



UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA E DE
TELECOMUNICAÇÕES

WANDERSON DA SILVA CORRÊA

Proposta de arquitetura para uma embarcação
elétrica do tipo catamarã não tripulado para
monitoramento ambiental

NITERÓI

2023

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA E DE
TELECOMUNICAÇÕES

WANDERSON DA SILVA CORRÊA

Proposta de arquitetura para uma embarcação elétrica do tipo catamarã não tripulado para monitoramento ambiental

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica e de Telecomunicações da Universidade Federal Fluminense como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica e de Telecomunicações. Área de concentração: Máquinas Elétricas.

Orientador:

D.Sc. Daniel Henrique Nogueira Dias

NITERÓI

2023

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas da UFF - SDC/UFF
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S586t Silva Junior, José Lins da
Título do Trabalho: subtítulo do trabalho / José Lins da
Silva Junior; Orientador Sobrenome, orientador; Coorientador
Sobrenome, co-orientador. Niterói, 2017.
120 f.

Monografia (Especialização em Engenharia de Produção) -
Universidade Federal Fluminense, Laboratório de Tecnologia,
Gestão de Negócios e Meio Ambiente, Niterói, 2017.

1. Primeiro assunto. 2. Produção intelectual. I. Título
II. Sobrenome, Orientador, orientador. III. Sobrenome,
Coorientador, co-orientador. IV. Universidade Federal
Fluminense. Laboratório de Tecnologia, Gestão de Negócios e
Meio Ambiente.

CDD -

Wanderson da Silva Corrêa

Proposta de arquitetura para uma embarcação elétrica do tipo catamarã não tripulado para monitoramento ambiental

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica e de Telecomunicações da Universidade Federal Fluminense como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica e de Telecomunicações. Área de concentração: Máquinas Elétricas.

Aprovada em 11 de julho de 2023.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente



DANIEL HENRIQUE NOGUEIRA DIAS

Data: 24/10/2023 13:19:23-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Daniel Henrique Nogueira Dias, D.Sc. – Orientador, UFF

Documento assinado digitalmente



ESTEBAN WALTER GONZALEZ CLUA

Data: 24/10/2023 07:56:34-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Esteban Gonzales Clua, D.Sc. – UFF

Documento assinado digitalmente



FELIPE SASS

Data: 23/10/2023 14:54:37-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Felipe Sass, D.Sc. – UFF

Documento assinado digitalmente



LUIZ MARCOS GARCIA GONCALVES

Data: 23/10/2023 11:58:05-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Luiz Marcos Garcia Gonçalves, D.Sc. – UFRN

Niterói

2023

À minha família

Agradecimentos

Gostaria, antes de tudo, de agradecer à existência das universidades públicas do Brasil. Portanto, agradecer às políticas que puderam manter essas universidades de pé até o presente momento em que esta pesquisa é publicada.

Nesses anos de mestrado, de muito estudo, esforço e empenho, gostaria de agradecer a algumas pessoas que me acompanharam e foram fundamentais para a realização de mais este sonho. Por isso, expresso aqui, através de palavras sinceras, um pouquinho da importância que elas tiveram, e ainda têm, nessa conquista e a minha sincera gratidão a todas elas.

Primeiramente, agradeço aos meus pais, Tânia e Roberto; e a minha esposa Priscila, pela compreensão, ao serem privados em muitos momentos da minha companhia e atenção, e pelo profundo apoio, me estimulando nos momentos mais difíceis. Obrigado por desejarem sempre o melhor para mim, pelo esforço que fizeram para que eu pudesse superar cada obstáculo em meu caminho e chegar aqui e, principalmente, pelo amor imenso que vocês têm por mim. À vocês, minha família, sou eternamente grato por tudo que sou, por tudo que consegui conquistar e pela felicidade que tenho.

Minha gratidão especial ao Prof. Dr. Daniel Henrique, meu orientador e, sobretudo, um querido e grande amigo, pela pessoa e profissional que é. Obrigado por sua dedicação, que o fez, por muitas vezes, deixar de lado seus momentos de descanso para me ajudar e me orientar. E, principalmente, obrigado por sempre ter acreditado e depositado sua confiança em mim ao longo de todos esses anos de trabalho.

E agradeço muito aos meus sócios, André e Guilherme, companheiros de projeto, com quem compartilhei tanto preocupações, aflições e muito trabalho, quanto descobertas e conquistas durante essa caminhada. Obrigado pelos ensinamentos, pelo companheirismo e, principalmente, pela amizade construída ao longo destes anos de trabalho.

Por fim, o agradecimento mais importante: agradeço a Deus e a Nossa Senhora, por estarem sempre comigo, me guiando, iluminando cada passo meu e me abençoando.

Obrigado por me darem a fé e a força necessária para lutar e enfrentar todos os obstáculos, sem nunca desistir. Agradeço por me abençoarem com tantos presentes divinos, me dando talvez além do que posso merecer. Grato, meu Pai, por tudo de bom que tenho e que sou. Obrigado, pois sei que sempre estão olhando por mim e intercedendo a meu favor. Sem essa força divina, nenhuma conquista seria possível.

Resumo

Acredita-se que num futuro próximo os veículos autônomos estarão presentes em diversos cenários do dia a dia, realizando diferentes funções e atividades de alto impacto social, ambiental e econômico. Este projeto tem como objetivo desenvolver a arquitetura de uma embarcação do tipo catamarã não tripulada movida com propulsão elétrica energizada por módulos fotovoltaicos e equipada com um sistema de navegação autônoma. O objetivo é criar uma embarcação eficiente em termos de energia e capaz de navegar de forma autônoma, sem a necessidade de intervenção humana. O projeto inclui a concepção, desenvolvimento e a fabricação da embarcação, bem como a implementação e testes do sistema de propulsão elétrica e de navegação autônoma.

Além disso, a dissertação também aborda a análise de desempenho do catamarã, incluindo a eficiência energética, estabilidade, manuseio e segurança. A embarcação será projetada para operar em águas interiores, como lagos ou rios, e poderá ser utilizada para diversas aplicações, como monitoramento ambiental, patrulhamento, entre outros. A tecnologia de propulsão elétrica e navegação autônoma serão integradas de forma a garantir uma operação segura e eficiente.

Como parte do projeto, serão realizados testes para avaliar as características e desempenho da embarcação, incluindo testes de velocidade, estabilidade, eficiência energética e funcionamento do sistema de navegação autônoma. Os resultados desses testes serão utilizados para aperfeiçoar o projeto e garantir que a embarcação atenda às especificações estabelecidas.

Palavras-chave: Recursos hídricos, embarcação autônoma, embarcação fotovoltaica, monitoramento da água, veículos autônomos.

Abstract

It is believed that in the near future, autonomous vehicles will be present in various everyday scenarios, performing different functions and activities with high social, environmental, and economic impact. This project aims to develop the architecture of an unmanned catamaran-type vessel powered by electric propulsion energized by Photovoltaic Modules and equipped with an autonomous navigation system. The objective is to create an energy-efficient vessel capable of navigating autonomously without the need for human intervention. The project encompasses the design, development, and manufacturing of the vessel, as well as the implementation and testing of the electric propulsion and autonomous navigation system.

Furthermore, the dissertation also addresses the performance analysis of the catamaran, including energy efficiency, stability, handling, and safety. The vessel will be designed to operate in inland waters such as lakes or rivers and could be used for various applications like environmental monitoring, patrolling, among others. The electric propulsion and autonomous navigation technologies will be integrated to ensure safe and efficient operation.

As part of the project, tests will be conducted to assess the characteristics and performance of the vessel, including speed tests, stability evaluations, energy efficiency measurements, and the functioning of the autonomous navigation system. The results of these tests will be utilized to refine the project and ensure that the vessel meets the established specifications.

Keywords: Water resources, autonomous vessel, photovoltaic vessel, water monitoring, autonomous vehicles.

Lista de Figuras

2.1	Catamarã com detalhe das seções e componentes	5
2.2	Tipos de casco	6
2.3	Designs de Casco.	7
2.4	Tipos de mastro.	11
2.5	Exemplo de propulsor.	14
2.6	Manobras com governo direcional	16
4.1	Fluxo do desenvolvimento de projeto	29
4.2	Trajeto praia de icaraí x praia de botafogo	30
4.3	Escala beaufort com o nível 5 destacado.	32
4.4	Cobertura de internet entorno da baía da guanabara	33
4.5	Planejamento do arranjo das câmeras	34
4.6	Etapas do projeto básico	35
4.7	Tela de visão do design no freeship	37
4.8	Dados hidrostáticos do casco	38
4.9	Esboço cortando a linha d'água a 100mm	39
4.10	Dados da simulação no flowsimulator para força no casco	40
4.11	Dados da simulação no flowsimulator para força no casco	40
4.12	Dados da simulação no flowsimulator para força no casco	41
4.13	Comportamento do fluido próximo ao propulsor	42
4.14	Curva com dados do Propulsor	42
4.15	Interação dos sistemas	46
4.16	Diagrama elétrico	47

4.17	Diagrama elétrico separado no barco	48
4.18	Arranjo geral	49
4.19	Caixa elétrica	50
4.20	Caixa elétrica fabricada	50
4.21	Diagrama de funções dos softwares	51
4.22	Conexões por software	53
4.23	Dashboard SCADA	54
5.1	Teste em piscina.	56
5.2	Marca de linha d'água calculada destacada em preto	58
5.3	Marca de linha d'água real	58
5.4	Teste dos módulos fotovoltaicos	60
5.5	Setup do teste das baterias	61
5.6	Curva de descarga das baterias	62
5.7	Teste de bancada	63
5.8	Teste geral do sistema.	64
5.9	Prova de mar.	67
5.10	Movimentos rotacionais e ângulos da embarcação.	67
5.11	Navegando em linha reta, com pequeno ruído no GPS, PWM máximo no acelerador e sem alteração na guinada.	69
5.12	Navegação em alta velocidade, Manobras para BB e BE com PWM no máximo para o acelerador e guinadas máximas para BB e BE.	69
5.13	Navegação em velocidade de cruzeiro, Manobras para BB e BE com PWM em 30 % para o acelerador e guinadas máximas para BB e BE.	70
5.14	Embarcação parada, Manobras para BB e BE com PWM em 0 % para o acelerador e guinadas máximas para BB e BE.	70
5.15	Ativação do failsafe.	72
A.1	Placa de Instrumentação.	82

A.2	Sensor Ph	84
A.3	Sensor Oxigenio Dissolvido	85
A.4	Sensor de Condutividade Elétrica	86
A.5	Sensor Redox	88

Lista de Tabelas

3.1	Trabalhos praticos desenvolvidos recentemente	27
4.1	Tabela de taxa de envio de dados	35
4.2	Tabela de peso preliminar	36
4.3	Potência dos motores.	43
4.4	Especificação dos módulos fotovoltaicos.	43
4.5	Características de montagem dos módulos	44
4.6	Características da bateria	45
5.1	Dados do teste dos propulsores	57
5.2	Dados do teste do painel fotovoltaico	60
5.3	Dados Coletados no Teste	65
5.4	Dados coletados do propulsor no teste	66
5.5	Dados Coletados de trim e banda, Angulo máximo	68
5.6	Dados Coletados de velocidades nos ganhos do PWM	71
5.7	Teste das Conexões	71

Lista de Abreviaturas e Siglas

WiFi	<i>Wireless Fidelity</i>	3
GPS	<i>Global Positioning System</i>	3
W	<i>Watts</i>	44
h	<i>Hora</i>	44
Wh	<i>Watts hora</i>	44
V	<i>Tensão Elétrica</i>	44
pH	<i>Potencial Hidrogeniônico</i>	83
BMS	<i>Sistema de Gerenciamento de Bateria</i>	45
km/h	<i>Kilômetros por Hora</i>	27
kg	<i>Kilograma</i>	27
mppt	<i>Rastreamento de ponto de potência máxima</i>	43

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Motivação	2
1.2	Tema, problema e hipótese de pesquisa	2
1.3	Contribuições	2
1.4	Estrutura da dissertação	3
2	Fundamentação teórica	4
2.1	Seções de uma embarcação do tipo catamarã	4
2.2	Modelos de casco	6
2.2.1	Casco único	6
2.2.2	Casco duplo	7
2.2.3	Casco triplo	8
2.2.4	Casco catamarã	9
2.2.5	Casco trimarã	10
2.3	Modelos de mastro	11
2.3.1	Mastro simples	11
2.3.2	Mastro tubular	12
2.3.3	Mastro estrutural	12
2.4	Propulsores e sistemas de governo naval	13
2.4.1	Sistema de Governo	13
2.4.2	O propulsor	14
2.4.3	Propulsão de governo direcional	15

2.5	Controle autônomo	16
2.5.1	Atuadores	17
2.5.2	Sensores	18
2.5.3	Controladoras	18
2.6	Sistemas elétricos	19
2.6.1	Fontes de energia elétrica	19
2.6.2	Armazenamento energia elétrica	20
2.6.3	Sistemas de gestão da energia	21
2.7	Comunicação	22
3	Trabalhos relacionados	24
3.1	Artigos relacionados a robotica náutica	25
3.2	Trabalho com desenvolvimento prático	27
4	Concepção da arquitetura do catamarã	29
4.1	Projeto conceitual	30
4.1.1	Cargas naturais	31
4.1.2	Velocidade máxima necessária	31
4.1.3	Dimensionamento da comunicação	32
4.1.4	Visão	33
4.1.5	Estimativa do fluxo de dados	34
4.2	Projeto básico	35
4.2.1	Peso total preliminar	36
4.2.2	Design naval	36
4.2.2.1	Modelagem do casco no freeship	36
4.2.2.2	Velocidade máxima de projeto	37
4.2.2.3	Simulações da velocidade	39

4.2.3	Consumo energetico	42
4.2.4	Dimensionamento de módulos fotovoltaicos e baterias	43
4.3	Projeto de detalhamento	46
4.3.1	Arquitetura proposta	46
4.3.2	Arranjo geral	48
4.3.3	Soluções de softwares	50
5	Experimentos e resultados	55
5.1	Arquitetura naval	55
5.1.1	Experimento dos propulsores	56
5.1.2	Experimento do casco	58
5.2	Experimentos elétrica	59
5.2.1	Teste dos módulos fotovoltaicos	59
5.2.2	Teste das baterias	61
5.2.3	Teste da arquitetura em bancada	63
5.2.4	Teste da arquitetura em ambiente controlado	64
5.3	Resultados da prova de mar	66
5.3.1	Dados de estabilidade	67
5.3.2	Dados de manobrabilidade	68
5.3.3	Dados de velocidade	70
5.3.4	Dados de comunicação	70
5.3.5	Sistema de segurança	71
6	Conclusão	73
6.1	Conclusões	73
6.2	Trabalho futuro	74
	Referências	76

Apêndice A – Datasheets e Informações de Equipamentos de Fornecedores	79
A.1 Lista de materiais	79
A.2 Datasheet PixHawk	81
A.3 Datasheet Raspberry	81
A.4 Informações Gerais	81
A.4.1 Placa de Instrumentação	81
A.4.2 Kit de sensor de pH	83
A.4.3 Kit de Sensor de Oxigênio Dissolvido	84
A.4.4 Kit de sensor de condutividade elétrica	85
A.4.5 Kit de sensor redox	87

Capítulo 1

Introdução

As embarcações autônomas têm despertado um crescente interesse e se destacado como uma área de pesquisa em constante evolução. Com a capacidade de operar de forma independente, essas embarcações representam uma promissora alternativa para diversas aplicações, desde exploração marinha até monitoramento ambiental e transporte de carga. Diversos pesquisadores têm se dedicado ao estudo e desenvolvimento dessas embarcações, buscando avançar em tecnologias como inteligência artificial, sistemas de navegação autônomos e gerenciamento de energia.

A compreensão dos desafios e das soluções nesta área é fundamental para explorar o potencial das embarcações autônomas e sua relevância em diversas condições e o desenvolvimento de veículos autônomos têm sido um tema de crescente interesse na indústria e na pesquisa científica. Dentre os diversos tipos de veículos que têm sido objeto de estudo, os catamarãs autônomos têm se destacado pelas suas potenciais aplicações.

A escolha de uma embarcação do tipo catamarã, cria facilidades e vantagens em relação as outras para este tipo de estudo pois uma embarcação deste tipo possui a disposição de dois cascos paralelos que confere aos catamarãs uma grande estabilidade. Isso significa que eles tendem a balançar e rolar menos em comparação com embarcações monocasco, tornando-os uma escolha popular para pessoas que tendem a enjoar em mar agitado. No caso de embarcações autônomas facilita na manorabilidade da embarcação. Devido à sua forma aerodinâmica e menor resistência à água, os catamarãs são frequentemente mais rápidos do que embarcações monocasco de tamanho similar. Eles são ideais para viagens de longa distância ou para quem deseja chegar ao destino mais rapidamente. A forma dos cascos e a menor área de contato com a água geralmente resultam em maior eficiência de combustível em comparação com embarcações monocasco. Isso os torna uma opção mais econômica para viagens de longa distância. Devido aos cascos mais largos, os catamarãs

podem acessar áreas rasas, como enseadas e praias remotas, que muitas vezes não são acessíveis para embarcações casco maiores.

