



ESCOLA NAVAL

talant de bi-faire



Vasco André Pereira Lopes

Projeto Conceptual de um Veículo Não Tripulado de Superfície para a Escola Naval – VENT-SUP-EN

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



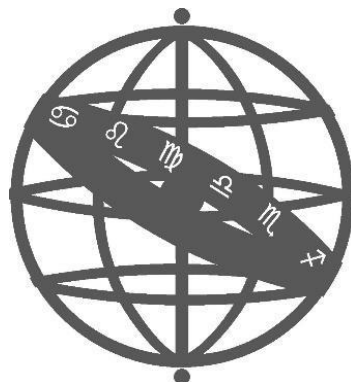
Alfeite

2018



ESCOLA NAVAL

ta sãntõ de biẽ-faire



Vasco André Pereira Lopes

Projeto Conceptual de um Veículo Não Tripulado de Superfície para a Escola Naval – VENT-SUP-EN

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

Orientação de:

CFR EN-MEC ACN Paulo Alexandre Marques Pires da Silva

Prof. Miguel Ângelo Pereira Bento Moreira

O Aluno Mestrando

Vasco André Pereira Lopes

ASPOF EN-MEC

O Orientador

Paulo Alexandre Marques Pires da Silva

CFR EN-MEC

Alfente

2018

“Negamo-nos a reconhecer os problemas da forma, só aceitamos os problemas da construção. A forma não é o objetivo do nosso trabalho, mas apenas o seu resultado. A forma não existe por si mesma.”

Mies Van der Rohe

Dedicatória

Dedico esta dissertação aos meus pais João Manuel Mendes Lopes Pereira e Maria da Conceição dos Santos Pereira Lopes e ao meu irmão Filipe João Pereira Lopes, por serem para mim o maior exemplo de amor, trabalho e dedicação.

Agradecimentos

Quero agradecer ao meu orientador Capitão-de-Fragata EN-MEC ACN Pires da Silva e ao meu Coorientador Sr. Professor Miguel Moreira por todo o apoio, motivação, supervisão e tempo disponibilizado.

À minha família e amigos por toda a força e motivação que me deram.

Aos meus camaradas do curso D. Maria II e do curso CMG Henrique Quirino da Fonseca, em especial aos ASPOF da classe de Engenheiros Navais do Ramo de Mecânica pelo apoio e troca de ideias e sugestões.

Aos professores militares e civis do Departamento de Ciências e Tecnologias da Escola Naval por todo o apoio e preocupação.

Ao CTEN EN-MEC Santos Fonseca da Direção de Navios por ter disponibilizado ferramentas essenciais para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao CFR EN-AEL Simões Madeira, ao 1TEN EN-AEL Castanheira dos Santos, ao Sr. Mário Peixe do Arsenal do Alfeite, S.A. e ao Sr. Ricardo Inglês da NautiRadar pela ajuda na obtenção dos custos de diversos equipamentos.

À Câmara de Oficiais do N.R.P. Tejo que durante o estágio de embarque sempre prestou o apoio necessário e disponibilizou tempo para a realização deste trabalho.

E por fim, à Inês que sempre se mostrou interessada, preocupada e esteve sempre a par do desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

As Marinhas militares têm a seu cargo diversos tipos de missões nas quais, devido aos cenários complexos, perigosos ou de desastre, os veículos autónomos são adequados por forma a realizar as tarefas necessárias. Um tema atual de pesquisa que tem vindo a ser desenvolvido é a escolha entre o uso de muitos veículos não tripulados orientados à missão ou, por outro lado, o uso de um menor número de veículos, porém com capacidade de efetuar maior número de missões, mais robustos e versáteis. Desafiado pelos avanços tecnológicos alcançados na robótica móvel e em veículos não tripulados, e pela necessidade de desenvolver o conhecimento interno da Escola Naval, este projeto teve como objetivo colocar em prática o desenvolvimento de um projeto conceptual de um veículo de superfície não tripulado com capacidade de realizar diversas missões, e que pode operar individualmente ou cooperar com outros sistemas cujo desenvolvimento será feito em paralelo noutros projetos.

[VEÍCULO NÃO TRIPULADO DE SUPERFÍCIE– PROJETO CONCEPTUAL –
MULTIMISSIONES]

ABSTRACT

Military Navies have several missions in which due to their complex, dangerous, or disaster scenarios, unmanned vehicles are suitable to perform the necessary tasks. Besides other issues it is a current subject of research the trade-off between using many mission oriented unmanned vehicles or the use of less number of more robust and versatile multimission vehicles. Challenged by the technological advances achieved in mobile robotics and unmanned vehicles, and the need to develop in house know-how, this project aimed to put into practice the development of a concept design of a multimission unmanned surface vehicle, that can operate individually or cooperate with other systems whose development will be done in parallel on other projects.

[USV – CONCEPT DESIGN – MULTIMISSION]

ÍNDICE GERAL

DEDICATÓRIA.....	V
AGRADECIMENTOS.....	VII
RESUMO	IX
ABSTRACT	XI
ÍNDICE GERAL.....	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XV
ÍNDICE DE TABELAS.....	XVII
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	XIX
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS.....	XXI
INTRODUÇÃO.....	1
1. ESTADO DA ARTE.....	3
2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO	7
3. CONCEITO DE EMPREGO.....	13
3.1. REQUISITOS OPERACIONAIS	14
3.1.1. PROTEÇÃO DE FORÇA E PROTEÇÃO PORTUÁRIA	17
3.1.2. LEVANTAMENTOS HIDROGRÁFICOS	19
3.1.3. BUSCA E SALVAMENTO.....	19
3.1.4. RECOLHA DE DADOS AMBIENTAIS.....	20
3.1.5. PLATAFORMA DE ENSAIOS	21
3.2. REQUISITOS TÉCNICOS	21
4. SELEÇÃO DO TIPO DE CASCO E SELEÇÃO DE MATERIAL.....	27
5. DIMENSIONAMENTO INICIAL.....	31
6. ESTABILIDADE	41
7. PREVISÃO DE POTÊNCIA	61
8. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....	71
9. CONCLUSÃO	79
BIBLIOGRAFIA	83
APÊNDICES.....	85
APÊNDICE A – MATRIZ DE SELEÇÃO DE EQUIPAMENTOS.....	85

APÊNDICE A2 – CORRELAÇÃO ENTRE O NÚMERO DE EQUIPAMENTOS NECESSÁRIOS PARA CADA OPERAÇÃO, E A MÉDIA DAS MASSAS ESPECÍFICAS DESSES EQUIPAMENTOS.....	87
APÊNDICE B – CARACTERÍSTICAS DO MATERIAL A UTILIZAR NO CASCO (RETIRADO DE <i>CES EDUPACK</i>)	89
APÊNDICE C – DIVERSAS FASES DE MODELAÇÃO.....	91
APÊNDICE D – GRÁFICO DE CARENAS DIREITAS DO VENT-SUP-EN.	97
APÊNDICE E – ARTIGO CIENTÍFICO APRESENTADO NA <i>SEACONF18</i>	99
ANEXOS	113
ANEXO A – REGRAS 21 E 22 ALÍNEA B. DO RIEAM	113

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Interceptor (EUA).....	4
Figura 2 - Anaconda 2.0 (EUA).....	5
Figura 3 - Eclipse (EUA & EAU).	5
Figura 4 - Protector (Israel).....	6
Figura 5 - KATANA (Israel).	6
Figura 6 - Espiral de Projeto de Harvey Evans (Evans, 1959).	7
Figura 7 – Fases do Projeto de Navio da empresa Deltamarine (Ship Design Process, 2018).....	8
Figura 8 - Fases de Projeto de Navio das empresas Howaldtswerke-Deutsche Werft e Blohm&Voss (Lérias, 2005).....	9
Figura 9 - Fases de Projeto de Navio (d'Oliveira, 1964).	9
Figura 10 - Fases de Projeto de Navio (Salvado, Projeto Naval - Proposta de Léxico, 2004).	9
Figura 11 - Fases de Projeto de Navio (Lérias, 2005).	10
Figura 12 - Funções da Marinha Portuguesa.....	14
Figura 13 - Região SAR sob responsabilidade do Estado português (Conceito Estratégico Naval, 2015).....	19
Figura 14 - Ilustração do Coeficiente de Bloco (Dokkum, 2003).	33
Figura 15 - Modelo adaptado para dimensionamento inicial (Andrews, 1985).	35
Figura 16 - Navio em flutuação (Dokkum, 2003).....	41
Figura 17 - Desenho no Solidworks® do painel de popa.	43
Figura 18 - "Loft" que une os desenhos dos diferentes planos.....	44
Figura 19 - Modelo final do casco do VENT-SUP-EN.	44
Figura 20 - Plano geométrico e o valor das coordenadas a retirar no SolidWorks® na posição X = 2,2.	46
Figura 21 - Modelação no Modelmaker® na posição 1.8a.	47
Figura 22 - Interface do AutoHydro® para inserir os dados solicitados.....	47
Figura 23 - 1º modelo autoendireitante do VENT-SUP-EN.	50
Figura 24 - 2º modelo autoendireitante do VENT-SUP-EN.	51

Figura 25 - Modelação no SolidWorks® do possível modelo final do VENT-SUP-EN.	52
Figura 26 - Modelação no ModelMaker® do possível modelo final do VENT-SUP-EN. .	52
Figura 27 - Ilustração dos tanques de combustível de estibordo (1) e de bombordo (2).	58
Figura 28 - Tanque de bombordo e suas dimensões [m]......	58
Figura 29 - Esquema de conversão de energia em impulso. Adaptado de: (Molland, Turnock, & Hudson, Ship Resistance and Propulsion: Practical Estimation of Ship Propulsive Power , 2011).....	61
Figura 30 – “Deadrise angle” obtido a partir do AutoPower®.	62
Figura 31 - Vista frontal do VENT-SUP-EN.	76
Figura 32 - Vista lateral do VENT-SUP-EN.....	77
Figura 33 - Vista de ré do VENT-SUP-EN.....	77
Figura 34 - Vista de cima do VENT-SUP-EN.	78
Figura 35 - Representação do VENT-SUP-EN com equipamentos.	78

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Equipamentos e sensores do VENT-SUP-EN.....	24
Tabela 2 - Características gerais e sua importância.	27
Tabela 3 - Matriz para seleção do tipo de casco	28
Tabela 4 - Base de dados com características dos VENT-SUP's.....	32
Tabela 5 - Coeficientes de forma.....	34
Tabela 6 - Principais características do VENT-SUP-EN.	38
Tabela 7 - Posição do centro de gravidade do casco.	45
Tabela 8 - Valores de GZ obtidos a partir do AutoHydro®.....	48
Tabela 9 - Posição dos centroides dos diferentes equipamentos e sensores relativamente à origem do navio.	54
Tabela 10 - Posição do centro de gravidade do VENT-SUP-EN e deslocamento total...	55
Tabela 11 - Valores de GZ obtidos a partir do AutoHydro®.	56
Tabela 12 - Valores de GZ com 90% de combustível.....	59
Tabela 13 - Estimativa de custos para o VENT-SUP-EN.....	73
Tabela 14 - Principais características do VENT-SUP-EN.	78

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Efeito das alterações das configurações nas dimensões do VENT-SUP-EN.	39
Gráfico 2 - Curva do braço endireitante do casco do VENT-SUP-EN.....	48
Gráfico 3 - Curva do braço endireitante do VENT-SUP-EN.....	57
Gráfico 4 - Diminuição da curva do braço endireitante do VENT-SUP-EN devido ao efeito dos espelhos líquidos.	59
Gráfico 5 - Gráfico de Resistência Vs. Velocidade do VENT-SUP-EN obtido a partir do AutoPower®.....	63
Gráfico 6 - Gráfico de Resistência Vs. Velocidade do VENT-SUP-EN obtido a partir do Excel com uma linha de tendência.	64
Gráfico 7 - Curva de Resistência Vs. Velocidade de uma embarcação com casco planante. Adaptado de: (Blomberg & Gross, 2014).	65
Gráfico 8 - Curva de Resistência Vs. Velocidade de uma embarcação com casco planante. Adaptado de: (Ladd, 1976).	65
Gráfico 9 - Curva de Resistência Vs. Número de Froude para diferentes tipos de casco. Adaptado de: (Thomas, 2015).	66
Gráfico 10 - Gráfico de Potência Vs. Velocidade do VENT-SUP-EN obtido a partir do AutoPower®.....	67
Gráfico 11 - Gráfico de Potência Vs. Velocidade do VENT-SUP-EN obtido a partir do Excel com uma linha de tendência.	68
Gráfico 12 - Curva de Potência Vs. Velocidade de uma embarcação com casco planante. Adaptado de: (Blomberg & Gross, 2014).	68
Gráfico 13 - Impacto de cada grupo funcional no peso final do VENT-SUP-EN.	74
Gráfico 14 - Impacto de cada grupo funcional no volume final do VENT-SUP-EN.....	75
Gráfico 15 - Impacto de cada grupo funcional no custo final do VENT-SUP-EN.	75

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

1TEN - Primeiro-Tenente

ASuW - *Anti-Surface Warfare*

ASW - *Anti-Submarine Warfare*

B – Boca

B - Centro de carena

C_B - Coeficiente de Bloco

CEN - Conceito Estratégico Naval

CFR - Capitão-de-Fragata

CINAV - Centro de Investigação Naval

CMG - Capitão-de-Mar-e-Guerra

D – Pontal

EAU - Emirados Árabes Unidos

ECN - Engenheiro Construtor Naval

EMA - Estado Maior da Armada

EUA - Estados Unidos da América

EW - *Electronic Warfare*

F_N - Número de Froude

G - Centro de gravidade

g – Aceleração gravítica

GZ - Braço endireitante

I&D - Investigação e Desenvolvimento

ISR - *Intelligence, Surveillance and Reconnaissance*

L – Comprimento

LCG - Posição longitudinal do centro de gravidade

m_c - Massa do combustível

MCM - *Mine Countermeasures*

m_{est} - Massa da estrutura

m_m - Massa do motor

Nm - Milhas náuticas

OTAN - Organização do Tratado do Atlântico Norte

p.v.f. - *Payload volume fraction*

PAPS - *Phased Armaments Programming System*

p_m - *Payload da massa*

PMG - *Programme Management Framework*

p_v - *Payload do volume*

RIEAM - Regulamento Internacional para Evitar Abalroamentos no Mar

rpm - Rotações por minuto

SWATH - *Small Waterplan Area Twin Hull*

T – Calado

TCG - Posição transversal do centro de gravidade

UE – União Europeia

USS - *United States Ship*

UUV - *Unmanned Underwater Vehicle*

V_c - Volume de combustível

VCG - Posição vertical do centro de gravidade

VENT-SUP - Veículo Não Tripulado de Superfície

VENT-SUP-EN - Veículo Não Tripulado de Superfície para a Escola Naval

V_{est} - Volume da estrutura

V_m - Volume do motor

V_T - Volume total

ZEE - Zona Económica Exclusiva

∇ - Volume de Deslocamento

Δ – Deslocamento

ΔT - Deslocamento total

ρ - Densidade da água do mar

ρ_c - Densidade do combustível

ρ_p - Massa específica da plataforma

Introdução

Devido às exigentes, perigosas e complexas missões que são atribuídas às Forças Armadas, pondo muitas vezes em risco a vida dos militares que as cumprem, é necessário desenvolver meios e formas de minimizar tais riscos. Desta forma, associado ao grande desenvolvimento tecnológico na área da robótica móvel surgem os veículos não tripulados capazes de cumprir diversas missões sem ser necessária a presença humana. No que refere às Marinhas militares, aplicam-se mais diretamente os veículos não tripulados de subsuperfície e os veículos autónomos de superfície, ambos orientados para desempenharem missões distintas. Visto que a Marinha Portuguesa ainda não possui veículos autónomos de superfície, neste trabalho será elaborado o projeto conceptual de um veículo deste tipo para a Marinha Portuguesa.

Este veículo não tripulado, designado Veículo Não Tripulado de Superfície da Escola Naval – VENT-SUP-EN, faz parte da estratégia de aprendizagem orientada para o projeto em desenvolvimento na Escola Naval, colocando desafios particulares relacionados ao amplo espectro do conceito de operações, tais como operações de guerra de minas, operações proteção de força e proteção portuária, operações de busca e salvamento, operações de levantamentos hidrográficos. Todas essas operações exigem missões e tarefas diferentes e desafiadoras, às quais o projeto conceptual do VENT-SUP-EN responderá em termos de estudos de viabilidade e possíveis configurações.

O principal objetivo deste trabalho é abordar os desafios que o conceito de operações e especificações técnicas correspondentes colocam no projeto do VENT-SUP-EN e mostrar como superá-los, tornando o estudo e a análise necessários para a auxiliar à decisão futura de produção de um protótipo a partir do projeto conceptual.

1. Estado da Arte

Os VENT-SUP são utilizados em diversas operações militares desde a altura da 2ª Guerra Mundial, começando por serem usados para obter amostras de água para efetuar testes de radioatividade após testes com bombas atómicas (Graham, 2008). Uns anos antes da 2ª Guerra Mundial, os VENT-SUP eram maioritariamente usados como alvos para treino e exercícios de artilharia. Nos anos posteriores a 1970, começaram a desempenhar funções de limpeza de minas pois reduzia o risco a efetuar tais operações (Martin, 2011). A partir de 1990, com os avanços e desenvolvimentos tecnológicos houve um grande interesse em desenvolver VENT-SUP para desempenharem operações de vigilância e patrulhamento costeiro e operações de combate ao terrorismo (Yan, Pang, Sun, & Pang, 2010). Nos dias de hoje tem surgido a questão de que se deverá produzir um maior número de VENT-SUP cada um orientado para uma determinada missão, ou por outro lado, se deve ser desenvolvido um menor número de VENT-SUP, mas com capacidade para efetuar diversas missões. Atualmente, existem diversos tipos de VENT-SUP utilizados por forças armadas de diversos países com capacidade de efetuar um elevado número de operações, onde se destacam as seguintes (Yan, Pang, Sun, & Pang, 2010), (Graham, 2008), (Martin, 2011):

- Guerra de minas (MCM – *Mine Countermeasures*);
- Guerra anti-submarina (ASW – *Anti-Submarine Warfare*);
- Guerra anti-superfície (ASuW – *Anti-Surface Warfare*);
- Guerra eletrónica (EW - *Electronic Warfare*);
- Inteligência, Pesquisa e Reconhecimento (ISR – *Intelligence, Surveillance and Reconnaissance*);
- Busca e salvamento marítimo;
- Anti-terrorismo.

Este amplo espetro de operações pode ser ainda subdividido em um grande número de diferentes missões mais específicas.

Por forma a tomar um ponto de partida e conseguir obter uma ideia inicial quer do formato quer do tipo de veículo que poderá ser o VENT-SUP-EN, efetuou-se uma breve pesquisa inicial que tem por base conseguir obter informações de veículos não tripulados de superfície já existentes em forças armadas de outros países. A par desta pesquisa, foi encontrado um trabalho com muito interesse, pois no fundo, relata o desenvolvimento de um projeto conceptual de um VENT-SUP para a Marinha da Suécia (Blomberg & Gross, 2014).

Alguns países já possuem muito conhecimento e grandes desenvolvimentos na produção e utilização de VENT-SUP nas suas forças armadas, como é o caso dos Estados Unidos da América (EUA) e de Israel. Por exemplo, os EUA desenvolveram no ano de 2006 o *Interceptor*, um navio com 6,5 metros de comprimento que pode atingir velocidades até 48 nós e que foi projetado para desempenhar operações de segurança, tal como operações de proteção de forças e proteção portuária (NavalDrones, 2018).



Figura 1 - *Interceptor* (EUA)

Um dos mais recentes e mais sofisticados VENT-SUP desenvolvidos pelos EUA foi o *Anaconda 2.0*, com 10 metros de comprimento e capaz de atingir uma velocidade de 50 nós este navio foi projetado para desempenhar operações de ISR; MCM e ASW, cujas principais missões são de controlo marítimo e combate ao terrorismo (Heo, Kim, & Kwon, 2017).



Figura 2 - *Anaconda 2.0* (EUA).

O VENT-SUP que se segue foi desenvolvido pelos EUA a par com os Emirados Árabes Unidos (EAU), fala-se do *Eclipse*, um navio com 11 metros de comprimento capaz de atingir velocidades de 60 nós. Este navio tem a capacidade de efetuar diferentes operações, entre elas operações de busca e salvamento marítimo e operações de proteção de forças e proteção portuária (Viau, 2013).



Figura 3 - *Eclipse* (EUA & EAU).

Israel também é um país com um grande desenvolvimento na área de veículos autónomos, incluindo os de superfície. O primeiro VENT-SUP a ser desenvolvido em Israel foi o *Protector* com 9 metros de comprimento e com capacidade de atingir velocidades de 50 nós, pesando apenas 4 toneladas. É um veículo bastante versátil pois possui a capacidade de efetuar diversos tipos de operações, entre elas: proteção de força e proteção portuária, ISR, MCM, ASW, ASUW, EW (Viau, 2013).



Figura 4 - *Protector* (Israel).

Um outro VENT-SUP desenvolvido em Israel foi o *KATANA* com 12 metros de comprimento e um deslocamento de cerca de 7 toneladas, este navio é capaz de atingir velocidades máximas na ordem dos 60 nós. As principais funções deste navio são desempenhar operações de busca e salvamento marítimo, ISR, proteção da zona económica exclusiva (ZEE), proteção portuária e patrulhamento das zonas costeiras (Homeland Security, 2018).



Figura 5 - *KATANA* (Israel).

Existem ainda muitos outros VENT-SUP's construídos e a desempenhar funções militares em Forças Armadas de diversos países e também muitos projetos a serem desenvolvidos. Esta breve pesquisa servirá como uma base de ideias de possíveis missões que o VENT-SUP-EN poderá desempenhar e também ter ideia das dimensões e formato geométrico que poderá vir a ter.

2. Enquadramento Teórico

Neste trabalho, será elaborado o projeto conceptual do VENT-SUP EN, como tal deverão ser clarificados alguns conceitos ligados a esta área que muitas vezes quando traduzidos da língua inglesa para a língua portuguesa, podem gerar alguma confusão nos conceitos. Na área de Construção Naval, utiliza-se com bastante frequência duas palavras em inglês, são elas “*project*” e “*design*”. Ambas as palavras são traduzidas pela maioria das pessoas para “projeto” (Lérias, 2005), contudo têm significados diferentes. “*Design*” envolve um conjunto de cálculos, planos e desenhos que mostram a função e aparência de um objeto – no presente contexto um navio ou veículo marítimo - antes de ser produzido. “*Project*” é um plano muito mais completo e complexo, incluindo o “*design*” e ainda considerações de custos, tempo de produção, recursos humanos, etc.

O projeto de um navio é uma atividade complexa e desafiadora, e não é uma ciência exata, mas sim uma combinação de métodos analítico-empíricos utilizados com sucesso em projetos anteriores (Molland, *The Maritime Engineering Reference Book - A Guide to Ship Design, Construction and Operation*, 2008), que exige um grande espectro de conhecimento em diversas áreas científicas, combinado com um processo iterativo que leva os projetistas a pensar no mesmo detalhe diversas vezes. Este processo iterativo, é denominado por “Espiral de Projeto” (Evans, 1959).

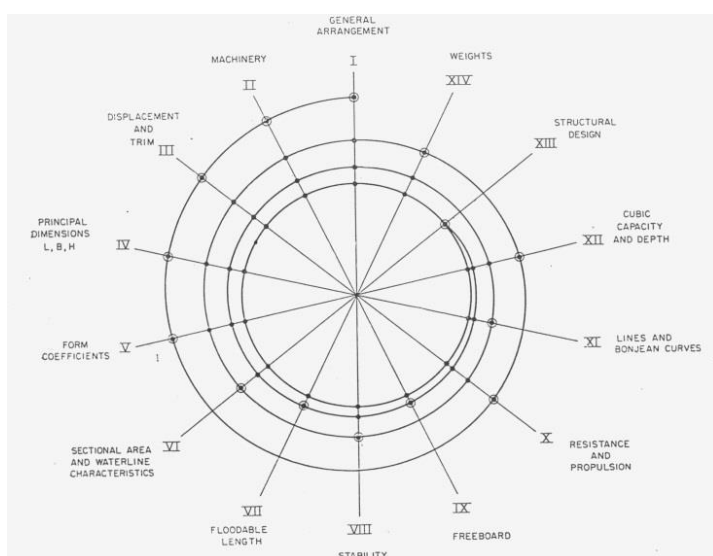


Figura 6 - Espiral de Projeto de Harvey Evans (Evans, 1959).

É na fase do projeto que são materializadas as características e propriedades que satisfazem os requisitos requeridos pelo utilizador final e são elaborados os planos que definem o navio a construir. Por vezes esses requisitos podem ser antagónicos entre si, ou seja, para satisfazer um determinado requisito, não se poderá satisfazer um outro requisito. Por esta razão, é imperativo ponderar de forma consciente todos os fatores pertinentes e que a progressão nesta fase seja feita com passos seguros de modo a chegar a soluções equilibradas (d'Oliveira, 1964).

No que toca aos programas de conceção e obtenção de meios militares, os órgãos da Marinha Portuguesa responsáveis por estes programas têm adotado como referência a publicação da OTAN AAP-20 denominada por PAPS - *Phased Armaments Programming System* - (Lérias, 2005). Estes programas estão divididos em diversas etapas: Projeto Pré-Conceptual, Projeto Conceptual, Desenvolvimento, Produção, Utilização, Suporte e Abate (North Atlantic Treaty Organization, 2010). A publicação AAP-20 da OTAN mais recente, refere-se ao ano de 2015, e apesar de mudar o nome para AAP-20 PMG – *Programme Management Framework* – as diferentes etapas de um programa de aquisição de meios militares não se alteram (North Atlantic Treaty Organization, 2015). Contudo, no que toca ao projeto de navio, cada organização utiliza uma estrutura própria, não existindo assim uma estrutura de trabalho *standard* ou padronizada.

Por exemplo, a empresa *Deltamarine* – empresa de construção naval - por forma a garantir que o produto chega ao consumidor com a maior qualidade possível, elaborou uma estrutura de trabalho própria a qual engloba todas as fases e disciplinas de um projeto de navio (Ship Design Process, 2018). Na figura 7 apresenta-se a estrutura de trabalho do projeto de navio utilizado na *Deltamarine*.

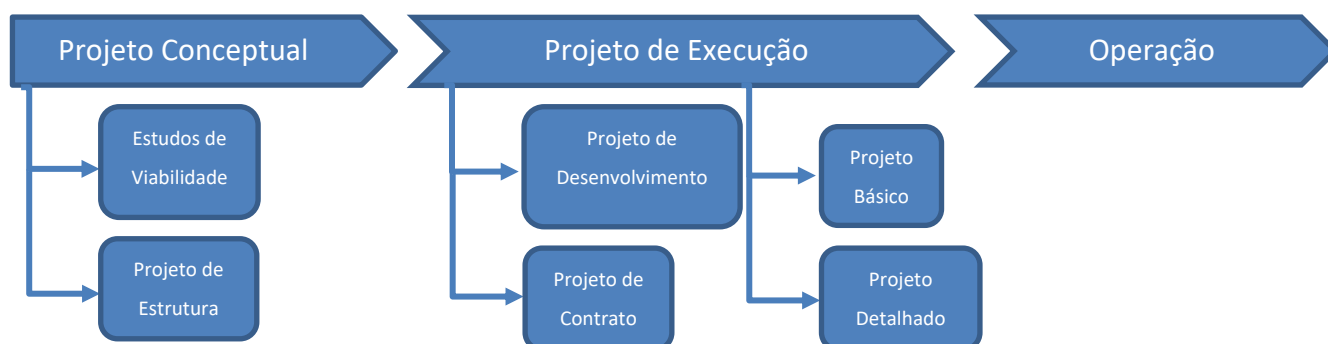


Figura 7 – Fases do Projeto de Navio da empresa *Deltamarine* (Ship Design Process, 2018)

As empresas alemãs *Howaldtswerke-Deutsche Werft* e *Blohm&Voss* utilizam outra estrutura de trabalho:



Figura 8 - Fases de Projeto de Navio das empresas *Howaldtswerke-Deutsche Werft* e *Blohm&Voss* (Lérias, 2005)

“A nossa marinha não tem um léxico consolidado nesta matéria” (Salvado, Projeto Naval - Proposta de Léxico, 2004). A última estrutura de trabalho definida era referente ao ano de 1964, quando o CFR ECN Rogério d’Oliveira descreveu na sua publicação *“Elementos de Arquitetura Naval – Vol. I”*.



Figura 9 - Fases de Projeto de Navio (d’Oliveira, 1964).

Em 2004, o CMG ECN Cunha Salvado elabora uma proposta de faseamento para a Marinha Portuguesa que traduzia a realidade em uso e recuperava uma terminologia com tradição (Salvado, Projeto Naval - Proposta de Léxico, 2004). O faseamento proposto por Cunha Salvado era o seguinte:



Figura 10 - Fases de Projeto de Navio (Salvado, Projeto Naval - Proposta de Léxico, 2004).

Contudo, com o passar dos anos, o avanço das tecnologias tanto a nível de ferramentas de cálculos e de simulação, como de técnicas e materiais de construção, tem-se vindo a adotar – ao nível do projeto – procedimentos mais iterativos, rigorosos e refinados (Lérias, 2005). Como tal foi necessário renovar o conceito de projeto de navio e reformular a estrutura de trabalho, então, em 2005, o CMG ECN Rapaz Lérias, definiu um conceito renovado do projeto de navio, tendo como bases o programa de conceção e obtenção de meios militares da OTAN, as fases do projeto de navio no contexto nacional (definidas anteriormente por CALM ECN Rogério S. d’Oliveira, em 1964) e as fases de projeto naval no âmbito da atualidade europeia (Lérias, 2005).

A estrutura de trabalho proposta neste conceito renovado de projeto naval apresenta-se na figura 11.

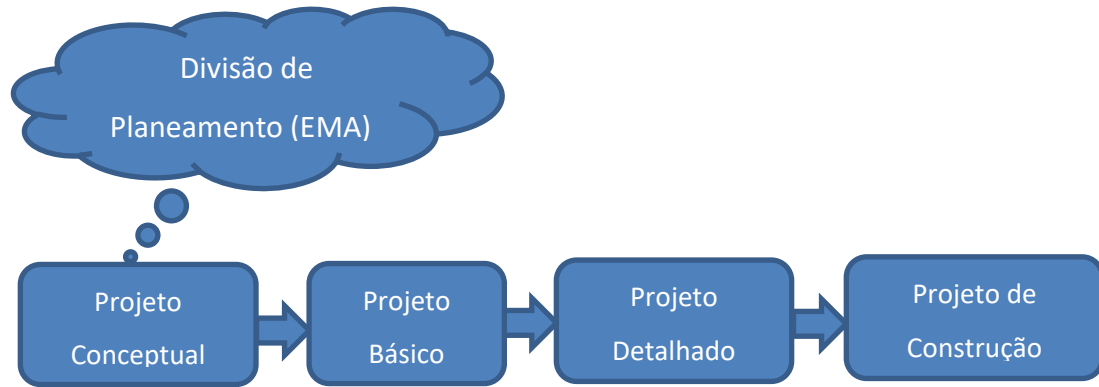


Figura 11 - Fases de Projeto de Navio (Lérias, 2005).

Por forma a seguir uma estrutura de trabalho mais actualizada e adaptada à realidade da nossa Marinha, optou-se por seguir a estrutura proposta pelo CMG ECN Rapaz Lérias.

Importa referir que apesar de existirem diversas fases de projeto, não significa que exista uma separação fixa entre elas, podendo haver por vezes uma sobreposição das fases.

O trabalho desenvolvido nesta dissertação insere-se na fase do “Projeto Conceptual”. O projeto conceptual do navio poderá ser dividido em dois estudos:

- Estudos de Pré-viabilidade, onde se procede à elaboração e avaliação de conceitos técnicos por forma a satisfazerem os objetivos operacionais;
- Estudos de viabilidade, onde se faz uma avaliação detalhada dos conceitos técnicos mais promissores, por forma a identificar uma alternativa exequível do ponto de vista técnico. (Lérias, 2005)

Esta fase tem por objetivo terminar com diversas peças escritas ou desenhadas, tais como:

- Avaliação e interpretação dos requisitos operacionais e técnicos;
- Seleção preliminar de armas e sensores;
- Lista dos principais sistemas e equipamentos;
- Estimativa de pesos e volume;
- Esboço do plano geométrico (forma do casco);

- Estimativa de estabilidade;
- Estimativa de velocidades e de potência.

3. Conceito de Emprego

Para se dar início ao projeto de um navio, é essencial possuir uma lista das necessidades requeridas pelo utilizador final. No caso deste projeto, o utilizador final do VENT-SUP-EN será a Marinha Portuguesa. Como tal, a Divisão do Planeamento do Estado Maior da Armada, sugeriu que é do interesse para a Marinha Portuguesa possuir um VENT-SUP, pois Portugal possui uma vasta área de espaços marítimos sob sua soberania que “...ocupam uma área superior a 1,7 milhões de km², correspondente a quase 19 vezes a área do território nacional...” (Conceito Estratégico Naval, 2015), e é responsável por garantir a segurança e autoridade nesses espaços. Para além do interesse nacional, Portugal é ainda um país europeu e atlântico e membro de diversas alianças, tais como OTAN e UE. Como tal, é do interesse nacional a cooperação e fortalecimento de laços com as suas alianças e parcerias, nomeadamente na assistência militar, incluindo em particular, o emprego de um VENT-SUP.

