pode verificar-se na Figura 23 que o binário endireitante é o mesmo para os adornamentos de 25° e 53°, mas que a sua estabilidade dinâmica é diferente, sendo que o trabalho necessário para levar o navio até aos 53° é maior que o necessário para levar aos 25°.

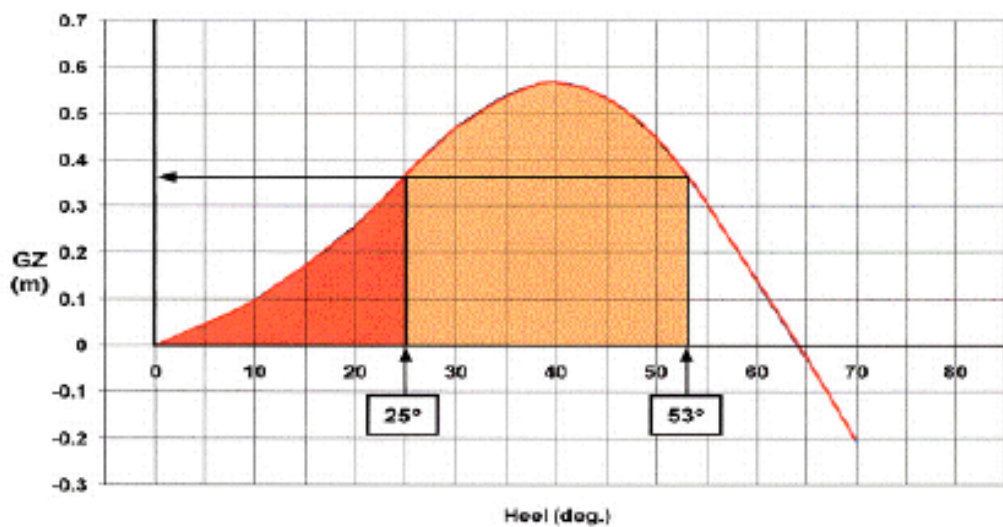


Figura 23 - Exemplo de estabilidade dinâmica para diferentes ângulos de adornamento

Quando o ângulo de estabilidade nula é atingido o navio atinge um ponto em que a estabilidade passa a negativa e terá de se ter em conta outros fatores, visto o navio estar “virado ao contrário”.

É ainda possível determinar a altura metacêntrica inicial recorrendo à curva de estabilidade sabendo que é dado pelo braço endireitante quando o adornamento é de 1rad equivalente a 57,3°, tal como mostrado na Figura 24.

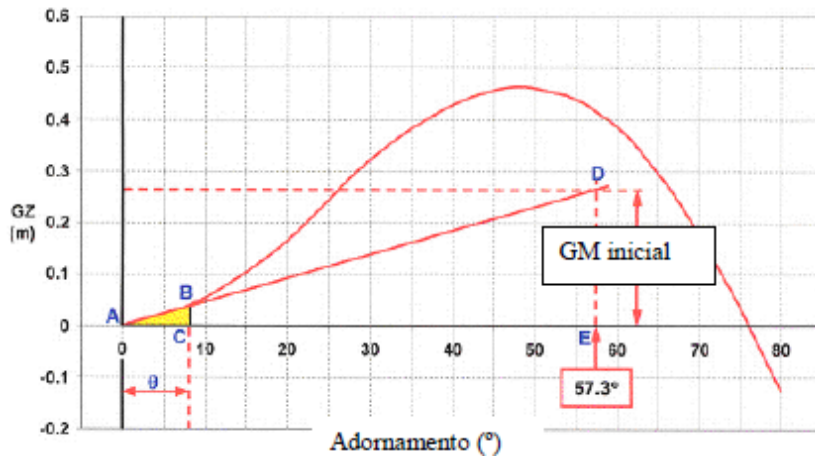


Figura 24 - Determinação da altura metacêntrica inicial

É possível avaliar a condição de estabilidade observando a curva de estabilidade de uma embarcação. Para exemplificar e caracterizar podem-se observar os exemplos nas seguintes figuras: curva de estabilidade positiva, curva de estabilidade neutra e curva de estabilidade em condição instável.

Como já foi referido anteriormente a condição de estabilidade positiva (Figura 25), acontece quando por ação de uma força externa retorna à sua posição inicial de direito quando deixa de atuar a correspondente força, isto para pequenos ângulos de adornamento. Verifica-se ainda que o centro de gravidade (G) está em cota inferior ao centro de carena (C). Na condição de adornado o valor de GZ é positivo, tendo tendência a repor a posição inicial após remoção da força e devido à diferença entre KM e KG ser positiva ( $KM - KG = GM$ ).

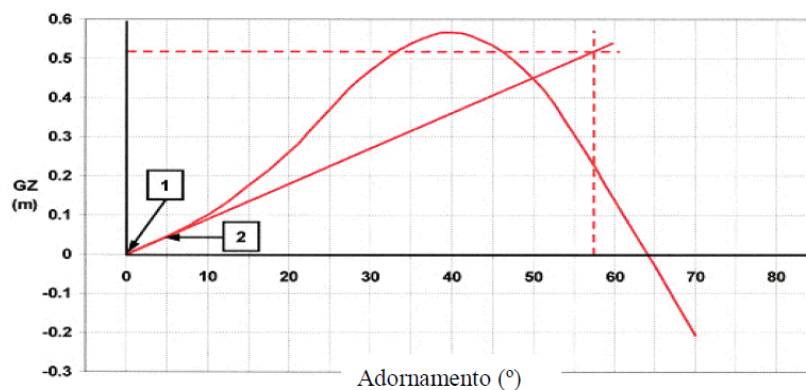


Figura 25 - Curva de estabilidade positiva

A condição de estabilidade neutra acontece quando o GM é nulo, sendo que para quando perturbado por uma força exterior em águas tranquilas até pequenos ângulos de adornamento, fica com uma inclinação indeterminada. Tal como se pode verificar nas figuras abaixo (Figura 26 e Figura 27).