1.1 Motivação

Uma das principais motivações e justificativas do presente trabalho é a determinação da Amazônia Azul. Essa designação foi cunhada pelo almirante Othon Lustosa da Costa, ex-presidente da COPPE (Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia), da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Ele popularizou o termo para chamar a atenção para a importância estratégica, econômica e ambiental das águas sob a soberania do Brasil. A Amazônia Azul compreende a vasta área do oceano Atlântico sob jurisdição brasileira, que se estende a cerca de 200 milhas náuticas (370,4 km) a partir da costa. Assim todo este corpo d'água cria um ambiente de pesquisa científica e econômico que incentiva o desenvolvimento de pesquisas relacionadas a monitoramento de águas e fronteiras.

Como uma motivação particular do autor, desde criança envolvido em atividades marítimas, já possuía uma aptidão natural a esta linha de estudos e trabalhos.

1.2 Tema, problema e hipótese de pesquisa

A elaboração deste trabalho partiu da ideia de se construir uma embarcação para monitoramento ambiental que tivesse a capacidade de navegar sem a utilização de combustíveis fósseis e que, em velocidade de operação, possuísse eficiência energética positiva. Ou seja, com a utilização de células fotovoltaicas, conseguisse armazenar mais energia do que consumir enquanto operasse.

Assim, a solução adotada neste trabalho foi o projeto e a construção do catamarã "Innoboat", é uma embarcação pequena que possui convés suficiente para carregar quatro módulos fotovoltaicos, os quais são determinantes para a navegação sustentável.

1.3 Contribuições

Este trabalho tem como objetivo apresentar o desenvolvimento de uma arquitetura de catamarã capaz de realizar navegação remotamente controlada em ambientes aquáticos. Para isso, será avaliada a teoria já existente para o desenvolvimento deste projeto

e em sequência realizada a escolha dos principais componentes do sistema de navegação autônoma do catamarã, incluindo os sensores utilizados para percepção do ambiente e os algoritmos de controle desenvolvidos para a navegação, simulações de velocidade, hidrodinâmica e hidrostática serão apresentadas para o desenvolvimento seguro do projeto. Além disso, serão apresentados os resultados obtidos com o catamarã em diferentes cenários de navegação e testes para confirmar que as simulações realmente são confiáveis e então serão discutidas as possíveis aplicações desse veículo.

O veículo em questão possuirá capacidade para operar de forma remota, ou seja, controlado remotamente por meio de uma conexão *Wireless Fidelity* (WiFi) estabelecida com uma estação em terra. Para possibilitar o controle autônomo, o veículo é equipado com diversos sensores de navegação essenciais para uma operação segura. Esses sensores incluem um receptor *Global Positioning System* (GPS) de alta precisão e um sistema inercial de posicionamento com acelerômetro e giroscópio.

Além disso, o veículo conta com um sistema fotovoltaico que auxilia na manutenção da energia necessária para seu funcionamento. Para garantir a segurança e o controle eficiente do sistema elétrico, foi desenvolvida uma placa de instrumentação específica que realiza a medição de corrente e tensão em diferentes partes do sistema. Essa placa permite o gerenciamento e controle autônomo da energia do veículo, proporcionando um maior nível de autonomia e eficiência em sua operação.

1.4 Estrutura da dissertação

Esta dissertação está estruturada em cinco capítulos, sendo o capítulo 2 a fundamentação teórica. Em seguida, o capítulo 3 apresenta os trabalhos relacionados tanto do âmbito de pesquisa quanto da prática em operação comercial. No capítulo 4, apresenta-se o desenvolvimento técnico da embarcação, onde são abordadas todas as atividades realizadas para o desenvolvimento do projeto. O capítulo 5, são apresentados os testes desenvolvidos ao longo do projeto para melhorar a eficiência e estimar as entregas da embarcação. Nos apêndices, encontram-se as folhas de dados dos equipamentos utilizados para o desenvolvimento do projeto.

Capítulo 2

Fundamentação teórica

Neste capítulo, será formalizada a teoria envolvida na concepção, projeto e construção de um catamarã autônomo. Serão apresentadas as minúcias das técnicas e metodologias geralmente utilizadas para que se possa, assim, compreender todos os outros conceitos introduzidos nos próximos capítulos, como contribuição desta dissertação.

2.1 Seções de uma embarcação do tipo catamarã

Um catamarã é um tipo de embarcação que possui dois cascos paralelos, que são conectados por uma estrutura rígida chamada de plataforma. Essa configuração especial confere à catamarã uma série de características distintas[1]. Devido à sua estabilidade superior e resistência à inclinação lateral, os catamarãs são conhecidos por proporcionarem uma navegação suave e confortável, mesmo em condições marítimas desafiadoras. Além disso, sua forma aerodinâmica reduz a resistência ao avanço, permitindo maior velocidade e eficiência energética em comparação com outros tipos de embarcações[2][3][4]. Os catamarãs são amplamente utilizados em diversas atividades, desde transporte de passageiros e cruzeiros turísticos até competições de vela e pesquisa marinha. Sua versatilidade e seu desempenho notável tornam os catamarãs uma opção popular no mundo náutico[5].

Existem várias formas de governar uma embarcação, sendo o exemplo mais comum o leme que é um dispositivo mecânico utilizado para controlar a direção de uma embarcação. Geralmente, é composto por uma superfície plana ou curva, chamada de pala, fixada na parte traseira do casco da embarcação, abaixo da linha d'água. O leme é conectado a um sistema de direção, permitindo que o timoneiro ou o sistema automatizado gire o leme para a esquerda ou direita, alterando a direção do navio. Ao girar o leme, ocorre um aumento ou diminuição da resistência hidrodinâmica na água, o que faz com que o casco

vire na direção desejada[1]. O leme é uma parte essencial do sistema de governo de uma embarcação e desempenha um papel fundamental na sua operação e manobrabilidade. No caso de veículos autônomos, a minimização da quantidade de dispositivos mecânicos também reduz a necessidade de manutenção e diminui o risco de falhas não previstas durante a operação.[6]. Com este conceito em mente, a parte de governo da arquitetura proposta terá dois propulsores fixos, cada um em um casco, de modo que a diferença de potência fornecida a eles gera a manobrabilidade da embarcação.

Outro elemento de extrema importância na embarcação é o mastro, o qual deve ser cuidadosamente projetado de acordo com a função que irá desempenhar. No caso de embarcações não tripuladas, os mastros estruturais são os mais utilizados, sua robustez possibilita o posicionamento de sensores e dispositivos de comunicação a uma altura que maximize sua eficácia durante a utilização e sua estrutura reforçada reduz as vibrações que ocorrem durante a navegação, permitindo um melhor funcionamento dos equipamentos. A figura 2.1 mostra as principais seções de um catamarã.

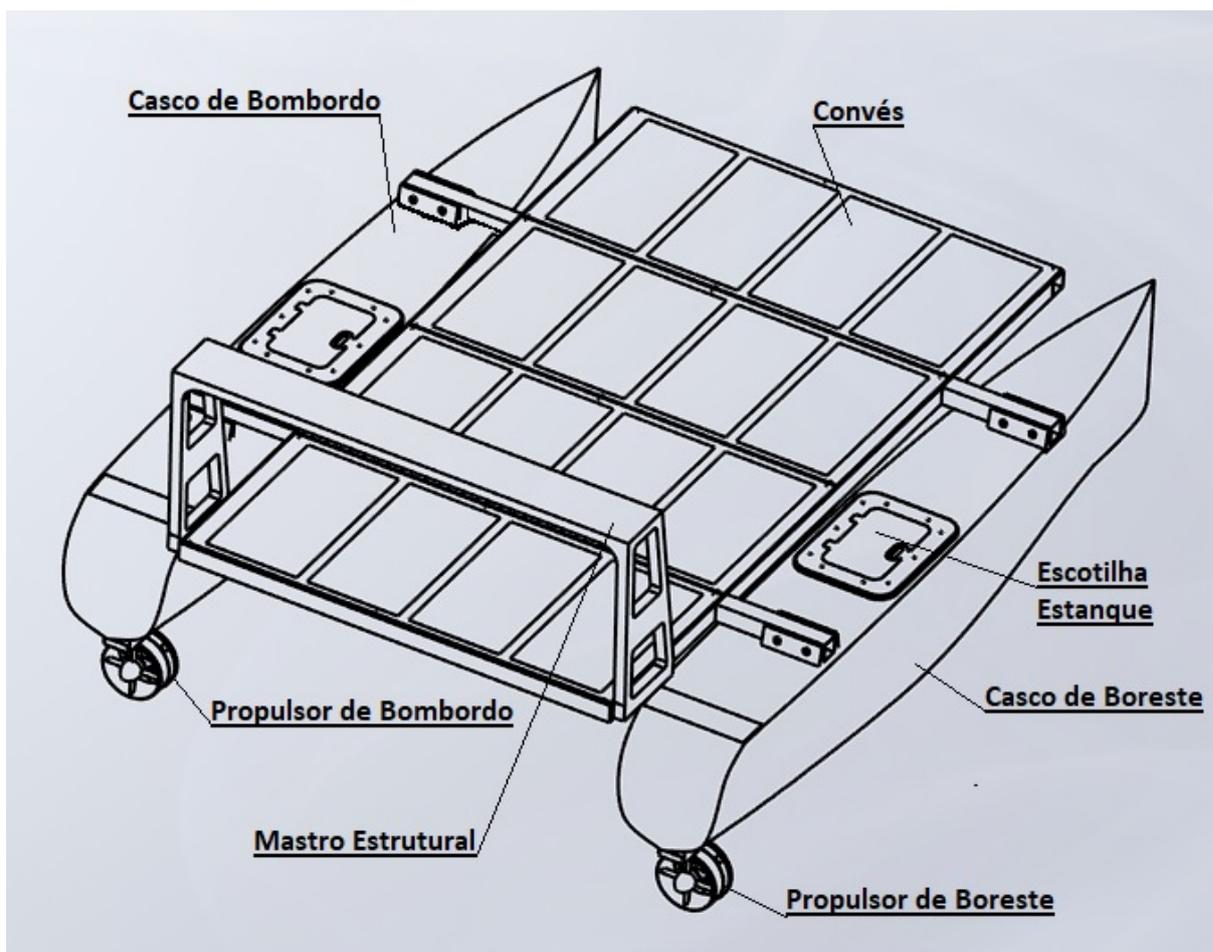


Figura 2.1: Catamarã com detalhe das seções e componentes

2.2 Modelos de casco

Os cascos das embarcações são fundamentais para a sua estrutura, desempenho e segurança. Existem diversos modelos de casco utilizados em embarcações, cada um com características específicas para atender às necessidades do tipo de embarcação e do ambiente em que ela será utilizada[1]. A Figura 2.2 demonstra os principais tipos de casco existentes.

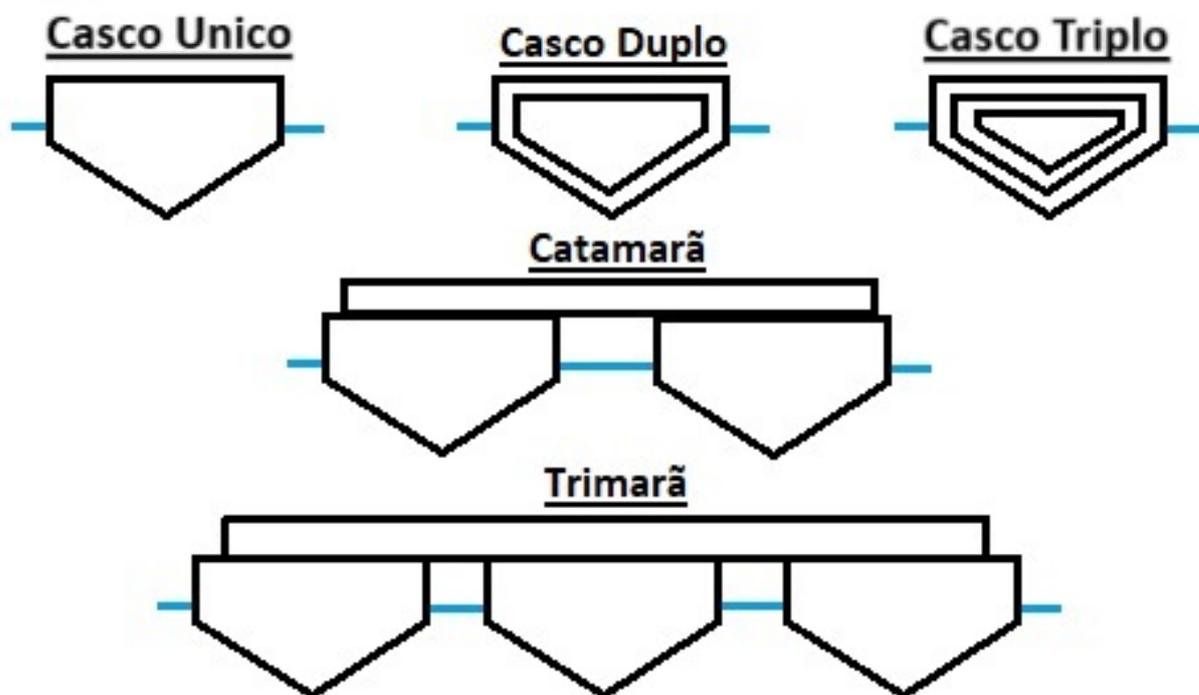


Figura 2.2: Tipos de casco

2.2.1 Casco único

É o modelo mais básico e tradicional utilizado em embarcações. Consiste em uma única estrutura contínua que envolve todo o navio. É usado em barcos menores e é relativamente simples de construir e manter.

Uma das principais vantagens do casco monocoque é a sua leveza em relação a outros tipos de casco, o que permite uma maior velocidade e eficiência no deslocamento da embarcação. Além disso, o casco monocoque oferece uma boa estabilidade, principalmente em águas calmas[1].

No entanto, o casco monocoque também apresenta algumas limitações. Por ser uma única estrutura contínua, ele pode ser mais vulnerável a danos causados por colisões ou

impactos. Além disso, a capacidade de carga de um casco monocoque é geralmente menor em comparação com outros tipos de casco, devido à sua forma e estrutura.

Em termos de design, o casco monocoque pode ter diferentes formatos e características, dependendo do tipo de embarcação e das necessidades específicas. Existem cascos monocoque em formato de "V", que são adequados para navegar em águas mais agitadas, proporcionando maior estabilidade e reduzindo o impacto das ondas. Também existem cascos monocoque em formato de casco "chato" ou "plano", que são mais adequados para águas rasas, como lagos e rios. A Figura 2.3 é demonstrada com clareza os designs mais comuns.



Figura 2.3: Designs de Casco.

2.2.2 Casco duplo

Esse tipo de casco é composto por duas camadas principais, uma interna e outra externa, que são separadas por um espaço chamado de espaço anular. O casco de casco duplo oferece uma camada adicional de segurança, pois, em caso de colisão ou danos à camada externa, a camada interna ainda pode fornecer flutuabilidade e evitar a entrada de água. É frequentemente usado em navios-tanque e petroleiros[1].

Além disso, o espaço anular entre as camadas do casco pode ser utilizado para a instalação de sistemas de monitoramento, como sensores de vazamento de água, sensores de gases inflamáveis ou sistemas de detecção de corrosão. Isso permite uma detecção precoce de problemas potenciais e ajuda a evitar falhas catastróficas.

Outra vantagem do casco duplo é a capacidade de melhorar a eficiência energética da embarcação. O espaço anular pode ser preenchido com materiais isolantes, como espuma de poliuretano, que ajudam a reduzir a transferência de calor e melhorar o isolamento térmico. Isso pode resultar em economia de energia, uma vez que é possível reduzir a necessidade de aquecimento ou refrigeração interna da embarcação. A segurança é uma preocupação fundamental devido aos materiais transportados, como petróleo e produtos químicos. Esses navios exigem um alto nível de segurança para minimizar os riscos de

vazamentos ou derramamentos, no caso de acidentes.

É importante ressaltar que a construção de um casco duplo pode ser mais complexa e requer maior atenção aos detalhes do projeto e da construção. No entanto, os benefícios em termos de segurança e eficiência tornam o casco duplo uma escolha amplamente adotada em embarcações comerciais que transportam cargas potencialmente perigosas.

2.2.3 Casco triplo

Similar ao casco de casco duplo, o casco de casco triplo possui três camadas principais, com dois espaços anulares entre elas. Essa configuração fornece ainda mais segurança e resistência a danos. É comumente utilizado em navios de transporte de gás liquefeito e em navios de carga pesada[1].

A principal vantagem do casco triplo é a capacidade de fornecer uma proteção adicional em caso de colisões ou danos ao casco externo. Se a camada externa do casco for comprometida, a camada intermediária ainda pode fornecer flutuabilidade e evitar a entrada de água. Em situações extremas, se tanto a camada externa quanto a camada intermediária forem danificadas, a camada interna pode atuar como uma última linha de defesa contra a entrada de água, proporcionando maior segurança para os ocupantes da embarcação.

Além disso, os espaços anulares entre as camadas do casco triplo podem ser preenchidos com materiais de isolamento, como espuma de poliuretano ou ar, melhorando ainda mais as propriedades de isolamento térmico e acústico da embarcação. Isso pode contribuir para o conforto dos ocupantes e a eficiência energética da embarcação.

O casco triplo também oferece benefícios em termos de resistência à corrosão. As camadas adicionais ajudam a proteger o casco contra a corrosão causada por fatores ambientais, como a água salgada, prolongando assim a vida útil da embarcação.