Aliado às necessidades de um VENT-SUP para a Marinha Portuguesa, é de interesse para a Escola Naval e para o CINAV colaborar no projeto de desenvolvimento e construção desse veículo, pois é um aliciante e enriquecedor desafio interdisciplinar que poderá contribuir para a formação dos seus alunos. A materialização deste projeto por parte da Escola Naval, desenvolve-se numa perspetiva de “*Project Based Learning*” a qual procura em preservar valores, metodologias, conhecimento e resultados obtidos durante o desenvolvimento do projeto, por forma a que toda a informação relacionada com o projeto não se perca e sirva como base ou ponto de partida para se continuar com o desenvolvimento do projeto de forma transversal envolvendo toda a comunidade académica. Assim sendo, o CINAV elaborou uma listagem de diversas áreas modulares que poderão contribuir para o arranque deste projeto. Apresentam-se alguns dos temas propostos:

- Conceito de emprego;
- Requisitos Operacionais;
- Projeto Conceptual (Estudos de pré-viabilidade e estudos de viabilidade);
- Projeto Básico;

- Arquitetura Robótica e Interoperabilidade;
- Marinharia e Aparelho;

Esta dissertação insere-se na área de “Projeto Conceptual”.

Para que Portugal possa fazer o uso do vasto mar sobre o qual detém soberania e/ou responsabilidades, são atribuídas à Marinha Portuguesa diversas funções, designadamente defesa militar e apoio à política externa, segurança e autoridade do Estado, e desenvolvimento económico, científico e cultural (Conceito Estratégico Naval, 2015).



Figura 12 - Funções da Marinha Portuguesa.

3.1. Requisitos Operacionais

Uma das fases do projeto conceptual -já mencionadas no capítulo 2- é a “avaliação e interpretação dos requisitos operacionais e técnicos”, e para que tal aconteça, antes de dar início ao projeto conceptual, estes requisitos já deveriam estar definidos e bem consolidados. Acontece que quando se deu início ao projeto conceptual do VENT-SUP-EN, os requisitos operacionais não estavam bem clarificados.

A Divisão de Planeamento do EMA apenas tinha elaborada uma vasta lista com diversas operações onde os VENT-SUP’s poderiam colaborar nas diversas ações desempenhadas pela Marinha Portuguesa. Essa lista contempla as seguintes operações:

- Operações anfíbias;
- Operações de guerra anti-submarina;
- Operações de guerra de minas;
- Operações de guerra de superfície;
- Operações de proteção de força e proteção portuária;
- Operações de recolha de dados ambientais;
- Operações de busca e salvamento marítimo;
- Operações de vigilância, fiscalização e segurança marítima;
- Operações de guerra antiaérea;
- Operações de guerra eletrónica;

Conforme dito anteriormente, este projeto conta com a parceria do CINAV, o qual à semelhança do EMA, definiu algumas operações em que o VENT-SUP-EN poderá ser útil às necessidades da Marinha Portuguesa:

- Operações de proteção de força e proteção portuária;
- Monitorização de desastres ambientais;
- Operações de guerra anti-minas;
- Operações de levantamento hidrográfico;
- Operações de busca e salvamento;
- Plataforma de ensaios ao ar livre.

O ideal será sempre que o navio consiga satisfazer todas as necessidades do utilizador, contudo poderá haver por vezes incoerência e sobreposição entre as exigências impostas. Neste caso em específico, verifica-se que as operações solicitadas tanto pelo EMA como pelo CINAV não foram bem consolidadas, pois existe uma grande variedade de operações pretendidas, sendo previsível que não seja viável e aceitável que uma só plataforma consiga cumprir com um tão vasto espetro de operações, pois quanto maior for o número de operações, maior será o número de equipamentos e atuadores a embarcar na plataforma, o que culminará com um veículo de grandes dimensões e eventualmente de custos incontroláveis. Assim sendo, para poder dar início ao projeto

conceptual, foi necessário fazer alguma análise e reflexão, e assumir quais as operações consideradas mais adequadas e exequíveis para o VENT-SUP-EN. Tomou-se como ponto de partida apenas as operações sugeridas pelo CINAU, contudo após uma breve pesquisa sobre veículos autônomos de superfície já existentes, descartou-se a possibilidade do VENT-SUP-EN efetuar as operações de “Monitorização de desastres ambientais” e de “Guerra anti-minas”.

As operações de monitorização de desastres ambientais, inserem-se na missão de Combate à Poluição, e esta área é muito vasta, existindo um grande número de desastres possíveis, como por exemplo, o combate à poluição do mar por hidrocarbonetos. Esta missão exige um grande número de equipamentos e acessórios que facilmente avariam e.g. tubos hidráulicos que podem rebentar; entupimento da bomba de aspiração com detritos. Estas avarias podem ser rapidamente reparadas, contudo é necessária a ação humana, o que obrigaria a presença de um homem a bordo, deixando o veículo de ser autônomo na extensão em que foi pensado. Para além deste problema seria ainda necessário considerar a existência de tanques de capacidade relevante, a bordo para receber o produto poluente que é retirado da água, cuja consequência seria um aumento das dimensões do veículo para além do desejável para ser facilmente transportável.

No que toca às operações de “Guerra anti-minas”, existem já vários VENT-SUP’s noutras marinhas com esta capacidade, contudo estão sempre aliados a um UUV (*Unmanned Underwater Vehicle*). Apesar de a nossa Marinha possuir UUV’s, o que seria uma vantagem conseguir conjuga-los com o VENT-SUP-EN, teria de ser criada a capacidade para o VENT-SUP-EN lançar, recolher e transportar um UUV. Esta opção exigiria um grande aumento da capacidade de carga, de espaço no VENT-SUP-EN e de complexidade o que leva a ter que descartar este tipo de missão.

Para além das operações sugeridas pelo CINAU, considerou-se ainda a operação de “recolha de dados ambientais”, pois é uma operação que apesar de exigir um elevado número de equipamentos, esses equipamentos são de pequenas dimensões e de reduzida massa.

Posto isto, ficaram definidas que as operações a desempenhar pelo VENT-SUP-EN serão:

- Operações de proteção de força e proteção portuária;
- Operações de levantamento hidrográfico;
- Operações de busca e salvamento;
- Operação de recolha de dados ambientais;
- Plataforma de ensaios (real e no meio marítimo para complemento aos laboratórios e à simulação).

Uma vez identificadas as operações a serem desenvolvidas pelo VENT-SUP-EN, é necessário avaliar e interpretar cada operação, clarificando as tarefas a desenvolver em cada operação, assim como os equipamentos necessários para desempenhar as operações exigidas.

Antes de começar por procurar os equipamentos para cada tipo de operação, importa referir que existem alguns equipamentos que são essenciais para a navegação de qualquer plataforma, podendo também ser importantes para uma operação em específico. Esses equipamentos são os seguintes: RADAR, GPS, GNSS e baterias.

3.1.1. Proteção de força e proteção portuária

As zonas portuárias são geralmente caracterizadas por serem zonas de grandes dimensões e com uma grande densidade de atividades, sejam elas comerciais, turísticas, industriais ou de negócios. Associado a esta elevada densidade de atividades, existem diversas formas de chegar a estes locais: por água (através de canais de navegação) ou por terra (estradas ou ferrovias) (Radu, Slamnoiu, & Zarnescu). A presença de tanta atividade concentrada numa zona com tão fáceis acessos, tornam esse local um potencial alvo para ataques terroristas. Portugal, apesar de ser considerado um país com elevados níveis de segurança, não poderá descurar a possibilidade de tentativas de atos terroristas, pois possui vários locais ao longo da sua costa com as características definidas anteriormente. Assim sendo, é um dos objetivos estratégicos navais *“Assegurar a*

componente naval da defesa militar do território nacional, garantindo a dissuasão credível necessária à manutenção da integridade do território, a segurança da circulação interterritorial de pessoas e bens, a afirmação no mar da soberania nacional e da defesa dos interesses nacionais” e ainda a “defesa militar própria e autónoma, que inclui a dissuasão militar, a legítima defesa e a resistência em caso de invasão do território nacional” (Conceito Estratégico Naval, 2015). Será então pertinente que a Marinha Portuguesa tenha em sua posse meios para prevenir possíveis ataques vindo pelo lado marítimo, onde se poderá enquadrar o emprego do VENT-SUP-EN.

Para além de ataques terroristas ao território nacional, os navios da nossa Marinha são por vezes destacados para missões em zonas de conflitos, razão pela qual deverão ser protegidos nesses locais. Em acréscimo, os navios da Marinha Portuguesa são considerados um símbolo e uma extensão do território nacional, podendo por isso serem potenciais alvos de atos terroristas, como foi o caso do USS Cole que no ano de 2000 sofreu um ataque terrorista enquanto estava atracado num porto do Iémen (Radu, Slamnoiu, & Zarnescu).

Posto isto, é necessário definir quais as tarefas que o VENT-SUP-EN deverá desempenhar nas operações de proteção de força e proteção portuária:

- Detecção de contactos de superfície ou subsuperfície;
- Seguimento automático de contactos;
- Recolha de informação, vigilância e reconhecimento tático e operacional;
- Capacidade de dissuasão.

Para efetuar as tarefas descritas anteriormente, será importante o VENT-SUP-EN estar apetrechado com diversos equipamentos, entre os quais um sonar lateral, e um sonar por forma a ter a capacidade de deteção de contactos de subsuperfície, recolher informação e efetuar o reconhecimento tático e operacional; uma câmara de infravermelhos ou eletro-ótica, por forma a detetar e seguir automaticamente contactos à superfície, recolher informação e efetuar o reconhecimento tático e operacional; uma arma ligeira para o VENT-SUP-EN ter a capacidade de efetuar disparos de aviso, ou em

casos mais extremos, ter a capacidade de destruir o alvo (Kessel, 2012).

3.1.2. Levantamentos hidrográficos

Conforme já dito, Portugal possui uma vasta área marítima sob sua soberania e responsabilidade, e a par desta situação, é missão da Marinha contribuir para a Investigação e Desenvolvimento Científico (Conceito Estratégico Naval, 2015), nomeadamente no estudo do fundo dos nossos mares, possibilitando efetuar posteriormente cartografia oceânica, ou descobrir a existência de recursos com interesse para Portugal.

Para que o VENT-SUP-EN possa desempenhar estas operações, será apetrechado com um sonar multifeixe e um sonar lateral.

3.1.3. Busca e salvamento

Segundo o nº2 do artigo 98º da Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar, todo o Estado costeiro deve promover o estabelecimento, funcionamento e a manutenção de um adequado e eficaz serviço de busca e salvamento que deverá ser capaz de responder às necessidades de assistência a pessoas em perigo no mar. Este serviço funciona 24 horas por dia, 7 dias por semana e 365 dias por ano, com uma área de 5,7 milhões de km², correspondente a cerca de 62 vezes a área do território nacional (Conceito Estratégico Naval, 2015).



Figura 13 - Região SAR sob responsabilidade do Estado português (Conceito Estratégico Naval, 2015).

Sendo Portugal um país de reduzida área, e com uma Marinha que apesar de sofrer de algumas limitações a nível de meios navais, consegue cumprir com sucesso os pedidos de ajuda que lhes são solicitados. Contudo, sendo um dos principais interesses para a Marinha, a salvaguarda da vida humana no mar, será sempre bem-vindo o auxílio de um meio que estenda as capacidades instaladas em determinados cenários e condições ambientais.

Assim sendo, será necessário definir quais as tarefas que o VENT-SUP-EN deverá desempenhar em operações de busca e salvamento:

- Detecção de contactos de superfície e subsuperfície;
- Seguimento automático de contactos;
- Transporte e meios de salvamento.

À semelhança da operação de proteção de força e proteção portuária anteriormente descrita, será importante o VENT-SUP-EN ser portador de sonares laterais e sonares de maneira a efetuar buscas subaquáticas. Para a deteção de contactos à superfície e seguimento desses mesmos contactos, poderá ser utilizada a mesma câmara que é utilizada para a proteção de força e proteção portuária. O VENT-SUP-EN estará ainda apetrechado com uma balsa salva-vidas que a poderá soltar quando se encontrar próximo de um conjunto de náufragos.

3.1.4. Recolha de dados ambientais

É importante para a população em geral conseguir saber uma previsão do estado do tempo para os dias seguintes, por forma a conseguirem planear a sua vida, o seu dia a dia. Para isto contribuem as estações meteorológicas que recolhem dados ambientais e permitem fazer uma previsão do estado do tempo para os dias seguintes, contudo, estas estações meteorológicas apenas existem em terra, ficando uma área marítima de grandes dimensões sem se conseguir obter nenhuma observação. A única maneira de saber os dados ambientais numa determinada zona é estar lá, e quem anda no mar são os navios. Só estes são capazes de obter dados ambientais no meio do mar, sendo por isso as nossas estações meteorológicas. Definiu-se então que para o VENT-SUP-EN

cumprir esta operação terá que:

- Recolher valores de temperatura da água e do ar;
- Recolher valores de humidade absoluta e relativa;
- Recolher dados de pressão atmosférica;
- Recolher valores de direção e intensidade do vento.

Os sensores que deverão ser instalados no VENT-SUP-EN para que ele consiga desempenhar as tarefas anteriormente descritas são: termómetro, higrómetro, barómetro e um anemómetro.

3.1.5. Plataforma de ensaios

O VENT-SUP-EN, poderá não ter apenas as capacidades operacionais descritas anteriormente. Poderá ser utilizado no âmbito da investigação e desenvolvimento científico (I&D) no domínio do mar, já que uma das funções da Marinha descritas no CEN é o desenvolvimento económico, científico e cultural. No âmbito desta função, a Marinha deverá contribuir para a investigação científica desempenhando atividades de apoio à formação de jovens e I&D disponibilizando meios (Conceito Estratégico Naval, 2015). Assim sendo, o VENT-SUP-EN poderá ser uma mais valia para o desenvolvimento no âmbito dos cursos da Escola Naval, privilegiando alguns trabalhos experimentais, como por exemplo a recolha de dados de posicionamento, aquisição de dados de velocidade e aceleração em seis graus de liberdade. Num âmbito mais amplo, todas as outras operações definidas anteriormente, poderão contribuir para estudos efetuados por alunos da Escola Naval.

3.2. Requisitos Técnicos

À semelhança do que aconteceu com os requisitos operacionais, antes de se iniciar o projeto conceptual os requisitos técnicos não estavam definidos. Sem nenhuma base de requisitos técnicos nem instruções dadas pelo utilizador final, foi necessário assumir e definir alguns dos requisitos técnicos mais importantes para o VENT-SUP-EN.

Assim, foi definido que no desenvolvimento deste projeto deve ter-se em conta que o VENT-SUP-EN poderá estar estivado em navios hospedeiros de diversas classes da Marinha Portuguesa, e ser operado a partir desses mesmos navios. Tal facto irá limitar a massa da plataforma, pois terá que ser lançada e recolhida por essas unidades navais, o que implica que a massa máxima que o VENT-SUP-EN poderá atingir, corresponde à menor das capacidades máximas das gruas de cada classe de navios. As dimensões do VENT-SUP-EN também serão limitadas de acordo com o espaço existente a bordo das diversas unidades navais, podendo ser necessário posteriormente, construir um novo berço adaptado à forma e dimensão do VENT-SUP-EN. Para ser transportado por terra, deverá ser igualmente projetado um reboque adaptado ao VENT-SUP-EN.

Para que o VENT-SUP-EN consiga desempenhar as suas operações nas águas da costa portuguesa, é desejável que as características do VENT-SUP-EN o permitam efetuar as suas operações com capacidade de sobrevivência em condições de mar “grosso”, estado de mar 5 na escala de *Douglas*, e condições de vento “muito fresco”, força 6 na escala de Beaufort. Estruturalmente, para que o VENT-SUP-EN consiga aguentar tais adversas condições, é de extrema importância que o seu casco seja construído com um material de elevada robustez, não esquecendo ainda que o meio marítimo é altamente corrosivo sendo por isso essencial que o material a utilizar seja de elevada resistência à corrosão.

Ainda associado às condições adversas em que o VENT-SUP-EN tem que operar, é desejável que o seu projeto e construção sejam desenvolvidos por forma a que lhe sejam atribuídas características autoendireitante. Pela experiência de vários projetos em que a Escola Naval está ou esteve envolvida, relativamente a veículos não-tripulados, que têm requisitos de operação em mar aberto, verifica-se os protótipos em geral, na realidade não podem operar autonomamente em mar aberto na costa portuguesa, face às exigentes características de mar. Assim neste projeto, para além das dimensões mais generosas que nos veículos já desenvolvidos nesses outros projetos, considerou-se ainda um requisito que não tinha sido abordado até agora, tanto quanto foi possível investigar, nestas plataformas a capacidade autoendireitante, que permite: maior probabilidade de

capacidade operacional em mar aberto e minimiza a perda de investimento efetuada no VENT-SUP-EN.

Também para que o VENT-SUP-EN consiga navegar nas condições de mar descritas anteriormente, o veículo deverá possuir uma estrutura robusta, não podendo ser de reduzidas dimensões e de reduzido deslocamento. Assim sendo, assumiu-se que a plataforma transportará sempre a carga necessária para desempenhar todas as operações descritas anteriormente, e desta forma o VENT-SUP-EN não será um navio modular, onde se poderia colocar e retirar equipamentos para uma determinada operação.

No âmbito das operações de busca e salvamento, esta embarcação deverá ser concebida por forma a transportar e lançar uma balsa salva-vidas de modo a prestar apoio até 4 náufragos. Para além desta restrição, a embarcação deverá prever a facilidade de 2 náufragos se erguerem facilmente para bordo e de se manterem na embarcação durante curtos períodos de tempo, nomeadamente do local dos náufragos até ao navio hospedeiro, ou até ao porto mais próximo.

Para que o VENT-SUP-EN possa navegar em áreas comuns com outros navios, este deverá possuir a iluminação prevista no RIEAM (Regulamento Internacional para Evitar Abalroamentos no Mar) para embarcações das suas características, ou aproximadas, e deste modo possa existir uma navegação segura (UK, 2017).

A autonomia e velocidade de um navio são dois dos requisitos técnicos mais importantes de um navio, e normalmente estão relacionados um com o outro. No caso do VENT-SUP-EN, como se trata de um veículo autónomo e poderão surgir falhas em diversos sistemas, é conveniente que este efetue as suas operações dentro de um raio que permita ter contacto visual com o local onde está a ser comandado (local em terra ou navio-mãe) e também dentro de um raio que permita efetuar comunicações e transmissão de dados (10 a 15 milhas náuticas). As operações de busca e salvamento marítimo e de proteção de força e proteção portuária são missões que exigem ao VENT-SUP-EN a capacidade de atingir elevadas velocidades, sendo desejável que este consiga

efetuar estas operações com uma velocidade que ronde os 35 nós. No que toca à autonomia, será desejável que o VENT-SUP-EN tenha a capacidade de efetuar no mínimo duas operações a partir do local de comando. Assim sendo terá que percorrer 4 x 15 milhas o que dá uma distância total de 60 milhas, sendo desejável que possua uma autonomia até 4 horas.

Já definidos os requisitos operacionais e técnicos, e uma vez identificados os equipamentos e sensores necessários para que o VENT-SUP-EN consiga cumprir as suas missões, fez-se uma pesquisa no mercado dos vários equipamentos e sensores identificados anteriormente. Por forma a conseguir ter uma maior noção das massas e volumes dos equipamentos e sensores, pesquisou-se entre 2 a 3 do mesmo tipo, e escolheu-se o que possui menor massa específica. No Apêndice A encontra-se uma matriz com a seleção dos equipamentos.

Na tabela 1 encontram-se os equipamentos e sensores que irão equipar o VENT-SUP-EN, juntamente com a sua massa e volume.

Tabela 1 - Equipamentos e sensores do VENT-SUP-EN

EQUIPAMENTO	MODELO	Massa [kg]	Volume [m ³]
RADAR	Raymarine Quantum	5.600	0.193
GPS	SA-320	0.240	0.001
GNSS	GNSS-802	0.507	0.005
BATERIAS	AGM 12/70	21.500	0.011
SONAR LATERAL	starfish 450H	1.100	0.001
SONAR	SeaBat T50-P	27.600	0.035
CAMARA IR/EO	FLIR MV/UM	27.200	0.369
ARMA LIGEIRA	Samsung SGR-A1	117.000	0.288
BALSA	DSB	28.000	0.091
TERMÓMETRO	Corintech WiFi-T	0.060	0.000
HIGRÓMETRO	HUM1000_0	0.010	0.000
BARÓMETRO	AB 100	0.080	0.000
ANEMÓMETRO	GWS™ 10	0.275	0.023
TOTAL		229.72	1.017

Por forma a verificar se existe alguma das operações definidas para o VENT-SUP-

EN que tenha uma grande influência na massa e volume final a embarcar, efetuou-se uma matriz (apresentada no Apêndice A2) onde se correlaciona o número de equipamentos e sensores necessários para cada operação, e a média das massas específicas desses equipamentos. Importa referir que os sensores indicados para as operações de recolha de dados ambientais, foram também indicados como sendo importantes para as outras operações, uma vez que é sempre importante ter os dados meteorológicos atualizados. Com esta correlação, foi possível verificar que não há nenhuma operação que se sobressai por possuir uma densidade de equipamentos e sensores muito elevada em relação às outras.

4. Seleção do tipo de casco e Seleção de material

Para selecionar qual a melhor forma do casco a utilizar no VENT-SUP-EN, é necessário lembrar que lhe são exigidas velocidades elevadas. Assim sendo, apenas poderão ter interesse cascos que permitam ao veículo chegar a essas velocidades, descartando assim alguns tipos de casco e.g. de deslocamento ou os em forma de “U”. São então selecionados alguns tipos de casco característicos para altas velocidades:

- Planante;
- Semi-planante;
- *Hydrofoil*;
- Multicasco;
- *Small Waterplane Twin Hull (SWATH)*.

De modo a decidir qual o tipo de casco, dos identificados anteriormente, melhor se adequa ao projeto de desenvolvimento do VENT-SUP-EN, identificaram-se algumas características gerais identificadas na tabela 2, atribuindo-lhes um determinado grau de importância, onde o grau 1 corresponde à característica menos importante e o grau 8 à característica mais importante.

Tabela 2 - Características gerais e sua importância.

Importância	Características Gerais
1	Resistência ao Afundamento
2	Comportamento no mar
3	Resistência ao avanço
4	Área do convés
5	Capacidade de carga
6	Facilidade de projeto/produção
7	Lançamento e recolha
8	Facilidade de transporte

De seguida criou-se uma matriz que permite selecionar qual o tipo de casco que melhor satisfaz as características anteriormente definidas. Assim sendo, para cada tipo de casco, foi atribuído um valor de 1 a 5, dependendo se o tipo de casco é “muito” ou

“pouco apropriado” para uma dada característica, onde o valor 1 significa que é pouco apropriado e 5 muito apropriado.

A atribuição do grau de adequabilidade de cada tipo de casco a uma determinada característica, foi feita com base em conhecimentos empíricos e da experiência, pois não existem documentos que comparem todos estes tipos de casco. Existem sim documentos e artigos que identificam algumas vantagens e desvantagens para cada tipo de casco e.g. os multicascos possuem maior área no convés o que permite uma maior capacidade de colocar equipamentos (Molland, The Maritime Engineering Reference Book - A Guide to Ship Design, Construction and Operation, 2008); as embarcações de *hydrofoil* caracterizam-se por levantarem o casco principal da água, fazendo com isso que tenham uma reduzida resistência ao avanço (Molland, The Maritime Engineering Reference Book - A Guide to Ship Design, Construction and Operation, 2008). Os cascos do tipo SWATH têm um elevado desempenho no que diz respeito ao comportamento no mar, pois o efeito das ondas é minimizado nestes cascos devido à sua pequena área de flutuação (Molland, The Maritime Engineering Reference Book - A Guide to Ship Design, Construction and Operation, 2008).

Tabela 3 - Matriz para seleção do tipo de casco

Importância	Características Gerais	Tipos de Casco				
		Planante	Semi-planante	Hydrofoil	Multicasco	SWATH
1	Resistência ao Afundamento	3	3	3	5	5
2	Comportamento no mar	2	3	1	4	5
3	Resistência ao avanço	3	2	5	4	1
4	Área do convés	2	3	1	5	4
5	Capacidade de carga	4	5	4	3	3
6	Facilidade de projeto/produção	4	5	1	3	2
7	Lançamento e recolha	5	4	1	2	2
8	Facilidade de transporte	5	5	1	2	1
		109	111	42	86	63
36		3.0	3.1	1.2	2.4	1.8

O tipo de casco mais adequado será aquele que apresentar o maior valor quando aplicado a equação (1) aos diferentes tipos de casco.

$$\frac{\sum_{i=1}^8 (Importância_i \times Tipo\ de\ casco_i)}{\sum_{i=1}^8 Importância_i} \quad (1)$$

Pode observar-se na tabela 3 que o tipo de casco que melhor se adequa às necessidades exigidas é um semi-planante, no entanto, devido à proximidade dos resultados, podemos concluir que um casco planante também é uma escolha adequada, e portanto, escolheu-se desenvolver este projeto com um casco planante devido à facilidade de projeto e modelação, e ainda devido a restrições de tempo. Um casco planante pode ser definido como um casco que é concebido para que a força que o sustenta seja a reação hidrodinâmica entre a água e a parte de baixo do casco, ao contrário dos cascos de deslocamento onde o que os sustenta é a força de impulsão (Ladd, 1976).

No que refere ao material a ser utilizado na construção do casco, importa que este seja constituído por um material que principalmente tenha elevada resistência à corrosão em ambientes marinhos, mas também que tenha uma boa resistência ao impacto. Existem diversos materiais capazes de satisfazer estes requisitos, contudo com os avanços na engenharia, e mais especificamente na área da engenharia do material, surgiram os polímeros reforçados com fibra de vidro. Este tipo de compósito tem vindo a ser muito utilizado como material de construção em diversas indústrias, e a área da construção naval é uma delas. Este material já é bem aceite e utilizado na construção de diferentes tipos de navio, sendo predominante em navios de recreio, mas também em navios de pesca e navios militares (Santos, Sutherland, & Soares). São vários os fatores que contribuíram para o aumento da utilização deste tipo de material tais como: elevada resistência à corrosão e ao impacto; são bons amortecedores de vibrações; possui baixos valores de massa específica; permite a construção de formas complexas com poucas peças; é fácil de produzir e de fácil manutenção/reparação (Neves, 2009). Os valores de massa específica deste tipo de material situam-se entre 1,75 a 1,97 ton/m³ e os valores da tensão de cedência entre 207 a 304 MPa (dados retirados do *software* CES – *Cambridge Engineering Selector*). Assim sendo, nesta primeira iteração do projeto, ter-se-á em conta o uso de um polímero reforçado com fibra de vidro para a construção do casco.

5. Dimensionamento Inicial

É na etapa do dimensionamento inicial que, conforme o nome indica, se obtém as principais dimensões de um navio, sendo elas o comprimento (L), boca (B), calado (T) e o pontal (D). Os métodos de cálculo utilizados nesta etapa de dimensionamento, geralmente começam por determinar o comprimento e a partir desta todas as outras características (Schneekluth & Bertram, 1998). Estas características são calculadas através de métodos analítico-empíricos que têm por base métodos utilizados em navios semelhantes construídos anteriormente com sucesso. Fazendo uma breve pesquisa descobriram-se alguns métodos utilizados, tal como a equação de *Schneekluth*, que faz uma abordagem em termos de minimização de custos, contudo esta equação apenas é aplicada para navios com mais de 1000 toneladas (Schneekluth & Bertram, 1998). Existem outros métodos utilizados com base em dados estatísticos de outros navios, como o método descrito por *Volker*, porém apenas é aplicado a navios de transporte de carga seca e navios porta-contentores, ou o método de *Posdunine* que também é aplicado a cargueiros (Schneekluth & Bertram, 1998).

Como não foi encontrado nenhum método analítico-empírico que seja direcionado para navios de pequenas dimensões, surgiu a necessidade de criar um modelo de trabalho semelhante, ou seja, conseguir obter as dimensões iniciais para o VENT-SUP-EN através de dados estatísticos retirados de VENT-SUP's com características semelhantes às desejadas para este projeto, seguindo em conjunto uma estrutura de desenvolvimento com base no artigo proposto por *David Andrews* em 1985, "*An Integrated Approach to Ship Synthesis*" (Andrews, 1985).

Como foi dito anteriormente, o método para determinar as dimensões do VENT-SUP-EN terá como base dados estatísticos de navios com características semelhantes às pretendidas para o VENT-SUP-EN. Assim sendo, efetuou-se uma pesquisa de modo a retirar informações das principais características de VENT-SUP's já existentes. Não sabendo ainda as dimensões finais do VENT-SUP-EN, esta pesquisa foi feita com um critério mais alargado, isto é, poderão constar na lista de navios pesquisados alguns que tenham dimensões maiores/menores do que as desejadas. Os VENT-SUP's pesquisados

encontram-se na tabela 4.

	C-Sweep	C-Worker 5	C-Worker 6	C-Worker 7	C-Worker 8	C-Target 3	C-Target 6	C-Target 9	C-Target 13
L [m]	10.8	5.5	5.8	7.2	7.7	3.5	6.5	9.6	12.9
B [m]	3.5	1.7	2.2	2.3	2.1	1.4	2.1	2.4	2.7
D [m]	2.9	1.8	2.2	2.1	2.1	1.3	1.0	1.4	2.0
T [m]	0.7	0.9	0.9	0.9	1.0	0.6	0.3	0.4	0.5
Massa [ton]	9.0	1.9	13.5	5.3	4.8	0.3	1.2	2.8	4.2

Tabela 4 - Base de dados com características dos VENT-SUP's

Sabendo as principais características dos VENT-SUP's é possível calcular algumas proporções entre essas características que são importantes porque dão informações relevantes acerca da estabilidade, resistência e manobrabilidade do navio (Dokkum, 2003). Os parâmetros calculados foram os seguintes:

- M – é a razão entre o comprimento e o deslocamento do navio, que posteriormente servirá para calcular o comprimento do VENT-SUP-EN.

$$M = \frac{L}{\nabla^{1/3}} \quad (2)$$

∇ = Volume de deslocamento [m³]

Para calcular o volume de deslocamento, multiplica-se o deslocamento do navio pela densidade da água salgada:

$$\nabla = \Delta \times \rho \quad (3)$$

$\rho = 1.025$ = Densidade de água salgada [ton/m³]

Δ = Deslocamento de veículo [ton]

- L/B – é a razão entre o comprimento e a boca. Esta varia muito com o tipo de navio, contudo, quanto maior for a razão maiores velocidades poderá atingir o navio, desfavorecendo a manobrabilidade do mesmo (Dokkum, 2003);
- K_B – é a razão entre a boca e o calado. Um valor elevado desta razão dá ao navio uma boa estabilidade inicial (Dokkum, 2003);

- T/D – é a razão entre o calado e o pontal. O resultado desta razão situa-se entre 0 e 1, sendo que quanto mais próximo de 1, menor será a estabilidade transversal.

Para além das razões entre as dimensões dos VENT-SUP's, é ainda possível calcular o coeficiente de bloco, C_B , que é um parâmetro que relaciona o volume deslocado pelo navio e o volume do paralelepípedo submerso formado pelo comprimento, boca e calado, conforme ilustra a figura seguinte.

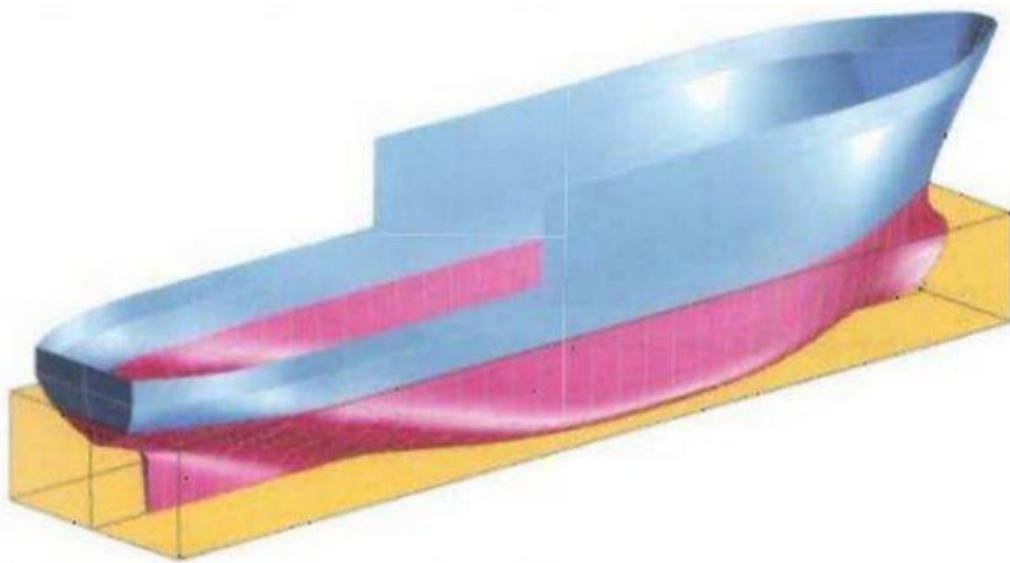


Figura 14 - Ilustração do Coeficiente de Bloco (Dokkum, 2003).

$$C_B = \frac{\nabla}{L \times B \times T} \quad (4)$$

O coeficiente de bloco afeta a capacidade de carga de um navio, pois quanto maior for o C_B , mais cheio é o navio (Labes, 2015), por outro lado, um navio com um C_B baixo, é denominado por um navio “esbelto (*slender*)”, sendo mais característico em navios que atingem velocidades elevadas (Dokkum, 2003).