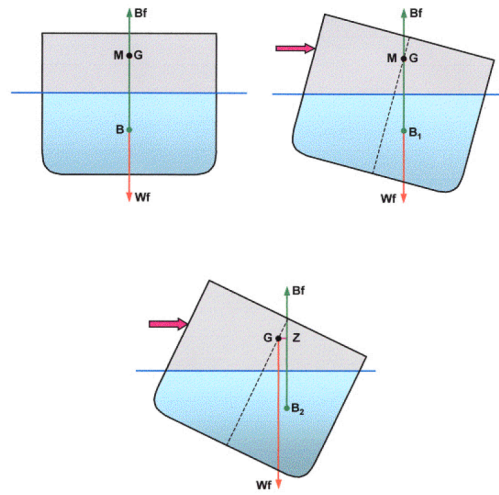


Figura 26 - Adornamento de um navio com estabilidade neutra

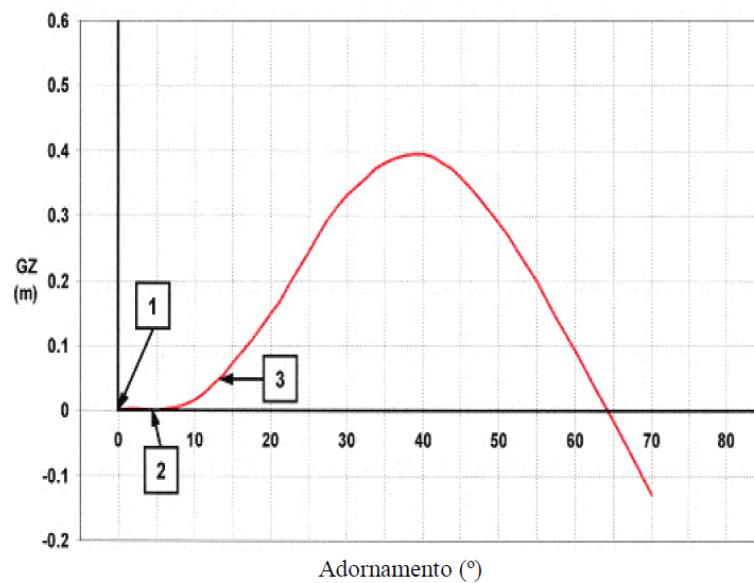


Figura 27 - Curva de estabilidade neutra

Por último, a condição de estabilidade instável verifica-se para pequenos ângulos e perturbado por uma força externa, continua a adornar no mesmo sentido aquando da perturbação cessar, força removida. Este caso verifica-se quando o GM é negativo (Figura 28 e Figura 29).

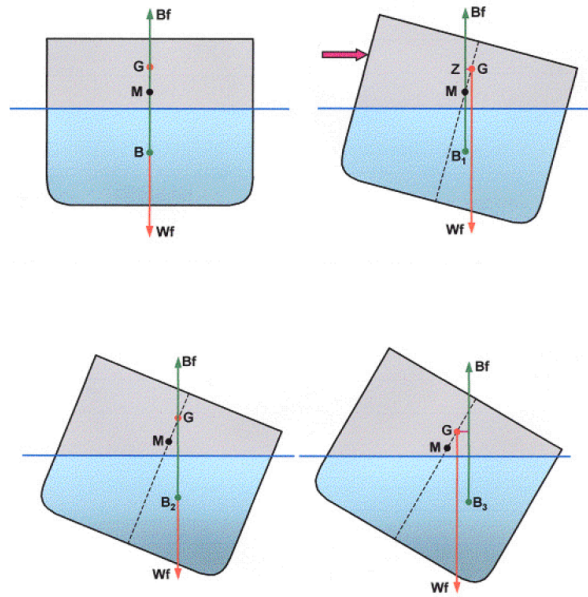


Figura 28 - Adornamento de um navio em condição instável

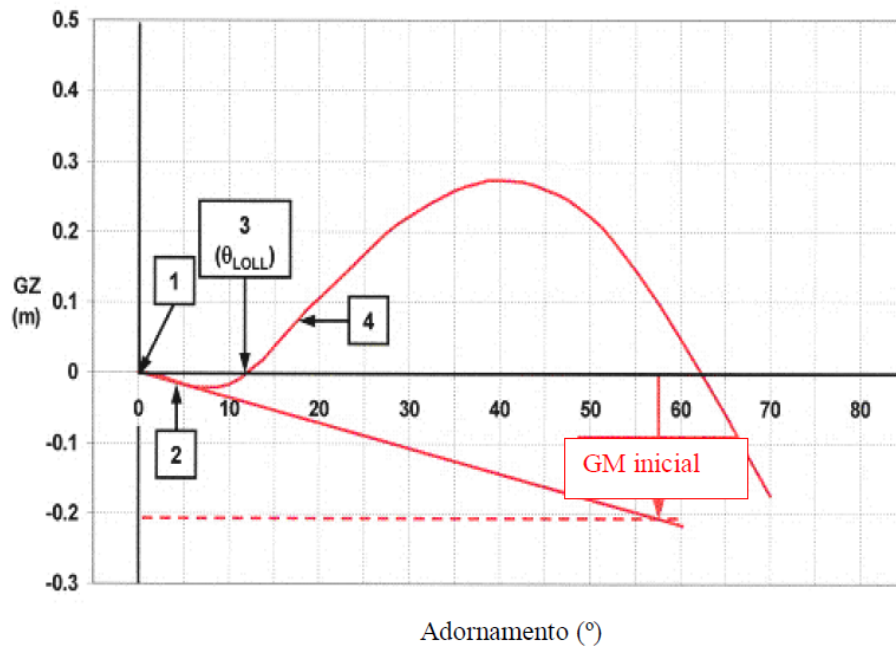


Figura 29 - Curva de estabilidade instável



## 3. Implementação do Projeto

### 3.1 Necessidades do projeto

Em conjunto com a equipa do CEOV foi pensado e desenvolvido este projeto que tem sido a vir exposto ao longo do anterior capítulo, com intuito de enquadrar o propósito que lhe deu origem.