Devido à sua alta resistência e segurança, o casco triplo é comumente utilizado em embarcações que operam em condições marítimas adversas, como navios de transporte de gás liquefeito, navios de carga pesada, navios de pesquisa oceânica e algumas embarcações militares. Essas embarcações geralmente lidam com cargas pesadas, ambientes corrosivos e exigências estruturais rigorosas, o que torna o casco triplo uma escolha adequada para garantir a segurança e a durabilidade[1].

No entanto, é importante mencionar que a construção de um casco triplo é mais

complexa e custosa em comparação com outros tipos de cascos. Requer um projeto e uma construção mais sofisticados, levando em consideração a interação entre as camadas e os espaços anulares. Portanto, o uso de cascos triplos é mais comum em embarcações especializadas e de maior porte, onde os benefícios superam os custos adicionais.

2.2.4 Casco catamarã

O casco de catamarã é caracterizado por ter dois cascos paralelos separados por uma plataforma central. Essa configuração proporciona maior estabilidade, velocidade e eficiência em comparação com embarcações de casco único. Os catamarãs são populares em embarcações de recreio, ferries e em alguns navios de guerra.

Uma das principais vantagens do casco de catamarã é a estabilidade superior que ele oferece em comparação com embarcações de casco único. A ampla base dos cascos paralelos distribui o peso da embarcação de forma mais equilibrada, o que resulta em uma menor inclinação lateral (rolamento) em mares agitados. Isso torna o catamarã mais confortável para os passageiros a bordo, reduzindo a probabilidade de enjoo e proporcionando uma experiência de navegação mais suave[1].

Além disso, devido à sua forma, os catamarãs têm menos resistência hidrodinâmica em comparação com embarcações de casco único. Isso resulta em uma menor resistência à água, permitindo que os catamarãs atinjam velocidades mais altas com menos potência. A eficiência energética dos catamarãs é uma das razões pelas quais eles são frequentemente escolhidos para aplicações como ferries de alta velocidade, iates de cruzeiro e embarcações de competição.

Outra vantagem dos catamarãs é a capacidade de oferecer mais espaço interno. A plataforma central entre os cascos paralelos é geralmente mais ampla do que um casco único equivalente, o que permite acomodar mais passageiros, carga ou espaços adicionais, como camarotes, salões e áreas de convivência[1]. Isso torna os catamarãs particularmente populares em embarcações de recreio, onde o conforto e o espaço são importantes.

É importante ressaltar que, embora os catamarãs ofereçam muitas vantagens, eles também têm algumas considerações a serem levadas em conta. Por exemplo, devido à sua largura adicional, pode ser necessário um espaço de atracação mais amplo em marinas e portos[1]. Além disso, a construção de catamarãs pode ser mais complexa e requer habilidades especializadas, o que pode resultar em custos de construção e manutenção mais altas em comparação com embarcações de casco único.

2.2.5 Casco trimarã

Similar ao catamarã, o trimarã possui três cascos paralelos. O casco central é maior e oferece maior flutuabilidade e estabilidade. Os trimarãs são conhecidos por sua velocidade, eficiência e capacidade de transporte. Eles são frequentemente utilizados em embarcações de recreio, como iates e veleiros de alto desempenho.

Uma das principais vantagens do casco de trimarã é a estabilidade superior em relação a outras embarcações. A combinação dos três cascos paralelos proporciona uma ampla base de flutuação, resultando em uma excelente estabilidade lateral e resistência ao rolamento. Isso torna o trimarã mais estável em mares agitados, minimizando o risco de inclinação excessiva e proporcionando uma sensação mais suave e confortável durante a navegação.

Além disso, a forma do casco de trimarã também oferece menor resistência hidrodinâmica em comparação com outras embarcações. Os cascos laterais mais estreitos geram menos arrasto na água, o que permite que o trimarã atinja velocidades mais altas com menos potência. Essa eficiência energética é uma vantagem significativa, especialmente em embarcações de alto desempenho, como trimarãs de competição e iates de corrida.

Outra vantagem do casco de trimarã é a amplitude de espaço interno. As duas plataformas centrais entre os cascos laterais fornecem uma área espaçosa para acomodar passageiros, carga e áreas de convivência. Os trimarãs de maior porte, como iates de cruzeiro, podem aproveitar esse espaço adicional para oferecer acomodações luxuosas, camarotes espaçosos, salões confortáveis e até mesmo áreas de entretenimento[1].

É importante mencionar que os trimarãs também apresentam algumas considerações a serem levadas em conta. Devido à sua largura adicional, pode ser necessário um espaço de atracação mais amplo em marinas e portos. Além disso, a construção e manutenção de um trimarã podem ser mais complexas e exigir habilidades especializadas, o que pode resultar em custos mais altos.

Em resumo, o casco de trimarã oferece uma combinação única de estabilidade, eficiência energética e espaço interno generoso. Sua capacidade de navegação suave e rápida, juntamente com a possibilidade de acomodar confortavelmente passageiros e carga, fazem do trimarã uma escolha popular em diversas embarcações, desde barcos de recreio até iates de cruzeiro de luxo e embarcações de competição de alto desempenho.

2.3 Modelos de mastro

Os mastros navais desempenham um papel essencial na arte da navegação, erguendo-se altivos sobre os convés das embarcações. Essas estruturas imponentes sustentam velas e dispositivos eletrônicos de comunicação, rastreamento e posicionamento. Cada mastro tem sua própria personalidade, desde o majestoso mastro principal, o mais alto e poderoso, até o humilde mastro de proa, à frente da embarcação. Essencialmente, existem três tipos de mastro, o simples o tubular e o estrutural, como é possível ver na Figura 2.4

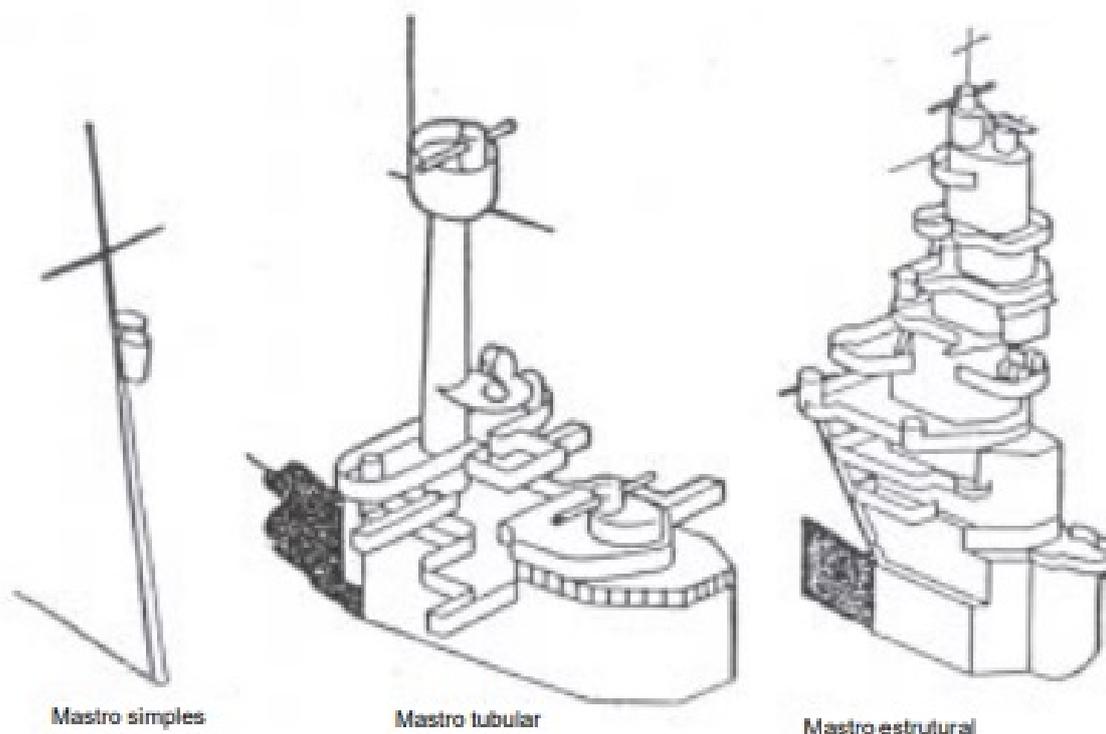


Figura 2.4: Tipos de mastro.

2.3.1 Mastro simples

O mastro simples é uma estrutura fundamental nas embarcações, caracterizada por ser um único mastro que sustenta as velas principais. Localizado no centro do convés, ele se ergue verticalmente, atuando como um ponto central de referência e suporte para a propulsão movida pelo vento[1].

Esse mastro único desempenha um papel vital na navegação à vela, proporcionando estabilidade e direção à embarcação. Ele sustenta a vela principal, conhecida como vela grande (main), responsável por capturar a força do vento e impulsionar a embarcação

pelos mares.

O mastro simples é encontrado em diversos tipos de embarcações, desde pequenos barcos de recreio até navios maiores. Sua simplicidade de design permite uma construção e manutenção mais acessíveis, tornando-o uma escolha popular para velejadores e proprietários de embarcações.

2.3.2 Mastro tubular

O mastro tubular é um tipo de mastro utilizado em embarcações que possui uma estrutura oca e cilíndrica. Ele é construído a partir de tubos de metal, como alumínio ou aço inoxidável, que são soldados ou unidos para formar a estrutura vertical do mastro[1].

O mastro tubular oferece várias vantagens devido à sua construção e design. Primeiramente, a estrutura oca proporciona uma combinação ideal de resistência e leveza. Isso permite que o mastro suporte as forças do vento e das velas sem adicionar excesso de peso à embarcação, contribuindo para uma maior eficiência e desempenho.

Além disso, a forma tubular facilita a passagem de cabos, cordas e fios elétricos internamente, permitindo uma instalação limpa e organizada. Isso é especialmente importante para embarcações que exigem uma variedade de equipamentos eletrônicos, iluminação e sistemas de comunicação.

Outra vantagem do mastro tubular é a facilidade de fabricação e manutenção. A estrutura tubular simplifica o processo de construção, possibilitando a produção em larga escala ou personalização de acordo com as necessidades específicas da embarcação. Além disso, a manutenção é facilitada devido ao fácil acesso ao interior do mastro[1].

O mastro tubular é comumente encontrado em uma variedade de embarcações, desde veleiros de recreio até embarcações de maior porte, como iates de cruzeiro e navios comerciais. Sua versatilidade, resistência e leveza tornam-no uma escolha popular entre os navegadores, proporcionando uma estrutura sólida e confiável para sustentar as velas e auxiliar na propulsão movida pelo vento.

2.3.3 Mastro estrutural

O mastro estrutural é projetado para suportar cargas pesadas, como o peso de radares, equipamentos e até mesmo a pressão do vento durante a navegação. Ele é construído com materiais robustos e duráveis, como alumínio, aço inoxidável ou até mesmo materiais

compostos de alta resistência, para garantir sua capacidade de resistir às forças externas e ao ambiente marítimo[1].

Além de fornecer suporte e robustez, o mastro estrutural também serve como ponto de ancoragem para outros equipamentos e sistemas, como o sistema de iluminação, antenas de comunicação, câmeras, e até mesmo sistemas de segurança, como o sistema de guincho de âncora. Portanto, é importante que o mastro estrutural seja projetado e construído de forma apropriada para a instalação segura desses componentes adicionais.

2.4 Propulsores e sistemas de governo naval

Em uma embarcação, o sistema de governo refere-se à estrutura organizacional e ao conjunto de regras e procedimentos que regem a tomada de decisões e a gestão das atividades a bordo[1]. Embora as embarcações não tenham um sistema de governo no mesmo sentido que um país, elas possuem uma estrutura hierárquica e uma série de responsabilidades e funções atribuídas aos membros da tripulação e máquinas de manobra.

2.4.1 Sistema de Governo

O marinheiro que manobra o leme para governar uma embarcação chama-se timoneiro, ou homem do leme. Nas embarcações miúdas, o timoneiro atua diretamente na cana do leme; contudo, nos navios em movimento, o esforço necessário para girar o leme é muito grande[1]. Há, então, necessidade de se instalar um aparelho de governo, que permite a um só homem governar o navio com facilidade. A máquina do leme é comandada a distância pelos movimentos da roda do leme, e desta dependência resultou sua denominação de servomotor. O servomotor é instalado na popa, no próprio compartimento do leme (onde a madre atravessa o casco do navio) ou em compartimento contíguo, para evitar transmissões longas.

Nos navios mercantes, onde é necessário aproveitar o espaço interno do casco, o compartimento do servomotor é situado geralmente acima do convés. Nos navios de guerra de grande porte, esse compartimento fica abaixo da linha d'água e é protegido por couraça; nos navios de guerra menores, o servomotor é também localizado abaixo do convés, e muitas vezes situado num recesso da antepara de ré da praça de máquinas[1].

Na transmissão hidráulica, usa-se um telemotor, que é um tipo muito empregado nos navios mercantes e de guerra. A transmissão é feita por pressão líquida em tubulações

que correm por zonas protegidas do navio[1]. Torna-se fácil usar transmissões duplas, afastadas uma das outras, para garantia contra avarias. As desvantagens são: a entrada de bolhas de ar na rede prejudica o funcionamento, assim como a formação de bolhas de gás, quando a tubulação atravessa compartimentos de temperatura elevada.

Transmissão elétrica neste tipo de governo naval, são usados motores elétricos. O sistema consta de dois motores de corrente alternada, sendo um transmissor, comandado pela roda do leme, e um receptor, ligado ao mecanismo de controle do servomotor[7]. O transmissor, também chamado motor-piloto, recebe o movimento da roda do leme por meio de contatos adequados e os transmite, por condutores elétricos, ao receptor; o rotor do receptor segue exatamente, em velocidade e em quantidade de deslocamento angular, o movimento do rotor do transmissor.

A transmissão por meio de condutores elétricos permite ainda maior flexibilidade da instalação do que a transmissão hidráulica. A transmissão elétrica é muito empregada para servomotores hidrelétricos, com o motor receptor atuando diretamente no mecanismo de controle da bomba[8].

2.4.2 O propulsor

Existem diversos tipos de propulsores utilizados em navios, cada um com suas características e aplicações específicas. A Figura 2.5 mostra o arranjo tradicional de uma planta propulsora em embarcações.

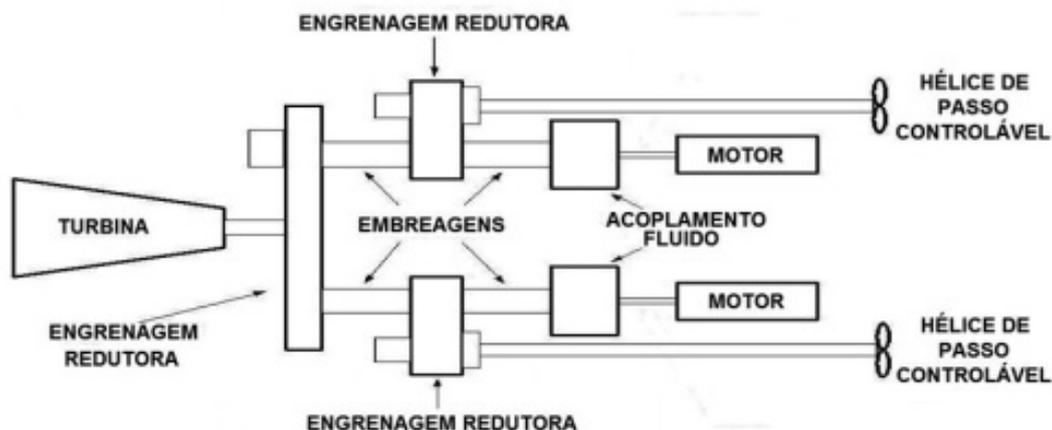


Figura 2.5: Exemplo de propulsor.

O hélice de passo fixo é o tipo mais comum de propulsor encontrado em navios. O

hélice de passo fixo é composta por um conjunto de lâminas fixas e é acionada por um motor de combustão interna. Ela gera a força propulsora empurrando a água para trás à medida que gira, impulsionando o navio para frente.

O hélice de passo controlável é semelhante à hélice de passo fixo, mas com a capacidade de alterar o ângulo e a velocidade de rotação das lâminas. Isso permite um maior controle e manobrabilidade do navio, permitindo manobras precisas, como virar em um raio menor ou manter a posição em condições adversas.

O propulsor azimutal é uma unidade de propulsão independente que pode girar em torno de um eixo vertical de 360 graus. Ele é instalado abaixo do casco do navio e pode ser orientado em qualquer direção. Esses propulsores oferecem excelente manobrabilidade, permitindo que o navio se mova em todas as direções e realize manobras complexas[1].

Os propulsores a jato d'água utilizam uma bomba para captar água e direcioná-la através de uma saída de alta pressão na parte traseira do navio. Isso cria um jato de água potente que impulsiona o navio para frente. Os propulsores a jato d'água são frequentemente usados em embarcações de alta velocidade, como catamarãs e barcos de patrulha[1].

Os propulsores de translação lateral são utilizados para auxiliar nas manobras de atracação e desatracação do navio. São instalados na lateral do casco e podem ser direcionados para os lados, gerando forças horizontais que permitem que o navio se mova para os lados. Esses propulsores são particularmente úteis em portos movimentados e espaços restritos[1].

2.4.3 Propulsão de governo direcional

Não existe um nome específico para o tipo de governo de embarcação que usa dois propulsores e a diferença na rotação da hélice para fazer manobras. Essa é uma técnica de manobra conhecida como propulsão direcional ou manobra de propulsão, na qual a diferença na velocidade e na direção de rotação das hélices ou propulsores é utilizada para controlar a direção e a movimentação da embarcação[8].