Existem ainda outros coeficientes que são importantes e.g. coeficiente prismático ou o coeficiente da área de flutuação, contudo por falta de informação acerca dos VENT-SUP's pesquisados não são possíveis de calcular.

Já identificados os parâmetros a calcular, apresentam-se na tabela 5, os diferentes parâmetros de cada VENT-SUP e na última coluna a média de todos os VENT-SUP's.

Tabela 5 - Coeficientes de forma.

	C-Sweep	C-Worker 5	C-Worker 6	C-Worker 7	C-Worker 8	C-Target 3	C-Target 6	C-Target 9	C-Target 13	MÉDIA
∇	8.8	1.9	13.2	5.2	4.7	0.3	1.2	2.7	4.1	
M	5.2	4.5	2.5	4.2	4.6	5.1	6.2	6.9	8.1	5.24
K_B	5.0	1.9	2.4	2.6	2.2	2.3	7.0	6.0	5.4	3.86
C_B	0.3	0.2	1.1	0.3	0.3	0.1	0.3	0.3	0.2	0.36
$\frac{L}{B}$	3.09	3.24	2.64	3.13	3.60	2.50	3.10	4.00	4.78	3.34
$\frac{T}{D}$	0.24	0.50	0.41	0.43	0.47	0.46	0.30	0.29	0.25	0.37

Com os coeficientes de forma calculados e obtidas as médias dos diferentes VENT-SUP's, esses valores serão posteriormente utilizados para os cálculos a efetuar para determinar as principais dimensões do VENT-SUP-EN.

O facto de os VENT-SUP's anteriores não serem iguais ao VENT-SUP-EN - pois não foram concebidos para desempenhar as mesmas operações, nem têm os mesmos requisitos técnicos – poderá induzir a alguns erros no processo de dimensionamento do VENT-SUP-EN, contudo os valores estimados nesse processo poderão ser alterados aquando do processo de modelação.

Importa agora explicar qual a estrutura do método de dimensionamento inicial tal como proposto por *David Andrews* (1985), representada esquematicamente na figura seguinte.

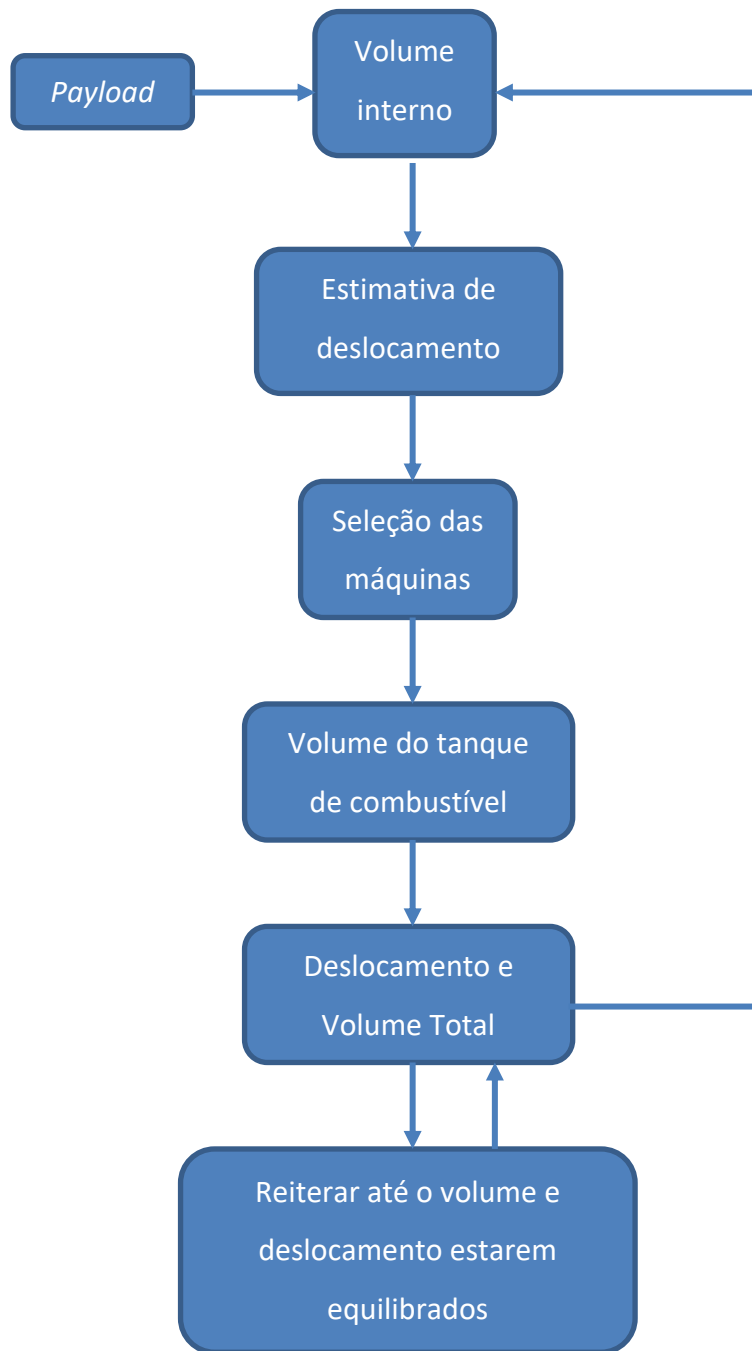


Figura 15 - Modelo adaptado para dimensionamento inicial (Andrews, 1985).

Este método é aplicado após algumas etapas já efetuadas anteriormente e.g. definição dos requisitos operacionais e requisitos técnicos e a escolha do tipo de casco. Assim sendo, o processo para a determinação das dimensões do VENT-SUP-EN começa por determinar o *payload* (carga útil a embarcar) dos equipamentos e sensores que irão ser transportados pela plataforma (Andrews, 1985). Na tabela 1, encontra-se a massa e volume total de todos os equipamentos e sensores, e acrescentando a esses uma

margem de 5% para eventuais cablagens e suportes a utilizar, obtém-se o *payload* a considerar:

- $p_m = \text{payload em massa} = 0,24 \text{ ton}$
- $p_v = \text{payload em volume} = 1,07 \text{ m}^3$

Sabendo o valor de p_v , é possível obter uma estimativa inicial do volume (V), multiplicando o p_v pelo p.v.f. (*payload volume fraction* – fração volúmica da carga útil), que é a razão entre o *payload* em volume e o volume total do navio. Não existem dados suficientes para determinar o p.v.f. dos VENT-SUP's anteriormente estudados e também não existem valores padrão para navios de pequenas dimensões, existem sim valores padrão para navios de deslocamento de altas velocidades que normalmente se situam entre os 0,17 e os 0,25 e para navios de menores dimensões os valores são ligeiramente maiores (Insel, 2000). Contudo o VENT-SUP-EN possui um casco planante e não de deslocamento, e sendo ele um veículo autónomo não necessita de espaços habitacionais, assim sendo assumiu-se um p.v.f. de 0,55.

$$V = \frac{p_v}{p.v.f} \quad (5)$$

De seguida estima-se o deslocamento da plataforma (Δ), multiplicando-o pela massa específica da plataforma (ρ_p). À semelhança do p.v.f. e pelos mesmos motivos teve que se adotar um valor inicial para este valor. Existem valores padrão para navios de deslocamento de altas velocidades que normalmente se situam entre os 0,25 e os 0,3 ton/m³ (Insel, 2000), e assumiu-se por isso um valor inicial de 0,3 ton/m³, no entanto este valor vai variar ao longo do processo iterativo.

$$\Delta = \rho_p \times V \quad (6)$$

Uma vez conhecido o deslocamento, basta dividir pela densidade da água do mar ($\rho = 1,025 \text{ ton/m}^3$) para calcular o volume de deslocamento.

$$\nabla = \frac{\Delta}{\rho} \quad (7)$$

Seguindo a estrutura proposta por *Andrews*, posteriormente deve ser selecionada a máquina que dará a propulsão desejada à plataforma. Este processo também deveria ser iterativo, mas tal processo envolve um problema de análise complexa com o cálculo da potência necessária em cada iteração. Devido a restrições de tempo e à elevada complexidade de adaptação dos modelos analítico-empíricos existentes, normalmente para navios de deslocamento, e.g. método de Holtrop-Mennen, a esta plataforma, optou-se por efetuar o cálculo de potência para este projeto numa fase à *posteriori* com recurso a *softwares*. Tal também implicou abdicar de um passo no projeto concetual, a otimização por pesquisa paramétrica. Assim sendo, assumiu-se um modelo de propulsão e manteve-se o mesmo até ao final do trabalho. A seleção do tipo de propulsão adequada a instalar numa plataforma marítima é um processo que exige um estudo bastante exigente que deveria ser efetuado em paralelo ao projeto conceptual e poderia constituir um projeto paralelo, como ocorre em algumas universidades como na University College London. Como não foi feito esse estudo, foi necessário optar por um tipo de propulsão, e assim assumiu-se que o sistema de propulsão a utilizar no VENT-SUP-EN será um motor *diesel*. Importa referir que o modelo escolhido poderá não satisfazer as necessidades exigidas, por isso numa futura análise do trabalho poderá ter que se fazer uma nova seleção do motor. Assim, o modelo escolhido foi o motor *Mer cruiser QSD2.8-230* com uma massa (m_m) de 0,36 ton e um volume (V_m) de 0,42 m³. Quanto à determinação do volume do tanque de combustível, seguiu-se o mesmo pensamento, e definiu-se um valor de volume de combustível (V_c) de 0,4 m³. Ao valor de V_c multiplica-se pela densidade do combustível ($\rho_c = 0,98 \text{ ton/m}^3$) e obtém-se o valor da massa de combustível ($m_c=0,39 \text{ ton}$).

Após todos estes passos determina-se o deslocamento total (Δ_T) e o volume total (V_T).

$$\Delta_T = p_m + m_m + m_c + m_{est} \quad (8)$$

$$V_T = p_v + V_m + V_c + V_{est} \quad (9)$$

O valor da massa da estrutura (m_{est}) e do volume da estrutura (V_{est}), são valores

calculados que vão alterando ao longo deste processo iterativo, através de equações empíricas obtidas com base em navios anteriormente construídos.

É necessário criar um critério de aceitação, que satisfaça uma determinada condição de modo a parar este processo iterativo. Então, todo o processo iterativo termina quando: $\Delta = \Delta_T$ e $V = V_T$. Se ambas as condições não forem satisfeitas, começa-se um novo processo iterativo, substituindo o valor de V por V_T e o valor de Δ por Δ_T .

Após algumas iterações, chegou-se ao resultado pretendido, ou seja, $\Delta = \Delta_T$ e $V = V_T$, sendo agora possível calcular as principais dimensões do VENT-SUP-EN, tendo em conta os coeficientes de forma calculados anteriormente, representados na tabela 5:

$$L = M \nabla^{1/3} \quad (10)$$

$$T = \frac{\nabla^{1/3}}{[MK_B C_B]^{1/2}} \quad (11)$$

$$B = K_B T \quad (12)$$

$$D = \frac{T}{0.37} \quad (13)$$

Na tabela 6, encontram-se as principais características estimadas para o VENT-SUP-EN, contudo importa referir que ainda poderão vir a sofrer algumas alterações, pois como foi dito anteriormente, o método utilizado para descobrir tais características foi feito com base em estudos de navios já existentes e dados dos VENT-SUP's estudados anteriormente.

Tabela 6 - Principais características do VENT-SUP-EN.

L [m]	7.1
T [m]	0,55
B [m]	2
D [m]	1,48
Δ [ton]	3.36
∇ [m³]	3.28

Importa referir que as dimensões de L e B representadas na tabela anterior são referentes ao plano da linha de água.

Seguindo este método de dimensionamento, conforme dito anteriormente, é o *payload* que irá influenciar as dimensões estimadas para a plataforma. Assim sendo, elaborou-se um estudo por forma a avaliar qual a influência de cada operação a efetuar pelo VENT-SUP-EN nas dimensões da mesma, alterando a sua configuração, isto é, considerar remover a capacidade de o VENT-SUP-EN efetuar uma determinada operação das que foram definidas no subcapítulo 2.1. Para tal, começa-se por retirar os equipamentos e sensores específicos a cada tipo de operação, o que irá provocar uma alteração nos valores do *payload* dando início a um novo processo iterativo de dimensionamento. Os resultados obtidos serão apresentados no gráfico 1 em valores percentuais, onde os valores correspondentes a 100% são o *payload* e as dimensões já calculadas considerando o VENT-SUP-EN a efetuar todas as missões.

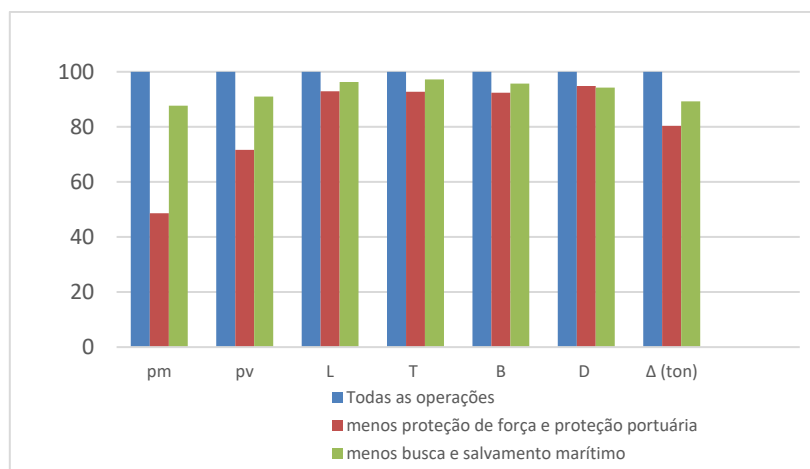


Gráfico 1 - Efeito das alterações das configurações nas dimensões do VENT-SUP-EN.

As operações de levantamentos hidrográficos e de recolha de dados ambientais não foram consideradas para este estudo, pois todos os equipamentos e sensores necessários para que o VENT-SUP-EN realize estas operações, são também usados noutras operações, não alterando o *payload* e, conseqüentemente, não existe diferença nas dimensões estimadas.

Analisando o gráfico 1, pode observar-se que mesmo havendo uma grande

variação no *payload* ao alterar a configuração removendo as operações de proteção de força e proteção portuária ou de busca e salvamento marítimo, a variação nas dimensões estimadas é mínima. Por este motivo, dá-se seguimento ao projeto mantendo a configuração do VENT-SUP-EN com a capacidade de efetuar todas as operações definidas no subcapítulo 2.1. e assim, mantendo como principais dimensões as que estão descritas na tabela 6.

6. Estabilidade

A flutuabilidade de um corpo ou neste caso em concreto, de um navio, acontece porque a água que envolve a parte submersa do casco do navio exerce neste uma força resultante que é perpendicular à superfície da água (força de impulsão), força essa que tem o mesmo valor do peso do volume da água deslocado pelo navio (Dokkum, 2003). Esta teoria assenta no princípio de Arquimedes, que diz que “a resultante da pressão hidrostática que atua sobre as paredes de um corpo é uma força vertical e ascendente, e tem módulo igual ao peso do volume do fluido deslocado.” (Martins, 2010). Um corpo a flutuar exerce uma força descendente devido à aceleração gravítica, essa força, geralmente denominada por “peso”, é calculada multiplicando a massa do corpo pela constante de aceleração gravítica ($g= 9,81 \text{ m/s}^2$) e pode imaginar-se essa força concentrada num único ponto, denominado por centro de massa, ou centro de gravidade (G). Por outro lado, a força de impulsão é aplicada no centro de carena, que corresponde ao centroide do volume imerso (Molland, The Maritime Engineering Reference Book - A Guide to Ship Design, Construction and Operation, 2008). Devido à utilização mais vulgar do termo em inglês “*centre of buoyancy*” a letra para designar o centro de carena será o B.

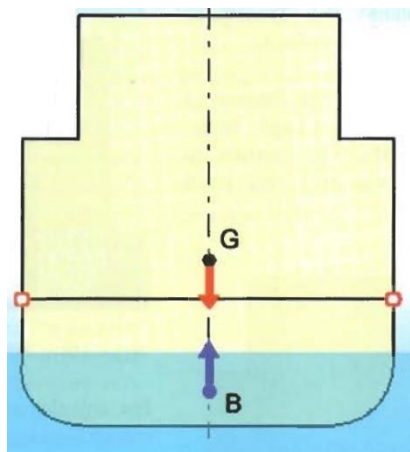


Figura 16 - Navio em flutuação (Dokkum, 2003).

A estabilidade pode ser definida como a capacidade de um corpo totalmente ou

parcialmente submerso, a flutuar na posição vertical, quando sujeito a uma força de desequilíbrio voltar à posição inicial quando esta força deixar de existir (Dokkum, 2003). O estudo da estabilidade de um navio pode ser dividido em estabilidade transversal e estabilidade longitudinal, contudo a estabilidade estática longitudinal não é a mais crítica pois tipicamente devido à dimensão “comprimento” da plataforma ser bastante maior que a dimensão “boca” e a estabilidade ser aproximadamente proporcional ao cubo destas dimensões, normalmente a estabilidade longitudinal é suficiente, de modo a que o estudo a efetuar para a estabilidade do VENT-SUP-EN foca-se apenas na estabilidade transversal.

Para se conseguir dar início ao estudo da estabilidade é indispensável possuir o plano geométrico do navio, pois é essencial para determinar a forma da carena (parte submersa do navio) e conseguir calcular as forças de impulsão exercida na carena. Para modelar a forma geométrica do VENT-SUP-EN vai-se recorrer ao uso de diferentes *softwares* CAD/CAE (*Computer-Aided Design/Engineering*) tais como o *SolidWorks*[®] e o *Modelmaker*[®]. O *SolidWorks*[®] irá servir para fazer a primeira modulação geométrica pois permite obter uma melhor visualização da forma do navio, conseguir ter uma ideia da massa do navio, e conseguir determinar com rigor o centro de massa (G). A modelação será feita com base nas dimensões determinadas no capítulo anterior e representadas na tabela 6 e tendo em conta que, conforme determinado no capítulo 3, será um casco planante. Uma vez modelado no *SolidWorks*[®] serão retiradas as coordenadas deste mesmo *software* e transcritas para o *Modelmaker*[®] que é um *software* compatível com o *AutoHydro*[®] (*software* com capacidade de efetuar os cálculos de estabilidade).

A parte de um navio que permite a sua sustentação para que flutue é o casco, mais propriamente as obras vivas. Assim sendo, a primeira parte a ser modelada será o casco e será feita uma análise de estabilidade apenas para o casco (sem superestruturas). Numa fase posterior será modulada a superestrutura que é a parte do navio essencial para lhe dar a capacidade de autoadriçamento.

Antes de dar início à modelação da forma geométrica do casco, é importante definir o sistema de coordenadas e a origem, pois será essencial para numa fase

posterior conseguir determinar a posição do centro de gravidade dos diferentes equipamentos e sensores, e no final, determinar a posição final do centro de gravidade do VENT-SUP-EN.

O valor da coordenada (X) dá o valor da posição longitudinal do navio, tendo a sua origem na popa, com valores positivos para vante da popa e valores negativos para ré da popa.

O valor da coordenada (Y) dá o valor da posição transversal do navio, tendo a sua origem no plano de simetria de meia-nau, com valores positivos a bombordo e valores negativos a estibordo.

O valor da coordenada (Z) dá o valor da altura, tendo a sua origem na quilha, com valores positivos acima da quilha e valores negativos abaixo da quilha.

Uma vez definido o sistema de coordenadas dá-se início ao desenho e modelação da estrutura do casco. Inicialmente foram criados 8 planos ao longo do plano longitudinal com distâncias diferentes entre si, situando-se o primeiro plano na posição $X = 0$ (correspondente ao painel de popa) e o último plano $X = 8$ (correspondente ao bico de proa). Em cada plano é desenhada a metade de uma secção transversal do navio, correspondente ao lado de estibordo, e o desenho é composto por duas linhas espaçadas de 40 mm que corresponde à espessura do casco, e por seis pontos que definem a forma da secção. Representa-se de seguida o desenho da metade do lado de estibordo da primeira secção, ou seja, do painel de popa.

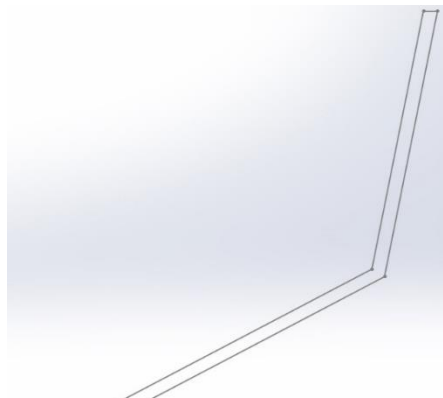


Figura 17 - Desenho no Solidworks® do painel de popa.

As distâncias entre os 8 planos não são iguais pelo facto de a zona mais a vante do navio necessitar de maior discriminação, sendo esse o motivo de existir maior densidade de planos a partir de meio-navio. O processo de desenho elaborado e representado na figura anterior foi repetido ao longo dos 8 planos e de seguida foi utilizada a função "loft" do *SolidWorks*[®] que cria uma estrutura sólida que une os diversos planos, conforme demonstrado na seguinte figura:

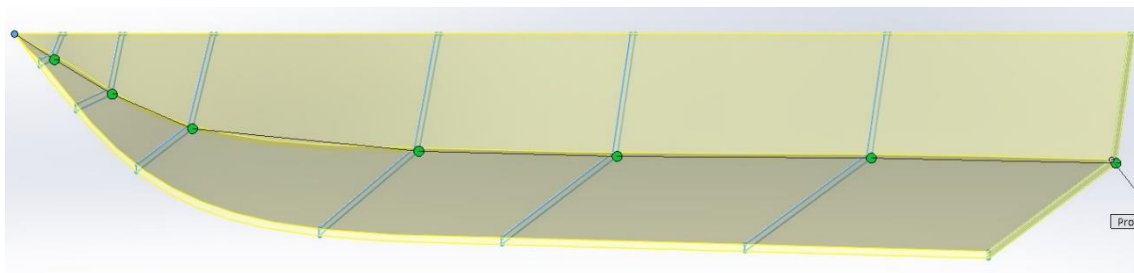


Figura 18 - "Loft" que une os desenhos dos diferentes planos.

Um navio pode ser ou não simétrico em relação ao plano de meia-nau, e por este motivo apenas foi desenhado no *SolidWorks*[®] as secções do lado de estibordo, uma vez que este *software* tem a capacidade de criar planos de simetria.

O processo de modelação foi também um processo iterativo por tentativa e erro, alterando o desenho nas diferentes secções até conseguir uma forma geométrica do casco satisfatória para que no futuro não venha a ter problemas quer de estabilidade que nos cálculos de resistência e potência. Assim sendo, ao fim de algumas iterações chegou-se ao modelo final do casco a adotar para o VENT-SUP-EN.



Figura 19 - Modelo final do casco do VENT-SUP-EN.

Conforme dito anteriormente, o *SolidWorks*[®] permite obter com rigor a posição do centro de gravidade e também a massa do casco, que serão essenciais para efetuar os cálculos de estabilidade. Na tabela 7 encontra-se as coordenadas da posição do centro

de gravidade do casco e a sua massa:

Tabela 7 - Posição do centro de gravidade do casco.

Coordenadas	Distância à Origem
X	3.21
Y	0
Z	0.65
Massa [kg]	2600

Conhecendo agora a forma geométrica da estrutura do casco, esta irá ser submetida a estudos de estabilidade por forma a garantir uma estabilidade satisfatória para um simples casco (sem superestruturas nem equipamentos). Conforme dito anteriormente, para efetuar os cálculos de estabilidade vai-se recorrer ao uso do *software AutoHydro*[®]. Este *software* é um dos mais utilizados pelos responsáveis por projetos de navios e em vários estaleiros navais, como o caso da *Arsenal do Alfeite S.A.* pois para além de conseguir calcular as curvas de estabilidade de um navio para qualquer ângulo de inclinação, é capaz de calcular muitos dados importantes acerca da estabilidade de um navio, tal como as curvas hidrostáticas e as características geométricas. Permite ainda realizar de simulações de adição/remoção e movimentação de pesos e simulações do efeito de espelhos líquidos.

Para conseguir efetuar estes cálculos, é necessário modelar o casco num *software* que seja compatível com o *AutoHydro*[®], pois o *SolidWorks*[®] não cumpre com este requisito. Assim sendo, o casco será modelado de novo, mas desta vez utilizando o *Modelmaker*[®]. Para conseguir obter uma forma mais pormenorizada na modelação neste *software* foram criados 81 planos ao longo do plano longitudinal (eixo X), distanciados entre si com 0,1 m, contudo importa referir que neste *software* o sistema de coordenadas do eixo X funciona de maneira diferente ao utilizado no *SolidWorks*[®], tendo a sua origem a meio-navio. Às distâncias medidas para vante de meio-navio é acrescentada a letra “f” (*forward*) e às distâncias medidas para ré de meio-navio é acrescentada a letra “a” (*aft*). Apesar disso os planos são criados de vante para ré, sendo o plano número 1 correspondente ao bico de proa situado na posição 4f (4 metros a vante de meio navio), o plano número 41 corresponde à secção de meio-navio e o plano número 81

correspondente ao painel de popa situado na posição 4a (4 metros a ré de meio-navio). Neste *software* a modelação funciona com a introdução do valor das coordenadas geométricas de um ponto, sendo elas o valor da posição vertical (V) e transversal (T), criando o próprio *software* as linhas que unem essas coordenadas. À semelhança do *SolidWorks*® quando se insere o valor de uma posição transversal essa corresponde ao lado de bombordo, pois o *Modelmaker*® tem a capacidade de reproduzir o lado de estibordo simétrico ao de bombordo.

As coordenadas a inserir no *Modelmaker*®, são retiradas a partir do *SolidWorks*®. Para isso é criado um plano no *SolidWorks*® com origem em $X = 0$ e são retirados os valores das coordenadas que dão a geometria do casco nesse plano. Após retirar as coordenadas no 1º plano avança-se esse plano 0,1 m e retira-se as coordenadas nessa posição. Este processo repete-se 80 vezes até chegar à posição $X = 8$. Na figura 20 encontra-se representado o plano geométrico e o valor das coordenadas a retirar no *SolidWorks*® na posição $X = 2,2$. Posteriormente, na figura 21 encontra-se um exemplo da modelação no *Modelmaker*® na posição correspondente à da figura 20 (1,8a).

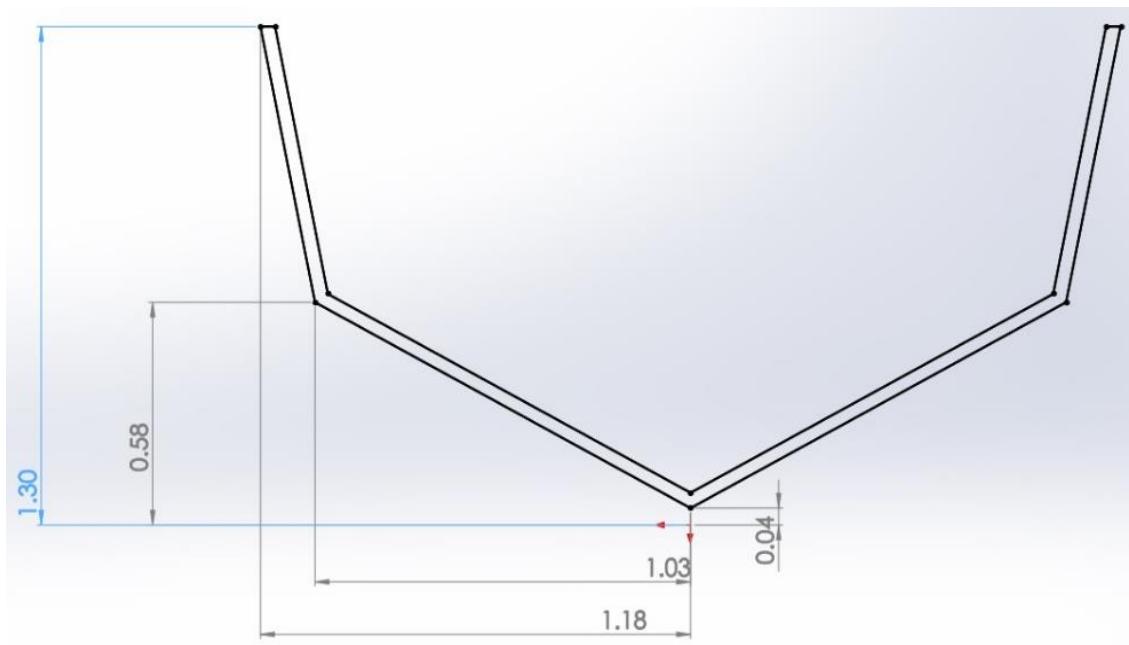


Figura 20 - Plano geométrico e o valor das coordenadas a retirar no *SolidWorks*® na posição $X = 2,2$.

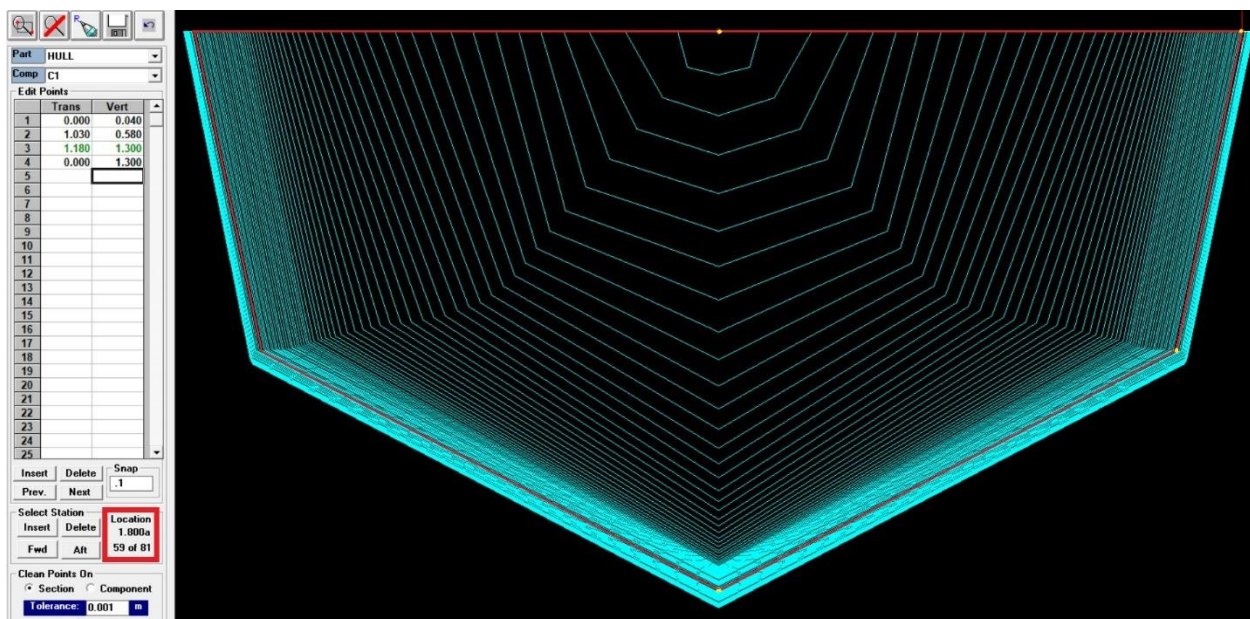


Figura 21 - Modelação no *Modelmaker*® na posição 1.8a.

Uma vez efetuada a modelação no *Modelmaker*® esta é exportada para o *AutoHydro*® por forma a calcular as curvas de estabilidade. Neste *software* apenas é necessário introduzir a posição do centro de gravidade: LCG (posição longitudinal do centro de gravidade), TCG (posição transversal do centro de gravidade) e VCG (posição vertical do centro de gravidade); e o deslocamento da plataforma. Com estes dados introduzidos, automaticamente são calculados os valores de calado em 3 posições: popa, meio-navio e proa. Assim sendo, vão ser introduzidos os valores calculados pelo *SolidWorks*® e representados na tabela 7. Na figura seguinte encontra-se representada a interface do *AutoHydro*® para inserir os dados solicitados.