Esta plataforma tem em vista a utilização operacional pilotado remotamente e autonomamente, em zonas costeiras ou alto mar. Ainda é esperada a capacidade de empregar diferentes tipos de equipamentos para o desempenho diferenciado de missões, sendo assim uma plataforma modular, simples e de troca rápida. Como é utilizada a nível militar, carece da competência de embarcar equipamentos para guerra eletrónica, rebocar um conjunto de sensores de guerra submarina, equipada com sensores para vigilância e reconhecimento ou rebocar relés de comunicação.

### 3.2 Levantamento de Requisitos

O *layout* físico deverá suportar a colocação da instrumentação a bordo e de manutenção acessível. A existência de uma zona onde se possa ligar a plataforma manualmente aquando necessária para realização de uma missão, bem como forma de colocar a plataforma a comunicar com um operador para atualização de *software* (portas ethernet, por exemplo). Esta deve possuir uma estrutura de suporte rígido para fixação de baterias e geradores, e a capacidade para alocar diferentes *payloads* para diversos tipos de missão. Para facilitar a sua colocação na água e transporte, implementar olhais na estrutura exterior. Deverá ainda possuir um sistema de propulsão que a permita rebocar um sonar rebocável.

Deverá incluir a capacidade de acolher vários sensores acima da linha de água, tais como câmaras imagem, LiDAR<sup>8</sup>, anemómetro, GPS, radar e componentes de comunicação. Além disso, a plataforma poderá ser capaz de hospedar pelo menos quatro sensores subaquáticos, como sondas de profundidade, transdutores de imagem batimétrica, sensores de corrente de água e outros. Os requisitos de *layout* integrados

---

<sup>8</sup> *Light Detection And Ranging*

incluem fornecimento de energia para uma tensão de alimentação de 24 volts e painel de distribuição *plug-and-play* para dispositivos de 5 e 12 volts.

Os requisitos operacionais conducentes serão formulados quanto às seguintes capacidades e características: dimensões, estrutura, propulsão e energia, comando e controlo, acabando com interoperabilidade dos sistemas.

#### 1. Dimensões

As dimensões presentes na Tabela 2 - Características do Navio são pensadas tendo como objetivo uma possível utilização desta plataforma como extensão operacional de um navio maior, para poder ser acionado no momento e em teatros de operação mais relevantes.

*Tabela 2 - Características do Navio*

Característica	Dimensão (m)
Comprimento fora-a-fora	6,5 – 8
Boca máxima	2,5
Calado máximo	1,5
Deslocamento	Max. 3 toneladas

#### 2. Estrutura

Informação indisponível devido a classificação de **RESERVADO**.

#### 3. Propulsão e Energia

Informação indisponível devido a classificação de **RESERVADO**.

#### 4. Comando e Controlo

Informação indisponível devido a classificação de **RESERVADO**.

5. Sistemas Auxiliares

Informação indisponível devido a classificação de **RESERVADO**.

6. Aprestamento

Informação indisponível devido a classificação de **RESERVADO**.

7. Armamento

Informação indisponível devido a classificação de **RESERVADO**.

8. Requisitos Gerais de Projeto

Informação indisponível devido a classificação de **RESERVADO**.

9. Choque e explosões

Informação indisponível devido a classificação de **RESERVADO**.

10. Processos de Fabrico

Informação indisponível devido a classificação de **RESERVADO**.

11. Materiais

Informação indisponível devido a classificação de **RESERVADO**.

12. Interoperabilidade

Informação indisponível devido a classificação de **RESERVADO**.



## 4. Desenvolvimento de projeto

Neste capítulo são abordadas todas as etapas para o desenvolvimento do projeto respeitando os requisitos abordados anteriormente. A informação não está disponível nesta versão (**NÃO CLASSIFICADO**) devido à sensibilidade e sigilo da informação que existe em cada uma das secções abaixo enunciadas. Esta plataforma também poderá ser referida como “Trator do Mar”

### 4.1 Equipamentos e Sensores

Informação indisponível devido a classificação de **RESERVADO**.

### 4.2 Propulsão e Produção de Energia

Informação indisponível devido a classificação de **RESERVADO**.

### 4.3 Esquemas Elétricos

Informação indisponível devido a classificação de **RESERVADO**.

### 4.4 Comando e Controlo

Informação indisponível devido a classificação de **RESERVADO**.

### 4.5 Estrutura Interna

Informação indisponível devido a classificação de **RESERVADO**.

### 4.6 Monocasco

Informação indisponível devido a classificação de **RESERVADO**.

### 4.7 Processo de fibragem

Informação indisponível devido a classificação de **RESERVADO**.