Na propulsão direcional, os propulsores ou hélices são controlados independentemente uns dos outros. Por exemplo, em um navio equipado com dois propulsores azimutais ou hélices de passo controlável, o operador pode aumentar a velocidade de rotação de um propulsor e diminuir a velocidade do outro, ou até mesmo reverter a rotação de um propulsor enquanto o outro continua girando para frente[9]. Essas ações assimétricas criam

diferenças na força propulsora gerada por cada propulsor, resultando em um momento de viragem que permite ao navio mudar de direção ou realizar manobras específicas.

Essa técnica de manobra é comumente usada em embarcações que requerem alta manobrabilidade, como navios de patrulha, navios de pesquisa, rebocadores e navios de cruzeiro. Ela permite que o navio gire em seu próprio eixo, faça curvas mais apertadas e execute manobras precisas em espaços restritos, como portos e canais estreitos. A Figura 2.6 demonstra o funcionamento deste tipo de técnica[10].

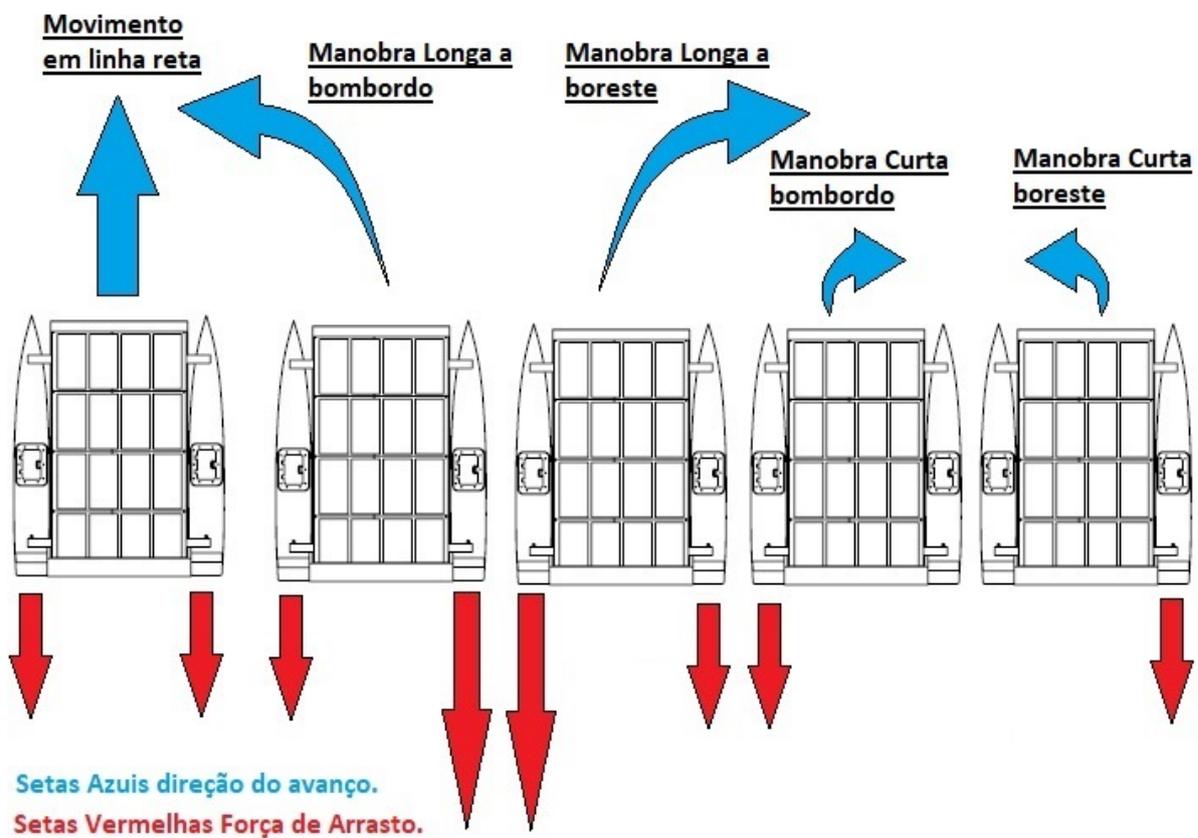


Figura 2.6: Manobras com governo direcional

2.5 Controle autônomo

Os sistemas de controle autônomo podem incluir recursos como navegação autônoma, desvio de obstáculos, controle de colisão, monitoramento e manutenção de sistemas a bordo, entre outros. Eles podem ser implementados em diferentes tipos de embarcações, desde pequenos barcos de recreio até grandes navios comerciais[10][11].

A implementação do controle autônomo de embarcações apresenta desafios e considerações importantes, como a necessidade de garantir a segurança das operações, a conformidade com regulamentos marítimos, a confiabilidade dos sistemas e a mitigação de riscos em caso de falhas[12][13][14]. Os controles autônomos trabalham comumente com 3 tipos de dispositivos, atuadores, sensores e controladoras que serão melhor explicados a seguir[15].

2.5.1 Atuadores

Atuadores elétricos são dispositivos que convertem energia elétrica em movimento mecânico. Eles são amplamente utilizados em uma variedade de aplicações para controlar e mover diferentes componentes ou sistemas. Os atuadores elétricos são projetados para substituir ou complementar os atuadores tradicionais, como hidráulicos e pneumáticos[16][11].

Atuadores lineares elétricos: esses atuadores convertem energia elétrica em movimento linear. Eles são compostos por um motor elétrico acoplado a um sistema de engrenagens ou fusos, que transformam o movimento rotativo do motor em movimento linear. Os atuadores lineares elétricos são amplamente utilizados em aplicações industriais, como máquinas automáticas, robótica, sistemas de movimentação e ajuste de posicionamento[15].

Atuadores rotativos elétricos: esses atuadores convertem energia elétrica em movimento rotativo. Eles são compostos por um motor elétrico e um mecanismo de transmissão que converte o movimento rotativo do motor em um movimento de rotação[17][15]. Os atuadores rotativos elétricos são comumente utilizados em válvulas industriais, sistemas de controle de movimento e outros equipamentos que requerem movimento rotativo controlado[17].

Atuadores lineares de solenoide: esses atuadores utilizam um solenoide para gerar um campo magnético que move um êmbolo linearmente[15]. Os atuadores lineares de solenoide são compactos, rápidos e oferecem um desempenho preciso em aplicações que exigem movimento linear curto.

Atuadores de engrenagem: esses atuadores utilizam motores elétricos e uma série de engrenagens para converter o movimento rotativo em um movimento desejado. Eles são frequentemente usados em sistemas de abertura e fechamento, como portas automáticas, janelas elétricas e sistemas de controle de fluxo[15].

2.5.2 Sensores

Sensores são dispositivos que detectam e medem mudanças em variáveis físicas ou condições ambientais e as convertem em sinais elétricos ou outros tipos de sinais mensuráveis. Eles desempenham um papel fundamental em várias aplicações, desde automação industrial até eletrônica de consumo, saúde, transporte e muito mais[18].

Os sensores captam informações sobre o ambiente ao seu redor por meio de diferentes princípios de detecção, como óptico, acústico, elétrico, magnético, térmico, entre outros. Dependendo do tipo de informação que precisam detectar, os sensores podem medir grandezas físicas como temperatura, pressão, luz, umidade, movimento, presença, nível de um fluido, aceleração e muitas outras. Após capturar as informações do ambiente, os sensores convertem esses dados em sinais elétricos ou digitais que podem ser processados, interpretados e utilizados em sistemas de controle, monitoramento, tomada de decisões ou exibição de informações relevantes para os usuários[19][20].

Os sensores são utilizados em uma ampla gama de indústrias e aplicações, desde automação industrial, eletrônicos de consumo, veículos autônomos, monitoramento ambiental, saúde e muito mais estes a cima citados são os mais comuns utilizados em embarcações autônomas para navegação e avaliação do ambiente[21]. Eles são essenciais para coletar dados do mundo físico e fornecer informações valiosas para tomada de decisões e controle de sistemas[20].

2.5.3 Controladoras

Controladoras eletrônicas são dispositivos projetados para controlar e gerenciar sistemas e processos por meio de sinais elétricos. Elas são amplamente utilizadas em uma variedade de aplicações, desde automação industrial até eletrônicos de consumo e automóveis. As controladoras eletrônicas funcionam recebendo informações de sensores ou outros dispositivos de entrada e processando esses dados para executar ações ou ajustar parâmetros em sistemas específicos. Elas atuam como o cérebro do sistema, interpretando as informações recebidas e tomando decisões com base em algoritmos e lógica programados[22].

As controladoras eletrônicas podem ser programadas e configuradas para uma ampla gama de funções e tarefas, dependendo da aplicação específica. Elas podem lidar com tarefas simples, como acionar um motor em determinada condição, ou tarefas complexas, como controlar todo um processo de produção em uma fábrica ou a manobrabilidade de

um veículo autônomo[23].

As controladoras eletrônicas são projetadas para melhorar o desempenho, a eficiência e a confiabilidade dos sistemas e processos, automatizando tarefas e permitindo um controle preciso. Elas desempenham um papel essencial em várias indústrias, ajudando a otimizar operações e fornecer funcionalidades avançadas aos dispositivos e sistemas em que são aplicadas.

2.6 Sistemas elétricos

Sistemas elétricos são conjuntos de componentes e dispositivos interconectados que permitem a geração, distribuição, controle e utilização da energia elétrica[24]. Esses sistemas desempenham um papel fundamental em diversas áreas, desde residências e edifícios comerciais, indústrias, máquinas e veículos.

2.6.1 Fontes de energia elétrica

Fontes de energia elétrica são as diferentes fontes primárias de energia que são convertidas em eletricidade por meio de processos de geração de energia. Essas fontes podem ser classificadas em dois tipos principais: fontes de energia convencionais ou não renováveis e fontes de energia renováveis[25].

Fontes de energia convencionais são aquelas produzidas a partir de fontes de energia que se esgotam na natureza e, portanto, causam diversos impactos ambientais. Essa energia normalmente de origem orgânica é limitada e demora milhões de anos para se formar na natureza. Ainda que se apresentem em grandes quantidades, se esgotadas não podem ser regeneradas facilmente, uma vez que suas reservas são finitas. As principais formas de geração de energia convencional são:

O carvão mineral, que é queimado em usinas termoelétricas para gerar vapor, o qual é usado para acionar turbinas e gerar eletricidade. O petróleo que é queimado em usinas termoelétricas semelhantes ao carvão, mas é menos comum devido a preocupações ambientais e custos. O gás natural, que é uma fonte de energia limpa e amplamente usada na geração de eletricidade. É queimado para produzir calor, que aciona turbinas de geração elétrica. E as usinas nucleares que usam a fissão nuclear para produzir calor, que é usado para gerar vapor e acionar turbinas conectadas a geradores elétricos[26].

Ja as energias renováveis são fontes de energia que se regeneram naturalmente com o

tempo e não se esgotam. Elas são a parte mais importante da transição para um sistema de energia que abandona os combustíveis fósseis, combatendo assim o aquecimento global. Além disso, são energias limpas que protegem a saúde humana e o meio ambiente[27].

A energia cinética da água em movimento, geralmente proveniente de rios ou reservatórios, é convertida em eletricidade por meio de turbinas hidrelétricas. A energia cinética do vento é capturada por turbinas eólicas que giram um gerador elétrico para produzir eletricidade. A luz do sol é convertida em eletricidade por meio de células fotovoltaicas presentes nos painéis solares. A queima de resíduos orgânicos, como resíduos agrícolas ou madeira, gera calor que pode ser usado para produzir eletricidade em usinas de biomassa. O calor proveniente do interior da Terra é usado para aquecer água e produzir vapor, que aciona turbinas para gerar eletricidade.

2.6.2 Armazenamento energia elétrica

A armazenagem de energia elétrica é um componente crucial para garantir um fornecimento contínuo e confiável de energia, especialmente em situações em que a demanda excede a capacidade de geração ou quando ocorrem interrupções na rede elétrica. Existem várias tecnologias e métodos de armazenamento de energia elétrica disponíveis[25].

As baterias são um dos métodos mais comuns e populares de armazenamento de energia elétrica. Elas convertem energia elétrica em energia química durante o processo de carga e, posteriormente, convertem a energia química de volta em energia elétrica durante a descarga. As baterias são utilizadas em uma variedade de aplicações, desde dispositivos eletrônicos portáteis até veículos elétricos e sistemas de armazenamento em larga escala[25].

Os capacitores armazenam energia elétrica em um campo eletrostático, acumulando cargas elétricas em suas placas. Embora os capacitores tenham uma capacidade de armazenamento de energia relativamente baixa em comparação com as baterias[25], eles são capazes de fornecer energia rápida e eficientemente em curtos períodos de tempo, sendo adequados para aplicações de pulso de energia.

Os supercapacitores são dispositivos de armazenamento de energia que possuem uma capacidade de armazenamento intermediária entre baterias e capacitores convencionais[25]. Eles são capazes de fornecer energia rapidamente e têm uma longa vida útil, sendo frequentemente utilizados em aplicações que exigem altas taxas de carga e descarga.

Armazenamento térmico, esse método envolve o armazenamento de energia térmica

gerada a partir de fontes renováveis, como energia solar ou energia geotérmica[25]. A energia térmica é capturada e armazenada em fluidos ou materiais especiais e, posteriormente, é convertida novamente em energia elétrica por meio de turbinas ou sistemas termoelétricos.

Armazenamento em hidrogênio, o armazenamento de energia em forma de hidrogênio envolve a conversão de energia elétrica excedente em hidrogênio por meio da eletrólise da água. O hidrogênio pode ser armazenado e, posteriormente, utilizado em células de combustível para gerar eletricidade quando necessário.

2.6.3 Sistemas de gestão da energia

A gestão da energia em sistemas elétricos envolve o planejamento, controle e otimização do consumo, produção e distribuição de energia elétrica. É um processo abrangente que visa maximizar a eficiência energética, minimizar custos, garantir a confiabilidade do fornecimento e reduzir os impactos ambientais[28].

Aqui estão alguns aspectos importantes da gestão da energia em sistemas elétricos de veículos autônomos.

Monitoramento e medição, a gestão eficaz da energia começa com o monitoramento e medição adequados do consumo de energia. Isso envolve a instalação de medidores de energia em diferentes pontos do sistema elétrico para monitorar o consumo em tempo real e obter dados precisos sobre o uso de energia.

Eficiência energética, a gestão da energia visa identificar e implementar medidas de eficiência energética para reduzir o consumo de energia[29]. Isso pode incluir a atualização de equipamentos obsoletos por versões mais eficientes, a otimização dos processos de produção, a melhoria da gestão de carga e a implementação de práticas de conservação de energia[5].

O gerenciamento de carga envolve a distribuição e controle do consumo de energia elétrica em diferentes pontos do sistema elétrico[30]. Isso pode ser alcançado por meio de estratégias como o gerenciamento de demanda, onde a carga é ajustada para evitar picos de demanda que possam sobrecarregar a rede elétrica[5].

Com o aumento da participação de fontes de energia renovável, como energia solar e eólica, na matriz energética, a gestão da energia envolve a integração eficiente dessas fontes no sistema elétrico[30] Isso requer um planejamento adequado, monitoramento em

tempo real e coordenação para equilibrar a geração e a demanda de energia[25][5].

A gestão da demanda envolve estratégias para influenciar os padrões de consumo de energia, incentivando os usuários a ajustarem seus hábitos de consumo para evitar picos de demanda[30]. Isso pode ser feito por meio de tarifas diferenciadas, programas de resposta à demanda, conscientização sobre eficiência energética e adoção de tecnologias inteligentes de medição e controle[31].

A gestão eficaz da energia em sistemas elétricos requer uma abordagem holística que considere todos os aspectos mencionados acima. Isso ajuda a otimizar o uso de energia, reduzir custos, melhorar a eficiência energética e garantir um fornecimento confiável e sustentável de energia elétrica.

2.7 Comunicação

A comunicação sem fio refere-se à transmissão de informações entre dispositivos sem a necessidade de conexões físicas, como cabos ou fios. É uma forma conveniente e amplamente utilizada de transferir dados, voz, vídeo e outros tipos de informações em diferentes contextos, como comunicações pessoais, redes de computadores, automação industrial, telecomunicações[32]. A comunicação sem fio baseia-se no uso de ondas eletromagnéticas para transmitir os sinais de um dispositivo transmissor para um receptor. Essas ondas eletromagnéticas podem ser de diferentes frequências, como rádio, micro-ondas, infravermelho, luz visível ou até mesmo ondas de rádio de alta frequência, como as utilizadas para comunicação via satélite[4].

A comunicação sem fio desempenha um papel fundamental na operação de barcos autônomos, que são embarcações capazes de navegar e tomar decisões de forma independente, sem a necessidade de intervenção humana. Esses barcos autônomos dependem de sistemas de comunicação sem fio para diversas finalidades, como controle, monitoramento e troca de dados[33].

A comunicação sem fio permite que os operadores controlem e supervisionem as embarcações remotamente. Isso é particularmente útil em situações onde não é possível ou seguro ter uma tripulação a bordo[32]. Os comandos de controle, como direção, velocidade e manobras, podem ser transmitidos sem fio para o barco autônomo.

Em operações onde vários barcos autônomos trabalham em conjunto, a comunicação sem fio é essencial para coordenar suas ações. Isso pode envolver o compartilhamento de

informações de posição, trajetória, obstáculos detectados e outros dados relevantes para evitar colisões e garantir uma operação eficiente[33].