	Weight Name	LCG	TCG	VCG	Weight (MT)
1	LIGHT SHIP	0.800a	0.000	0.650u	2.6

Figura 22 - Interface do *AutoHydro*® para inserir os dados solicitados

Após inseridos estes dados e calculados os calados, utiliza-se a função “R.A.” (*Righting Arm*) que calcula automaticamente o valor do braço endireitante (GZ) consoante o ângulo de adornamento.

Na tabela que se segue apresentam-se os valores de GZ para cada ângulo de adornamento.

Tabela 8 - Valores de GZ obtidos a partir do AutoHydro®.

Ângulo de adornamento [°]	GZ [m]
0	0
10	0.126
20	0.22
30	0.298
40	0.379
50	0.465
57.5	0.488
60	0.486
70	0.444
80	0.367
90	0.269
100	0.159
110	0.042
113.57	0

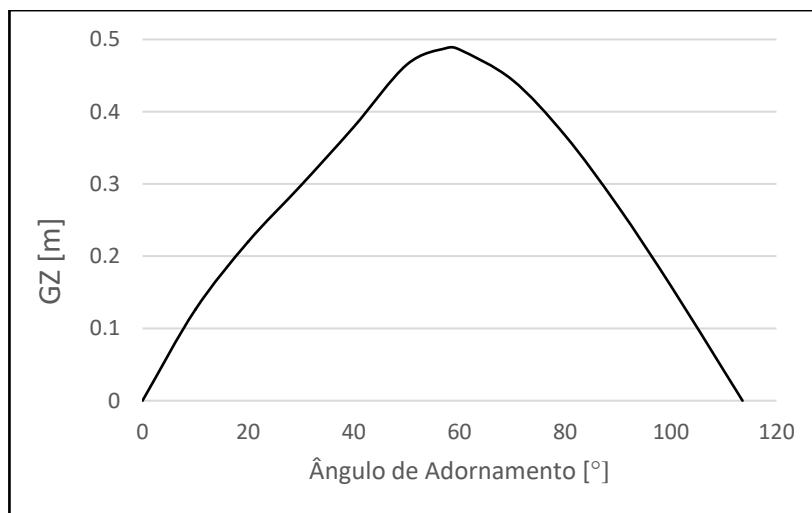


Gráfico 2 - Curva do braço endireitante do casco do VENT-SUP-EN.

Através da tabela e do gráfico anteriores é possível observar que o casco do VENT-SUP-EN (sem equipamentos e sensores) possui como valor máximo de braço endireitante 0,49 m que é a distância máxima entre a linha de ação da força gravítica e a linha de ação da força de impulsão. Este valor ocorre quando o navio sofre um adornamento de 57,5°. Se o VENT-SUP-EN adornar até aos 113,5° irá perder a estabilidade, pois $GZ = 0$ e não irá existir nenhum momento que o fará voltar à posição inicial. Para um simples casco os

valores de estabilidade são satisfatórios, contudo ainda não satisfaz a condição de autoadriçamento.

Um navio com a capacidade de autoadriçamento é um navio que, para qualquer ângulo de adornamento, possui uma geometria capaz de produzir um momento endireitante que o faz voltar à posição vertical (posição inicial). Por outras palavras, um navio para ser autoendireitante terá que ter um braço endireitante com valores positivos qualquer que seja o ângulo de adornamento, excetuando aos 0° e aos 180° , nestes ângulos, o braço é nulo pois um navio é simétrico em relação ao eixo de meia-nau, e, portanto, as linhas de ação da força gravítica e da força de impulsão são colineares. Se em algum ângulo entre os 0° e os 180° estas duas linhas de ação se cruzarem, o navio não será autoendireitante.

Ao longo destes últimos anos, o paradigma na área da construção naval tem vindo a sofrer algumas alterações no sentido em que um navio não pode apenas ser funcional, tem também que ser esteticamente apelativo para captar a atenção e seduzir os utilizadores. Este facto torna mais desafiante o processo de desenho e modelação das superestruturas.

Uma vez definidas as condições para que um navio tenha a capacidade de autoadriçamento, vai-se dar início ao processo de modelação das superestruturas.

O processo de modelação das superestruturas é todo ele semelhante ao processo da modelação do casco, sendo também um processo iterativo por tentativa e erro, até se conseguir obter os resultados pretendidos. O sistema de coordenadas utilizado será o mesmo utilizado no processo de modelação do casco, contudo as superestruturas começarão a ser modeladas 1,3 m acima da origem, que corresponde ao valor máximo da altura do casco anteriormente modelado. Ao contrário da modelação do casco, a modelação das superestruturas no *software SolidWorks*[®] será através da construção de blocos, não fazendo desenhos geométricos em diversos planos e no final utilizar a função “Loft”. Uma vez modeladas as superestruturas, é possível determinar quais as posições onde irão ser implantados os diversos equipamentos e sensores. Após saber as posições

dos diversos equipamentos e sensores é possível calcular as coordenadas do centro de gravidade de todo o conjunto (casco + superestruturas + equipamentos e sensores). Conhecida a forma geométrica das superestruturas modeladas no *SolidWorks*[®], parte-se para a modelação no *Modelmaker*[®], onde o processo para retirar as coordenadas do *SolidWorks*[®] é igual ao utilizado para a modelação do casco. Essas coordenadas serão acrescentadas ao modelo do casco já desenhado no *Modelmaker*[®], fazendo assim o desenho de todo o navio (casco + superestruturas). De seguida exporta-se o modelo para o *AutoHydro*[®] e inserem-se os dados necessários para calcular o braço endireitante. Desta vez, os dados inseridos da posição do centro de gravidade e de deslocamento, já entram em conta com todos os equipamentos e sensores. Se a curva do braço endireitante satisfazer as condições de autoadriçamento e se a geometria do veículo for apelativa, então dá-se por concluído o processo de modelação do VENT-SUP-EN.

Ao longo do processo iterativo por tentativa e erro, foram encontradas diversas superestruturas que dariam a capacidade de autoadriçamento ao VENT-SUP-EN, contudo o seu formato não era esteticamente apelativo, ou, por outro lado, exigiria uma elevada complexidade e dificuldade na fase de construção. Nas figuras seguintes apresentam-se dois exemplos desses modelos.



Figura 23 - 1º modelo autoendireitante do VENT-SUP-EN.

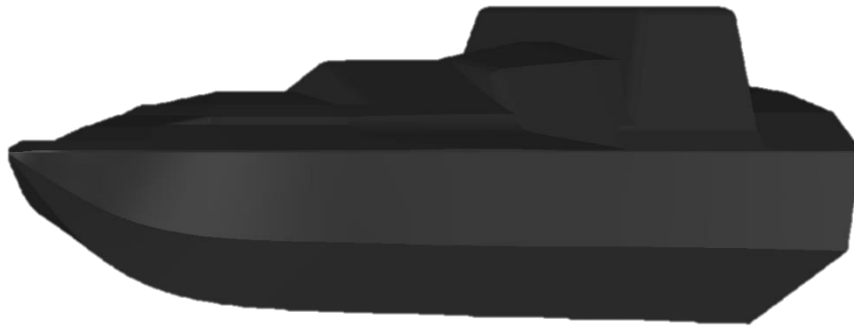


Figura 24 - 2º modelo autoendireitante do VENT-SUP-EN.

A forma geométrica do 2º modelo, apesar de fornecer a capacidade de autoadriçamento e de um modo geral ser esteticamente apelativa, possui muitas zonas angulosas o que dificultaria numa fase posterior, o projeto de construção. Assim sendo, pegou-se neste modelo e a partir deste começou-se a modelar um novo modelo com o intuito de reduzir as zonas angulosas, mantendo a capacidade de autoadriçamento. Após diversas tentativas, chegou-se a um modelo que se considerou o modelo final. De seguida serão explicados em síntese todos os processos que foram feitos até determinar os cálculos de estabilidade. Importa referir que este processo foi efetuado para todas as tentativas de modelos.

1º processo: Modelação no *SolidWorks*®:

A modelação no *SolidWorks*® foi um processo iterativo onde se teve que ter em conta todas as limitações e obrigações impostas na definição de requisitos. A forma geométrica das superestruturas do VENT-SUP-EN foi baseada um nas formas das mesmas dos VENT-SUP apresentados no capítulo 1. Contudo, nenhum desses VENT-SUP possui capacidade de autoadriçamento, por isso foi necessário efetuar algumas alterações e inovações. O modelo final apresenta-se na figura seguinte, ainda “despido” de equipamentos.

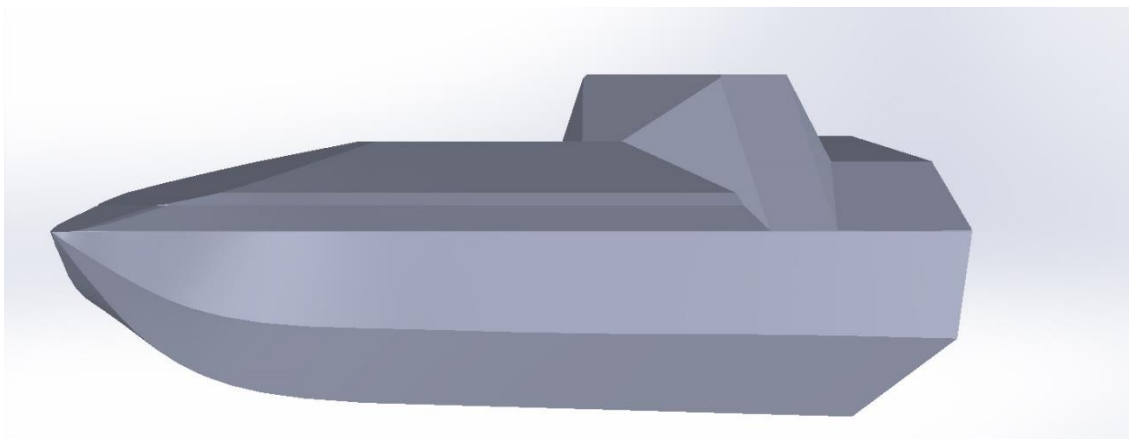


Figura 25 - Modelação no *SolidWorks*® do possível modelo final do VENT-SUP-EN.

2º processo: Modelação no *ModelMaker*®:

Uma vez conhecida a forma geométrica do VENT-SUP-EN, á semelhança do processo já anteriormente descrito, modelou-se o VENT-SUP-EN no *ModelMaker*® por forma a ser possível ter a forma geométrica do VENT-SUP num *software* compatível com o *AutoHydro*® para numa fase posterior conseguir efetuar os cálculos de estabilidade.

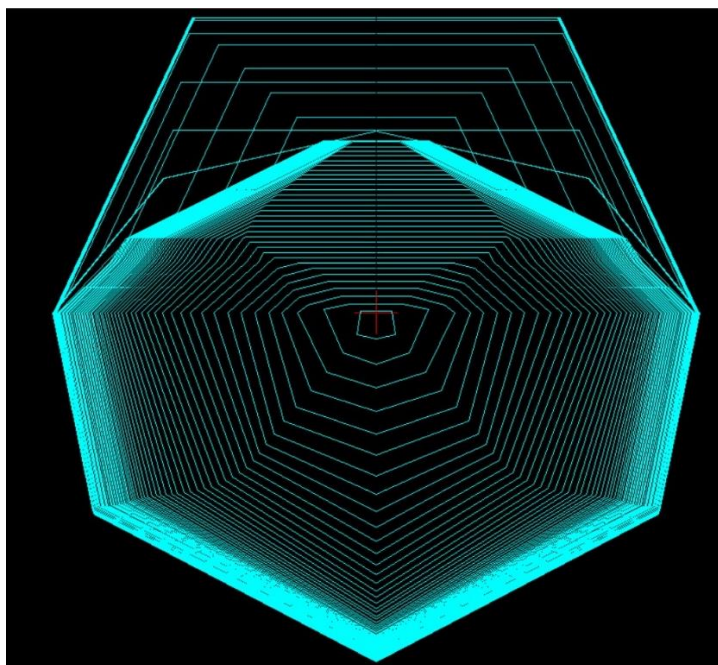


Figura 26 - Modelação no *ModelMaker*® do possível modelo final do VENT-SUP-EN.

3º processo: Cálculo da posição do centro de gravidade:

Antes de iniciar os cálculos de estabilidade, é necessário calcular a posição do centro de gravidade do VENT-SUP-EN juntamente com todos os equipamentos e sensores que o irão apetrechar, pois este é um parâmetro fundamental para poder efetuar esses cálculos.

Assim sendo, sabendo a forma geométrica do casco e das superestruturas do VENT-SUP-EN, será possível estimar qual a posição onde serão colocados todos os equipamentos e sensores.

A distribuição dos diversos equipamentos pelo navio deverá ser efetuada de forma coerente, por forma a que a posição final do centro de gravidade permita dar ao VENT-SUP-EN uma estabilidade favorável. A altura do centro de gravidade é um dos parâmetros que tem maior influência na estabilidade de um navio, sendo desejável que este valor seja o mais baixo possível. Para tal deve tentar colocar-se os equipamentos mais pesados numa cota mais inferior, ou seja, o mais próximo possível da posição $Z=0$, contudo deve ter-se em conta que existem equipamentos e sensores que para desempenharem bem a sua função deverão estar a uma cota mais elevada, como por exemplo o RADAR. A posição longitudinal do centro de gravidade também é um valor importante, sendo desejável que esta se situe ligeiramente a ré de meio navio ($LCG < 4$), e para tal, os equipamentos mais pesados deverão situar-se a ré de meio navio. A posição transversal do centro de gravidade deverá ser nula ($TCG=0$), isto porque se $TCG \neq 0$ então o navio, terá uma posição de equilíbrio inicial com ângulo de adornamento. Para tal os equipamentos deverão ser colocados centrados com a linha de meia nau. Por vezes pode não ser possível colocar todos os equipamentos centrados com a linha de meia nau, e quando este caso acontece, deverá ser colocado um outro equipamento no bordo oposto para compensar o peso por forma a que o centro de gravidade final se situe na linha de meia-nau, como por exemplo colocar o RADAR a bombordo e a CAMARA IR a estibordo.

Antes de dar início à distribuição dos equipamentos pelo navio, foi necessário

calcular qual a altura do centro de gravidade de cada equipamento e sensor. Para tal, recorreu-se à ficha técnica de cada um para saber a forma geométrica e as dimensões. As posições longitudinais e transversais do centro de gravidade de cada equipamento e sensor não foi necessário calcular, pois na modelação no *SolidWorks*® é possível colocar logo o centro do equipamento na posição desejada.

A altura dos centroides dos diversos equipamentos é calculada somando o valor da altura do centro de gravidade de cada equipamento ao valor da posição vertical onde irão ser colocados. Exemplo: O RADAR tem uma altura de 0,21 metros, logo a altura do centro de gravidade do RADAR será $0,21/2=0,105$ metros. Como este será colocado a uma altura de 2,41 metros, o valor da altura do centroide do RADAR relativamente à origem do navio será 2,515 metros.

Na tabela seguinte encontram-se representados os valores dos centroides de cada equipamento e sensor relativamente à origem, e também a sua massa.

Tabela 9 - Posição dos centroides dos diferentes equipamentos e sensores relativamente à origem do navio.

	CENTRÓIDE [m]			MASSA [kg]
	\bar{X}	\bar{Y}	\bar{Z}	m
CASCO	3.2	0	0.65	2600
SUPERESTRUTURA	3.1	0	1.74	300
RADAR	1.7	0.4	2.51475	5.60
GPS	1.4	0.25	2.89	0.24
GNSS	1.55	-0.25	2.8875	0.51
BATERIAS	3	0	0.289	21.50
SONAR LATERAL	0.0975	0	-0.0175	1.10
SONAR	3	0	-0.14	27.60
CAMARA IR	1.75	-0.45	2.6085	27.20
ARMA LIGEIRA	3.7	0	2	117.00
BALSA	0.8	0	2.04	28.00
TERMÓMETRO	0	0	1.5	0.06
HIGRÓMETRO	1	0	1.5	0.01
BARÓMETRO	1	0	1.5	0.08
ANEMÓMETRO	2	0	2.5	0.28
MOTOR	1	0	0.5305	360.00
COMBUSTIVEL	0.7	0	0.25	400.00

Uma vez conhecidas as posições dos centroides e as massas de cada equipamento e sensor, é possível calcular a posição do centro de gravidade para o VENT-SUP-EN:

- Posição longitudinal do centro de gravidade:

$$LCG = \frac{\sum \bar{X}_i \times m_i}{\sum m_i} \quad (14)$$

- Posição transversal do centro de gravidade:

$$TCG = \frac{\sum \bar{Y}_i \times m_i}{\sum m_i} \quad (15)$$

- Posição vertical do centro de gravidade:

$$VCG = \frac{\sum \bar{Z}_i \times m_i}{\sum m_i} \quad (16)$$

Os resultados das equações anteriores apresentam-se na tabela seguinte, juntamente com o valor total da massa, que corresponderá ao deslocamento do VENT-SUP-EN.

Tabela 10 - Posição do centro de gravidade do VENT-SUP-EN e deslocamento total.

LCG	2.71
TCG	0
VCG	0.74
Massa Total [kg]	3889

4º processo: Cálculo de estabilidade no *AutoHydro*®:

Já modelada a forma geométrica no *ModelMaker*® e conhecida a posição do centro de gravidade do VENT-SUP-EN estão agora reunidas todas as condições para dar início ao cálculo da estabilidade do VENT-SUP-EN e verificar se todos os processos anteriores contribuíram positivamente para conseguir dar a capacidade de

autoadriçamento ao VENT-SUP-EN. À semelhança do processo efetuado para calcular a estabilidade do casco, repete-se o mesmo processo, mas desta vez tendo em conta tudo o que constitui o navio (casco + superestruturas + equipamentos e sensores) inserindo no *AutoHydro*® os novos dados da posição do centro de gravidade e do deslocamento, representados na tabela 9. Para o *software* efetuar o cálculo das curvas de estabilidade até aos 180° é necessário inserir o seguinte código na barra de comando: “RA 0, 10, ..., 180”, onde o “RA” significa *Righting Arm*, o 1º número significa qual o ângulo de adornamento inicial para efetuar os cálculos, o 2º número significa o intervalo entre ângulos de adornamento e o 3º número significa o valor do último ângulo de adornamento a calcular.

Na tabela seguinte encontram-se representados os valores de GZ para cada ângulo de adornamento.

Tabela 11 - Valores de GZ obtidos a partir do AutoHydro®.

Ângulo de adornamento [°]	GZ [m]
0	0
10	0.117
20	0.201
30	0.269
40	0.332
50	0.382
60	0.419
68	0.431
70	0.43
80	0.412
90	0.379
100	0.33
110	0.274
120	0.221
130	0.179
140	0.138
150	0.093
160	0.05
170	0.025
180	0

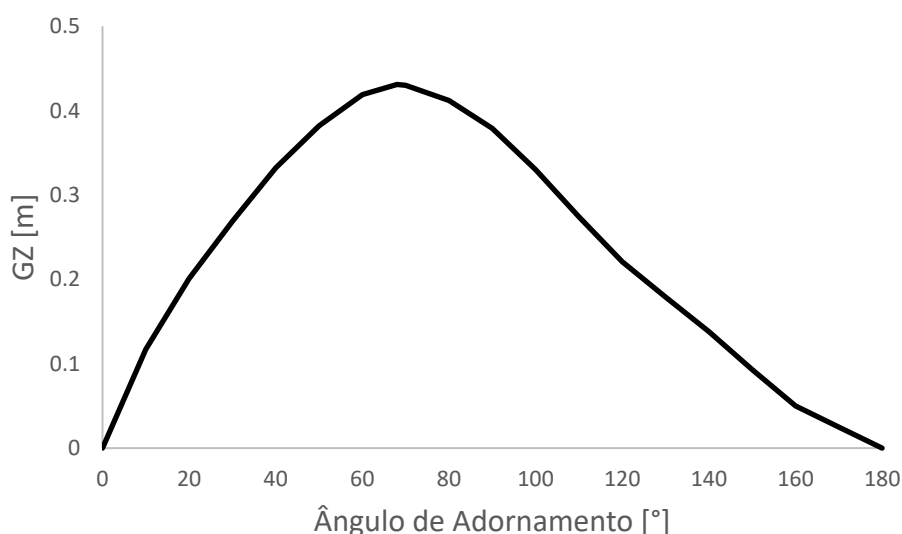


Gráfico 3 - Curva do braço endireitante do VENT-SUP-EN.

Através da tabela e do gráfico anteriores é possível observar que o VENT-SUP-EN possui como valor máximo de braço endireitante 0,431 m que corresponde à distância máxima entre a linha de ação da força gravítica e a linha de ação da força de impulsão, e este valor ocorre quando o navio sofre um adornamento de 68°. Continuando a analisar, pode concluir-se que o VENT-SUP-EN cumpre agora o requisito de possuir a capacidade de autoadriçamento, pois este possui valores positivos de GZ para qualquer ângulo de adornamento diferentes de 0° e 180°. Quando o ângulo de adornamento é igual 180°, GZ= 0 metros, ou seja, o navio está em equilíbrio, contudo ficará “ao contrário”, isto é, com a quilha para cima. Para poder voltar à sua posição inicial basta uma pequena força proveniente da ondulação ou do vento, que fará com que o VENT-SUP-EN rapidamente recupere a sua posição inicial.

No estudo efetuado anteriormente foi considerado que o tanque de combustível estaria cheio, contudo, quando este não estiver cheio irá afetar a estabilidade do VENT-SUP-EN, o chamado efeito de espelhos líquidos. Por forma a reduzir o efeito dos espelhos líquidos dividiu-se o tanque em duas metades iguais com capacidade de 200 litros cada um, conforme ilustra a figura seguinte.

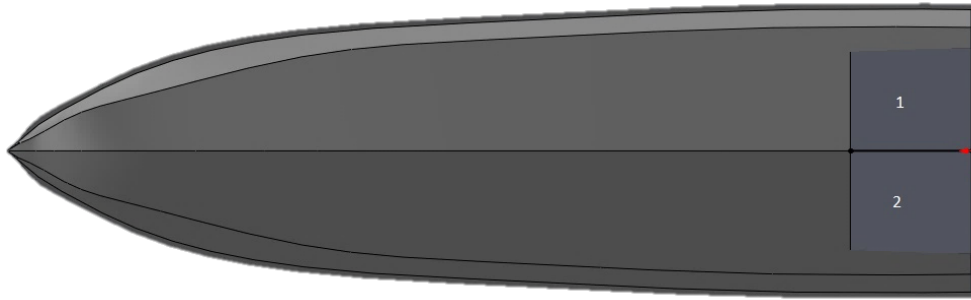


Figura 27 - Ilustração dos tanques de combustível de estibordo (1) e de bombordo (2).

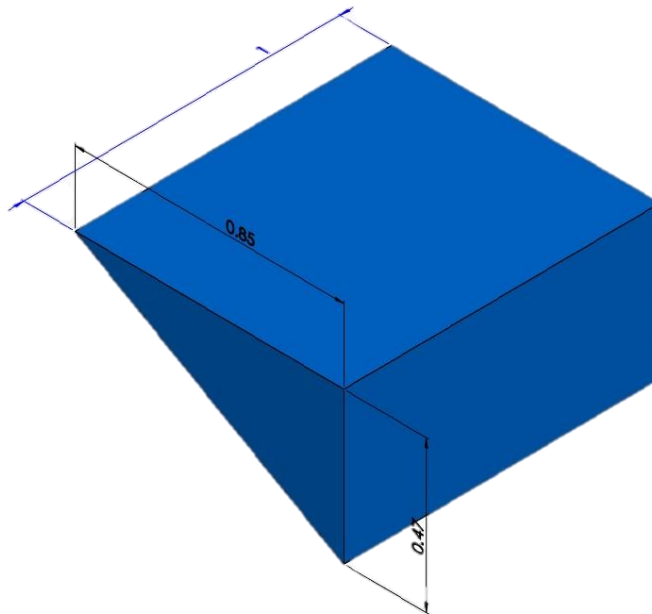


Figura 28 - Tanque de bombordo e suas dimensões [m].

Para verificar qual o efeito dos espelhos líquidos na estabilidade final do VENT-SUP-EN, efetuou-se um estudo para quando os tanques de combustível estiverem a 90%, num total de 360 litros e pesarem 0,353 ton. Os resultados obtidos encontram-se na tabela e gráfico seguintes:

Tabela 12 - Valores de GZ com 90% de combustível.

Ângulo de adornamento [°]	GZ [m]
0	0
10	0.112
20	0.192
30	0.256
40	0.315
50	0.362
60	0.396
68	0.407
70	0.406
80	0.386
90	0.353
100	0.304
110	0.250
120	0.198
130	0.159
140	0.121
150	0.080
160	0.041
170	0.020
180	0

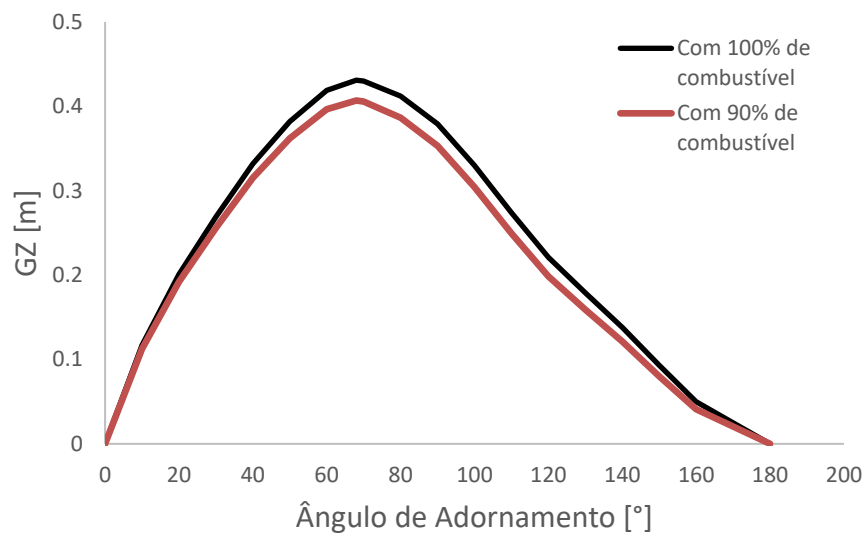


Gráfico 4 - Diminuição da curva do braço endireitante do VENT-SUP-EN devido ao efeito dos espelhos líquidos.

Analisando a tabela e gráfico anteriores, pode concluir-se que devido ao efeito dos espelhos líquidos, o valor do braço endireitante irá diminuir, possuindo o seu valor máximo ao 68° de adornamento. Apesar da diminuição, o VENT-SUP-EN continua com a capacidade de autoadriçamento.

Ao terminar este 4º processo podemos observar que o modelo atual do VENT-SUP-EN satisfaz os requisitos necessários: ser autoendireitante e possui uma forma geométrica esteticamente apelativa. Assim sendo, pode-se usar este modelo no *AutoHydro*® e calcular as curvas hidrostáticas ou o gráfico de carenas direitas, representadas no Apêndice D.

7. Previsão de Potência

Um navio, quando está em movimento, sofre algumas forças que se opõem ao seu movimento denominadas por “resistências” que quando todas aplicadas formam a resistência total. A resistência total poderá ser dividida em três principais componentes:

- Resistência de atrito – influenciada pelas obras vivas;
- Resistência residual – influenciada pelas obras vivas;
- Resistência do ar – influenciada pelas obras mortas.

Para vencer estas resistências será necessário projetar um sistema propulsor, onde a energia proveniente de uma fonte de energia seja transformada em impulso, por forma a que o navio consiga vencer essas forças de resistência e consiga atingir a velocidade desejada (Molland, Turnock, & Hudson, *Ship Resistance and Propulsion: Practical Estimation of Ship Propulsive Power*, 2011).

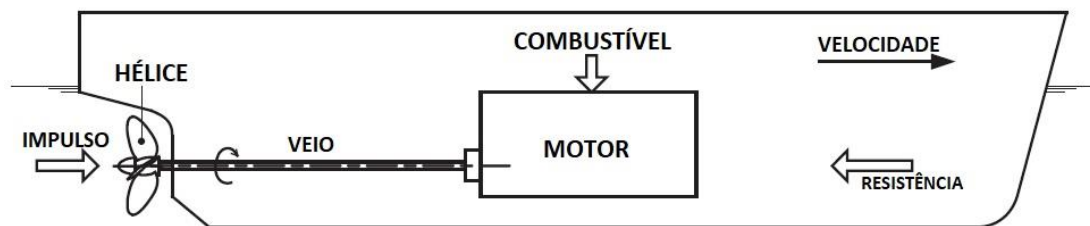


Figura 29 - Esquema de conversão de energia em impulso. Adaptado de: (Molland, Turnock, & Hudson, *Ship Resistance and Propulsion: Practical Estimation of Ship Propulsive Power*, 2011)

O processo de estimativa e previsão dos valores de potência que um sistema de propulsão tem que fornecer a um navio para que este consiga cumprir com as velocidades requeridas é um processo fundamental no que toca ao projeto do navio (Molland, Turnock, & Hudson, *Ship Resistance and Propulsion: Practical Estimation of Ship Propulsive Power*, 2011).

No que refere ao cálculo de resistência para embarcações com cascos planantes, este é baseado em métodos analítico-empíricos propostos por *Daniel Savitsky* em 1964 (Savitsky, *Hydrodynamic Design of Planing Hulls*, 1964) e um segundo desenvolvimento

em 1976 (Savitsky & Brown, Procedure for Hydrodynamic Evaluation of Planing Hulls in Smooth and Rough Water, 1976). O método de *Savitsky* é uma combinação de diferentes teorias que têm como base diferentes matérias da Mecânica dos Fluidos por forma a prever qual a fricção causada pelo fluido viscoso ao escoar no casco, com dados empíricos para uma variedade de tipos de casco.

Para calcular os valores de resistência para o casco do VENT-SUP-EN foi utilizado o *software AutoPower*[®]. Este *software* tem a capacidade de calcular os valores de resistência em função da velocidade e os valores de potência em função da velocidade, para diferentes tipos de casco (Deslocamento, semi-deslocamento, planantes e catamaran), utilizando para cada um deles o método mais adequado. No caso dos cascos planantes, este utiliza o método proposto por *Savitsky* que tem como referência os seus artigos propostos em 1964 e 1976. Para que o *AutoPower*[®] consiga efetuar os cálculos, é necessário inserir vários dados geométricos do casco do VENT-SUP-EN que poderão ser retirados quer do *SolidWorks*[®] quer do *AutoHydro*[®].

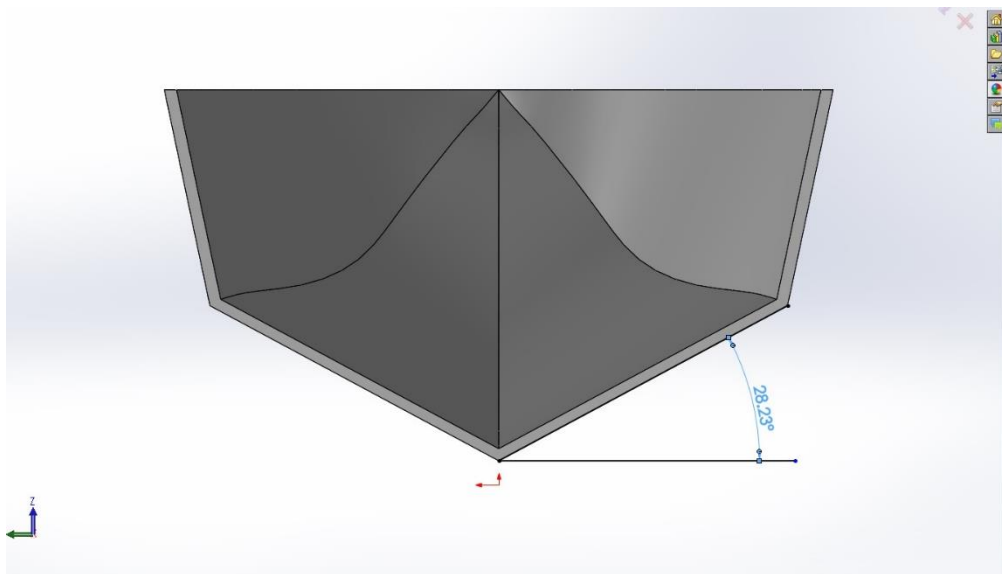


Figura 30 – “*Deadrise angle*” obtido a partir do *AutoPower*[®].

Uma vez inseridos todos os dados necessários no *AutoPower*[®] pode efetuar-se o cálculo da Resistência (kN) em função da velocidade (nós). Conforme foi estabelecido nos requisitos técnicos, é desejável que o VENT-SUP-EN consiga atingir uma velocidade de 35 nós, portanto, será indicado ao *software* para que ele efetue os cálculos até aos

40 nós de velocidade para ter uma melhor noção da evolução da curva de resistência.