## Conclusão

Este projeto surgiu devido à necessidade de recursos humanos e desenvolvimento tecnológico da Marinha Portuguesa. Após a exposição da motivação, que suporta a ideia do projeto, é efetuada uma pesquisa sobre sistemas/plataformas já desenvolvidas a nível civil e militar que pudessem servir de inspiração para o projeto de uma nova. Foram averiguados e debatidos os requisitos sob quais a plataforma teria de ser desenvolvida por forma a efetuar as missões que desempenhará, de forma segura e efetiva. Definiu-se então o “Trator do Mar” como projeto, sendo esta a plataforma que daria o nome à presente dissertação de mestrado “um sistema de superfície autónomo para monitorização permanente e persistente de veículos na coluna de água”.

Começou-se por analisar o mercado e escolher equipamentos e sensores, das áreas de navegação, comunicações, C2 e realização de tarefas (ex. rebocar um *towed array*). Com base na propulsão escolhida, definiu-se as fontes de energia para a plataforma e realizou-se um estudo de consumos para saber a autonomia do “Trator do Mar” e como se poderia otimizar a utilização destes recursos energéticos. Seguidamente, a esquematização dos circuitos elétricos da plataforma e os *scripts* para C2 da plataforma a nível de navegação e comunicações com a GCS. Após estabelecidos os equipamentos e situações de carga, começou-se com o desenho e estudo da estrutura interna que suportaria os esforços dos equipamentos e condições de mar. Com a estrutura interna definida e os equipamentos integrados, desenvolveu-se um monocasco considerando que a plataforma teria estabilidade positiva. Nesta fase do projeto, foram realizados estudos de hidrostática e hidrodinâmica do “Trator do Mar” simulados em *DELFTShip Professional*<sup>®</sup> e *Solidworks Student Version*<sup>®</sup>. Por último e já com o casco definido, passou-se ao estudo do melhor processo de fibragem para construção do casco. Nesse estudo, foi considerado que o melhor processo seria o de infusão, mas devido ao início do projeto e sendo o primeiro modelo da plataforma (protótipo) optou-se pelo processo de laminação manual.

Durante a fase de construção do projeto foi possível concluir a construção da estrutura interna do “Trator do Mar” e a integração do lastro de chumbo na quilha.

Sendo assim, a construção iria avançar para a fase de corte a laser das balizas, em madeira, que dariam a forma à fibragem do casco, e posteriormente a integração dos equipamentos e sensores antes de finalizar a construção do casco.

Enquanto engenheiro, no desenvolvimento de um projeto, é requerida uma boa gestão de recursos humanos e financeiros, bem como a aplicação do conhecimento técnico. Tendo uma equipa de trabalho e recursos à disposição do autor, exige a existência de um bom planeamento de tarefas por forma a rentabilizar o trabalho e material utilizado. Este projeto permitiu o desenvolvimento de competências técnicas nas áreas de comunicações, eletricidade, eletrónica, automação, soldadura, arquitetura naval, compósitos, entre outros.

Com o desenvolvimento desta dissertação de mestrado e projeto, foi possível ao autor desenvolver as suas competências enquanto militar e engenheiro.

Por último, algumas reflexões que foram surgindo durante a realização do projeto:

- O estudo realizado sobre os consumos energéticos foi muito superficial, considerando que os equipamentos estão a maior parte do tempo em funcionamento. Poderão ser realizadas análises reais de consumos energéticos, quando em operação, e então otimizar a autonomia da plataforma e verificar se é necessária alguma alteração às baterias, gerador ou até outro equipamento. Deverá ainda ser integrado o consumo de combustível limitado ao tanque da plataforma.
- Em relação aos esquemas elétricos foi realizado um diagrama a explicar como seriam ligados os equipamentos de bordo. Tendo em anexo um exemplo que pode ser utilizado com guia para o desenvolvimento dos esquemas. Sendo assim, desenvolver os esquemas elétricos que serão implementados no “Trator do Mar”.
- Durante o estudo hidrostático do monocasco surgiu a necessidade de definir critérios de estabilidade, com base na proporcionalidade direta,

para a plataforma autónoma de pequenas dimensões. Devido a não ter encontrado nenhum critério durante a realização do projeto, existe a necessidade de estudar e estabelecer os critérios de estabilidade para embarcações autónomas de pequenas dimensões.

- Tendo em conta que o processo poderá vir a ser industrializado, passando à produção de várias unidades de “Trator do Mar”, criação de um molde para construção do casco, utilizando o processo de fibragem por infusão.
- Para utilização e monitorização das áreas de comunicação, com base em registo de operação da plataforma, definir visualmente (através de mapas, ou outra ferramenta) as áreas em que os diferentes tipos de comunicação devem, e podem, entrar em vigor por forma a otimizar as comunicações.
- Devido a ser uma plataforma autónoma e à existência de sensores óticos integrados na plataforma, desenvolver um sistema autónomo para manobra com base no RIEAM e prioridades estabelecidas para a missão desempenhada pelo “Trator do Mar”.
- Estudo detalhado da hidrodinâmica da plataforma por forma a tornar mais eficiente a sua deslocação, otimizando coeficientes de forma.



## Referências Bibliográficas ou bibliografia

ONU, O. d. (1997). Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar. *Resolução da Assembleia da República n.º 60-B/97*.

*Convenção SOLAS, 1998*.

Propiedades Químicas - AISI 316. Obtido de Aço AISI 316 Propriedades Químicas e Mecânicas rev. 2022: <https://www.materiais.gelsonluz.com/2018/08/aco-aisi-316-propriedades-quimicas-e.html>, 13 de Março de 2023.

Starlink, Obtido de Starlink: <https://www.starlink.com/maritime>, 9 de Junho de 2023.