A comunicação sem fio permite que informações vitais sejam transmitidas de um barco autônomo para uma estação de controle em terra ou uma embarcação de suporte[34]. Isso inclui dados de sensores, informações de status do sistema, diagnóstico de falhas e outros parâmetros importantes para monitorar o desempenho e a saúde do barco autônomo.

Os barcos autônomos podem usar comunicação sem fio para interagir com sensores e dispositivos externos, como sistemas de detecção de obstáculos, sistemas de navegação, sistemas de posicionamento global, sistemas de monitoramento ambiental e muito mais. Essa troca de dados em tempo real permite que o barco autônomo tome decisões informadas e adapte seu comportamento de acordo com as condições do ambiente[15][34][29].
Atualização de software e firmware: A comunicação sem fio também é usada para atualizar o software e firmware do barco autônomo de forma remota. Isso permite a implementação de melhorias, correções de bugs e atualizações de recursos sem a necessidade de acesso físico à embarcação[35].

É importante ressaltar que a comunicação sem fio em barcos autônomos precisa ser confiável, segura e resistente a interferências, garantindo uma operação eficiente e segura. Protocolos de comunicação robustos e criptografia de dados são essenciais para proteger as informações e evitar interrupções indesejadas[29].

Capítulo 3

Trabalhos relacionados

Este capítulo apresenta uma revisão dos trabalhos relacionados a barcos autônomos e robótica naval, com o objetivo de fornecer um contexto abrangente para a pesquisa realizada neste estudo de mestrado. Também é importante destacar que as técnicas de construção de embarcação tradicionais foram em sua maioria auxiliadas pelos livros Arte Naval Vol. 1 e Vol. 2, junto com a NORMAM 01, norma que rege as regras de construção de embarcações. E as etapas de construção avançada de robótica e controle foram balisados utilizando artigos atuais.

A autonomia e a robótica têm se tornado áreas de crescente interesse na comunidade científica e industrial, com aplicações significativas na exploração e monitoramento de ambientes aquáticos. Uma das motivações para escrever este trabalho esta centrada em melhorar a qualidade de vida da sociedade através da aplicação da robótica. A robótica é uma área de grande potencial para criar soluções inovadoras que possam ajudar a enfrentar os desafios atuais relacionados ao meio ambiente e à mobilidade sustentável[36].

No entanto, no contexto acadêmico, a criação e aplicação de um parâmetro consiste em estabelecer critérios específicos usados para comparar e avaliar pesquisas. Embora existam textos que exemplifiquem métricas de desempenho para robótica móvel, essas referências não são empregadas como valores de comparação entre os pesquisadores de veículos autônomos. Neste estudo, optamos por utilizar certas características para classificar os trabalhos encontrados na literatura, conforme detalhado a seguir[37][38].

3.1 Artigos relacionados a robotica náutica

O objetivo central desta pesquisa é estabelecer parâmetros para a proposição de uma arquitetura de catamarã autônomo. Para garantir o desenvolvimento eficiente dessa atividade, é de extrema importância selecionar cuidadosamente métodos científicos anteriores que conduzam à escolha das principais características do catamarã autônomo.

Nesta seção, apresentaremos uma compilação de projetos recentes encontrados na literatura, destacando suas valiosas contribuições para o tema em questão. O artigo "A survey of autonomous surface vehicles: Recent advances, current challenges, and future directions." apresenta uma revisão abrangente dos avanços recentes em embarcações autônomas, incluindo tecnologias de navegação, controle, detecção de obstáculos e comunicação. O trabalho também aborda os desafios atuais enfrentados pelas embarcações autônomas e discute as possíveis direções futuras de pesquisa nessa área. A leitura inicial deste artigo foi importante pois abriu as portas para outros projetos que levassem ao avanço desta pesquisa. Já o "Development and testing of an autonomous surface vehicle for hydrographic surveying. Os autores descrevem o desenvolvimento e teste de um veículo autônomo para levantamento hidrográfico. O trabalho abrange o projeto do veículo, a integração de sensores para coleta de dados e os resultados dos testes de campo para validar a eficácia e a precisão da embarcação autônoma. Esta leitura foi importante pois ajudou a explorar as dificuldades de armazenar ou enviar dados coletados para a nuvem, e entender as formas de operação de uma embarcação autônoma.

Já o título "Path planning and obstacle avoidance for autonomous maritime vehicles: A review." Neste artigo de revisão, os autores analisam as diferentes abordagens para o planejamento de trajetórias e a detecção de obstáculos em veículos marítimos autônomos. O trabalho abrange técnicas clássicas, como campos potenciais, bem como métodos mais recentes, como algoritmos baseados em aprendizado de máquina. Este Artigo ajudou na escolha de sensores e atuadores para a navegação da embarcação autônoma e também nas etapas de construção da embarcação. Este artigo "Machine learning techniques for autonomous decision-making in unmanned surface vehicles." que apresenta o uso de técnicas de aprendizado de máquina para aprimorar a capacidade de tomada de decisões autônomas em veículos não tripulados de superfície. Os autores discutem algoritmos de aprendizado de máquina aplicados à navegação, detecção de colisões e outras tarefas críticas para veículos marítimos autônomos. também foi útil para desenvolver um algoritmo de segurança caso algum sistema interno da embarcação pare de funcionar adequadamente.

Para integrar módulos fotovoltaicos a embarcação além de estudar os manuais de instalação de sistemas fotovoltaicos em corrente contínua foi usado também a teoria descrita no artigo "Energy-aware path planning for autonomous solar-powered boats." onde os autores abordam o desafio da otimização de trajetórias considerando a eficiência energética em barcos solares autônomos. O artigo propõe um método de planejamento de trajetória que leva em conta a posição do sol e as condições ambientais para maximizar a eficiência energética durante a navegação. este artigo foi responsável por um "insight" para a construção de uma placa de instrumentação que mede a energia que circula a embarcação tanto de consumo quanto de geração.

O artigo "Autonomous surface vehicles: Recent advances and challenges in environmental monitoring and sampling." que revisa os avanços recentes e os desafios enfrentados na utilização de embarcações autônomas para monitoramento ambiental e coleta de amostras em águas superficiais. Onde os autores discutem como esses veículos podem ser uma ferramenta valiosa para pesquisas ambientais. Possui uma gama de dados coletados que foram importantes na escolha dos sensores que recebem dados de qualidade da água e no desenvolvimento dos algoritmos que enviam e tratam estes dados.

Um critério importante é se o pesquisador disponibiliza o projeto do veículo publicamente, sendo um fator que incentiva diretamente quanto à replicação do método científico, contribuindo ainda mais para a comunidade. Nos casos mencionados acima, nenhum deles disponibiliza o projeto publicamente. No entanto, muitas informações que circundam o objetivo principal do artigo foram úteis para o desenvolvimento desta pesquisa, já que modelos e tipos de sensores foram apresentados. Outras informações importantes foram os métodos utilizados para desenvolver os algoritmos e onde os pesquisadores tiveram problemas na fabricação de suas embarcações, o que auxiliou no ganho de tempo do desenvolvimento.

Outros Artigos foram revisados, e estudados para o desenvolvimento da pesquisa os citados nesta seção foram os que trouxeram mais benefícios e auxílios ao desenvolvimento deste trabalho. No entanto nem todos desenvolviam um projeto prático de embarcação, alguns inclusive utilizavam de um trabalho prático já desenvolvido para desenvolver mais de uma pesquisa, por isso foi desenvolvido um levantamento de trabalhos práticos atuais, e levantada algumas informações importantes referente ao projeto. A tabela 3.1 demonstra estes trabalhos.

Tabela 3.1: Trabalhos praticos desenvolvidos recentemente

Trabalho	Disponibiliza projeto	Hardware	Objetivos
N-Boat	Sim	Micro-Controlador	Pesquisa de Robotica e IA
F-Boat	Sim	Micro-Controlador	Pesquisa de Robotica e IA
Wasp	Não	Não Informa	Pesquisa Universitaria
Roboat	Não	Computador	Comercial
HyRa	Não	Computador	Comercial e pesquisa universitaria
Saildrone	Não	Não Informa	Comercial
Mayflower	Não	Computador	Comercial
Tupã	Não	Computador	Comercial
Met	Não	Não Informa	Comercial e pesquisa universitaria
Innoboat	Não	Computador	Comercial e pesquisa universitaria

3.2 Trabalho com desenvolvimento prático

O trimarã desenvolvido e fabricado pela IBM, nomeado Mayflower, merece atenção por ser a primeira embarcação autônoma energizada por fontes renováveis e já está em operação para a coleta de dados da água.

O navio feito de alumínio e carbono não foi criado para transportar pessoas, mas sim para realizar pesquisas sobre a poluição marinha e rastrear mamíferos aquáticos. Ele tem 15 metros de comprimento e pouco mais de 6 metros de largura, sendo impulsionado por um motor híbrido movido a energia solar que garante uma velocidade máxima de 18 *Kilômetros por Hora* (km/h).

A autonomia do Mayflower é suportada por mais de 50 sensores, câmeras de alta definição e um sistema de aprendizado profundo da IBM para identificar e evitar obstáculos, correntes hostis e condições climáticas adversas em alto-mar. O navio também é capaz de seguir regras internacionais de navegação e utilizar cartas náuticas atualizadas em tempo real. O Mayflower leva uma carga científica de aproximadamente 700 *Kilograma* (kg), incluindo sensores acústicos, de nutrientes e de temperatura que serão usados para coletar dados marítimos durante a viagem. Sozinho no oceano, ele será capaz de colher amostras de água e detectar a presença de microplásticos, além de analisar a composição química e o nível do mar.

O projeto do novo Mayflower abre muitas áreas de pesquisa, principalmente na otimização da inteligência artificial envolvida e dos dados coletados durante seus percursos. O aspecto mais importante é que o navio Mayflower utiliza os mesmos meios de navegação e energização propostos neste projeto, que são painéis fotovoltaicos. Isso mostra que a pesquisa em barcos autônomos é algo premente e de importância significativa para a sociedade acadêmica.

Capítulo 4

Concepção da arquitetura do catamarã

Neste capítulo, são abordados passos de desenvolvimento do catamarã. Normalmente, para o desenvolvimento de um projeto de veículo, é levado em consideração, antes de tudo, as funções que ele terá que executar. O projeto conceitual detalha bem este assunto abordando para embarcações, as águas que o veículo terá que navegar, o tempo de navegação, as atividades que serão desempenhadas, o tipo de carga que será deslocada e a distância que a embarcação normalmente percorrerá. Logo em seguida, é desenvolvido o projeto básico, onde são escolhidos equipamentos e designs para o projeto, é importante comentar que o projeto básico é utilizado também para desenvolver os cálculos principais do projeto carga hidrostática e design naval. Em seguida, entra-se no detalhamento do projeto, que demonstra a arquitetura do veículo, o arranjo dos equipamentos, o cabeamento, as funcionalidades eletrônicas e de software."

A figura 4.1 demonstra o passo a passo do desenvolvimento deste projeto e quais problemas foram abordados em cada etapa.

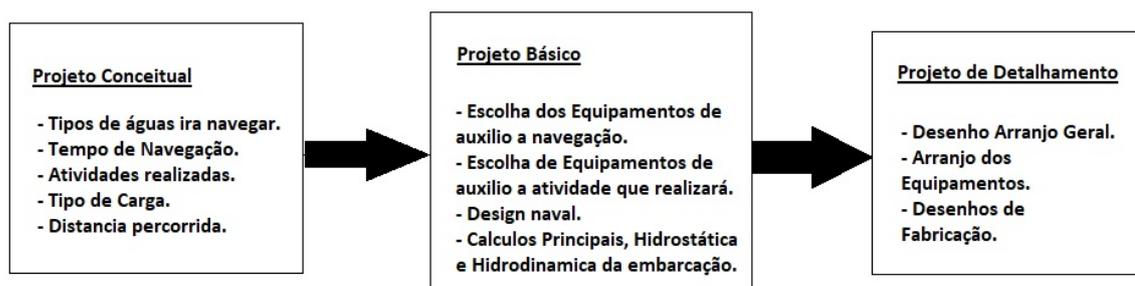


Figura 4.1: Fluxo do desenvolvimento de projeto

4.1 Projeto conceitual

O projeto conceitual, foi pensada uma embarcação sem tripulação que navegasse em praias oceânicas próxima à costa, até 500 metros de distância, lagoas, rios e baías. A embarcação também irá navegar em água doce e salgada.

Para o cálculo das distâncias percorridas, utilizamos 60 quilômetros, que seria a distância aproximada de ida e volta, quatro vezes, da praia de Icaraí em Niterói até a praia de Botafogo no Rio de Janeiro. Este parâmetro é utilizado para mensurar antenas, acesso à internet, baterias e regeneração utilizando módulos fotovoltaicos. A Figura 4.2 mostra o trajeto utilizado para o cálculo de projeto.



Figura 4.2: Trajeto praia de icaraí x praia de botafogo

Além disso, a embarcação será utilizada para coleta de dados meteorológicos, de qualidade da água, dados de profundidade e imagens de câmeras. Essa será a carga dinâmica da embarcação. No entanto, a nível de projeto, iremos levar em conta apenas o pior cenário, que é o de todos os sensores embarcados simultaneamente, o que será considerado a carga máxima da embarcação. Neste momento, o fluxo de dados também

será o mais elevado, permitindo a verificação da viabilidade técnica do projeto.

Então para estes desafios a embarcação do tipo catamarã é a mais viável pois, os catamarãs são conhecidos por sua estabilidade devido à sua larga base e casco duplo. Isso os torna mais resistentes a balanços e rolagens, proporcionando uma viagem mais confortável para pilotagem remota.

Em geral, os catamarãs têm uma melhor eficiência de deslocamento na água em comparação com embarcações monohull tradicionais. Seus cascos paralelos geram menos resistência, permitindo que atinjam velocidades mais altas com menor consumo de combustível. Os catamarãs possuem um calado mais raso, o que os torna mais adequados para áreas costeiras, lagoas e rios rasos, onde embarcações monohull podem encontrar dificuldades de navegação. Devido à sua forma e velocidade, os catamarãs podem ser mais eficientes em termos de consumo de combustível, o que é benéfico para operações comerciais e ecológicas. A plataforma ampla de um catamarã proporciona mais espaço para a instalação de painéis solares. Os catamarãs podem ser adaptados para várias aplicações, como transporte de passageiros, pesquisa científica, atividades turísticas, patrulhamento marítimo.

4.1.1 Cargas naturais

Com base nos tipos de água que a embarcação terá que navegar, é possível dimensionar inicialmente as forças naturais que irão incidir sobre ela. Logo, prevê-se uma escala Beaufort grau 5, que é o que o banco de dados meteorológico Instituto nacional de meteorologia prevê como o ocorrido frequentemente na Baía da Guanabara, A Escala de Beaufort classifica a intensidade dos ventos, tendo em conta a sua velocidade e os efeitos resultantes das ventanias no mar e em terra. A figura 4.3 demonstra a escala Beaufort.

4.1.2 Velocidade máxima necessária

Para iniciar os cálculos das velocidades máximas necessárias para a embarcação navegar os 60 km diários, utilizaremos o dia mais crítico do ano que é o solstício de inverno no estado do Rio de Janeiro que é o dia do ano que temos a menor incidência de luz solar, então levando em conta o tempo disponível de luz diurna. Com 11 horas de luz diurna, a embarcação terá esse período para percorrer a distância de 60 km. calculando a velocidade média necessária para realizar essa jornada:

Grau	Designação	m/s	km/h	nós	Aspecto do mar	Efeitos em terra
0	Calmo	<0,3	<1	<1	Espelhado	Fumaça sobe na vertical
1	Aragem	0,3 a 1,5	1 a 5	1 a 3	Pequenas movimentações na superfície do mar	Fumaça indica direção do vento
2	Brisa leve	1,6 a 3,3	6 a 11	4 a 6	Ligeira ondulação sem rebentação	As folhas das árvores movem; os moinhos começam a trabalhar
3	Brisa fraca	3,4 a 5,4	12 a 19	7 a 10	Ondulação até 60 cm, com alguns <i>carneiros</i>	As folhas agitam-se e as bandeiras desfraldam ao vento
4	Brisa moderada	5,5 a 7,9	20 a 28	11 a 16	Ondulação até 1 m, <i>carneiros</i> frequentes	Poeira e pequenos papéis levantados; movem-se os galhos das árvores
5	Brisa forte	8 a 10,7	29 a 38	17 a 21	Ondulação até 2.5 m, com cristas e muitos <i>carneiros</i>	Movimentação de grandes galhos e árvores pequenas
6	Vento fresco	10,8 a 13,8	39 a 49	22 a 27	Ondas grandes até 3.5 m; borrifos	Movem-se os ramos das árvores; dificuldade em manter um guarda chuva aberto; assobio em fios de postes
7	Vento forte	13,9 a 17,1	50 a 61	28 a 33	Mar revolto até 4.5 m com espuma e borrifos	Movem-se as árvores grandes; dificuldade em andar contra o vento
8	Ventania	17,2 a 20,7	62 a 74	34 a 40	Mar revolto até 5 m com rebentação e faixas de espuma	Quebram-se galhos de árvores; dificuldade em andar contra o vento; barcos permanecem nos portos
9	Ventania forte	20,8 a 24,4	75 a 88	41 a 47	Mar revolto até 7 m; visibilidade precária	Danos em árvores e pequenas construções; impossível andar contra o vento
10	Tempestade	24,5 a 28,4	89 a 102	48 a 55	Mar revolto até 9 m; superfície do mar branca	Árvores arrancadas; danos estruturais em construções
11	Tempestade violenta	28,5 a 32,6	103 a 117	56 a 63	Mar revolto até 11 m; pequenos navios sobem nas vagas	Estragos generalizados em construções
12	Furacão	>32,7	>118	>64	Mar todo de espuma, com até 14 m; visibilidade nula	Estragos graves e generalizados em construções

Figura 4.3: Escala beaufort com o nível 5 destacado.

$$Velocidademedia = Distancia/Tempo \quad (4.1)$$

$$Velocidademedia = 60/11 = 5,45km \quad (4.2)$$

Portanto, durante o solstício de inverno, a embarcação precisará ter uma velocidade média de aproximadamente 5,45 km/h para navegar os 60 km diários com as horas de luz disponíveis. É importante ressaltar que esse é um valor médio, e a embarcação pode precisar de velocidades variáveis ao longo do trajeto, considerando a correnteza, ventos e outros fatores que possam influenciar a navegação.