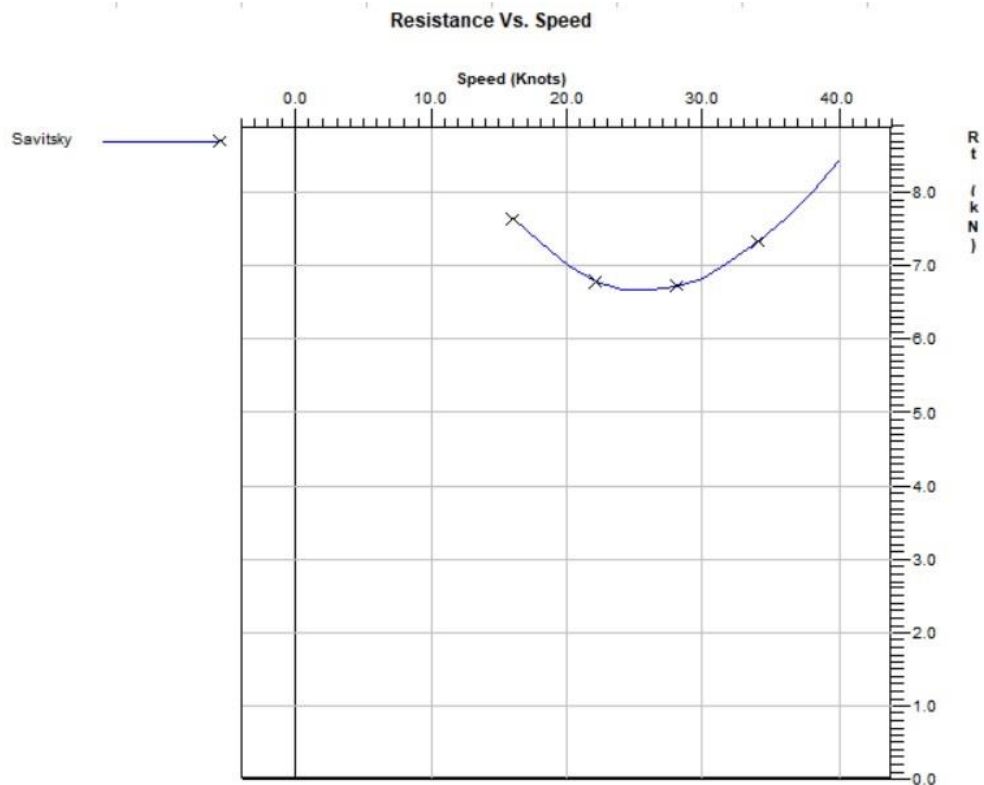


Gráfico 5 - Gráfico de Resistência Vs. Velocidade do VENT-SUP-EN obtido a partir do *AutoPower*[®].

Analisando o gráfico anterior pode verificar-se que o *software* apenas começa a calcular os valores de resistência a partir dos 16 nós de velocidade com um valor de 7,66 kN e termina aos 40 nós com um valor de 8,46 kN. O facto de o *software* não efetuar os cálculos para velocidades inferiores a 16 nós poderá dever-se ao facto de a forma do casco do VENT-SUP-EN não cumprir com determinados parâmetros para que o *software* efetue os cálculos através do método de *Savitsky*. Assim sendo, exportou-se os valores fornecidos pelo *AutoPower*[®] para uma tabela em Excel e construiu-se um gráfico criando uma linha de análise de tendência, e o resultado foi o seguinte:

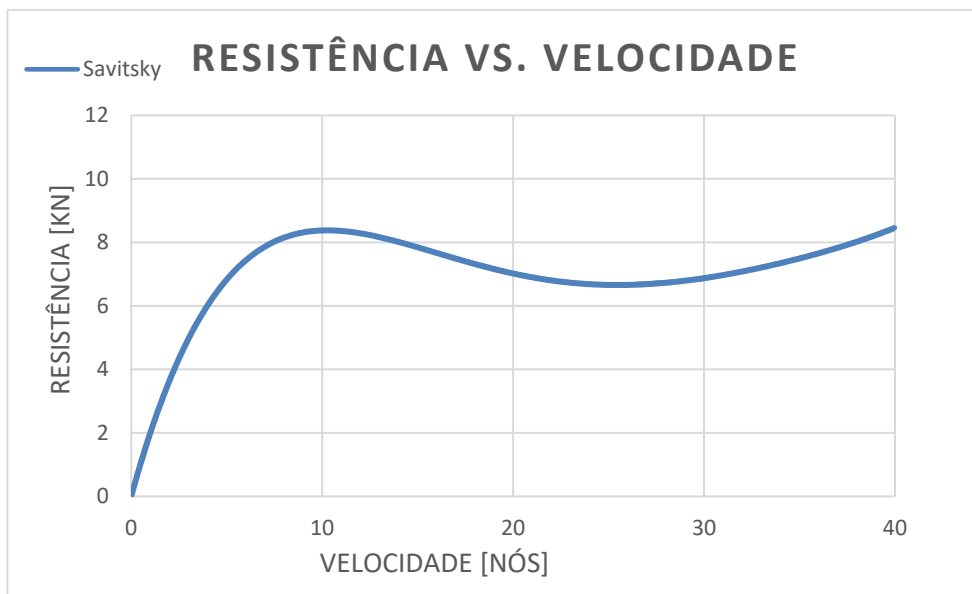


Gráfico 6 - Gráfico de Resistência Vs. Velocidade do VENT-SUP-EN obtido a partir do Excel com uma linha de tendência.

Esta poderá não ser a forma correta da curva de resistência do VENT-SUP-EN, pois, conforme dito anteriormente, a curva foi gerada pelo Excel fazendo uma linha de tendência a partir dos dados fornecidos pelo *AutoPower*[®]. Comparando a curva calculada pelo *AutoPower*[®] e a curva calculada pelo Excel, pode verificar-se que para os valores compreendidos entre 16 e 40 nós, não existe nenhuma variação significativa, uma vez que a maior variação ocorre aos 30 nós com uma diferença de apenas 0,02 kN.

Por forma a ter alguma garantia sobre os valores calculados para as velocidades inferiores a 16 nós, fez-se uma procura sobre as formas típicas de curvas de resistência para navios de casco planantes, e de facto, esta é a forma típica de curvas de resistência para navios com cascos planantes, conforme se pode observar nos gráficos seguintes.

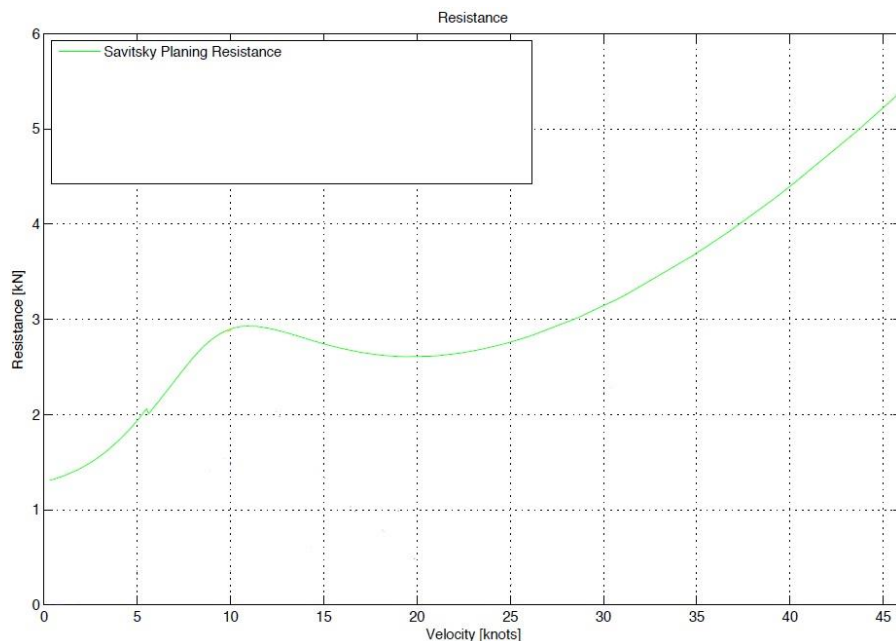


Gráfico 7 - Curva de Resistência Vs. Velocidade de uma embarcação com casco planante. Adaptado de: (Blomberg & Gross, 2014).

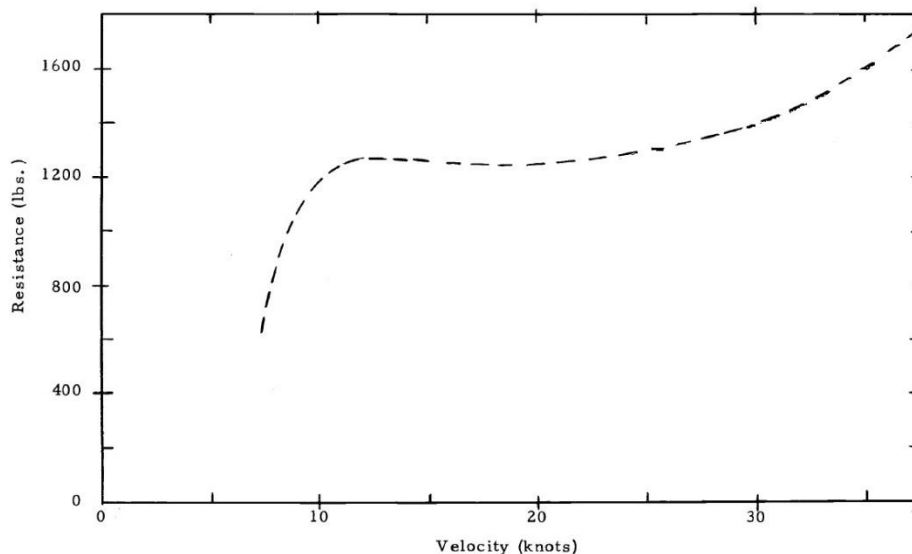


Gráfico 8 - Curva de Resistência Vs. Velocidade de uma embarcação com casco planante. Adaptado de: (Ladd, 1976).

Analisando os gráficos anteriores verifica-se que por norma, os navios com casco planantes sofrem uma resistência muito acentuada até atingirem velocidades próximas dos 5 nós, pois até estas velocidades os navios encontram-se num regime de deslocamento. A partir dos 5 nós de velocidade é que as embarcações começam a entrar no regime de semi-deslocamento e posteriormente, por volta dos 10 nós de velocidade

entram no regime planante. O gráfico seguinte representa a curva de resistência característica para os 3 diferentes tipos de casco (planante, semi-deslocamento e deslocamento).

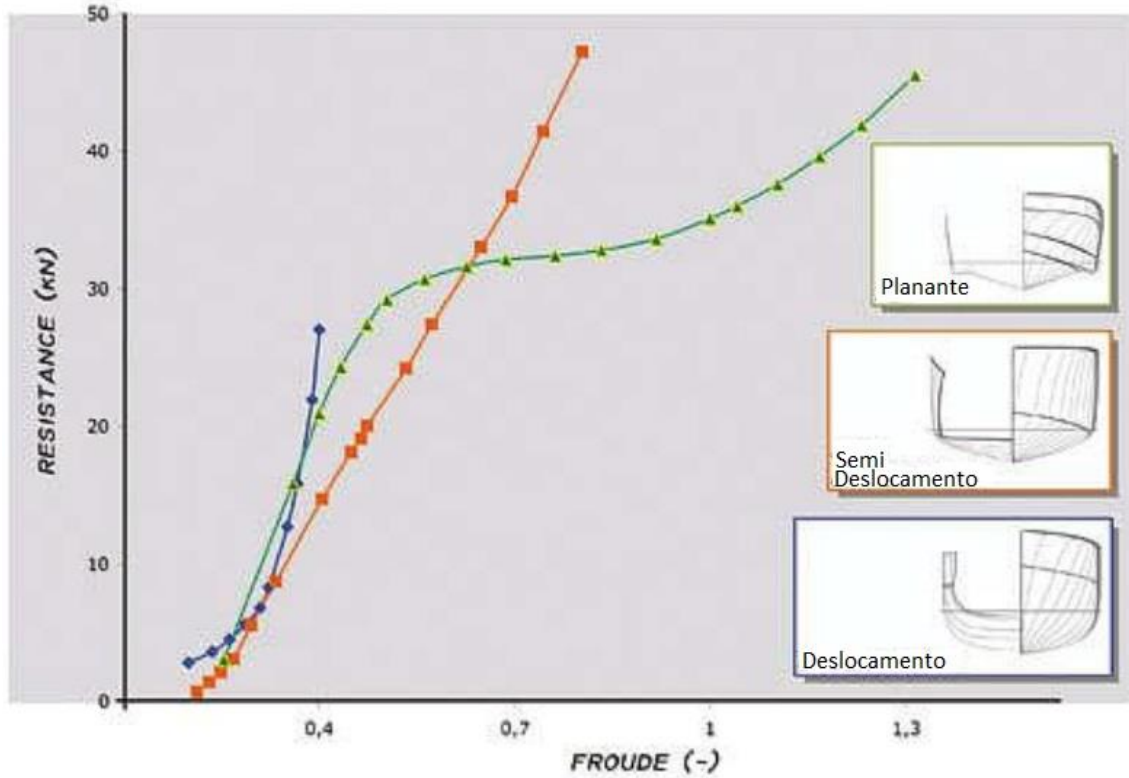


Gráfico 9 - Curva de Resistência Vs. Número de Froude para diferentes tipos de casco. Adaptado de: (Thomas, 2015).

No gráfico anterior os valores de resistência variam em função do Número de Froude (F_N) e não da velocidade, contudo, o Número de Froude varia diretamente com a velocidade:

$$F_N = \frac{V}{\sqrt{g \times L}} \quad (17)$$

- V - Velocidade [m/s];
- g - Aceleração gravítica: 9,81 m/s²;
- L – Comprimento à linha de água [m].

Uma vez conhecidos os valores de resistência que o VENT-SUP-EN tem que vencer para conseguir atingir as velocidades pretendidas, é necessário calcular qual a potência necessária a fornecer de maneira a que se consiga cumprir com essas velocidades. O *software AutoPower*[®] também tem a capacidade de calcular os valores de potência, necessitando dos mesmos dados que foram inseridos para o cálculo da resistência. Pelos mesmos motivos dos cálculos de resistência, efetuaram-se os cálculos de potência até aos 40 nós.

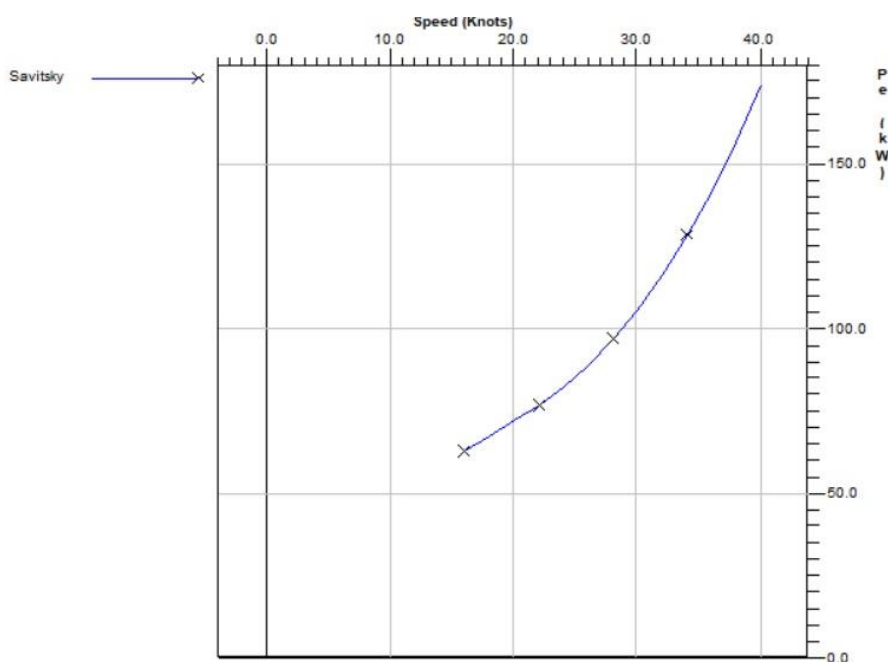


Gráfico 10 - Gráfico de Potência Vs. Velocidade do VENT-SUP-EN obtido a partir do *AutoPower*[®].

À semelhança dos cálculos para a resistência, o *software* apenas começa a calcular os valores de potência a partir dos 16 nós de velocidade com um valor de 63 kW e termina aos 40 nós com um valor de 174 kW. Conforme dito anteriormente, o facto de o *software* não efetuar os cálculos para velocidades inferiores a 16 nós poderá dever-se ao facto de a forma do casco do VENT-SUP-EN não cumprir com determinados parâmetros para que o *software* efetue os cálculos através do método de *Savitsky*. Assim sendo, repetiu-se o processo de exportar os valores fornecidos pelo *AutoPower*[®] para uma tabela em Excel e construir um gráfico criando uma linha de análise de tendência, onde se obteve o seguinte gráfico:

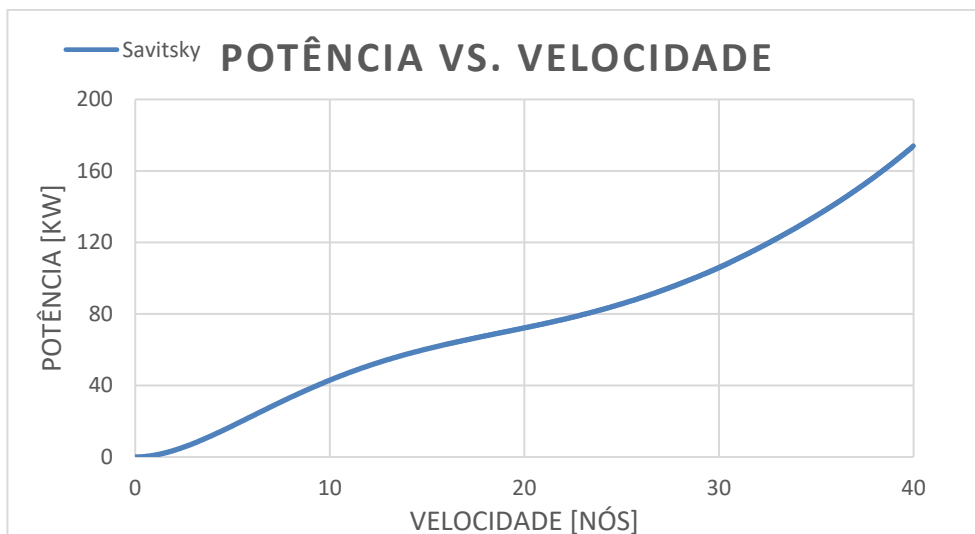


Gráfico 11 - Gráfico de Potência Vs. Velocidade do VENT-SUP-EN obtido a partir do Excel com uma linha de tendência.

Comparando a curva calculada pelo *AutoPower*[®] e a curva calculada pelo Excel, pode verificar-se que para os valores compreendidos entre 16 e 40 nós, não existe nenhuma variação significativa, uma vez que a maior variação ocorre aos 32 nós com uma diferença de apenas 0,33 kW.

A curva calculada pelo Excel com uma linha de tendência, também apresenta uma forma satisfatória e dentro do que é comum para navios com cascos planantes, conforme se pode observar no gráfico seguinte:

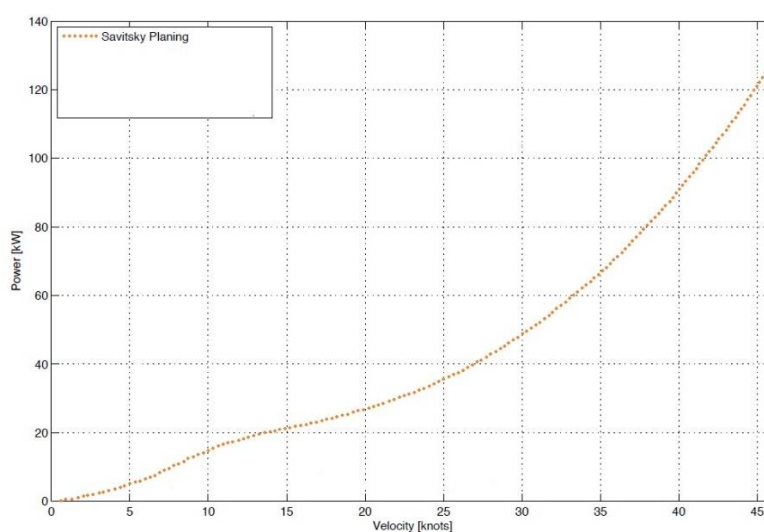


Gráfico 12 - Curva de Potência Vs. Velocidade de uma embarcação com casco planante. Adaptado de: (Blomberg & Gross, 2014).

Sendo um dos requisitos técnicos, descritos anteriormente, que o VENT-SUP-EN consiga atingir velocidades de 35 nós, pode concluir-se que para esta velocidade seja alcançada, o sistema propulsor deverá produzir uma potência de 135 kW. Contudo, o VENT-SUP-EN também terá que possuir a capacidade de navegar em condições de estado de mar 5 na escala de *Douglas* e em situações de mar agitado deve ser acrescida uma margem de 15% ao valor da potência (Rawson & Tupper, Basic Ship Theory, Volume 1, 2001), sendo então necessário que o sistema propulsor debite no final uma potência de 155 kW.

8. Análise e Discussão de Resultados

Uma vez terminado todo o processo de cálculos e de *design*, é altura de verificar e analisar todo o processo efetuado e os resultados obtidos, verificando se o VENT-SUP-EN cumpre com todos os requisitos impostos, e, caso não cumpra, definir o que ainda poderá ser acrescentado/alterado ou, caso seja um processo mais complexo, identificar as falhas para numa futura iteração ter em conta essas falhas e tentar corrigi-las.

Começa-se por voltar a analisar os requisitos técnicos exigidos para o VENT-SUP-EN:

O VENT-SUP-EN deverá ser transportado e lançado a partir de algumas classes de navios da Marinha Portuguesa, estando limitado a um determinado peso e comprimento. O VENT-SUP-EN, tem um deslocamento final de 3,9 toneladas, o que não impõe qualquer limitação em termos de peso para as gruas dos navios. Em termos de dimensões (8m de comprimento e uma boca máxima de 2,4 m), também não implica nenhuma limitação, contudo deverá ser construído um berço que permita aos navios transportar o VENT-SUP-EN.

Foi também definido que as estruturas do VENT-SUP-EN deveriam ser altamente resistentes por forma a suportar condições meteo-oceanográficas adversas, contudo, não foi efetuado nenhum estudo para verificar se o VENT-SUP-EN consegue ou não suportar tais condições. Esse estudo, poderá ser elaborado num trabalho à posteriori.

No que toca à exigência de o VENT-SUP-EN possuir características autoendireitantes, tal foi conseguido com sucesso, conforme foi estudado no capítulo 6.

Para o VENT-SUP-EN poder navegar em águas comuns com outros navios, este terá que cumprir com o RIEAM no que toca à iluminação. Assim sendo, como este possui um comprimento inferior a 12 metros, segundo a regra 22 do RIEAM (transcrita para o Anexo A) este deverá possuir os faróis descritos no RIEAM, e foram acrescentados no modelo desenhado no *SolidWorks*®.

Era desejável que o VENT-SUP-EN possuísse uma forma geométrica por forma a facilitar a subida de 2 náufragos para bordo, contudo devido à complexidade de garantir este requisito juntamente com o requisito de ser autoendireitante, optou-se nesta 1ª iteração beneficiar o facto de ser autoendireitante, prejudicando a capacidade da subida para bordo de 2 náufragos. Poderá ser possível conciliar estes dois requisitos numa próxima iteração do projeto.

Conforme calculado no capítulo anterior, a potência exigida para que o VENT-SUP-EN possa atingir uma velocidade de 35 nós é de 155 kW. O motor escolhido (QSD2.8-230) consegue debitar uma potência de 169 kW às 3800 rpm, contudo, existem perdas de potência desde o motor até à hélice, que não foram calculadas. Fica assim também uma proposta de estudo para uma futura iteração, verificando se o motor adotado inicialmente tem ou não potência suficiente para fazer com que o VENT-SUP-EN atinja os 35 nós de velocidade. Para os cálculos de autonomia, vai continuar a ser considerado o motor QSD2.8-230, que consome 50 litros de combustível por hora à máxima rotação (3800 rpm). Tinha-se previsto para o VENT-SUP-EN um tanque de combustível com capacidade para 400 litros, o que dá ao VENT-SUP-EN uma autonomia de 8 horas, cumprindo com o definido nos requisitos técnicos que era uma autonomia de 4 horas. Ainda relativamente à propulsão a utilizar no VENT-SUP-EN seria interessante que fosse elaborado um estudo mais completo por forma a determinar qual o modo de propulsão mais adequado para este navio, pois se possuir um motor *diesel* terá que ser estudado também um sistema para que o motor não fique inoperacional quando estiver num ângulo de adornamento de 180°.

Em qualquer projeto que se desenvolva estão envolvidos custos em diferentes fases do projeto, desde o *design* até à concretização do projeto existem diversas atividades que exigem a aquisição de diferentes produtos, envolvem várias pessoas a trabalhar, e como tal tudo tem um custo. O projeto do VENT-SUP-EN não foge à regra e, portanto, poderá ser feita nesta primeira iteração do projeto uma pequena estimativa de custos associados ao desenvolvimento do VENT-SUP-EN, mesmo sendo uma estimativa com pouco rigor e com alguns valores aproximados. Assim sendo, começou-

se por efetuar uma busca no mercado do preço dos diversos equipamentos e sensores escolhidos para equipar o VENT-SUP-EN. Na tabela seguinte apresenta-se um resumo da estimativa de custos para o VENT-SUP-EN:

Tabela 13 - Estimativa de custos para o VENT-SUP-EN.

	PREÇO €
CASCO + SUPERESTRUTURA	62,000
RADAR	2,000
GPS	100
GNSS	1,000
BATERIA	240
SONAR LATERAL	6,000
SONAR	250,000
CAMARA IR	60,000
ARMA LIGEIRA	500,000
BALSA	800
TERMÓMETRO	90
HIGRÓMETRO	20
BARÓMETRO	180
ANEMÓMETRO	940
MOTOR	28,000
	€ 911,370.00

Verifica-se que o valor estimado nesta primeira iteração para o VENT-SUP-EN será 911,370.00 €, contudo por forma a deixar alguma margem de erro para eventuais operações de instalação dos sistemas e de manutenções, acrescentou-se a este valor uma margem de 20%, prevendo assim um valor final de 1,093,644.00 €.

Um outro processo comum na fase de projeto de navios é fazer uma análise por grupos funcionais, isto é, divide-se todo o material que constitui o navio em diferentes grupos funcionais, e faz-se uma análise do impacto que tem cada grupo funcional em diferentes áreas. Assim sendo, os materiais que compõem o VENT-SUP-EN podem ser divididos nos seguintes grupos funcionais:

- Estruturas que engloba o casco e as superestruturas;
- Propulsão e Energia que engloba o motor, combustível e as baterias;
- Armamento que engloba a arma ligeira;

- Equipamentos e Sensores que engloba todos os outros equipamentos e sensores não referidos nos grupos funcionais descritos anteriormente.

É possível fazer agora uma análise do impacto que cada grupo funcional tem no peso, volume e custo final do VENT-SUP-EN.

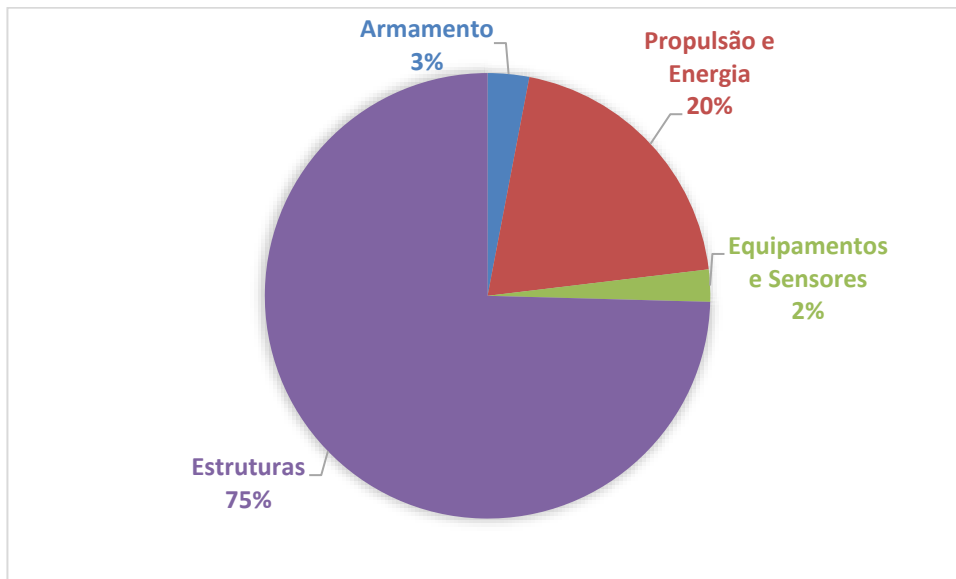


Gráfico 13 - Impacto de cada grupo funcional no peso final do VENT-SUP-EN.

Analisando o gráfico anterior é possível verificar que as estruturas do VENT-SUP-EN são as grandes responsáveis pelo valor do seu peso final, pesando $\frac{3}{4}$ do peso total do navio.

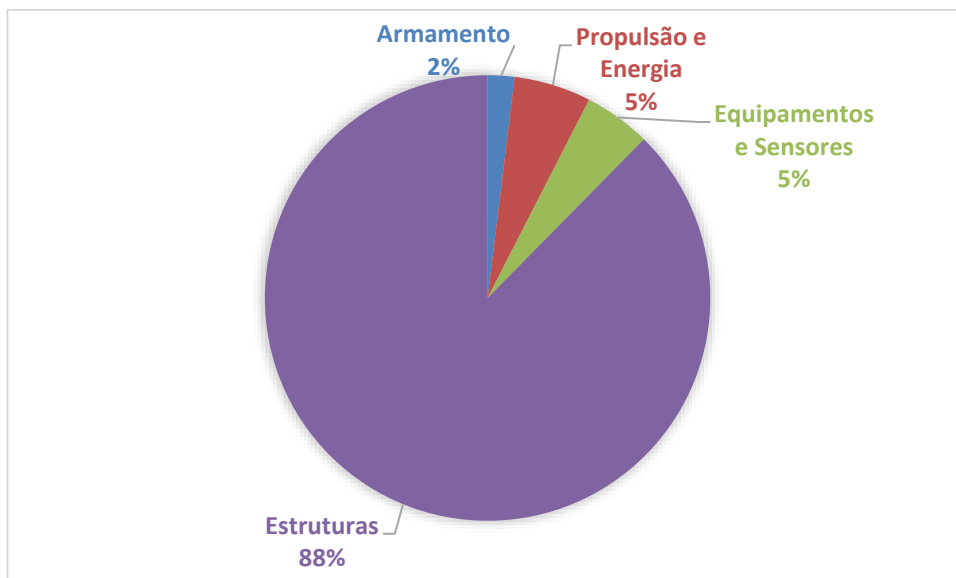


Gráfico 14 - Impacto de cada grupo funcional no volume final do VENT-SUP-EN.

À semelhança do peso, as estruturas do navio também são as principais responsáveis pelo volume final do VENT-SUP-EN, contudo o grupo funcional da Propulsão e Energia e o grupo funcional dos Equipamentos e Sensores tem um igual contributo no que toca ao volume final do VENT-SUP-EN.

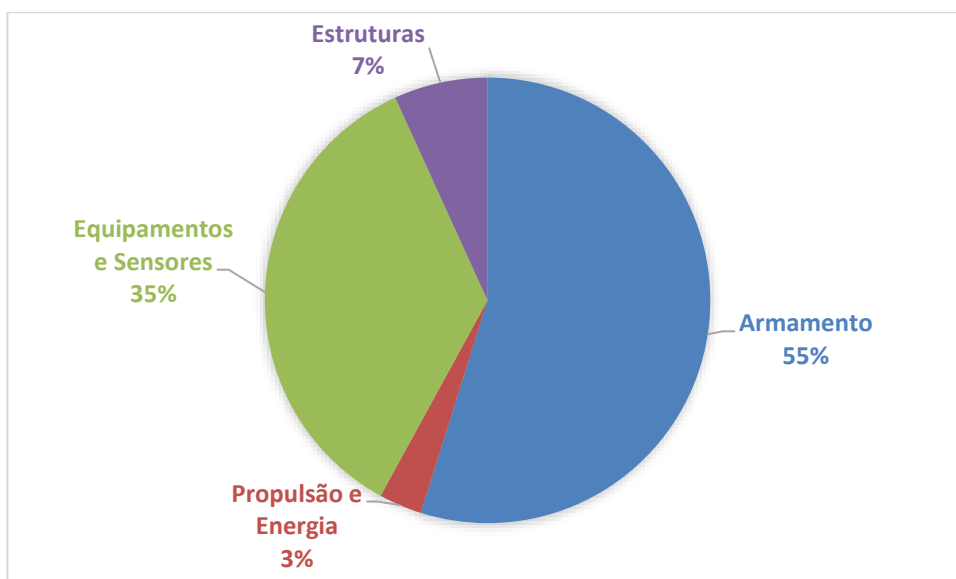


Gráfico 15 - Impacto de cada grupo funcional no custo final do VENT-SUP-EN.