5G DONGLE Module. (9 de Junho de 2023). Obtido de Wave Share: <https://www.waveshare.com/usb-to-m.2-b-key.htm>

AirMax Omni. (9 de Junho de 2023). Obtido de UniFi: [https://dl.ubnt.com/datasheets/airmaxomni/amo\\_ds\\_web.pdf](https://dl.ubnt.com/datasheets/airmaxomni/amo_ds_web.pdf)

AMN. (23 de Fevereiro de 2023). *Meios Navais*. Obtido de Autoridade Marítima Nacional: <https://www.amn.pt/DCPM/Paginas/Meios-Navais.aspx>

AMN. (21 de Fevereiro de 2023). *Meios Navais*. Obtido de Autoridade Marítima Nacional: <https://www.amn.pt/DCPM/Paginas/Meios-Navais.aspx>

APEX13. (9 de Junho de 2023). Obtido de Humminbird: <https://humminbird.johnsonoutdoors.com/us/shop/fish-finders/apex/apex-13-mega-si-chartplotter>

B952 CLASS B. (9 de Junho de 2023). Obtido de EM-TRAK: <https://em-trak.com/product-b952-tender/>

Beer, F. P. (1998). *Mecânica Vetorial para Engenheiros, 6a ed.* (Vol. Estatística). Portugal: McGraw Hill.

Burcher, R., & Rydill, L. (2014). *Concepts in Submarine Design*. Cambridge University Press.

Caldas Pinto, J. (2021). *Tecnologias de Automação na Indústria 4.0*. Lidel.

Caldeira Alexandre, F. (21 de Maio de 2023). *LAMINAGEM DE EMBARCAÇÕES PELO MÉTODO DE INFUSÃO*. Obtido de [https://www.ordemengenheiros.pt/fotos/editor2/laminagem\\_de\\_embarcacoes.pdf](https://www.ordemengenheiros.pt/fotos/editor2/laminagem_de_embarcacoes.pdf)

Cassidy, F. (02 de Março de 1999). *NMEA 2000 Explained*.

Cisco. (1 de Fevereiro de 2018). *The Ultimate Guide to Smart Manufacturing*. Obtido de <https://iiot-world.com/connected-industry/the-ultimate-guide-to-smart-manufacturing/>

- Colombo, B. (2002). REGRAS PARA CONSTRUÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE EMBARCAÇÕES DE FIBRA DE VIDRO.
- CORAZZA, I. (26 de Maio de 2023). *Fibras de Vidro – Características e Desempenho para materiais compósitos*. Obtido de [http://www.tecnologiademateriais.com.br/mt/2012/cobertura\\_paineis/tecnologias/apresentacoes/jushi.pdf](http://www.tecnologiademateriais.com.br/mt/2012/cobertura_paineis/tecnologias/apresentacoes/jushi.pdf)
- DriX USV*. (18 de Março de 2023). Obtido de <https://www.ixblue.com/maritime/maritime-autonomy/uncrewed-surface-vehicles/>
- EMU-1-BAS - Conversor NMEA 2000 de dados analógicos do motor*. (9 de Junho de 2023). Obtido de Nauti Radar: <https://www.nautiradar.pt/pt/produtos/actisense/emu-1-bas-conversor-nmea-2000-de-dados-analogicos-do-motor>
- Gaspar de Chaves, F. M. (2015). Estudo Climatológico da Nortada na Costa Oeste da Península Ibérica.
- Gonçalves dos Reis, F. (1998). *Estabilidade e Flutuabilidade Básica*.
- Greenfield, D. (1 de Fevereiro de 2023). *Edge Computing Gets Boost from IEEE | Automation World*. Obtido de <https://www.automationworld.com/products/networks/news/13318869/edge-computing-gets-boost-from-ieee>
- Halo 20+*. (9 de Junho de 2023). Obtido de SIMRAD: <https://www.simrad-yachting.com/en-gb/simrad/series/halo-radar/>
- Krile, S., Kezic, D., & Dimc, F. (2013). *Nase more. NMEA Communication Standard for Shipboard Data Architecture / NMEA komunikacijski standard za arhitekturu podataka na brodu*.
- Lacken, H. (1950). *On the Systematic Geometrical Variation of Ship Forms*. RINA Transaction.
- LHN-UC15L-SIP Horn loudspeaker 15W*. (9 de Junho de 2023). Obtido de Resources BOSCH Security: [https://resources-boschsecurity-cdn.azureedge.net/public/documents/LHN\\_UC15L\\_SIP\\_Data\\_sheet\\_enUS\\_101491542411.pdf](https://resources-boschsecurity-cdn.azureedge.net/public/documents/LHN_UC15L_SIP_Data_sheet_enUS_101491542411.pdf)
- LiPePO4 48V 200 Ah*. (9 de Junho de 2023). Obtido de RIM DRIVE: <https://rimdrivetechology.nl/product/lifepo4-48v-200ah/>
- LoRa6500PRO*. (9 de Junho de 2023). Obtido de ELEcbee: <https://www.elecbee.com/en-29000-LORA6500PRO-5W-Wireless-Module-Mesh-Network-with-AES-High-Power-Maximum-Distance-15km-Relay-Networking>
- LT-1000 NRU*. (9 de junho de 2023). Obtido de LARS Thrane communication Systems: <https://thrane.eu/wdpress/index.php/lt-1000-nru/>
- LTU-ROCKET*. (9 de Junho de 2023). Obtido de UniFi: <https://dl.ubnt.com/ds/ltu-rocket>

*MC2 X2*. (9 de Junho de 2023). Obtido de Quick SPA: <https://www.quickitaly.com/en/products/anti-roll-gyro-stabilizers/mc2-xseries-ac-en/mc2-x10/>