Por conta disso, é possível disponibilizar baterias para suprir demandas extras ou eventuais incidentes durante o dia. Com isso, foram consideradas 4 horas extras de energia para incidentes, assim já sabemos o tempo máximo necessária de utilização das baterias.

4.1.3 Dimensionamento da comunicação

A proposta é que a comunicação seja feita utilizando conexão de internet 4G/5G. No entanto, para a viabilidade técnica, é necessário verificar a disponibilidade de conecti-

vidade na área do projeto. Para isso, foi utilizado o banco de dados nPerf, que coleta medidas efetuadas por usuários do aplicativo nPerf em condições reais, no local em questão. A figura 4.4 demonstra os locais com conectividade dentro do raio do projeto.

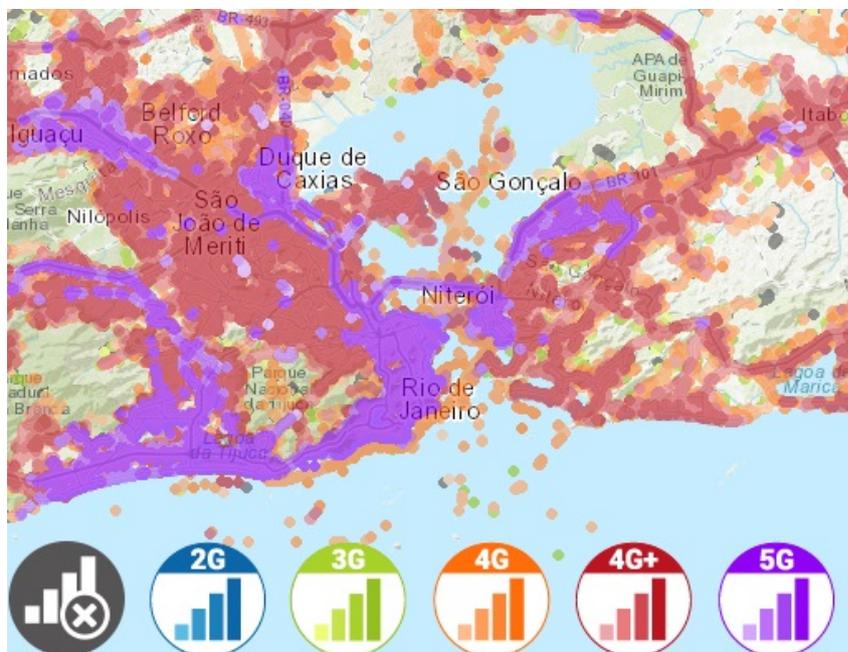


Figura 4.4: Cobertura de internet entorno da baía da guanabara

A proposta de navegação utilizando a internet se torna viável e pode ser uma opção tecnologicamente avançada para a operação da embarcação. No entanto, é importante também ter um plano de contingência para situações em que a conectividade possa ser comprometida temporariamente, para garantir a segurança e a eficiência da navegação. Por isso, um algoritmo de automação será inserido no controle da embarcação. Falaremos sobre ele mais adiante neste capítulo. Além disso, uma antena de rádio também é utilizada para conexão direta ao controle da embarcação, a fim de resolver possíveis problemas com a internet em um raio de até 550 metros.

4.1.4 Visão

Um dimensionamento muito importante é o campo de visão das câmeras. Com elas, podemos mensurar a quantidade de câmeras utilizadas no projeto. O ideal é que tenhamos 360° de visão com o veículo, no entanto nem sempre é possível ter visão 360° então é seguro posicionar duas cameras principais de a vante e a ré, construindo um angulo de 180° e outras duas laterais, com 15° de inclinação para vante, assim temos um campo de visão das áreas mais criticas da embarcação. Devido à velocidade da comunicação disponível é importante um estudo inicial antes do projeto basico, portanto, um esboço, que pode

ser visto na figura 4.5, foi planejado para mensurar a quantidade de câmeras utilizadas. A câmera utilizada para o estudo é uma câmera de conexão USB à prova d'água, e o datasheet está disponível no fim deste projeto.

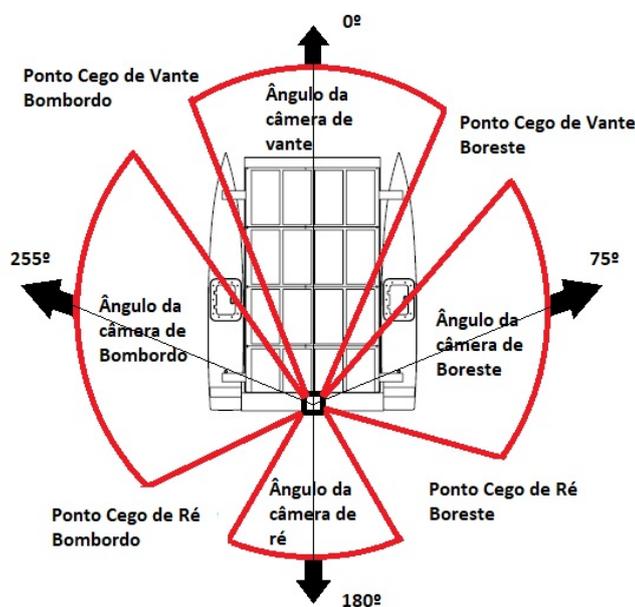


Figura 4.5: Planejamento do arranjo das câmeras

Com este arranjo, temos a visão de todas as áreas críticas da embarcação, o que possibilita a tomada de decisão rápida caso algo ocorra fora dos planos do operador.

4.1.5 Estimativa do fluxo de dados

Para estimar o fluxo de dados, montamos uma tabela com todos os componentes e sensores que enviam dados pela rede, bem como seus graus de importância dentro do projeto. Dessa forma, podemos levar em consideração quais podem ou não ser desativados, caso ocorra uma interrupção ou redução da velocidade de banda.

Como esta é uma estimativa inicial para cálculos de projeto, serão utilizados dados de sensores que possuem seus datasheets liberados para verificação. Os datasheets podem ser analisados no apêndice ao final deste projeto. A tabela 4.1 mostra o nome do sensor e a taxa de dados enviado por ele.

Levando em consideração que a velocidade média da internet 4G/5G é de 150000Kbps, podemos utilizar os sensores sem problemas de sobrecarga da internet. No entanto, um cuidado extra deve ser levado em consideração com o uso das câmeras, pois é o que consome mais banda da internet.

Tabela 4.1: Tabela de taxa de envio de dados

Equipamento	Dados (Kbps)
Cameras	22000
Sensor de PH	168
Sensor Temperatura	56
Sensor Oxigênio Dissolvido	56
Sensor Condutividade Elétrica	56
Gps	168
Inerciais	56
Magnetometro	56
Instrumentação	112
Total:	22728

4.2 Projeto básico

Para o desenvolvimento do projeto básico, os conceitos definidos na seção anterior serão muito importantes, além deles, outros levantamentos passam a ser cruciais para o desenvolvimento básico, como o peso total da embarcação, por exemplo. Inicialmente, uma estimativa prévia deve ser executada para fazer os cálculos hidrostáticos e de concepção do casco. Em seguida, podemos realizar os cálculos de velocidade máxima utilizando o sistema de governo proposto. Assim, já é possível uma estimativa de consumo energético para mensurar a quantidade de painéis solares. Em seguida, a revisão dos pesos é realizada, ajustando para o peso real da embarcação e, conseqüentemente, alterando todos os outros dados preliminares.

A figura 4.6 mostra as etapas de desenvolvimento do projeto básico utilizadas para a realização do projeto da embarcação.



Figura 4.6: Etapas do projeto básico

4.2.1 Peso total preliminar

Para a construção de uma tabela de peso total preliminar, pode-se levar em conta os equipamentos padrões de uma embarcação do tipo catamarã de navegação autônoma, juntamente com os sensores que serão utilizados para coleta de dados. Logo, a tabela 4.2 demonstra os equipamentos preliminares e seus respectivos pesos.

Tabela 4.2: Tabela de peso preliminar

Equipamento	Peso (Kg)
Casco BB	14
Casco BE	14
Convés de Alumínio	18
Mastro Estrutural	3
Módulos Fotovoltaicos	4,5
Baterias	15
Dispositivos Eletrônicos Navegação	4
Sensores de Medição da Qualidade da água	2,5
Cabos	5
Total:	80

Então, temos um peso preliminar de 80Kg para os cálculos iniciais de construção do projeto.

4.2.2 Design naval

Para a construção do projeto de design naval, foram utilizados dois softwares de simulação. O primeiro foi o Freeship, que é um programa de modelagem de superfície usado para projetar iates, navios e barcos. É amplamente utilizado nas fases iniciais do projeto, design do casco e hidrostática. O segundo software utilizado foi o Solidworks, na sua função Flow Simulator, que é uma solução intuitiva de Dinâmica de Fluidos. Esse software foi empregado em dois momentos: primeiro, para mensurar as forças aplicadas ao casco em diferentes condições de aceleração, e segundo, para mensurar a força de arrasto gerada pelas hélices do motor.

4.2.2.1 Modelagem do casco no freeship

Levando em consideração os tipos de água em que a embarcação irá navegar, as forças de maré e vento, é possível mensurar as características físicas da embarcação. Para catamarãs que possuem uma carga máxima de 80Kg e navegam em águas abrigadas no

nível 5 da escala de Beaufort, uma embarcação com tamanho entre 2,1m e 3m atende aos requisitos de segurança, de acordo com a teoria aplicada no livro 'A Arte Naval'. Além disso, para resistir às ondas equivalentes ao nível de vento, um calado de 400mm e linha d'água de 100mm absorvem as ondas com facilidade e mitigam o arrasto do vento.

Assim, adicionando estes dados iniciais ao software Freeship, ele já nos fornece uma embarcação com características padrões que podemos tentar otimizar. A ideia é que a embarcação tenha seu casco semelhante a uma gota, para aumentar o arrasto de água e ganhar em eficiência energética. Esta etapa requer a realização manual de ajustes e testes até alcançar um valor ótimo.

Então, chegamos a um design final, que é visualizado em 4 vistas, conforme a figura 4.7.

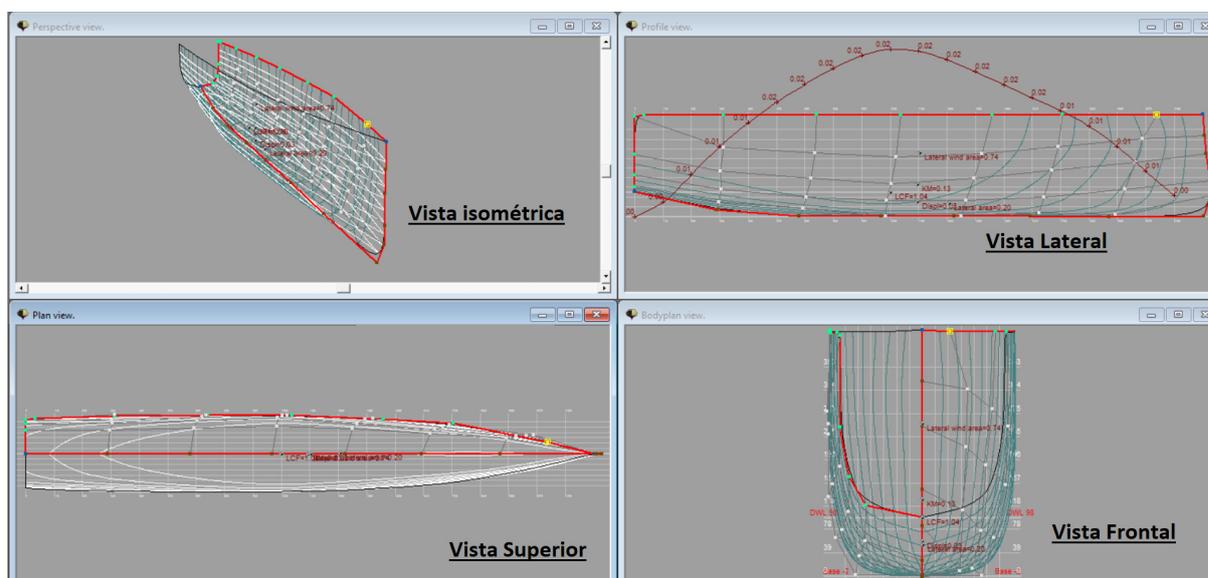


Figura 4.7: Tela de visão do design no freeship

Além disso dados muito importantes para as próximas etapas do desenvolvimento do projeto são fornecidos ao final da simulação, estes dados são utilizados como métrica para o ajuste do peso da embarcação e estimativa da velocidade máxima. A Figura 4.8 demonstra os dados que foram obtidos pelos cálculos realizados no modelo projetado.

4.2.2.2 Velocidade máxima de projeto

Convencionalmente, para se descobrir a velocidade máxima de uma embarcação, é necessário ensaios de laboratório para encontrar o coeficiente de arrasto, que nada mais é do que uma curva que define a relação entre a velocidade do fluido e a força exercida no casco. No entanto, este tipo de ensaio se torna muito custoso, e as tecnologias de

Design length	:	2.300 m
Length over all	:	2.330 m
Design beam	:	0.300 m
Beam over all	:	0.313 m
Design draft	:	0.098 m
Midship location	:	1.150 m
Water density	:	1.025 t/m ³
Appendage coefficient	:	1.0000
Volume properties:		
Displaced volume	:	0.032 m ³
Displacement	:	0.033 tonnes
Total length of submerged body	:	2.326 m
Total beam of submerged body	:	0.291 m
Block coefficient	:	0.4890
Prismatic coefficient	:	0.5958
Vert. prismatic coefficient	:	0.6986
Wetted surface area	:	0.697 m ²
Longitudinal center of buoyancy	:	1.145 m
Longitudinal center of buoyancy	:	-0.918 %
Transverse center of buoyancy	:	0.000 m
Vertical center of buoyancy	:	0.058 m
Midship properties:		
Midship section area	:	0.023 m ²
Midship coefficient	:	0.8207
Waterplane properties:		
Length on waterline	:	2.326 m
Beam on waterline	:	0.291 m
Waterplane area	:	0.473 m ²
Waterplane coefficient	:	0.7000
Waterplane center of floatation	:	1.038 m
Y coordinate of DWL area CoG	:	0.000 m
Half entrance angle of DWL	:	9.955 degr
Transverse moment of inertia	:	0.002 m ⁴
Longitudinal moment of inertia	:	0.129 m ⁴
Initial stability:		
Vertical of transverse metacenter	:	0.134 m
Transverse metacentric radius	:	0.076 m
Longitudinal transverse metacenter	:	4.033 m
Longitudinal metacentric radius	:	3.975 m

Figura 4.8: Dados hidrostáticos do casco

simulação de fluidos permitem o mesmo tipo de ensaio utilizando softwares.

A forma como esse teste é realizado no laboratório é colocando o casco da embarcação ou uma versão em escala reduzida da embarcação em um tanque de provas conectado a uma célula de carga. Em seguida, o tanque gera um fluxo de água simulando as condições de um rio, o que tende a gerar uma força resultante no casco. Então, essa força é registrada

pela célula de carga.

Utilizando o Flow Simulator do SolidWorks, podemos fazer esse mesmo teste em várias velocidades do fluido e com o modelo de casco gerado pelo Freeship. Podemos coletar, por simulação, os dados de velocidade do fluido em relação à força exercida no casco.

Em seguida, já que sabemos a relação de velocidade do fluido à força exercida, podemos fazer uma segunda simulação, desta vez de máquinas rotativas, e definir a força máxima gerada pelos propulsores da embarcação. Com isso, teremos a velocidade máxima que o design da embarcação atinge com o propulsor simulado.

4.2.2.3 Simulações da velocidade

Então, para a simulação de cargas no casco, precisamos fazer a exportação do modelo do Freeship para o SolidWorks, o que é muito simples, já que o SolidWorks funciona com qualquer arquivo de modelo gráfico. Convencionalmente, utiliza-se o Parasolid, logo, esta foi a extensão de arquivo utilizada para as simulações. Após a importação do casco, precisamos definir a linha d'água máxima, que foi calculada utilizando o Freeship, e defini-la criando um esboço exatamente na altura da linha d'água a 100 mm em relação ao casco. O modelo ficará conforme a figura 4.9.