Contrariando a tendência dos dois últimos gráficos, a construção das estruturas serão o grupo funcional que menos impacto terá no preço final do VENT-SUP-EN, a seguir

ao grupo funcional da Propulsão e Energia. Mais de metade do valor da construção do VENT-SUP-EN deve-se ao custo de aquisição e instalação da arma ligeira, o que leva a pensar se será realmente indispensável, ou se, se poderá abdicar da arma uma vez que o custo final do VENT-SUP-EN iria reduzir para menos de metade. Este estudo poderá ser feito numa futura iteração do projeto.

No final deste trabalho de desenvolvimento do projeto conceptual do VENT-SUP-EN, pode verificar-se que já se conseguiram obter alguns resultados típicos de uma 1ª iteração do projeto de um navio, contudo muito falta ainda estudar e desenvolver para que se possa passar à fase de construção. Assim sendo, apresenta-se nas figuras seguintes o modelo final do VENT-SUP-EN modelado no *SolidWorks*®.

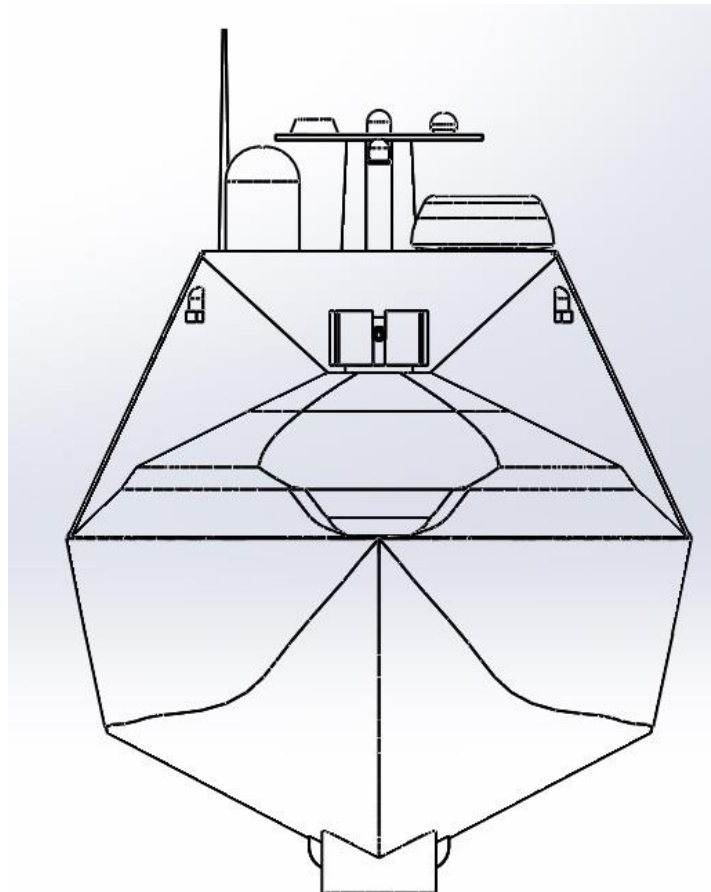


Figura 31 - Vista frontal do VENT-SUP-EN.

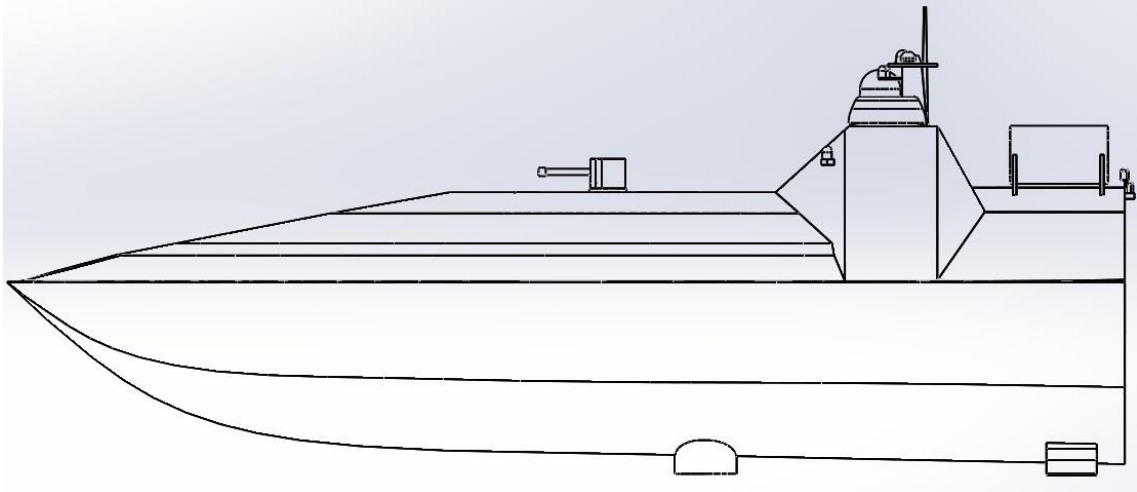


Figura 32 - Vista lateral do VENT-SUP-EN.

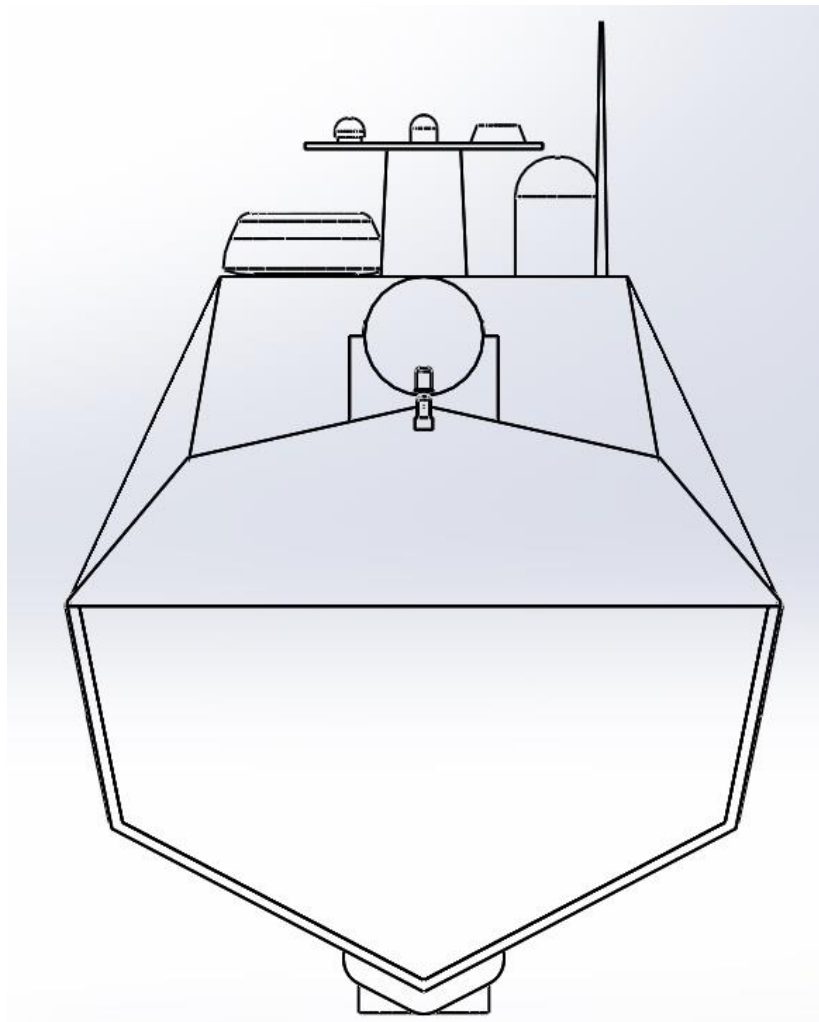


Figura 33 - Vista de ré do VENT-SUP-EN.

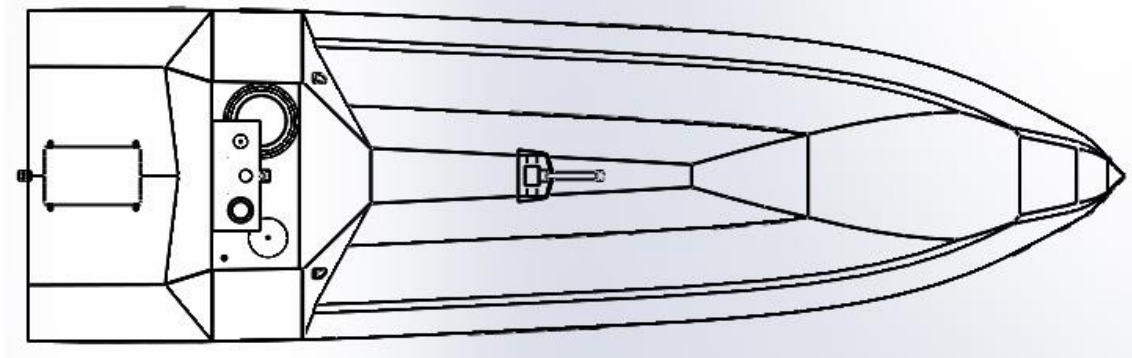


Figura 34 - Vista de cima do VENT-SUP-EN.

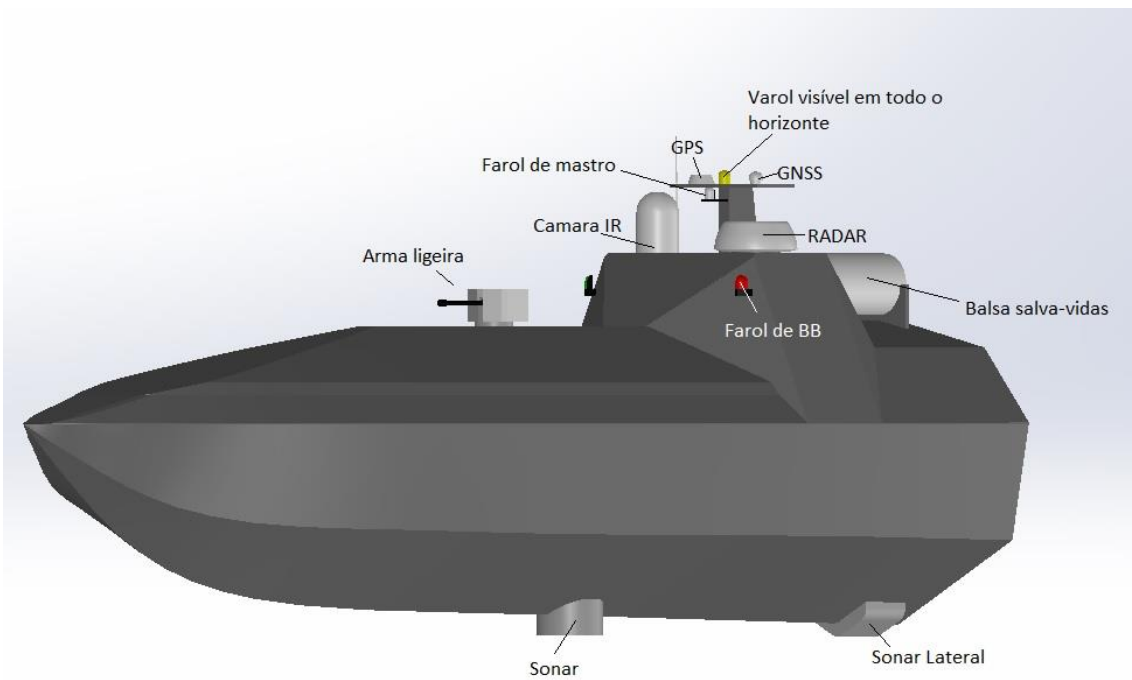


Figura 35 - Representação do VENT-SUP-EN com equipamentos.

Na tabela seguinte resume-se as principais características do VENT-SUP-EN:

Tabela 14 - Principais características do VENT-SUP-EN.

L total [m]	8	VCG [m]	0.74
L à linha de água [m]	7.1	LCG [m]	2.71
B [m]	2.4	Velocidade máxima [nós]	35
T [m]	0.63	Potência [kW]	169
D, da quilha ao convés [m]	1.3	Autonomia à máxima velocidade [h]	8
D máximo [m]	2.4	Alcance máximo [Nm]	15
Δ [ton]	3.9		

9. Conclusão

Neste trabalho começou-se por fazer uma investigação de VENT-SUP's já existentes nas Forças Armadas de outros países, por forma a perceber quais as operações que mais desempenham e assim obter ideias para ponto de partida para o VENT-SUP-EN. Posteriormente foram estudadas as fases fundamentais no processo de projeto de navios, e definidos os principais objetivos a desenvolver no projeto conceptual que é o tema deste trabalho. Tal como referido no Capítulo 2 – Enquadramento Teórico, o projeto conceptual tem como principal objetivo terminar com as seguintes peças escritas ou desenhadas:

- Avaliação e interpretação dos requisitos operacionais e técnicos;
- Seleção preliminar de armas e sensores;
- Lista dos principais sistemas e equipamentos;
- Estimativa de pesos e volume;
- Esboço do plano geométrico (forma do casco);
- Estimativa de estabilidade;
- Estimativa de velocidades e de potência.

Estas peças deram o “rumo” a este trabalho, pois a dissertação foi desenvolvida por forma a conseguir atingir tais objetivos. No primeiro passo “Avaliação e interpretação dos requisitos operacionais e técnicos”, antes de avaliar e interpretar foi necessário definir ambos os requisitos, pois antes de dar início ao projeto estes não se encontravam definidos.

Posteriormente foram selecionados os diferentes sistemas, equipamentos, sensores e armas necessárias para que o VENT-SUP-EN consiga desempenhar as operações para as quais está a ser projetado.

Não sendo uma das peças de um projeto concetual, mas uma etapa importante para peças posteriores, foi elaborado um estudo para determinar qual o tipo de casco adequado a esta embarcação, bem como o material a ser utilizado na construção deste.

Sabendo agora qual o tipo de casco, foi possível efetuar um estudo para estimar as principais dimensões, peso e volume do VENT-SUP-EN, contudo estas poderiam vir a alterar no processo de desenho e modelação no *SolidWorks*[®], onde se concluiu mais uma peça, neste caso o “esboço do plano geométrico”.

Por fim, e com o auxílio de diversos *softwares* foi possível estimar os valores de estabilidade, velocidade e de potência, terminando e cumprindo com as diversas peças escritas e desenhadas que fazem parte do objetivo de um projeto conceptual, e, por conseguinte, deste trabalho.

Conforme apresentado no capítulo anterior, foi possível desenvolver um modelo e produzir as linhas gerais do que poderá vir a ser no futuro o VENT-SUP-EN, contudo, não se pode concluir que a fase de projeto está concluída, muito pelo contrário. Conforme dito no capítulo do Enquadramento Teórico o projeto de um navio é um processo complexo que engloba diversas áreas de estudo e é também um processo cíclico e iterativo onde se analisam vários detalhes diversas vezes. Assim sendo, há ainda muitos passos a desenvolver e muitos estudos de diferentes áreas científicas para efetuar antes de poder passar à fase da construção. Apresentam-se de seguida algumas sugestões de melhoramento e de trabalhos futuros, para que se possa dar seguimento a este projeto do VENT-SUP-EN:

- Como no início deste trabalho não estavam definidos os requisitos operacionais e técnicos, sugere-se que seja elaborado um estudo em que se defina de um modo racional estes requisitos para que fiquem bem consolidados;
- Especialistas de diferentes áreas verificarem se todos os equipamentos e sensores escolhidos conseguem desempenhar bem as operações exigidas, ou se deverão ser substituídos por outros com diferentes capacidades;
- Efetuar estudos de comando, controlo e comunicações e de inteligência artificial para que os equipamentos e sensores estejam todos em sintonia para que as missões do VENT-SUP-EN sejam todas realizadas com rigor e segurança;

- Averiguar e estudar com rigor todas as leis, normas e requisitos de segurança que regulam a operação de VENT-SUP's em diferentes áreas de operações;
- Elaborar um estudo mais profundo sobre os materiais a utilizar na construção do VENT-SUP-EN;
- Estudar qual o método de propulsão mais adequado para o VENT-SUP-EN;
- Efetuar planos de manutenção planeada por forma a aumentar a longevidade de vida do VENT-SUP-EN.

Estes exemplos apresentados anteriormente são só uma pequena amostra de estudos que deverão ser efetuados em trabalhos futuros.

Ao desenvolver este trabalho, foi efetuado em paralelo um artigo científico para a conferência internacional *SEACONF18* - apresentado no Apêndice E - que teve lugar na Roménia. Para além de ter sido apresentado foi ainda publicado no jornal da conferência.

Concluo afirmando que foi um trabalho desafiante que contribuiu para o meu desenvolvimento a nível intelectual e despertou a minha curiosidade na área da Arquitetura Naval, e que toda a aprendizagem adquirida poderá vir a ser útil num futuro próximo ao desempenhar as funções inerentes ao serviço de um oficial da classe de Engenheiros Navais do Ramo de Mecânica.

Bibliografia

- Akyıldız, H., & Şimşek, C. (2016). *Self-righting Boat Design*. Istanbul.
- Andrews, D. (1985). *An Integrated Approach to Ship Synthesis*. London: The Royal Institute of Naval Architects.
- Araújo, I. d. (2016). Projeto de embarcação de bombeiros para salvatagem. Joinville.
- Bagherpour, S. (2012). Fibre Reinforced Polyester Composites. InTech.
- Bertram, V. (s.d.). Unmanned Surface Vehicles – A Survey. Brest.
- Blomberg, K., & Gross, J. (2014). Conceptual Study of a USV for the Swedish Navy.
- Campana, J. M. (1989). Formas de cascos de embarcaciones rápidas. Barcelona.
- Cohen, S., Ghosh, D., & Shepard, D. M. (1990). Design and Construction of the U.S. Coast Guard's 47-ft Self-Righting, Heavy Weather Rescue Craft.
- (2015). Conceito Estratégico Naval.
- Danielsson, J., & Strømquist, J. (2012). CONCEPTUAL DESIGN OF A HIGH-SPEED SUPERYACHT TENDER - HULL FORM ANALYSIS AND STRUCTURAL OPTIMIZATION.
- Dokkum, K. v. (2003). *Ship Knowledge - A Modern Encyclopedia*. Enkhuizen: DOKMAR.
- d'Oliveira, R. (1964). *Elementos de Arquitetura Naval, Volume I*. Serviço de Publicações Escolares da Escola Naval.
- Evans, H. (1959). Basic Design Procedure.
- Graham, M. M. (2008). Unmanned Surface Vehicles : An Operational Commander's Tool for Maritime Security. Newport.
- Heo, J., Kim, J., & Kwon, Y. (2017). *Analysis of Design Directions for Unmanned Surface Vehicles*. Journal of Computer and Communications.
- Homeland Security*. (15 de janeiro de 2018). Obtido de <https://www.homelandsecurity-technology.com/projects/katana-unmanned-surface-vessel-usv/>
- Insel, M. (2000). Design Techniques for Advanced Marine Vehicles - Handout II: General Approach in the Preliminary Design of Advanced Marine Vehicles.
- Kessel, R. (2012). HPT2E Technologies and Platforms.
- Labes, T. A. (2015). Modelos Empíricos Para Estimativas Preliminares dos Coeficientes de Forma de um Navio Mercante. Joinville.
- Ladd, D. M. (1976). POWER PERFORMANCE OF PLANING BOATS WITH THE EFFECT OF PROPELLER SELECTION AND PROPELLER GUARD DESIGN. Oregon State University.
- Lérias, R. (2005). *Crónica de Arquitetura Naval*. Anais do Clube Militar Naval.
- Letcher, J. (2010). The Principles of Naval Architecture Series: The Geometry of Ships.
- Lewis, E. V. (1988). Principles of Naval Architecture, Vol. I: Stability and Strength.
- Manley, J. E. (2008). Unmanned Surface Vehicles, 15 Years of Development. Washington.
- Martin, A. (2011). Unmanned Maritime Systems Defense & Security UUV & USV Markets, Technologies and Opportunities Outlook 2012 – 2020. Market Intel Group.
- Martins, M. R. (2010). *Hidrostática e Estabilidade*. Universidade de São Paulo.
- Molland, A. F. (2008). The Maritime Engineering Reference Book - A Guide to Ship Design, Construction and Operation. Butterworth-Heinemann.
- Molland, A. F., Turnock, S. R., & Hudson, D. A. (2011). *Ship Resistance and Propulsion: Practical Estimation of Ship Propulsive Power*. Nova Iorque: Cambridge University Press.
- Moore, C. (2010). The Principles of Naval Architecture Series: Intact Stability.
- NavalDrones*. (12 de Fevereiro de 2018). Obtido de NavalDrones Web site: <http://www.navaldrone.com/Interceptor.html>
- Neves, V. (2009). Comportamento mecânico de compósitos com aplicações navais. Aveiro: Universidade de Aveiro.
- North Atlantic Treaty Organization. (2010). AAP20 - Phased Armaments Programming System (PAPS). NATO.

- North Atlantic Treaty Organization. (2015). AAP20 - NATO Programme Management Framework (NATO Life Cycle Model). NATO.
- Oliveira, B. A. (2015). SISTEMAS NÃO TRIPULADOS NAS FORÇAS ARMADAS NACIONAIS COMO POTENCIADORES DAS SUAS CAPACIDADES. Pedrouços.
- Radu, O., Slamnoiu, G., & Zarnescu, L. (s.d.). Harbor Protection Against Terrorist Threats: Difficulties and Possible Solutions. Roménia.
- Rawson, K. J., & Tupper, E. C. (2001). *Basic Ship Theory, Volume 1*.
- Rawson, K. J., & Tupper, E. C. (2001). *Basic Ship Theory, Volume 2*.
- Salvado, C. (2004). Projecto Naval - Proposta de Léxico.
- Salvado, C. (2004). Projeto Naval - Proposta de Léxico.
- Santos, J. M., Sutherland, L., & Soares, C. G. (s.d.). Ensaio de caracterização das propriedades mecânicas de compostos. Lisboa.
- Savitsky, D. (1964). *Hydrodynamic Design of Planing Hulls*. Marine Technology.
- Savitsky, D., & Brown, P. W. (1976). Procedure for Hydrodynamic Evaluation of Planing Hulls in Smooth and Rough Water. Marine Technology.
- Schneekluth, H., & Bertram, V. (1998). *Ship Design for Efficiency and Economy*. Butterworth-Heinemann.
- Scott Savitz, I. B. (2013). *UNMANNED SURFACE VEHICLES (USVs)*. RAND - NATIONAL DEFENSE RESEARCH INSTITUTE.
- Ship Design Process*. (07 de Março de 2018). Obtido de DELTAMARIN: <https://www.deltamarin.com/shipdesign/design-process/#Ship-in-Operation>
- Sponberg, E. W. (2010). *The Design Ratios*.
- Steimle, E. T., & Hall, M. L. (2006). Unmanned Surface Vehicles as Environmental Monitoring and Assessment Tools.
- Taggart, R. (1980). *Ship Design and Construction*. New York: SNAME.
- Thomas J. Pastore, R. T. (2009). Unmanned surface vessels for surface and subsurface threats in harbours: background and practical lessons. NURC.
- Thomas, T. (2015). The Owner's Guide to Superyacht Naval Architecture - Part 1 Learning Your Lines.
- UK, M. (2017). Being a Responsible Industry - An Industry Code of Practise. Society of Maritime Industries.
- Vasconcelos, J. C. (s.d.). Design of Autonomous Surface Vessels. Lisboa.
- Viau, C. (2013). Market Survey of Unmanned Surface Vehicles and Unmanned Aerial Vehicles for Maritime Applications. Ottawa.
- Yan, R.-j., Pang, S., Sun, H.-b., & Pang, Y.-j. (2010). *Development and Missions of Unmanned Surface Vehicle*. Harbin, China: Harbin Engineering University.
- Yeh, E. (2004). *Design, Build and Trial of 19 meters self-righting SAR boat*. London: The Royal Institution of Naval Architects.
- Younes, B. (2015). Robotização de uma Cápsula para salvamento marítimo - Abordagem numa Perspetiva de Arquitetura Naval. Escola Naval.

APÊNDICES

Apêndice A – Matriz de Seleção de Equipamentos

		Massa [kg]	Volume [m ³]	Massa específica [kg/m ³]
RADAR	Raymarine Quantum	5.6	0.192632449	29.07090696
	Raymarine RD418D	9.5	0.210631484	45.10246905
	Garmin GMR 24 xHD	9.5	0.325439051	29.19133391
GPS	SA-320	0.24	0.001307953	183.4928306
	GA150	0.74	0.001757882	420.9610669
GNSS	GNSS-802	0.507	0.005352281	94.72596668
	GNSS-502	0.45	0.003396462	132.4907979
BATERIAS	MVG 12/25	9.6	0.003703392	2592.218161
	AGM 12/70	21.5	0.010518996	2043.921302
	MVG 12/85	32.6	0.01331748	2447.910566
SONAR LATERAL	GEOSWATH 4R	31.5	0.0376128	837.4808576
	starfish 450H	1.1	0.001485514	740.4844384
SONAR	EM 2040	55.5	0.027564309	2013.473307
	SeaBat T20-P	24.4	0.026495349	920.9163534
	SeaBat T50-P	27.6	0.034636089	796.8567167
CAMARE IR/EO	SeaFLIR 230	18.6	0.063206839	294.2719549
	m400	12.25	0.093094186	131.5871651
	FLIR MV/UM	27.2	0.368883907	73.73593549
ARMA LIGEIRA	Samsung SGR-A1	117	0.288	406.25
	mini typhoon	170	0.288	590.2777778
BALSA	RFD Seasava	43	0.07912575	543.4387668
	RFD Seasava Plus	31	0.091908	337.2938156
	DSB	28	0.09126	306.8156914
TERMÓMETRO	Corintech WiFi-T	0.06	0.00013202	454.4765945
HIGRÓMETRO	HUM1000_0	0.01	0.00001924	519.7455611
BARÓMETRO	AB 100	0.08	0.000107497	744.2067677
ANEMÓMETRO	GWS™ 10	0.275	0.02254	12.20053239

Apêndice A2 – Correlação entre o número de equipamentos necessários para cada operação, e a média das massas específicas desses equipamentos.

		Defesa Portuária	Levantamento Hidrográfico	Busca e Salvamento	Recolha de Dados Ambientais	TOTAL	Densidade [kg/m ³]		
RADAR	Raymarine Quantum	X	X	X	X	4	29.07090696	0.029071	3.970929
	Raymarine RD418D	X	X	X	X	4	45.10246905	0.045102	3.954888
GPS	Garmin GMR 24 xHD	X	X	X	X	4	29.19133391	0.029191	3.970809
	SA-320	X	X	X	X	4	183.4928306	0.183493	3.816507
GNSS	GA150	X	X	X	X	4	420.9610669	0.420961	3.579039
	GNSS-802	X	X	X	X	4	94.7296668	0.094726	3.905274
BATERIAS	GNSS-502	X	X	X	X	4	132.4907979	0.132491	3.867509
	MVG 12/25	X	X	X	X	4	2592.218161	2.592218	1.407782
SONAR LATERAL	AGM 12/70	X	X	X	X	4	2043.921302	2.043921	1.956079
	MVG 12/85	X	X	X	X	4	2447.910566	2.447911	1.552089
SONAR	GEO SWATH 4R	X	X	X	X	3	837.4808576	0.837481	2.162519
	staffish 450H	X	X	X	X	3	740.4844384	0.740484	2.259516
CAMARE IR/EO	EM 2040	X	X	X	X	3	1602.374919	1.602375	1.397625
	Seabat T20-P	X	X	X	X	3	920.9163534	0.920916	2.079084
ARMA LIGEIRA	Seabat T50-P	X	X	X	X	3	1001.294834	1.001295	1.998705
	SeaFLIR 230	X	X	X	X	2	294.2719549	0.294272	1.705728
BALSA	m400	X	X	X	X	2	131.5871651	0.131587	1.868413
	FLIR MV/UMI	X	X	X	X	2	73.73593549	0.073736	1.926264
TERMÔMETRO	Samsung SGR-A1	X	X	X	X	1	406.25	0.40625	0.59375
	mini typhoon	X	X	X	X	1	590.28	0.59028	0.40972
HIGRÔMETRO	RFD Seasava	X	X	X	X	1	543.4387668	0.543439	0.456561
	RFD Seasava Plus	X	X	X	X	1	337.2938156	0.337294	0.662706
BARÔMETRO	DSB	X	X	X	X	1	306.8156914	0.306816	0.693184
	Coritech WiFi-T	X	X	X	X	4	454.4765945	0.454477	3.545523
ANEMÔMETRO	HUM1000_0	X	X	X	X	4	519.7455611	0.519746	3.480254
	AB 100	X	X	X	X	4	744.2067677	0.744207	3.255793
	GWS™ 10	X	X	X	X	4	12.20053239	0.012201	3.987799
		24	19	25	14				
		16	13	18	10				
		0.32	0.30	0.27	0.30				

Apêndice B – Características do material a utilizar no casco (Retirado de CES EDUPACK)



General properties

Designation

E-Glass Fiber/Epoxy Composite, Quasi-isotropic Laminate
[0/90,+45/-45]s

Density	1.75e3 - 1.97e3	kg/m ³
Price	*20.9 - 23	EUR/kg

Tradenames

Cycom; Fiberdux; Scotchply

Composition overview

Composition (summary)

Epoxy + E-Glass fiber reinforcement

Base	Polymer
Polymer class	Thermoset plastic
Polymer type	EP
Polymer type full name	Epoxy resin
% filler (by weight)	30 - 60 %
Filler type	Glass fiber

Composition detail

Polymer	30 - 40 %
Glass (mat/fabric)	60 - 70 %

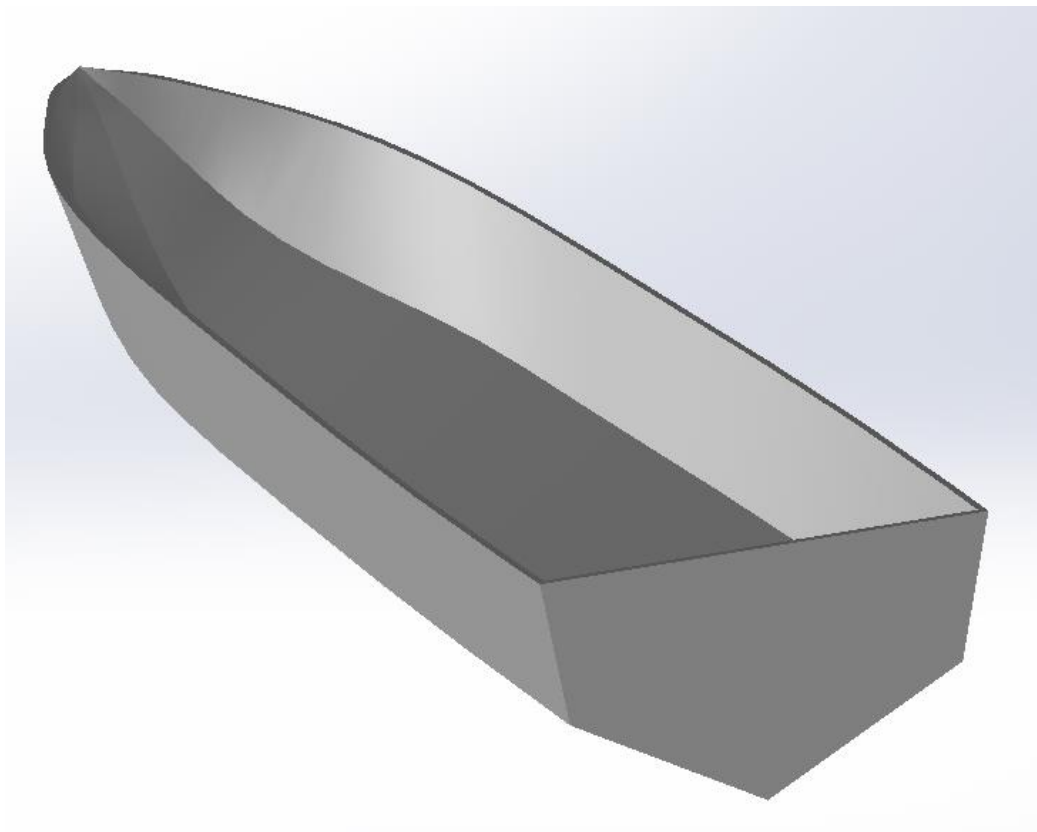
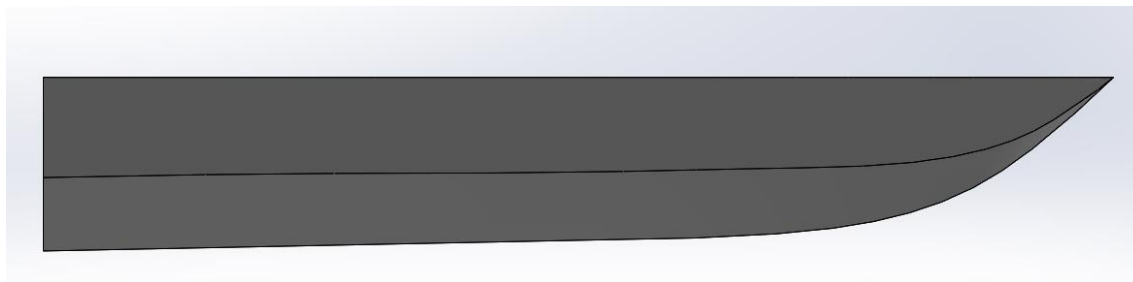
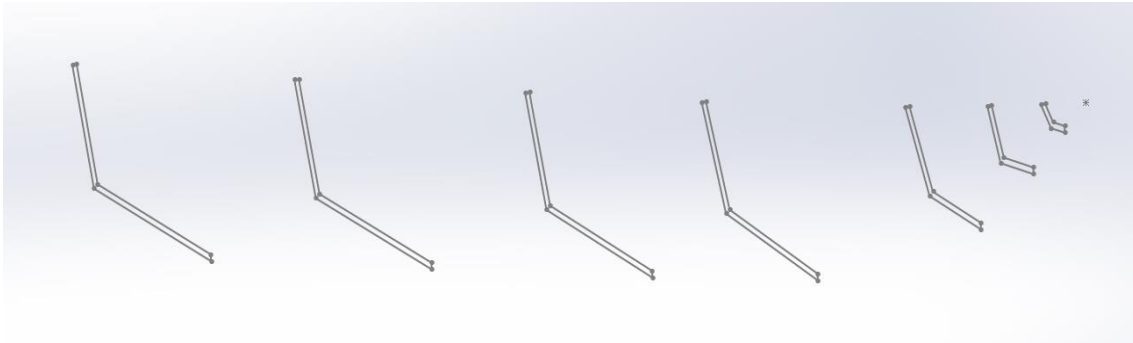
Bio-data