*M-Duino 42+*. (9 de Junho de 2023). Obtido de Farnell: [https://pt.farnell.com/industrial-shields/is-mduino-42/ethernet-42-i-o-analog-digital/dp/3515741?gclid=Cj0KQCQjwtaMlBhD3ARIsAARoaEwoZWs-6amrob78svCSlub\\_wpMMEIKliLjvQR\\_WRrgyHY23lp7zTAEaAuw4EALw\\_wcB&utm\\_campaign=shopforward&utm\\_medium=affiliate&gross\\_price=t](https://pt.farnell.com/industrial-shields/is-mduino-42/ethernet-42-i-o-analog-digital/dp/3515741?gclid=Cj0KQCQjwtaMlBhD3ARIsAARoaEwoZWs-6amrob78svCSlub_wpMMEIKliLjvQR_WRrgyHY23lp7zTAEaAuw4EALw_wcB&utm_campaign=shopforward&utm_medium=affiliate&gross_price=t)

*MIC IP Fusion 9000i*. (9 de Junho de 2023). Obtido de Resources - BOSCH Security: [https://resources-boschsecurity-cdn.azureedge.net/public/documents/MIC\\_IP\\_fusion\\_9000i\\_Data\\_sheet\\_enUS\\_30131449867.pdf](https://resources-boschsecurity-cdn.azureedge.net/public/documents/MIC_IP_fusion_9000i_Data_sheet_enUS_30131449867.pdf)

*NGT-1-USB - Interface NMEA 2000 para PC com USB*. (9 de Junho de 2023). Obtido de Nauti Radar: <https://www.nautiradar.pt/pt/produtos/actisense/ngt-1-usb-interface-nmea-2000-para-pc-com-usb>

Norberto Pires, J. (2019). *Automação e Controlo Industrial - Indústria 4.0*. Lidel.

*Opta Lite*. (9 de Junho de 2023). Obtido de Arduino: <https://docs.arduino.cc/hardware/opta>

*Panda FISCHER 10000i*. (9 de Junho de 2023). Obtido de Nauti Radar: <https://www.nautiradar.pt/pt/produtos/fischer-panda/panda-10000i-pms-gerador-maritimo-a-serie-i-de-8kw>

Pereira da Mata, M. A. (1999). EFEITOS NEUROTOXICOS NOS TRABALHADORES EXPOSTOS AO ESTIRENO. UNIVERSIDADE DO PORTO.

Pires Gonçalves, S. G. (Fevereiro de 2005). Produção artesanal nos lanifícios.

*POD 11.0*. (9 de Junho de 2023). Obtido de RIM DRIVE: <https://rimdrivetechology.nl/product/pr212-pod-m-48v/>

Rawson, J. T. (1991). *Basic Ship Theory*. Longman Inc.

Rhodes, M. (2003). *Ship Stability for Mates/Masters*. Witherbys.

Ribeiro e Silva, S. B. (5 de Novembro de 2014). Arquitetura Naval.

*Seagull Unmanned Surface Vessel (USV)*. (19 de Abril de 2016). Obtido de Naval Technology: <https://www.naval-technology.com/projects/seagull-unmanned-surface-vessel-usv/>

*Sentry*. (9 de Junho de 2023). Obtido de SEA AI: <https://sea.ai/how-it-works/>

*Tasman 8-8 24V*. (9 de Junho de 2023). Obtido de Vetus: <https://vetusonline.com/english/tasman-8-8-24v-drum-winch-incl-rode-110m.html>

W2K-1 Dispositivo NMEA2000 para Wi-Fi. (9 de Junho de 2023). Obtido de Nauti Radar: <https://www.nautiradar.pt/pt/produtos/actisense/w2k-1-dispositivo-nmea2000-para-wi-fi>

WeatherStation. (9 de Junho de 2023). Obtido de AIRMAR: <https://www.airmar.com/Catalog/WeatherStation-Instruments/220WXH>

XM 14 HW MDI T - SOLIX MEGA DI+, DUAL SPECTRUM CHIRP W/ TEMP TRANSOM TRANSDUCER. (9 de Junho de 2023). Obtido de Humminbird: <https://humminbird.johnsonoutdoors.com/us/shop/accessories/transducers/xm-14-hw-mdi-t-solix-mega-di-dual-spectrum-chirp-w-temp-transom>

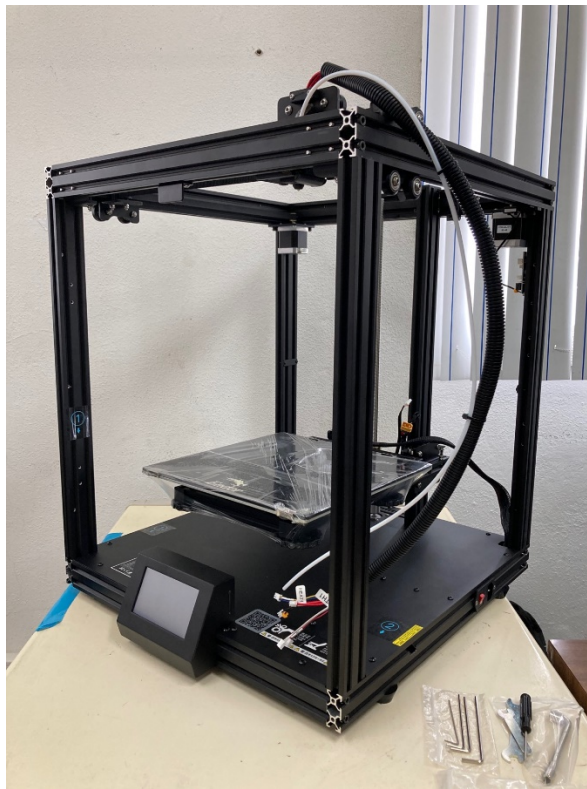
Yunus A. Çengel, A. G. (2021). *Fundamentals of Thermal - Fluids Sciences*. MCGRAW-HILL EDUCATION.