Figura 4.9: Esboço cortando a linha d'água a 100mm

A marcação da linha d'água é muito importante para a simulação que será realizada, pois é ela que define o limite entre água e ar na simulação efetuada. Então, podemos escolher o ponto onde vamos coletar as informações de força no casco, conforme a lei de conservação de energia, que é bem definida. O melhor ponto para se coletar informações de força em um corpo é o seu centroide, onde as forças são máximas. A figura 4.12 mostra a árvore de tarefas realizamos a escolha do ponto de coleta de informação na linha "Goals"(Objetivos).

Agora que já temos definido o limiar entre os dois fluidos, ar e água, e o ponto de avaliação dos dados, podemos escolher os fluidos que serão simulados, ar e água, e a velocidade com que eles vão se mover e a direção do movimento. Com todos os dados

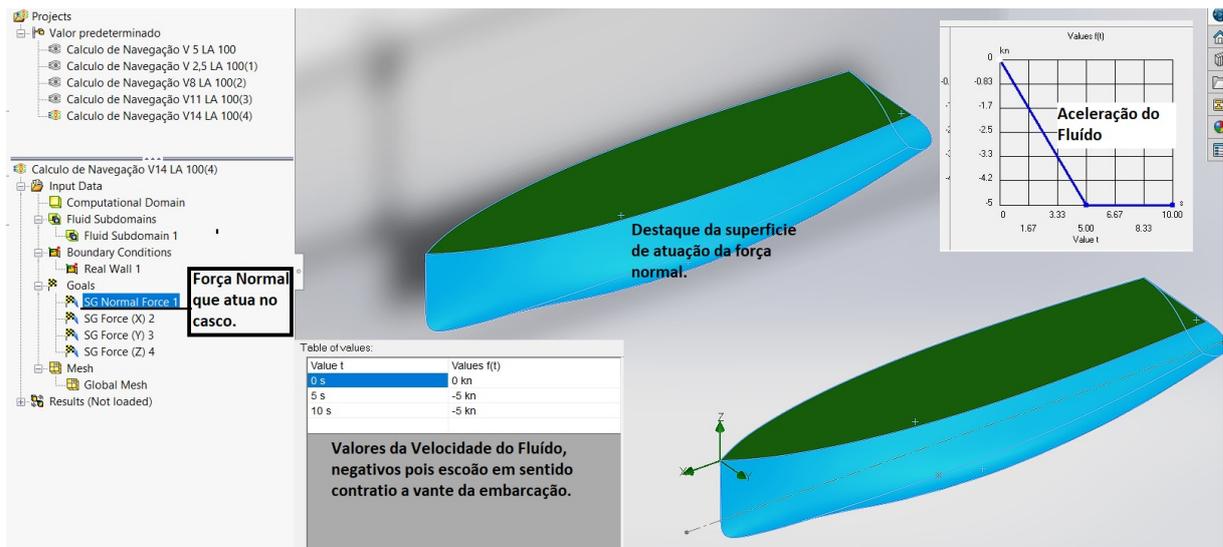


Figura 4.10: Dados da simulação no flowsimulator para força no casco

ajustados, podemos iniciar os cálculos da simulação e construir um gráfico de velocidades x força no centroide.

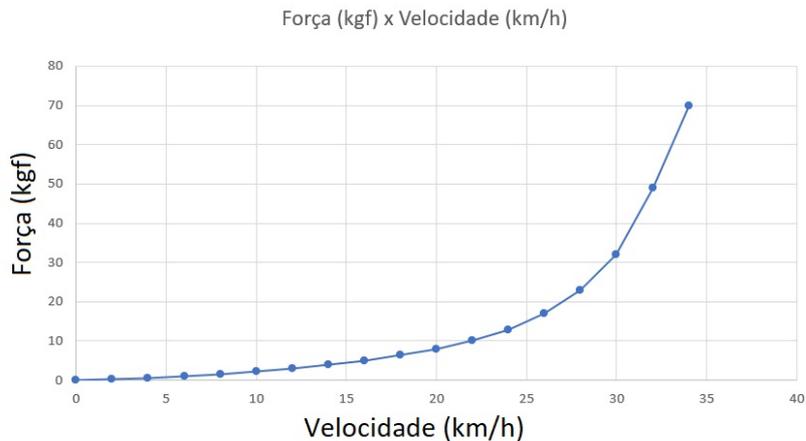


Figura 4.11: Dados da simulação no flowsimulator para força no casco

Podemos iniciar a simulação de máquinas rotativas também no SolidWorks para definir as forças máximas impressas pelos propulsores. Para isso, abrimos um novo arquivo do projeto do propulsor.

Em seguida, limitamos a área de rotação do modelo criando um sólido e dando a ele transparência. Esse sólido precisa estar dentro do alcance total das hélices do propulsor, conforme mostrado na figura 4.12.

Após esta etapa, precisamos definir a velocidade inicial do fluido, que será zero, o tipo de fluido, que será água potável, e a velocidade de rotação. No caso, a velocidade máxima será a rotação máxima do motor, 6800 RPM, conforme o datasheet. Precisamos

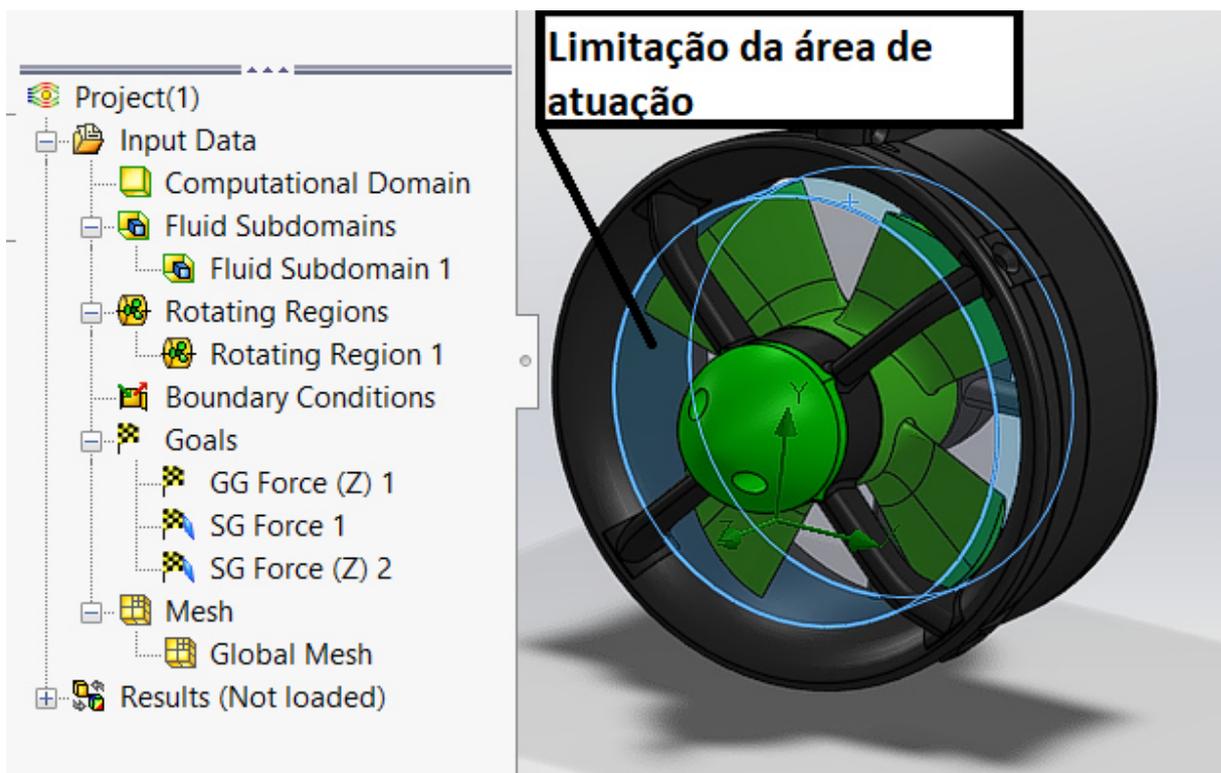


Figura 4.12: Dados da simulação no flowsimulator para força no casco

também escolher o ponto de avaliação das cargas impostas sobre o propulsor, mais uma vez utilizaremos o ponto de centroide do equipamento. Após calculos, teremos a força gerada pelo propulsor no centroide, referente à rotação do hélice. É possível ver também o comportamento do fluido após ser atuado pelas pás da hélice do propulsor, a figura demonstra a direção que o fluido trafega durante a atuação do propulsor veja que o fluido antes do propulsor é sugado para dentro do tubulão inclusive fora da área de atuação e após passagem pelo hélice ele é expelido em formato de vortex helicoidal com velocidade maior que o de entrada, podemos ver isso com o gradiente de cores, as cores com verde mais vivo são de velocidade maior as que tendem para o amarelo o fluido esta em baixa velocidade a figura 4.13 demonstra com claresa o fenomeno.

Então na rotação máxima do motor que é 6800 rpm teremos uma força de 24,84 kgf gerada no centroide. Podemos então marcar esta força no grafico de velocidade x força e definir a velocidade máxima da embarcação, A figura 4.14 demonstra a marcação da velocidade máxima e a velocidade padrao de operação.

Estes dados já são suficientes para a navegação da embarcação no entanto eles também proporcionam a continuação de cálculos para análise de desempenho e estimativas energeticas conforme demonstrados nas proximas seções.

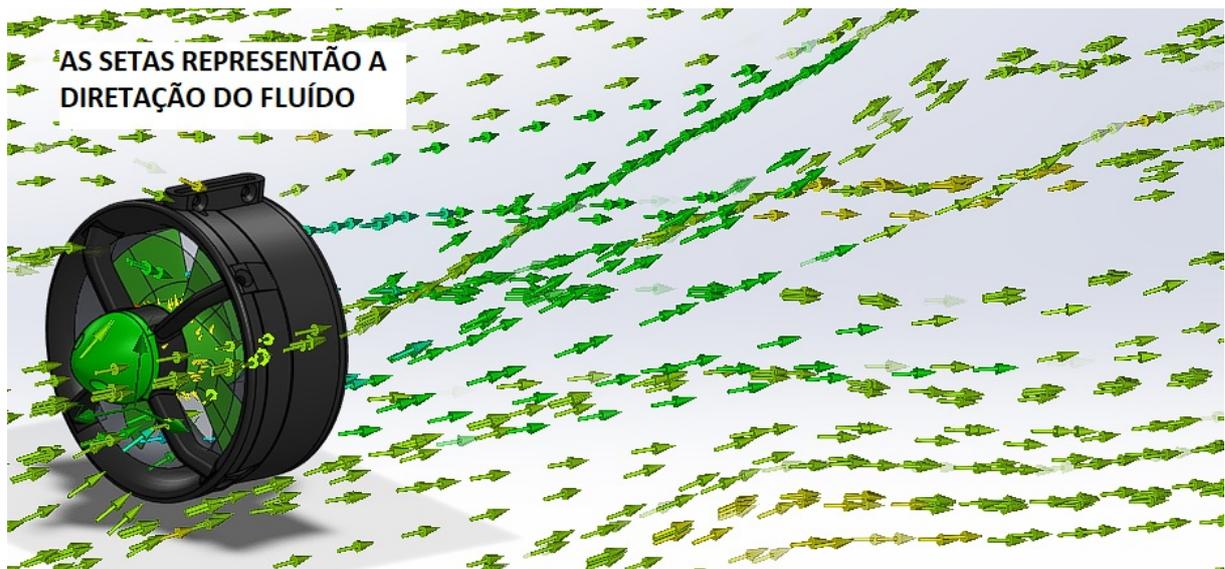


Figura 4.13: Comportamento do fluido próximo ao propulsor

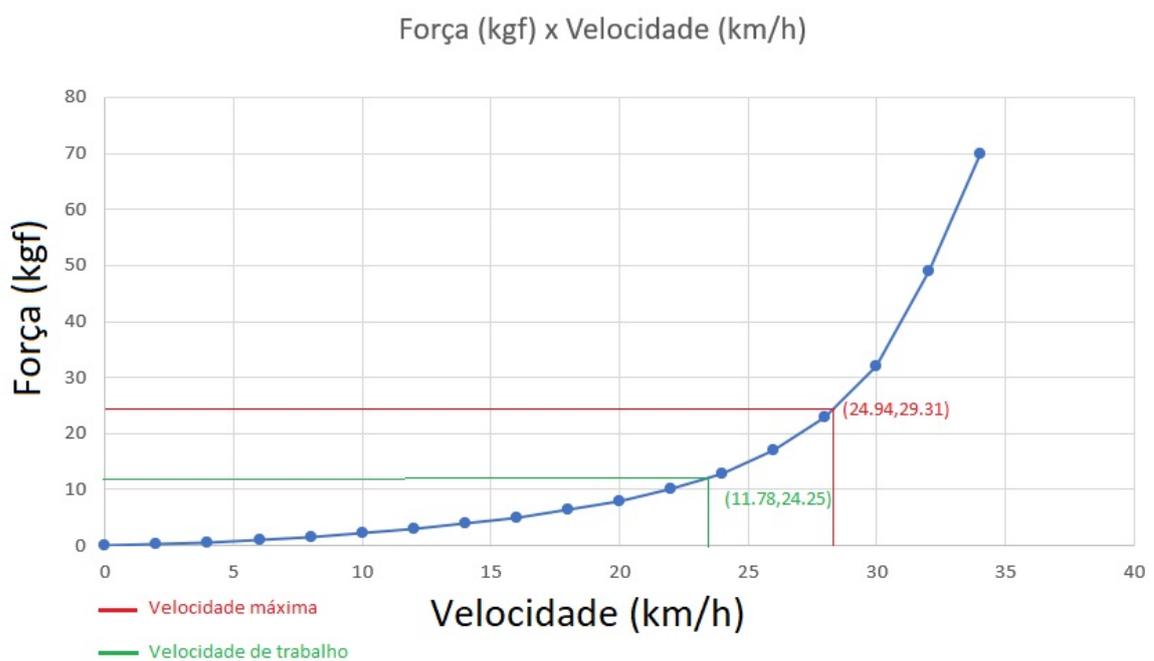


Figura 4.14: Curva com dados do Propulsor

4.2.3 Consumo energético

Para calcular o consumo energético total, levaremos em consideração o seguinte ensaio. Todos os sensores e equipamentos eletrônicos estarão ligados. O consumo dos motores será testado em 3 momentos: em potência máxima, em 60% de sua potência e em 30% de sua potência.

Assim a tabela 4.3 demonstra a soma da potência consumido pelos motores nos 3

Tabela 4.3: Potência dos motores.

Equipamento	Potencia Motores(w)	motores + equipamentos(w)
Motores em Potência Máxima	360	380
Motores em 60% da Potência	220	240
Motores em 30% da Potência	130	150

momentos somados ao consumo constante do sistema eletrônico que é aproximadamente 20 W.

Sabendo o consumo energetico total podemos definir as bateriais para trabalharem durante 4 horas e os módulos fotovoltaicos.

4.2.4 Dimensionamento de módulos fotovoltaicos e baterias

Levando em consideração estes valores de consumo energético e a área disponível para instalação de modulos fotovoltaicos no catamarã podemos iniciar os calculos levando em consideração que o barco possuirá 4 módulos fotovoltaicos, que serão conectados em duas strings em paralelo e cada uma delas possuirá dois módulos fotovoltaicos conectados em série. A Tabela 4.4 abaixo mostra as características dos módulos utilizados.

Tabela 4.4: Especificação dos módulos fotovoltaicos.

Especificação dos Módulos	
Model Type	CNSDPV100M
Maximum Power (Wp)	100W
Current at Pmax (Imp)	5,3A
Voltage at Pmax (Vmp)	18,9V
Short Circuit Current (Isc)	5,69A
Open Circuit Voltasge (Voc)	22,7V
Tolerance of Pmax	+ -3%
Weight	1,6kg
Dimensions	1181x528x2mm
Standard Test Conditionp	1000W/m ² , AM1,5, 25°C

Para encontrar a configuração da montagem das strings, a corrente e potência dos módulos fotovoltaicos não podem ultrapassar a corrente e potência do *Rastreamento de ponto de potência máxima* (mppt) especificado. A quantidade de módulos fotovoltaicos em paralelo será:

$$n = \frac{I_{mppt}}{I_{pv}} = \frac{15}{5,69} = 2,63 \quad (4.3)$$

Para preservar a segurança utilizaremos 2.

Como cada painel tem 100 *Watts* (W), e a potência suportada pelo MPPT é de 440 W, logo, o número total de Módulos Fotovoltaicos é:

$$n = \frac{P_{mppt}}{P_{pv}} = \frac{440}{100} = 4,4 \quad (4.4)$$

Ou seja, o barco possuirá 4 módulos fotovoltaicos, que serão conectados em duas strings em paralelo e cada uma delas possuirá dois Módulos conectados em série.

A Tabela 4.5 mostra as características da configuração da montagem dos módulos.