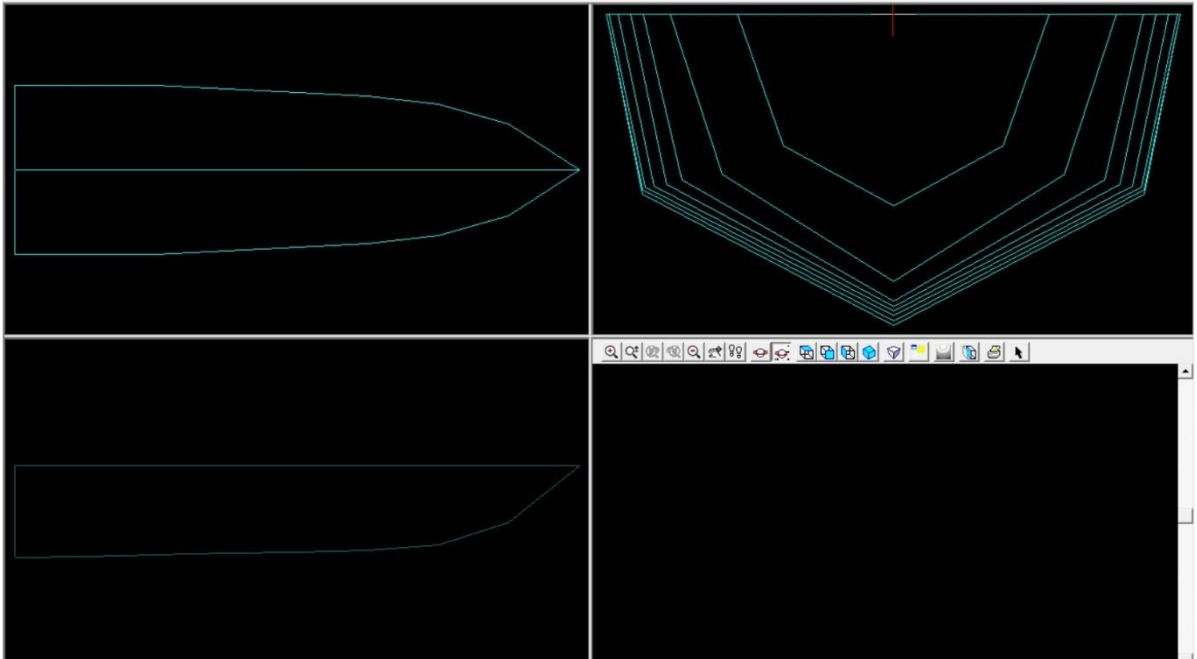
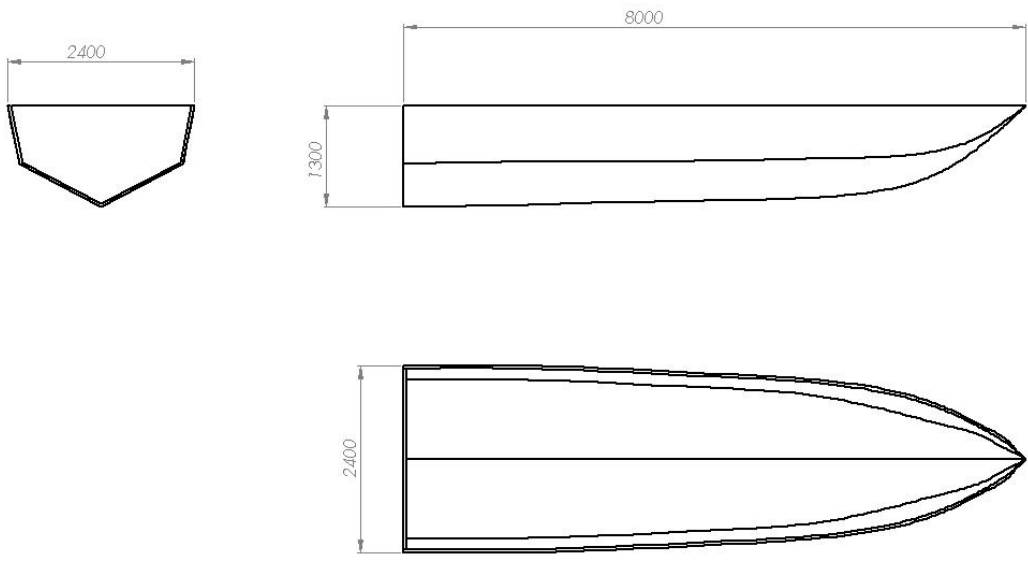
RoHS (EU) compliant grades?

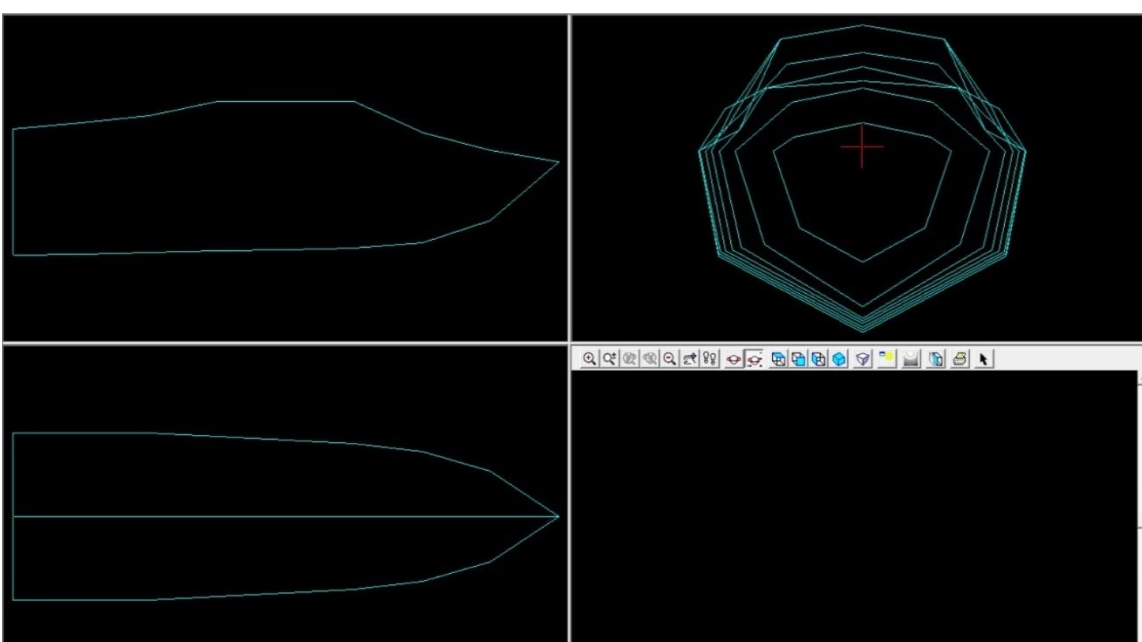
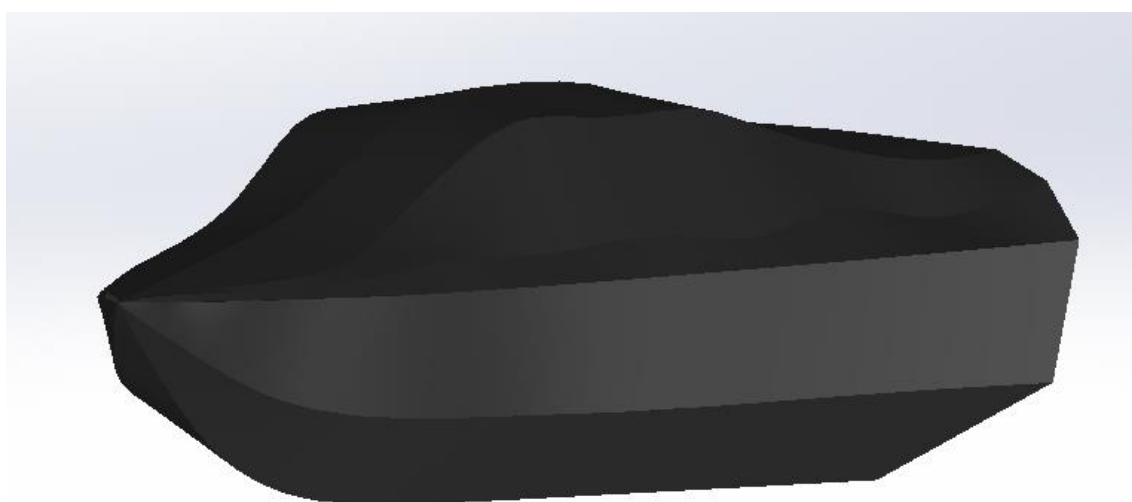
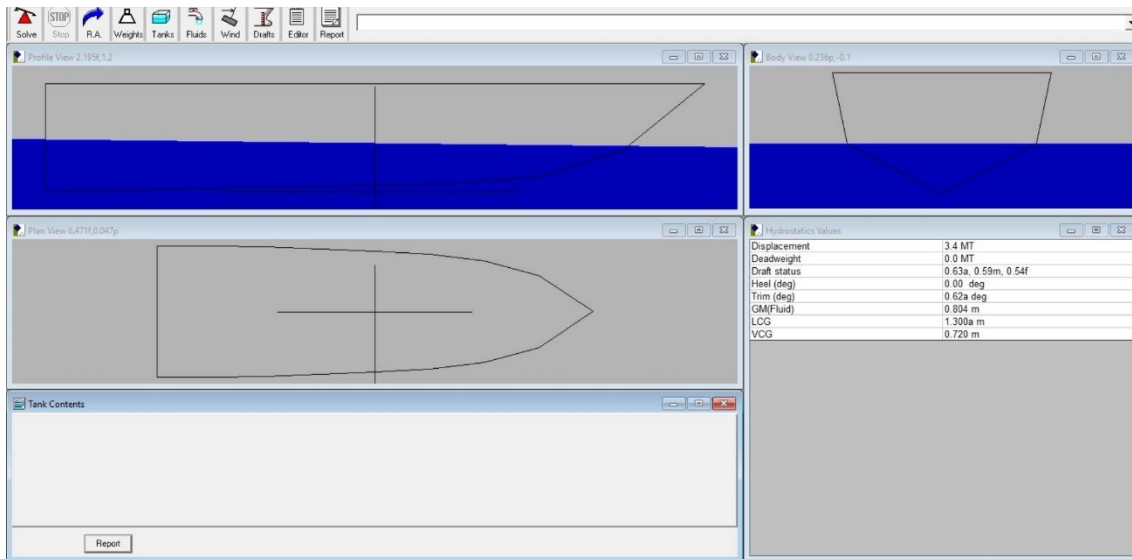
Mechanical properties

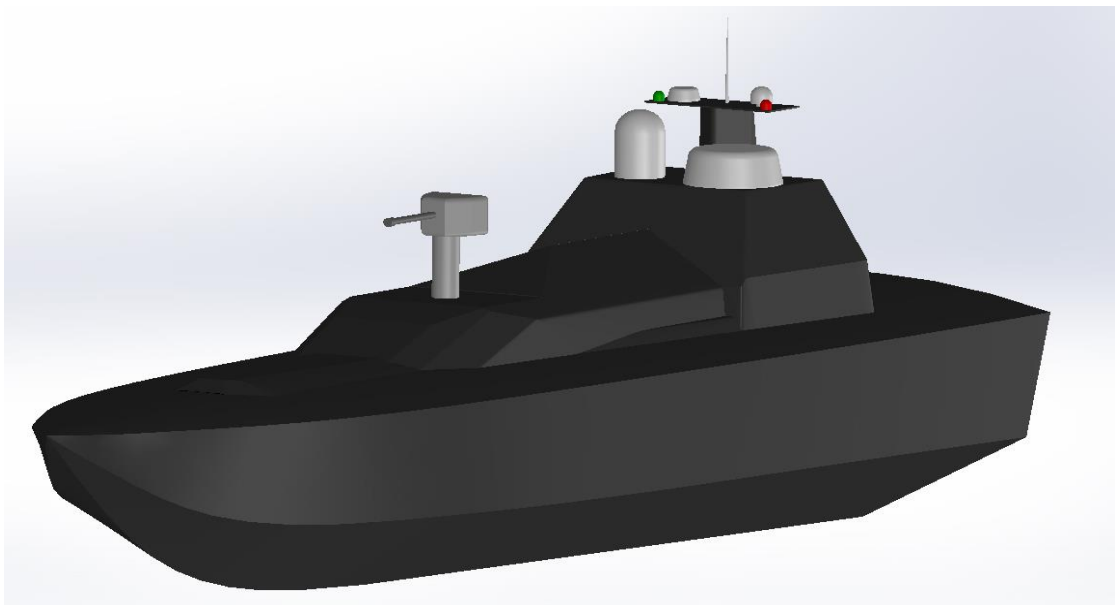
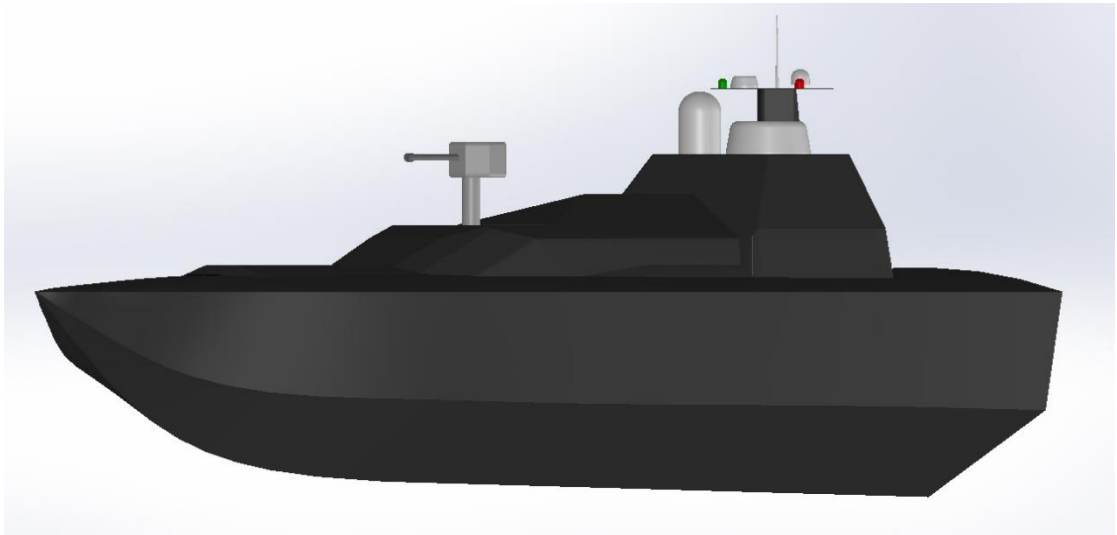
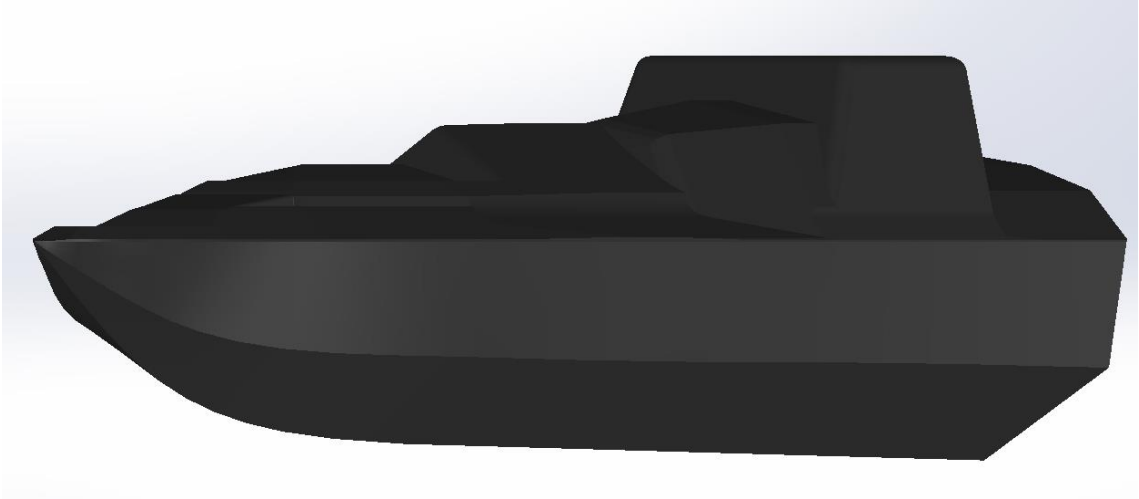
Young's modulus	*21 - 21.8	GPa
Compressive modulus	*21 - 21.8	GPa
Flexural modulus	26 - 26.4	GPa
Shear modulus	*7.99 - 8.29	GPa
Bulk modulus	*6.8 - 7.85	GPa
Poisson's ratio	*0.314 - 0.315	
Shape factor	7.9	
Yield strength (elastic limit)	*207 - 304	MPa
Tensile strength	*207 - 304	MPa
Compressive strength	*207 - 257	MPa
Flexural strength (modulus of rupture)	*207 - 304	MPa
Elongation	*0.85 - 0.95	% strain

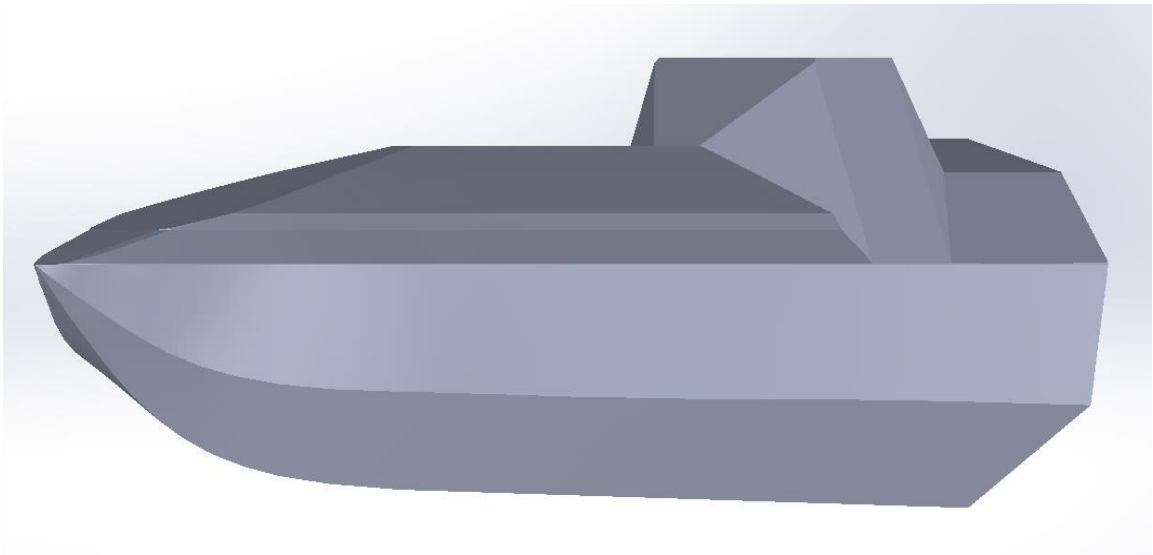
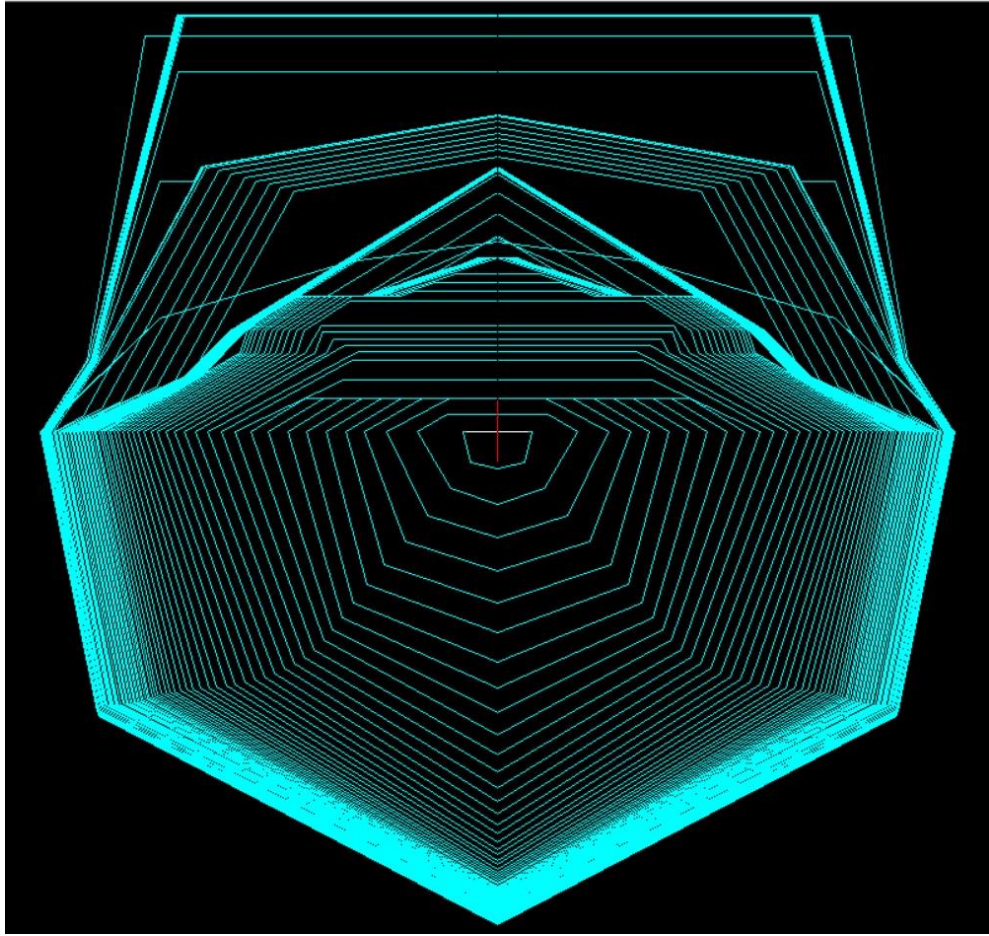
Apêndice C – Diversas fases de modelação

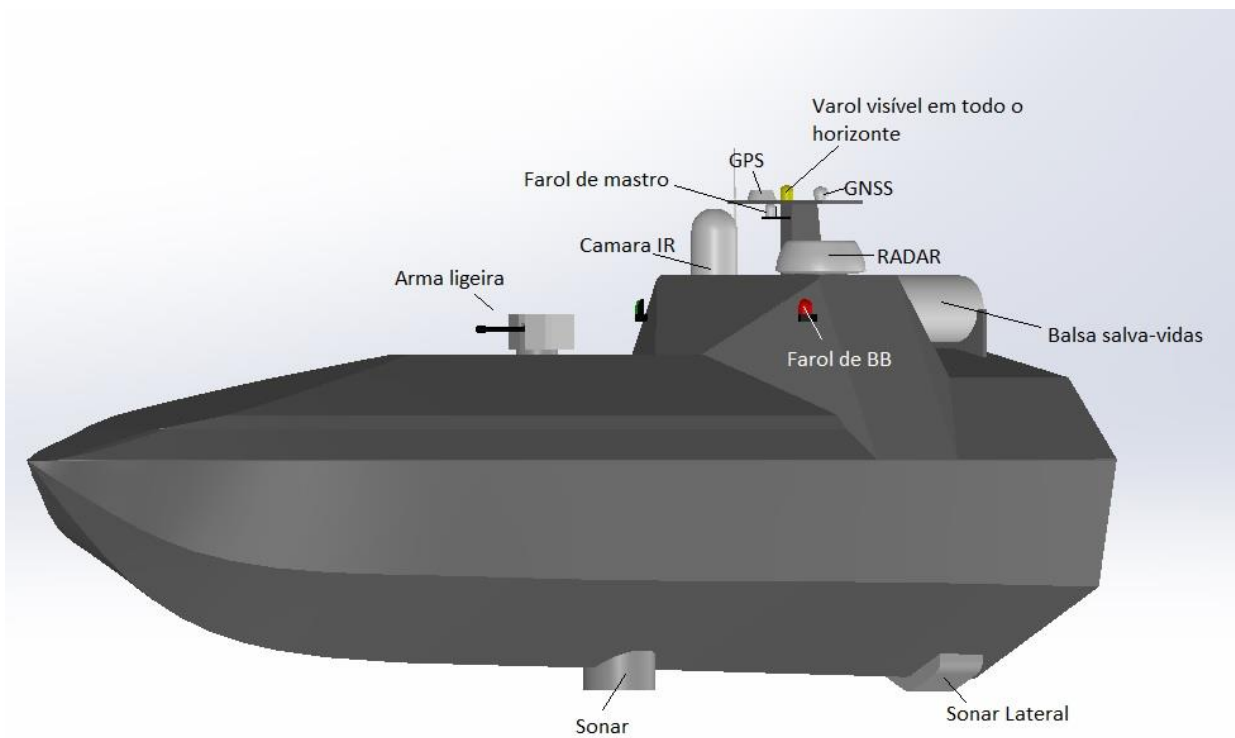
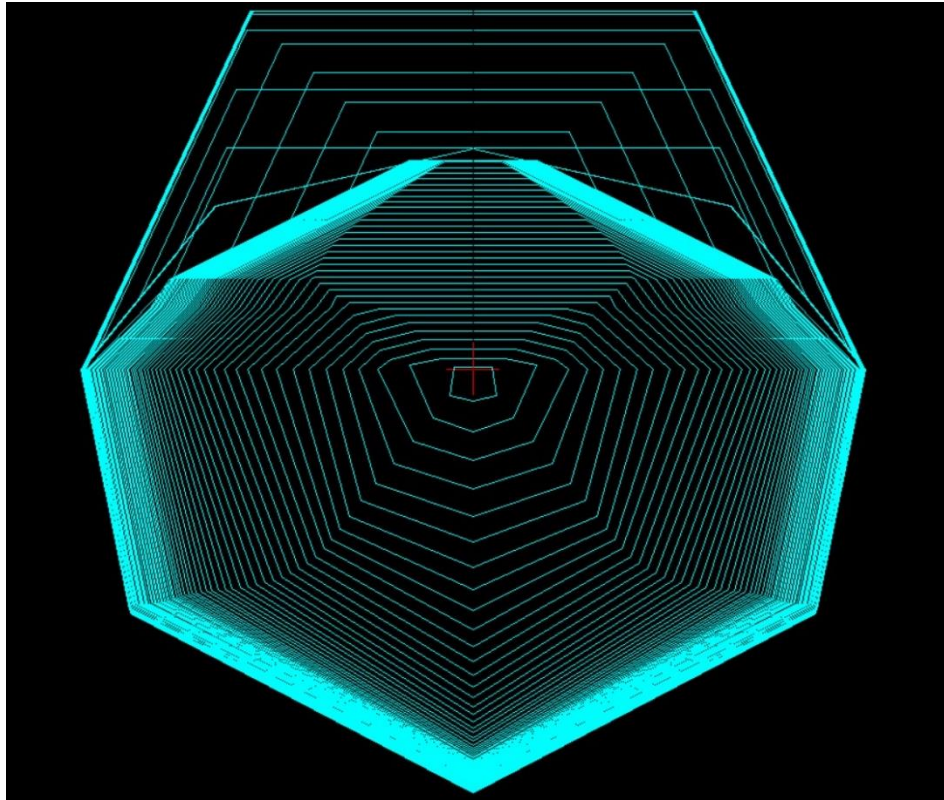












Apêndice D – Gráfico de Carenas Direitas do VENT-SUP-EN.

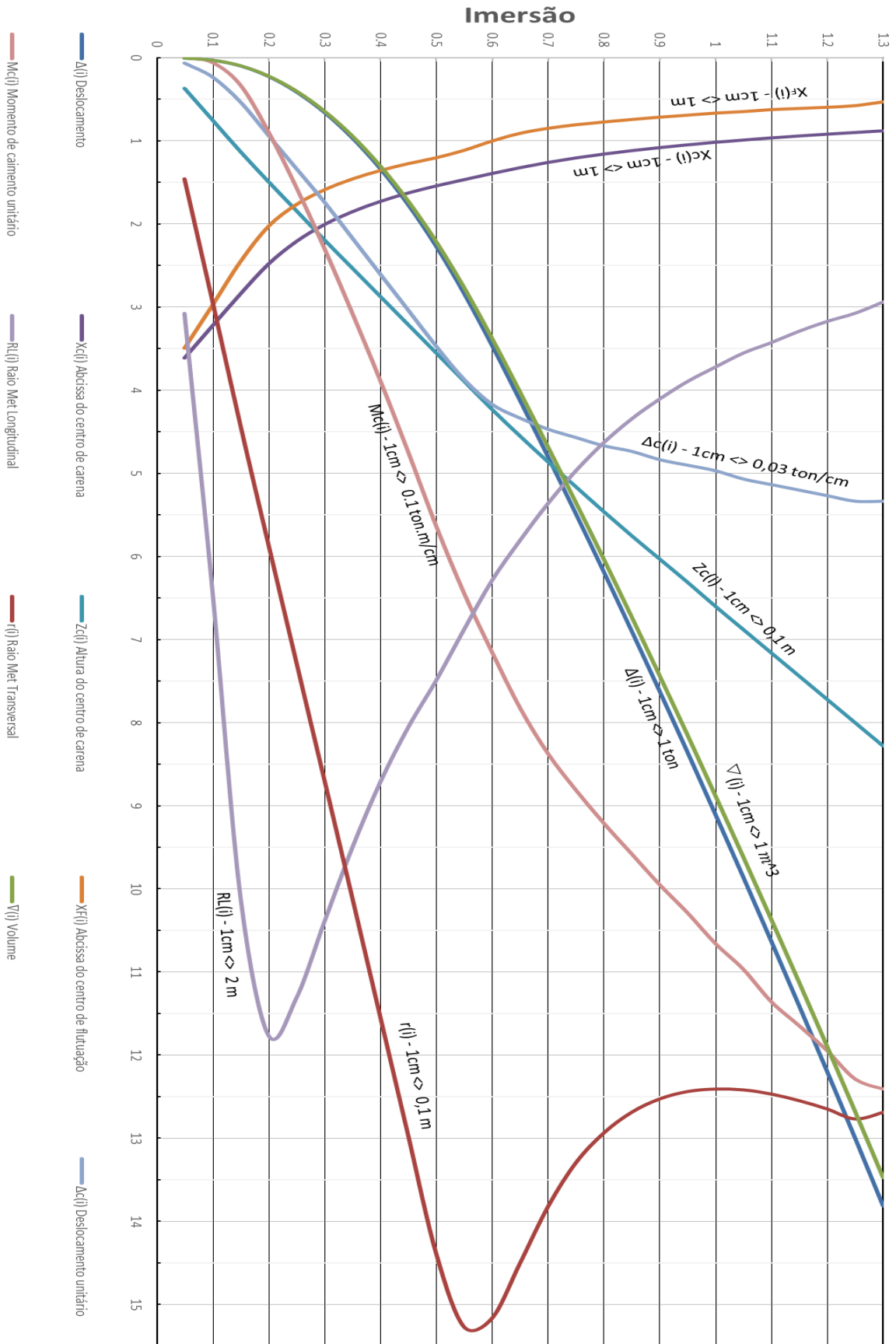


Gráfico de Carenas Direitas

DESIGN CHALLENGES OF A MARITIME MULTIPURPOSE UNMANNED VEHICLE

P. Lopes¹, P. Pires da Silva^{1,2}, M. Moreira^{1,2}

¹Escola Naval, CINAV, Base Naval de Lisboa, Alfeite, 2810-001 Almada-Portugal

²Centre for Marine Technology and Ocean Engineering (CENTEC), Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisbon, Portugal

E-mail: vasco.pereira.lopes@marinha.pt

Abstract. Military Navies have several missions in which due to their complex, dangerous, or disaster scenarios, unmanned vehicles are suitable to perform the necessary tasks. Besides other issues it is a current subject of research the trade-off between using many mission oriented unmanned vehicles or the use of less number of more robust and versatile multimission vehicles. Challenged by the technological advances achieved in mobile robotics and unmanned vehicles, and the need to develop in house know-how, this project aimed to put into practice the development of a concept design of a multimission unmanned surface vehicle, that can operate individually or cooperate with other systems whose development will be done in parallel on other projects.