## Apêndices

### Apêndice A - Montagem de impressora Ender 6 da Creality®



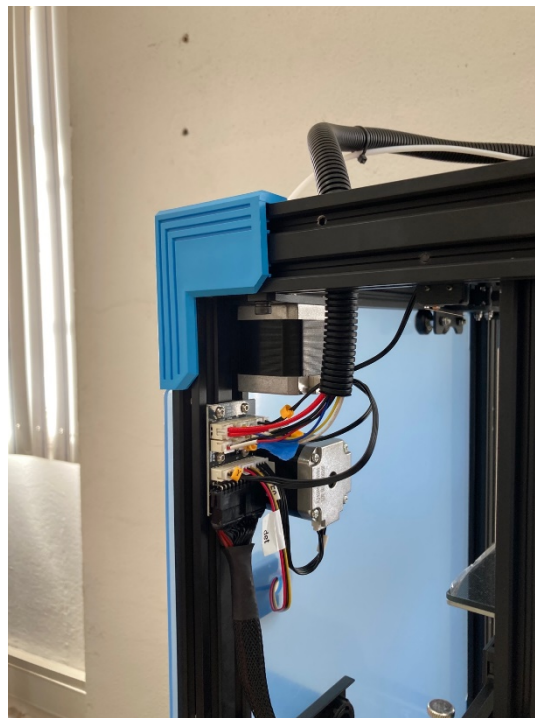
*Figura 30 - Disposição de todas as peças e partes da impressora*



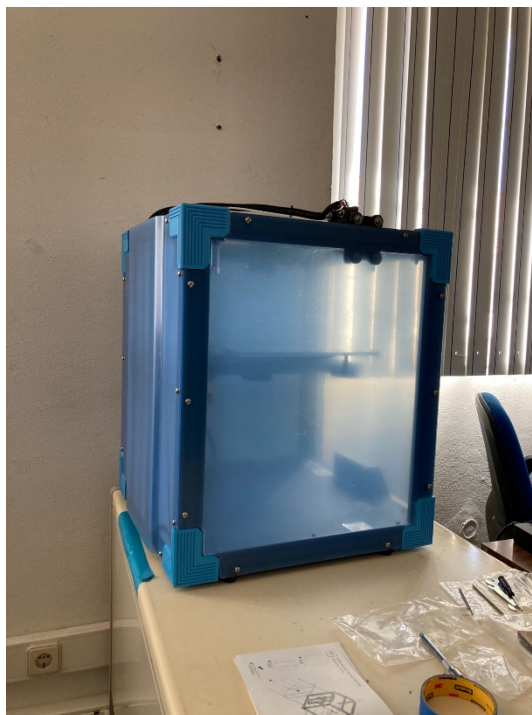
*Figura 31 – Montagem da estrutura externa e eixos*



*Figura 32 - Instalação da proteção lateral e módulo de controlo*



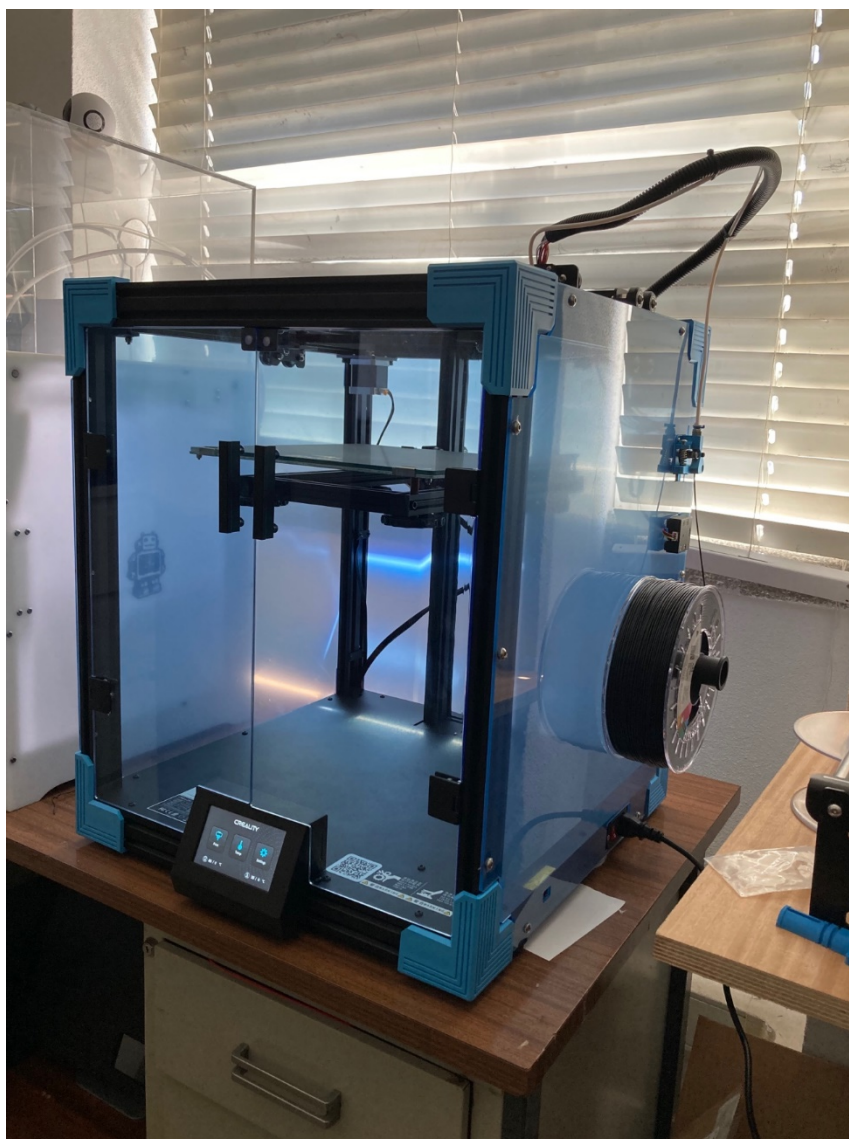
*Figura 33 - Ligações do módulo de controlo da impressora*



*Figura 34 - Instalação de proteções laterais, traseira e apoios*



*Figura 35 - Instalação das portas de proteção*



*Figura 36 – Montagem final da impressora 3D – Ender 6*

Apêndice B – Caderno de pesos

Informação indisponível devido a classificação de **R E S E R V A D O**.

Apêndice C – Consumos (full time)

Informação indisponível devido a classificação de **R E S E R V A D O**.

Apêndice D – Consumos (standby)

Informação indisponível devido a classificação de **R E S E R V A D O**.

Apêndice E – Desenhos técnicos arranjo estrutura interna “Trator do Mar”  
Informação indisponível devido a classificação de **R E S E R V A D O**.

Apêndice F – Comparação Critérios de Estabilidade – Navio militares,  
Embarcações de recreio superiores a 24 metros, Critérios “Trator do Mar”  
Informação indisponível devido a classificação de **RESERVADO**.

Apêndice G - Análise Externa - *Flow Simulation* no *SolidWorks*®  
(parametrização)

Informação indisponível devido a classificação de **RESERVADO**.

Apêndice H – Validação do modelo em *DELFTShip*® via *MAXSURF* da *Rhinoceros 3D*®

Informação indisponível devido a classificação de **RESERVADO**.

Apêndice I – Relatório de Hidrostático – *DELFTShip*

Informação indisponível devido a classificação de **R E S E R V A D O**.

Apêndice J – Carenas Direitas – Trator do Mar

Informação indisponível devido a classificação de **RESERVADO**.

Apêndice K – Carenas Inclínadas – Trator do Mar

Informação indisponível devido a classificação de **R E S E R V A D O**.

Apêndice M – Curva de estabilidade – Trator do Mar

Informação indisponível devido a classificação de **RESERVADO**.

Apêndice N – Análise Externa – Distribuição das pressões sobre o casco  
Informação indisponível devido a classificação de **R E S E R V A D O**.

Apêndice O – Balizas para fibragem (Esquema) – Trator do Mar  
Informação indisponível devido a classificação de **RESERVADO**.



## **Anexos**

Nos anexos, Anexo A ao Anexo X, encontram-se intitulados por exemplos: Anexo A -XXX, Anexo B – XXX; devido a serem referentes a equipamentos utilizados na plataforma classificados como informação **R E S E R V A D O**.

Anexo A – XXX

Informação indisponível devido a classificação de **R E S E R V A D O**.

Anexo B – XXX

Informação indisponível devido a classificação de **R E S E R V A D O**.

Anexo C – XXX

Informação indisponível devido a classificação de **RESERVADO**.

Anexo D – XXX

Informação indisponível devido a classificação de **RESERVADO**.

Anexo E – XXX

Informação indisponível devido a classificação de **RESERVADO**.

Anexo F – XXX

Informação indisponível devido a classificação de **R E S E R V A D O**.

Anexo G – XXX

Informação indisponível devido a classificação de **RESERVADO**.

Anexo H – XXX

Informação indisponível devido a classificação de **R E S E R V A D O**.

Anexo I – XXX

Informação indisponível devido a classificação de **R E S E R V A D O**.

Anexo J – XXX

Informação indisponível devido a classificação de **RESERVADO**.

Anexo K – XXX

Informação indisponível devido a classificação de **R E S E R V A D O**.

Anexo L - XXX

Informação indisponível devido a classificação de **RESERVADO**.

Anexo M – XXX

Informação indisponível devido a classificação de **RESERVADO**.

Anexo N - XXX

Informação indisponível devido a classificação de **R E S E R V A D O**.

Anexo O – XXX

Informação indisponível devido a classificação de **RESERVADO**.

Anexo P – XXX

Informação indisponível devido a classificação de **RESERVADO**.

Anexo Q – XXX

Informação indisponível devido a classificação de **R E S E R V A D O**.

Anexo R – XXX

Informação indisponível devido a classificação de **RESERVADO**.

Anexo S - XXX

Informação indisponível devido a classificação de **RESERVADO**.

Anexo T – XXX

Informação indisponível devido a classificação de **R E S E R V A D O**.

Anexo U – XXX

Informação indisponível devido a classificação de **R E S E R V A D O**.

Anexo V – XXX

Informação indisponível devido a classificação de **RESERVADO**.

Anexo W – XXX

Informação indisponível devido a classificação de **RESERVADO**.

Anexo X – XXX

Informação indisponível devido a classificação de **R E S E R V A D O**.

Anexo Y – Esquemas Eléctricos do Catamaran desenvolvido pela CEOV  
Informação indisponível devido a classificação de **R E S E R V A D O**.

Anexo Z – Geral - C2 do “Trator do Mar” em C++

Informação indisponível devido a classificação de **R E S E R V A D O**.

Anexo AA – decode\_nmea- C2 do “Trator do Mar” em C++

Informação indisponível devido a classificação de **R E S E R V A D O**.

Anexo AB – navigation\_functions- C2 do “Trator do Mar” em C++  
Informação indisponível devido a classificação de **R E S E R V A D O**.

Anexo AC- ruder- C2 do “Trator do Mar” em C++

Informação indisponível devido a classificação de **R E S E R V A D O**.