This unmanned vehicle, designated Unmanned Surface Vehicle for the Portuguese Navy - USV – PoN is part of project based oriented learning strategy in development in the Portuguese Naval Academy. It poses particular challenges related to the broad spectrum of the concept of operations, such as mine warfare operations, port surveillance and protection operations, search and rescue operations, hydrographic data collection operations. All of these operations demand different and challenging missions and tasks, to which the concept design of the USV-PoN will answer in terms of feasibility studies and possible configurations.

The purpose of this work is to address the challenges that the concept of operations and corresponding technical specifications put into the design of the USV-PoN and show how to overcome them making the study and analysis necessary for the production of a prototype based on the concept design.

Out of the scope of this work were aspects related to sensor development and integration as well as the command and control of the vehicle.

1. Introduction

Due to the different missions and tasks undertaken by the military Navies, in complex, dangerous and disaster scenarios, it is necessary to reduce the risk to its military and increase responsiveness to different threats, in any type of scenario.

As part of a line of research with interest to the CINAV (Naval Research Center) and the strategic plan of the Portuguese Navy, it was started in 2017 the development of the conceptual design of an Unmanned Surface Vehicle (USV).

This vehicle is possibly intended to be an ocean-going platform. As such its design as any novel design is a complex and challenging activity. It demands a large spectrum of knowledge on diverse scientific areas combined with an iteration process that takes the designer through the same design detail several times, as needed to improve the object of design up to the point where the constraints of adequacy, feasibility and acceptability are met. Other way to put it is to apply an iteration process that improves slightly the design up to obtain an optimum, as Evans H. explains in his well-known Design Spiral [1].

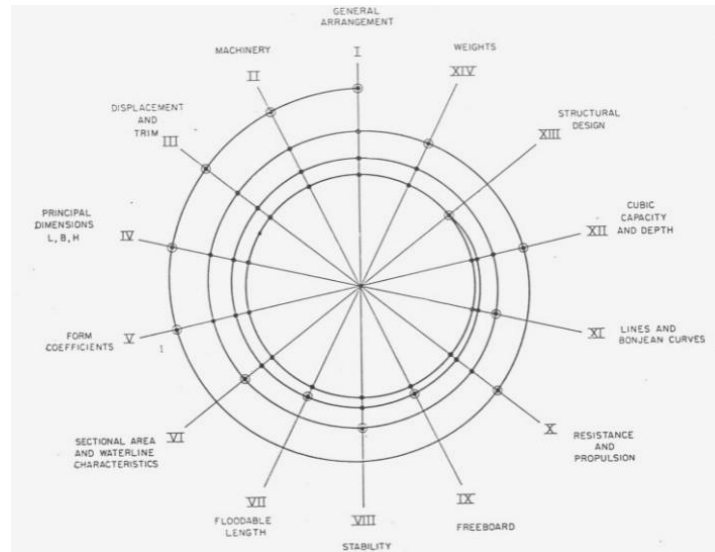


Figure 1 - Design Spiral from Harvey Evans [1].

As far as concerns to the acquisition process of naval means, it was adopted as a reference the publication NATO AAP-20: PAPS (Handbook on the Phase Armaments Programming System) [2], now known as NATO AAP-20: NATO Programme Management Framework (NATO Life Cycle Model) [3]. This publication is a manual which describes a phased programming system for the design and procurement of military assets. For the design of this platform the relevant phases of the NATO framework are the phases 3 to 6, which correspond to the tasks and deliverables of ship design [4].

Phase 3, the *Pre-feasibility Studies*, is when the design of a naval platform begins and a preliminary evaluation of technical concepts which can meet the objectives defined in phases 1 and 2, is performed. This phase ends with the preparation of the *Consolidated Operational Objectives*.

Phase 4, *Feasibility Studies*, involves the more detailed elaboration and evaluation of the most promising technical concepts that meet the *Consolidated Operational Objectives*, in order to identify the most advantageous alternative that is feasible from the technical point of view and from the point of view of the cost and duration constraints of the project. This phase concludes with the drafting of the *Operational Requirements* document, which reflects the selection of the most advantageous workable alternative.

It is only in phase 5, *Project Definition*, that the "design" of a ship takes shape and size. It is a phase whose objectives are the detailed specification of the ship and the development of the initial specifications of the sub-systems. This phase concludes with the elaboration of the *Project Development Objectives*.

The ship design is completed in phase 6, *Project Development*. It is at this stage that various engineering, detailed ship design and prototype manufacturing processes are developed, which will validate the project in order to allow the production contract to be advanced.

This work is focused on the practical application of the NATO framework, with the necessary adaptations to the nature and dimension of the asset, within which a first iteration of the design spiral is to be detailed.

For pursuing the previously described acquisition and design processes, it is necessary to reflect, analyze and list what are the tasks and activities to develop for the present platform.

Then it is necessary to work on what materials and equipment are required to perform the tasks.

Being known the first estimation of weight and volume of all equipment, it is possible to start the initial sizing studies, through empirical-analytical methods adapted to platforms with small dimensions.

The initial sizing gives first estimates of the main dimensions of the platform and the weight and volume of the structure of the platform, as well as the height of the centre of gravity.

Once the initial dimensions are known, 3D modelling of the platform can be carried out using a CAD/CAE software, such as *SolidWorks*®.

We conclude the study for this work, modelling the platform in *AutoHydro*® software where it is possible to obtain the stability curves, which allows to revise previous decisions and redesign the platform.

2. Concept of Operations

In the initial phase of the design, what is inserted in phases *Pre-feasibility* and *Feasibility Studies*, it is necessary to think "What is the platform for?", "What will the platform do?". It is at this stage that the Operational Requirements are defined, where the missions and tasks to be carried out by the platform are chosen.

2.1. Operational Requirements

Before defining any mission to be developed by the platform, it was necessary to define the area of operations. Then it was defined a broad range of operations, e.g. search and rescue, hydrographic survey, etc.

Due to the wide variety of operations required at this phase, and the predictable unfeasibility and acceptability of this spectrum of operations in a single platform as well as existence of overlap between them, it was necessary for a first iteration of the design to prioritize the most important and necessary operations. After some reflection and rational analysis based on the main needs of the organization and the maximization of the number of missions with common equipment it was concluded that a single platform will have to be able to carry out the following operations:

- maritime search and rescue operations;
- force protection operations and port protection;
- environmental data collection operations;
- hydrographic surveys operations.

Once defined the operations to be developed by the platform, it will be necessary to define the tasks to be performed in each mission/operation, e.g.:

- maritime search and rescue operations:
 - Detection of contacts (people and boats);
 - Automatic contact tracking;
 - Transport and release of rescue equipment.
- environmental data collection operations:
 - Water and air temperature;
 - Absolute and relative humidity;
 - Direction and intensity of the wind;
 - Atmospheric pressure.

2.2. Technical Requirements

In parallel (involving interaction between end-user and designer) or after defining the operational requirements, it is also imperative to define the technical requirements or technical specifications. These define the limitations/obligations of the technical characteristics of the platform, such as autonomy, maximum weight, maximum speed, etc that can fulfil de operational requirements within existing constraints. Some constraints are:

- the platform should be prepared to be stowed either on board of the Navy ships or in a trailer to be defined in its own specs. Therefore, it was necessary to verify the limiting working load that the cranes of the different ships, as well as the berthing. Thus limiting the vehicle maximum displacement and dimensions.

With the demanding maritime agitation and high intensity of wind present on the Portuguese coast, it is desirable that the vehicle is able to operate in rough sea conditions, defined as sea state 5 on Douglas scale - up to 4 meters significant wave height -, and wind force 6 on the Beaufort scale.

For the hull to withstand these conditions, it is necessary to be constructed with materials in agreement with. It is also necessary that the materials used have high resistance to corrosion.

Due to its maritime search and rescue mission, this vehicle should be designed to carry a liferaft for four shipwrecked. In addition to this requirement, the platform should provide for 2 shipwrecked to easily rise on board and to remain on board for short periods of time, namely from the place of the shipwreck to the mother ship, or to the nearest port.

In order to navigate areas common to other vessels, the platform must have the lighting provided in COLREGS (International Regulations for Preventing Collisions at Sea) for boats of its characteristics, or approximate, and thus be able to navigate safely.

Among many other technical requirements, it should be noted that the platform should have self-righting characteristics.

3. Preliminary Studies

The preliminary studies are considered in the *Project Definition* phase. Here we will present some studies that have been carried out to determine which type of hull is most suitable to be used on this vehicle and also what equipment will be needed to equip the platform in order to be able to perform the operations defined above.

3.1. Hull Type

An multicriteria initial evaluation was developed in order to obtain the types of hulls most used in USV's, from which the following list was obtained:

- Planning;
- Semi-planning;
- Hydrofoil;
- Multi-hull;
- SWATH.

Some general characteristics were defined that may characterize the different types of hull, and they are:

- survivability;
- seakeeping;
- hull resistance to advance;
- deck floor area;
- flexibility in load arrangement;
- ease of design/production;
- launch and recovery;
- transportability.

Once the different hull types were chosen and the general characteristics defined, a matrix was constructed which is represented in figure 2, where a weight of importance is assigned to the general characteristics, where the value 1 represents the least important characteristic and 8 the most important characteristic. For the different types of hull, a value of 1 to 5 has been assigned depending on whether the type of hull is “well”, to “not appropriate” for a given characteristic, where the value 1 means that it is not appropriate and 5 well appropriate.

Importance	General Features	Hull Types				
		Planing	Semi-Planing	Hydrofoiled	Multihull	SWATH
1	Resistance to sinking	3	3	3	5	5
2	Seakeeping	2	3	1	4	5
3	Resistance to advance	3	2	5	4	1
4	Deck floor area	2	3	1	4	5
5	Flexibility in load arrangement	4	5	4	3	3
6	Ease of design/production	4	5	1	3	2
7	Launch and Recovery	5	4	1	2	2
8	Transportability	5	5	1	2	1
		109	111	42	82	67
36		3.0	3.1	1.2	2.3	1.9

Figure 1 - Decision matrix for hull type selection

The best type of hull will be the one that will present the highest value when applied to equation (1) to the different types of hull.

$$\frac{\sum_{i=1}^8 (importance_i \times Hull\ Type_i)}{\sum_{i=1}^8 Importance_i}$$

In this way it is concluded that the best type of hull to apply on the platform could be a semi-planning hull, but a planning hull is also an adequate choice. A planning hull was chosen to develop due to easiness of modelling and time constraints.

3.2. Equipment

To know the payload, it is necessary to choose which equipment to put on the platform. The equipment is chosen so that the platform can carry out the different operations defined previously.

As an example, for search and rescue operations at sea, the platform should be equipped with:

- Sidescan sonar;
- Sonar;
- IR Camera;
- Life raft.

For the other missions the same or other equipment is needed.

In addition, the vehicle will require equipment that allows it navigate safely, such as:

- GPS;
- GNSS;
- RADAR;
- Batteries;
- Propulsion system.

In this work the technical questions related with autonomous operation were not addressed yet.

With the equipment defined, a search was made in the market with the purpose of obtaining the weight and volume of each equipment, and adding up all the weights and volumes of the equipment, up to obtain the payload.

Table 1 - Payload example

	Weight [kg]	Volume [m ³]
RADAR	5,60	0,193

GPS	0,24	0,001
GNSS	0,50	0,005
BATTERIES	21,50	0,011
SIDECAN SONAR	1,10	0,001
SONAR	27,60	0,035
IR CAMERA	27,20	0,369
LIFE RAFT	28,00	0,091

The first estimate for total payload weight was about 230 kg and 1 m³ of volume. A margin of 5% was taken for cable weight, platform fastening and other unknown payload variables.

4. Sizing and Geometric Modelling

In the initial sizing of the USV-PoN it is necessary to identify the main characteristics of the hull such as length (L), beam (B), draft (T) and depth (D). This process is still inserted in the *Project Definition* phase.

To calculate these characteristics, one made use of analytic-empirical methods adapted for small-scale platforms.

To start the calculations, a list of Unmanned Surface Vehicles (USV's) with characteristics similar to those intended for the study of this platform were chosen, in order to obtain an average of the characteristic form coefficients for this type of vehicle. The list of vehicles studied and their main characteristics are shown in table 2.

Table 2 - Database of USV's characteristics.

	C-Sweep	C-Worker 5	C-Worker 6	C-Worker 7	C-Worker 8	C-Target 3	C-Target 6	C-Target 9	C-Target 13
Length [m] L	10,8	5,5	5,8	7,2	7,7	3,5	6,5	9,6	12,9
Beam [m] B	3,5	1,7	2,2	2,3	2,1	1,4	2,1	2,4	2,7
Depth [m] D	2,9	1,8	2,2	2,1	2,1	1,3	1,0	1,4	2,0
Draft [m] T	0,7	0,9	0,9	0,9	1,0	0,6	0,3	0,4	0,5
Displacement [ton] Δ	9,0	1,9	13,5	5,3	4,8	0,3	1,2	2,8	4,2
Volume of Displacement [m ³] ∇	8,8	1,9	13,2	5,2	4,7	0,3	1,2	2,7	4,1

With the main characteristics it is possible to calculate the form coefficients of each hull in order to establish an average of these form coefficients, which in turn allows for the calculation of the initial dimensions of the USV-PoN (Rawson & Tupper, Basic Ship Theory, Volume 1, 2001). The form coefficients considered were:

- Circular M:

$$M = \frac{L}{\nabla^{1/3}} \quad (2)$$

- The Beam/Draft ratio (K_B):

$$K_B = \frac{B}{T} \quad (3)$$

- Block coefficient (C_B):

$$C_B = \frac{\nabla}{L \times B \times T} \quad (4)$$

It was also calculated the following ratios:

$$\frac{L}{B} \quad (5)$$

$$\frac{T}{D} \quad (6)$$

The form coefficients are shown in table 3:

Table 3 - Hull Coefficients

	C-Sweep	C-Worker 5	C-Worker 6	C-Worker 7	C-Worker 8	C-Target 3	C-Target 6	C-Target 9	C-Target 13	Mean
M	5,2	4,5	2,5	4,2	4,6	5,1	6,2	6,9	8,1	5,24
K_B	5,0	1,9	2,4	2,6	2,2	2,3	7,0	6,0	5,4	3,86
C_B	0,3	0,2	1,1	0,3	0,3	0,1	0,3	0,3	0,2	0,36
L/B	3,09	3,24	2,64	3,13	3,60	2,50	3,10	4,00	4,78	3,34
T/D	0,24	0,50	0,41	0,43	0,47	0,46	0,30	0,29	0,25	0,37

4.1. Sizing

To begin the sizing process, it is necessary to start with the payload already calculated previously:

- pv=payload volume≈1 m³
- pw=payload weight≈0,23 ton

To arrive at an initial estimate of the platform dimensions it is necessary to follow several equations and perform several iterations such that at the end the platform is balanced. Some of these equations are:

Volume of Displacement:

$$\nabla = \frac{\Delta}{\rho_w}$$

$\rho_w = \text{Density of Seawater} = 1,025 \text{ ton/m}^3$

Immersed Hull Dimensions:

$$L = M\nabla^{1/3}$$

$$T = \frac{\nabla^{1/3}}{[MK_B C_B]^{1/2}}$$

$$B = K_B T$$

When the entire sequence of iterations is completed, we have as a result an estimate of weight (W) and required volume (V_{req}) of the platform.

$$W = \sum_i w_i = \Delta$$

where:

W – weight estimate [kg]

w_i – is the i^{th} platform mass, [kg]

Δ - displaced mass, [kg]

$$V_{req} = \sum_i v_i = V$$

where:

V_{req} – required volume [m^3]

v_i – is the i^{th} platform volume, [m^3]

V - volume, [m^3]

If $W = \Delta$ and $V_{req} = V$, then we have a balanced design. Otherwise, if $W \neq \Delta$ or $V_{req} > V$ the design is not balanced, and we should iterate using new values of W and V_{req} to replace the initial estimation (Andrews, 1985).

After several iterations performed, the desired result was reached, that is $W = \Delta$ and $V_{req} = V$. The main initial dimensions of the USN-PoN are presented in table 4.

Table 4 - Main dimensions of the platform.

L [m]	7,83
T [m]	0,55
B [m]	2,13
D [m]	1,36
W [ton]	3,42

In order to determine the impact of each mission on the dimensions of the platform, a study has been developed where a mission and its equipment (a configuration) is removed, varying the payload (weight and volume).

Starting by removing the maritime search and rescue operations and repeating the entire sizing process. Then performing the same for the other configurations, we obtained some platform variations as presented in figure 3.

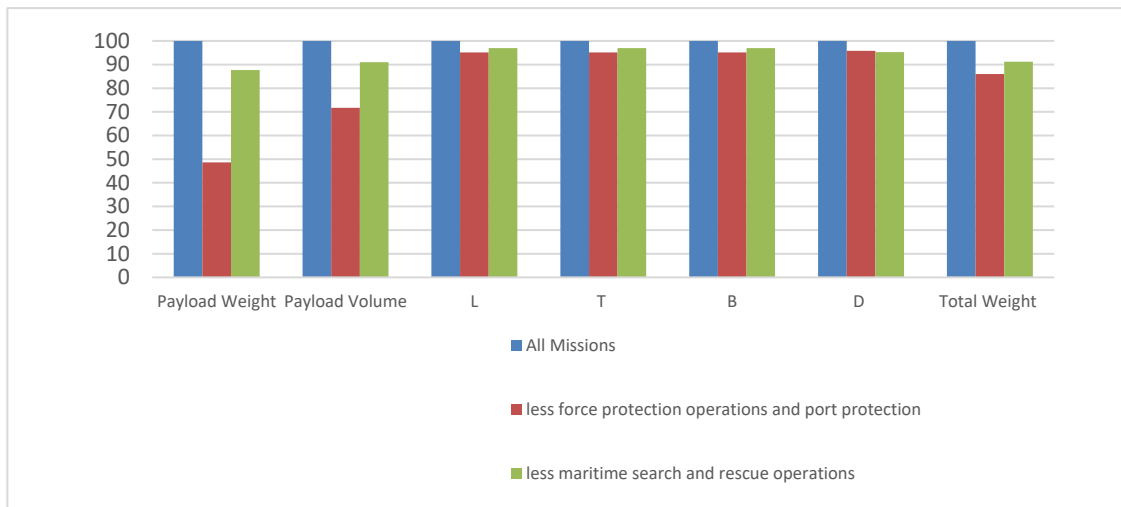


Figure 2 - Effects of configuration changings on vehicle sizing

Removing environmental data collection operations and hydrographic surveys operations, the payload will not vary, therefore the dimensions of the platform will not vary. As removing maritime search and rescue operations and force protection operations and port protection do not cause significant changes in the dimensions of the platform, it was decided to maintain the initially calculated dimensions.

In order to have an initial estimate of the hull thickness a simple barge model was conceptualized where the applied load corresponds to its displacement, and it has been defined that the material to be used will be fiberglass-reinforced polymer as a low-cost and technologically accessible material.

4.2. Geometric Modelling

Still in the *Project Definition* phase, we proceeded to model the platform using the *SolidWorks*[®] software.

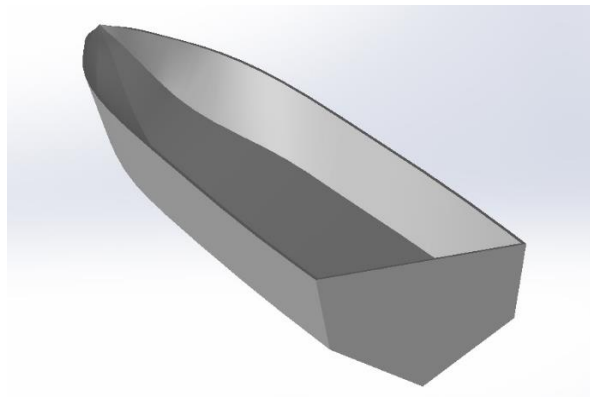


Figure 3 - 3D Model of USV-PoN hull

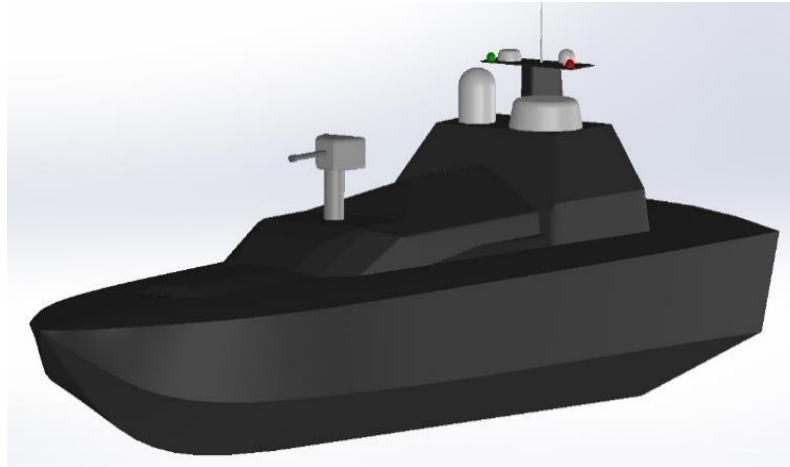


Figure 4 . Initial 3D Model of USV-PoN.

5. Stability

It will be important to study the stability of the USV-PoN in order to ensure that the platform can be used at sea as required and being self-righting. This study is inserted in the *Project Development* phase because it is a validation process.

To begin the study of stability, the platform was modelled in the *Modelmaker*[®] with the same coordinates used in *SolidWorks*[®].

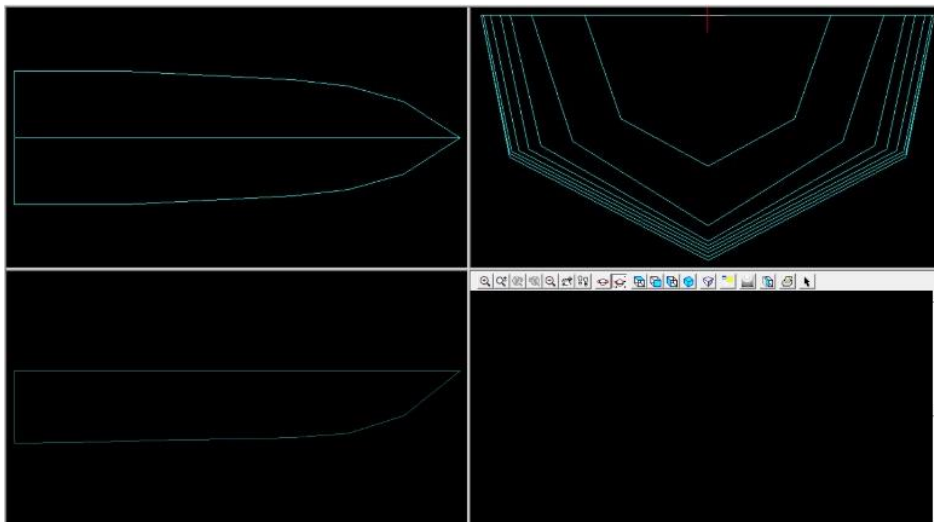


Figure 6 - Modelling on Modelmaker[®]

After *Modelmaker*[®] modelling, it is possible to export the platform to *AutoHydro*[®] to perform stability calculations. The calculated righting arm is represented in figure 7.

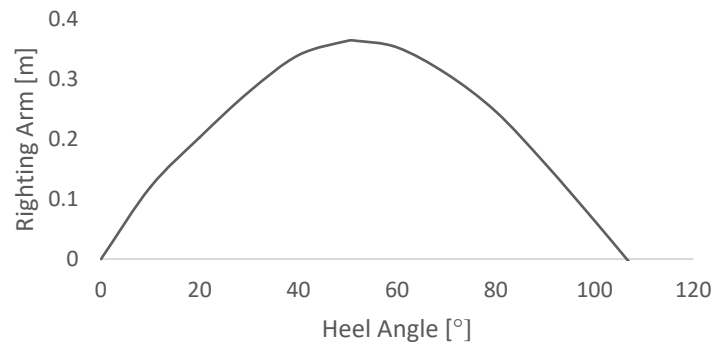


Figure 7 – Initial righting arm curve of the USV-PoN.

As from the study of the resulting curve in figure 7 it can be seen that the USV-PoN doesn't have self-righting characteristics, a further detailed stability study had to be developed to ensure the that characteristic.

After several iterations altering the shape platform, a model of the self-righting vehicle was reached. The curve of righting arm is represented in figure 8.

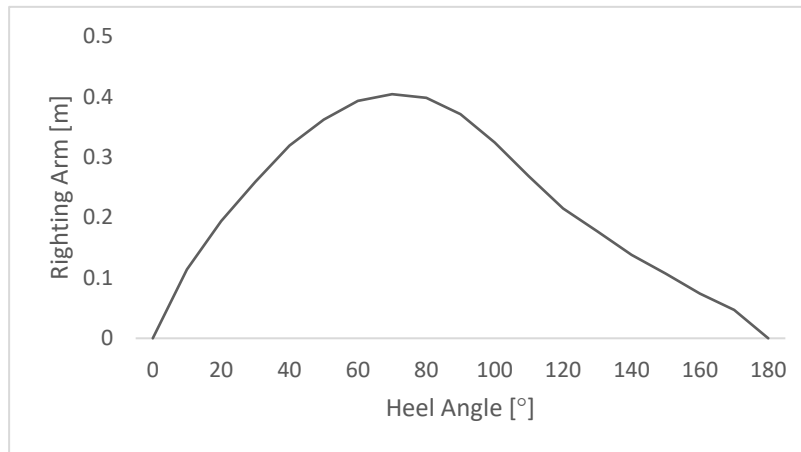


Figure 8 – Righting arm curve of the self-righting USV-PoN

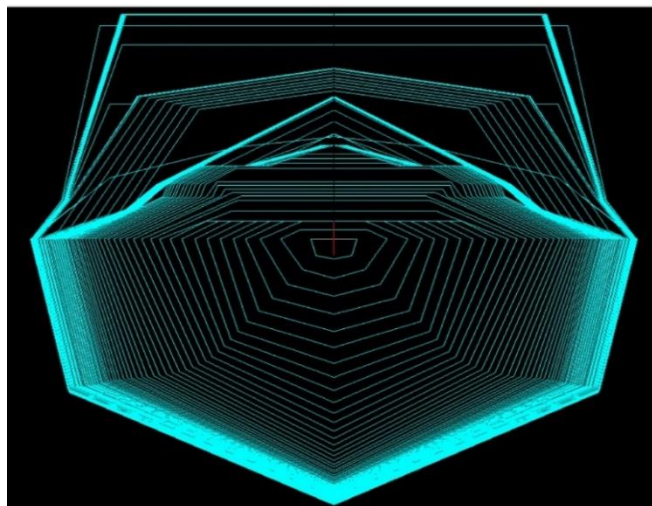


Figure 9 - Modelling on Modelmaker® of self-righting USV-PoN

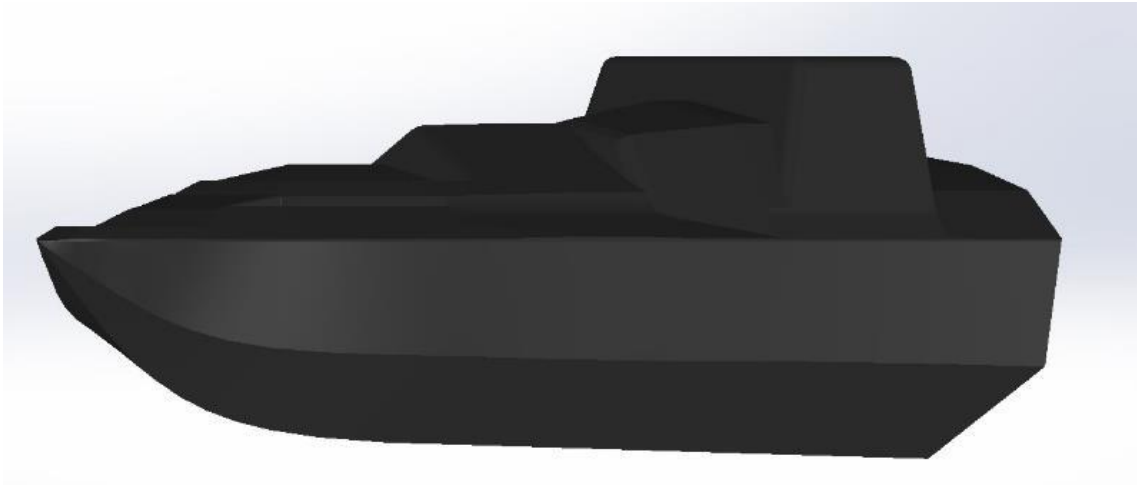


Figure 10 - 3D Model of self-righting USV-PoN.

6. Conclusions

In this paper the conceptual design of an USV to be applied in the Portuguese Navy was developed, following a framework of acquisition and construction of military means. Inserted in this framework, several analytical-empirical methods were used in order to obtain the desired objectives.

With a wide variety of missions to perform by the platform, which leads to a high number of equipment and sensors, it was a challenge to make the design comply with the sizing and weight constraints.

The objective of designing a self-righting platform was achieved, however, much further work will be needed. It will be necessary to perform the following studies:

- resistance and propulsion, with associated maximum speed levels, propulsion selection, and vehicle endurance,
- cost estimates,
- weapon and sensors arrangement and energy demands,
- seakeeping,
- command and control and associated levels of artificial intelligence.

After all these studies it will be necessary make a new iteration with the inputs of the end user.

References

- [1] Evans, H. (1959). Basic Design Procedure.
- [2] North Atlantic Treaty Organization. (2010). AAP20 - Phased Armaments Programming System (PAPS).
- [3] North Atlantic Treaty Organization. (2015), AAP20 - NATO Programme Management Framework (NATO Life Cycle Model).
- [4] Lérias, R. (2005). Crónica de Arquitetura Naval. Anais do Clube Militar Naval, 2005.
- [5] Rawson, K. J. & Tupper, E. C. (2001). Basic Ship Theory, Volume 1.
- [6] Andrews, D. (1985). An Integrated Approach to Ship Synthesis. The Royal Institute of Naval Architects, London.
- [7] Yeh, E. (2004). Design, Build and Trial of 19 meters self-righting SAR boat. The Royal Institution of Naval Architects, London.
- [8] Rawson, K. J. & Tupper, E. C. (2001). Basic Ship Theory, Volume 2.
- [9] Lewis, E. V. (1988). Principles of Naval Architecture, Vol. I: Stability and Strength.
- [10] Moore, C. (2010). The Principles of Naval Architecture Series: Intact Stability.
- [11] Molland, A. (2008). The Maritime Engineering Reference Book - A guide to ship design, construction and operation.
- [12] Blomberg, K. & Gross, J. (2014). Conceptual Study of a USV for the Swedish Navy.
- [13] d'Oliveira, R. (1964). Elementos de Arquitetura Naval, Volume I. Serviço de Publicações Escolares da Escola Naval.
- [14] Letcher, J. (2010). The Principles of Naval Architecture Series: The Geometry of Ships.

ANEXOS

Anexo A – Regras 21 e 22 alínea b. do RIEAM

REGRA 21

- a) *“A expressão farol de mastro designa um farol de luz branca colocado sobre o eixo longitudinal do navio, projetando uma luz sem interrupção num arco de horizonte de 225 graus e colocado de forma a mostrar essa luz desde a proa até 22,5 graus para ré do través de cada bordo.”*
- b) *“A expressão faróis de borda designa um farol de luz verde colocado a estibordo e um farol de luz vermelha colocado a bombordo, projetando cada um deles uma luz sem interrupção num arco de horizonte de 112,5 graus e colocados de forma a mostrar essa luz desde a proa até 22,5 graus para ré do través do bordo respetivo. Num navio de comprimento inferior a 20 metros os faróis de borda podem ser combinados num só farol colocado sobre o eixo longitudinal do navio.”*
- c) *“A expressão farol de popa designa um farol de luz branca colocado tão próximo quanto possível da popa, projetando uma luz sem interrupção num arco de horizonte de 135 graus e colocado de forma a mostrar essa luz num setor de 67,5 graus para cada bordo a partir da popa.”*
- d) *“A expressão farol de reboque designa um farol de luz amarela com as mesmas características do farol de popa.”*
- e) *“A expressão farol visível em todo o horizonte designa um farol cuja luz é visível sem interrupção num arco de horizonte de 360 graus.”*

REGRA 22

- c) Para os navios de comprimento inferior a 12 metros:
- Farol de mastro com alcance de 2 milhas;
 - Faróis de borda com alcance de 1 milha;
 - Farol de popa com alcance de 2 milhas;

- Farol de reboque com alcance de 2 milhas;
- Faróis visíveis em todo o horizonte, de luz branca, vermelha, verde ou amarela com alcance de 2 milhas.