Tabela 4.5: Características de montagem dos módulos

Características da montagem dos Módulos	
Potência total fornecida	400Wp
Corrente de saída	10,6A
Tensão de saída	37,8V
Quantidade	4
Área total dos Módulos	2,5m ²

Para o dimensionamento do pack de bateria, deve-se levar em conta a energia do sistema. Para encontrar o valor dessa energia deve-se somar a potência consumida de cada componente e o tempo de operação do barco. A potência total consumida de todos os componentes é de 1000 W, e o tempo de operação do barco foi definido como de 4 *Hora* (h), logo, a energia necessária é de 4000 *Watts hora* (Wh). Com a energia encontrada, podemos calcular a corrente e tensão nominal da bateria dada pela equação abaixo:

$$E = V \cdot I \cdot h(Wh) \quad (4.5)$$

Usualmente, os valores de tensões das baterias são de 12 *Tensão Elétrica* (V), 24V, e 48V. A escolha de um desses valores de tensões impactam no valor da corrente. Para tensões pequenas, a corrente é maior, e com isso, a seção nominal do cabo a ser dimensionado é maior, afetando por exemplo, o peso do barco e as perdas elétricas. Levando em consideração esses fatores, a tensão nominal escolhida para a bateria foi de 24 V. Assim, temos que a corrente nominal da bateria é de:

$$I = \frac{E}{V \cdot h} = \frac{1000}{24 \cdot 1} = 41,66A \quad (4.6)$$

Com esses valores, para fazer o dimensionamento final foi levado em conta dois fatores:

a distribuição do peso do barco e a viabilidade do funcionamento da bateria. Se montarmos um pack com os valores encontrados anteriormente, a bateria teria que ficar localizada em um casco, comprometendo o equilíbrio do barco, e caso a bateria desse algum defeito e pare de funcionar, todo o funcionamento do barco seria prejudicado. Assim, a escolha foi dividir os valores encontrados em dois packs de baterias, onde cada um deles ficará localizado em um casco, auxiliando no equilíbrio do barco, e caso algum um dos packs parar de funcionar, o outro estaria funcionando, não prejudicando no funcionamento total do barco.

Para encontrar o número de células em série e em paralelo de cada pack, tal que atenda os valores encontrados anteriormente, os packs serão conectados em paralelo. Logo, a quantidade de células em série é:

$$n = \frac{V_{bat}}{V_{cel}} = \frac{24}{3,7} = 6,48 \quad (4.7)$$

E a quantidade de células em paralelo é:

$$n = \frac{I_{bat}}{I_{cel}} = \frac{42}{2,5} = 16,8 \quad (4.8)$$

Assim, para o projeto foram especificados 2 packs de baterias Li-ion, 24V, 24Ah, 6S 18P, com *Sistema de Gerenciamento de Bateria* (BMS). Esses packs serão conectados em paralelo no sistema. A Tabela 4.6 mostra a especificação dos packs.

Tabela 4.6: Características da bateria

Pack Lithium-ion	
Capacidade	45 Ah
Tensão nominal	22,2V
Tensão mínima	16,5V
Tensão máxima	25,2V
Descarga máxima	5C

Neste momento, todas as grandezas importantes para a navegação segura foram definidas. Agora pode-se realizar a definição final dos componentes e a geração da arquitetura de hardware e os softwares de controle.

4.3 Projeto de detalhamento

Entra-se agora na última etapa de concepção do projeto, a determinação dos equipamentos, suas conexões e arranjo na embarcação, juntamente com os softwares de ação e controle que vão realizar a navegação remota da embarcação. Nesta seção, abordamos a concepção dos 3 sistemas da embarcação, um esboço de hardwares dentro do catamarã, juntamente com um diagrama de ligações elétricas e os softwares utilizados com suas respectivas funcionalidades.

4.3.1 Arquitetura proposta

A arquitetura da embarcação será dividida em 3 grandes sistemas: o sistema de energia, responsável por fazer a gerência e distribuição da energia na embarcação; o sistema de navegação, responsável pela operação da navegação e controle dos dispositivos de navegação; e o sistema de inteligência, responsável por gerar a conectividade e gerenciar a rede sem fio, o armazenamento dos dados e o gerenciamento dos sensores de qualidade da água.

A figura 4.15 demonstra os 3 sistemas e como eles interagem com o operador da embarcação.

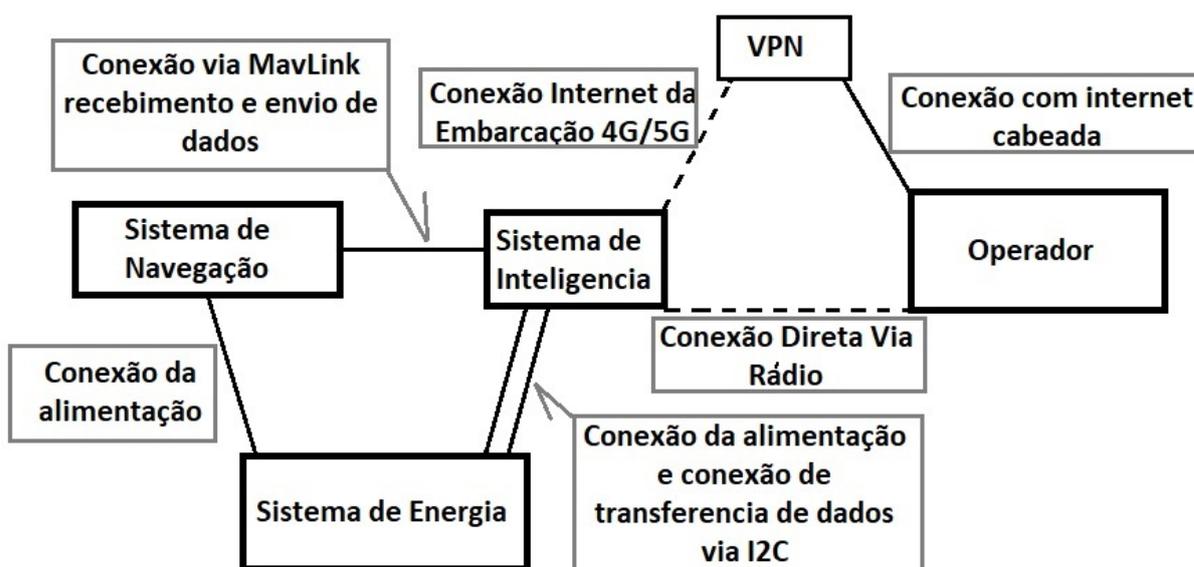


Figura 4.15: Interação dos sistemas

Após a definição dos 3 sistemas e suas funções no sistema eletrônico da embarcação, podemos construir um diagrama elétrico que define as conexões e cabeamentos que são

ligados entre cada um dos componentes. A figura 4.16 demonstra a ligação dos equipamentos ainda em suas limitações de sistemas.

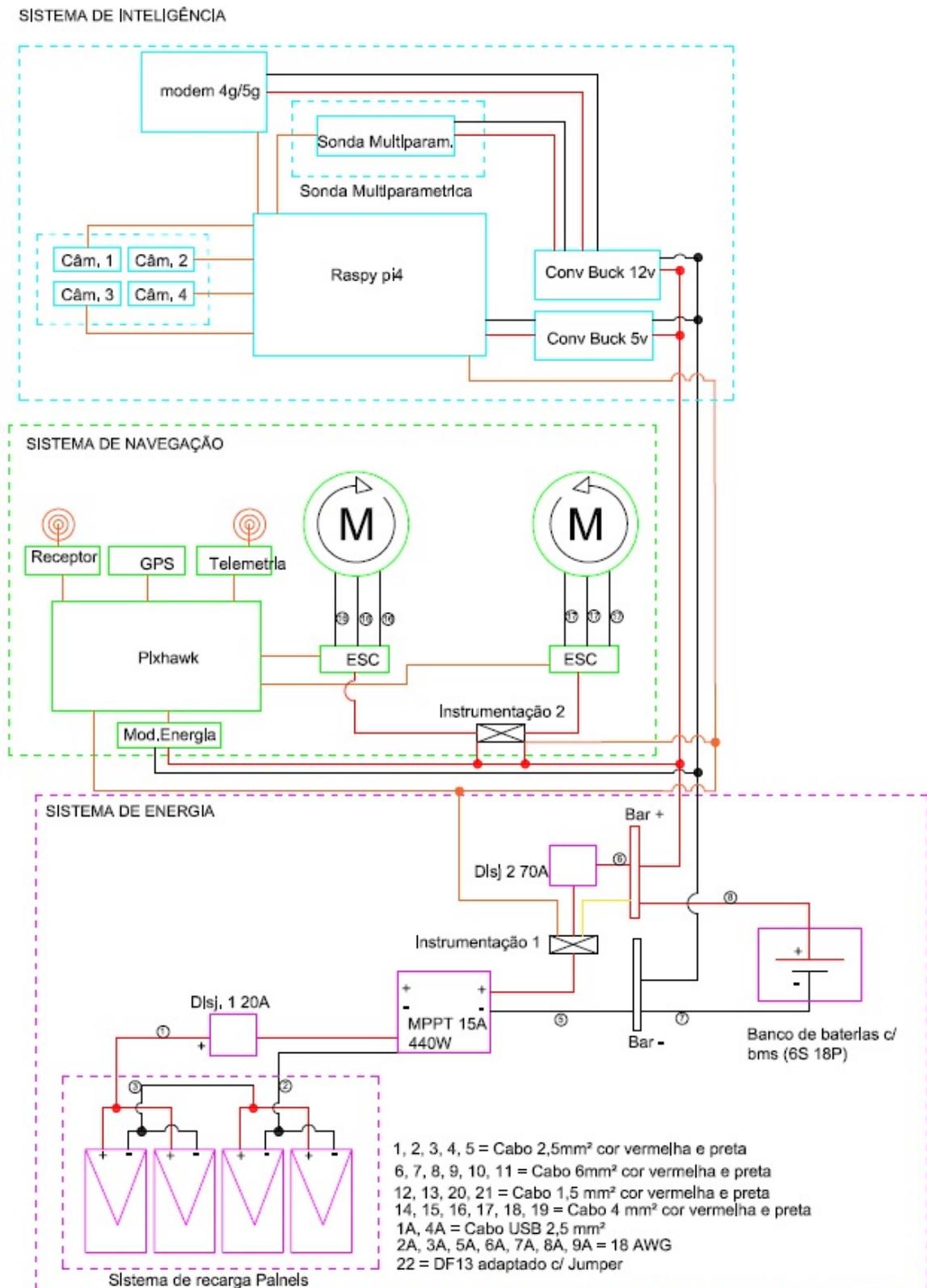


Figura 4.16: Diagrama elétrico

Podemos também criar um arranjo que define a posição dos equipamentos dimensionados em cada um dos cascos. Isso facilita na hora da montagem da embarcação e na definição da proposta de cabeamentos que deverão ligar um casco ao outro. A figura 4.17 mostra claramente os cascos de bombordo e boreste e os equipamentos instalados em cada um deles, com a passagem de cabos de um lado a outro bem definida.

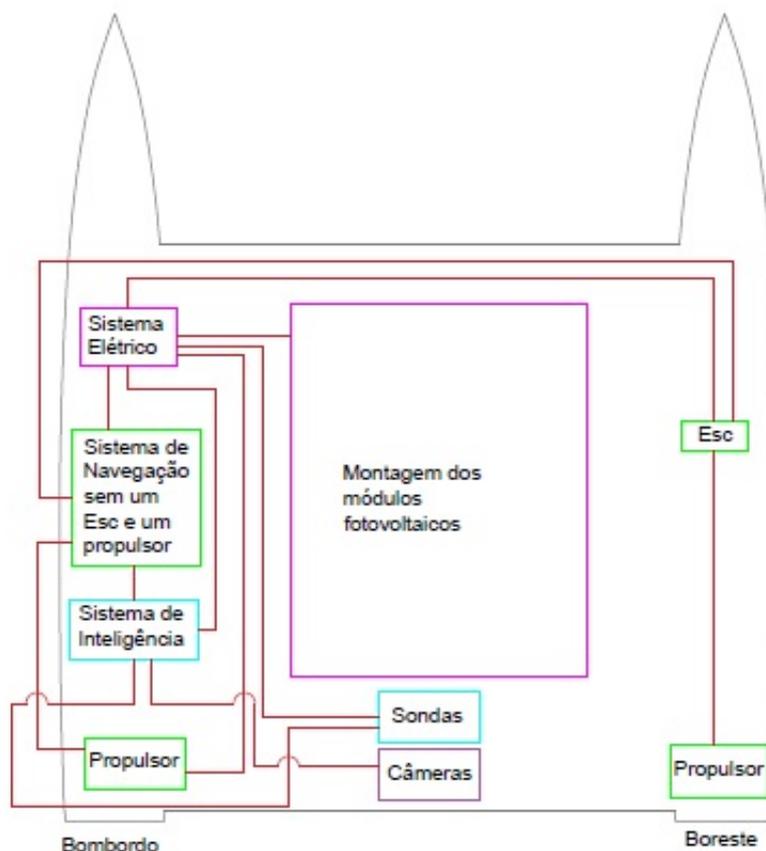


Figura 4.17: Diagrama elétrico separado no barco

Com a proposta de arquitetura de hardware bem definida, podemos construir o arranjo geral e desenvolver o plano de algoritmos que irá trabalhar na embarcação, suas funções e suas interligações, tanto com o ambiente quanto com outros algoritmos que solicitam informações.

4.3.2 Arranjo geral

O arranjo geral é uma etapa importante do projeto de uma embarcação, pois ajuda a definir a configuração interna e a disposição dos espaços de forma eficiente e funcional. Ele leva em consideração aspectos como acomodações para a tripulação, áreas de carga e

descarga, instalação de equipamentos, sistemas de propulsão, compartimentos para passageiros (se aplicável), áreas de convés e outros espaços importantes para o funcionamento da embarcação.

Para o Arranjo geral da embarcação proposta levamos em conta que o elemento mais pesado, baterias, deveriam ficar no fundo da embarcação e mais ao centro possível para auxiliar na estabilidade. Além disso foi proposto que todos os componentes eletrônicos fossem arranjados em uma única caixa que fosse removível que possibilitasse a acessibilidade para manutenção então assim chegamos a um arranjo geral com as características da figura 4.18.

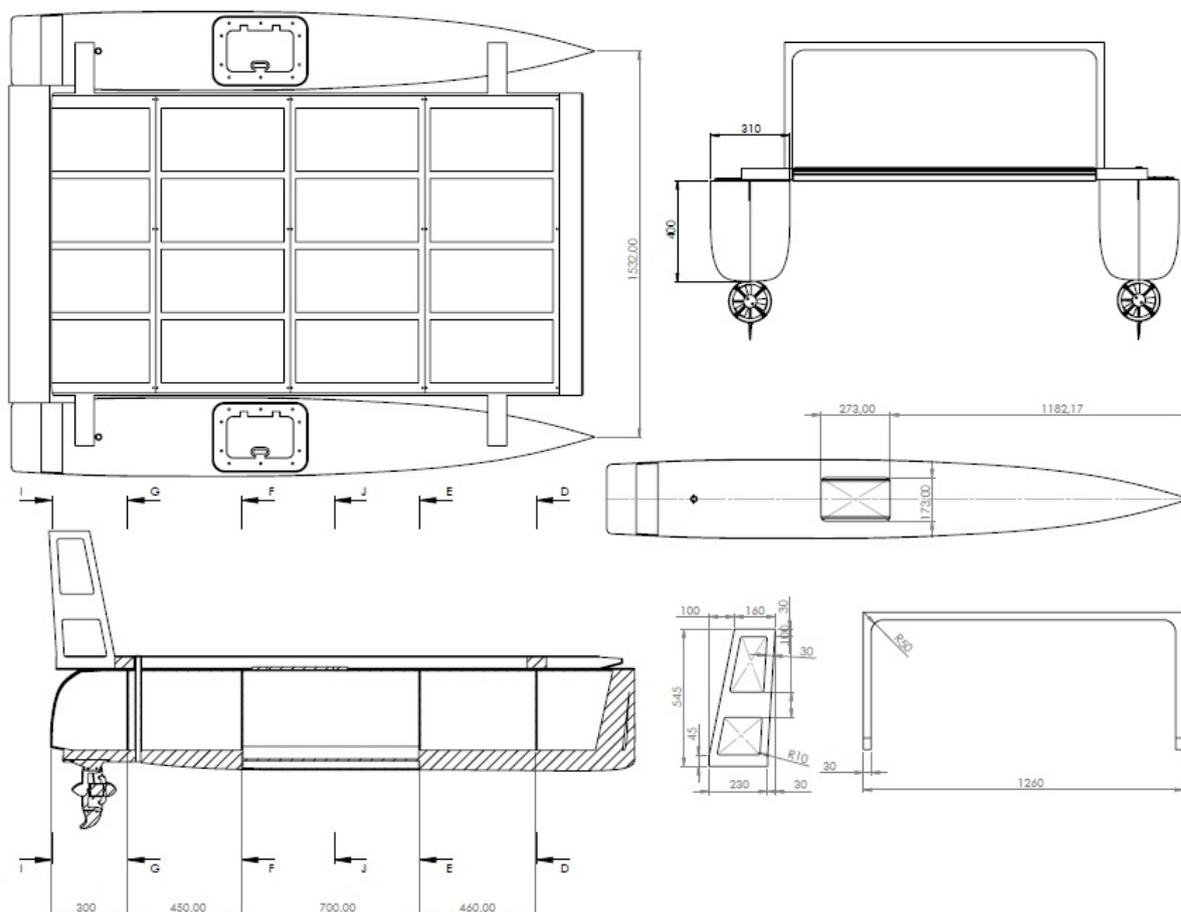


Figura 4.18: Arranjo geral

E a caixa eletrônica ficou na formatação da figura 4.19.

Para o teste de desempenho em utilização mecânica, um protótipo da caixa elétrica foi construído utilizando impressora 3D, e os componentes foram arranjados nela. Após isso, foram instalados no casco e testadas as facilidades de se construir a embarcação dessa forma. A figura 4.20 mostra a caixa fabricada na impressora 3D com os componentes

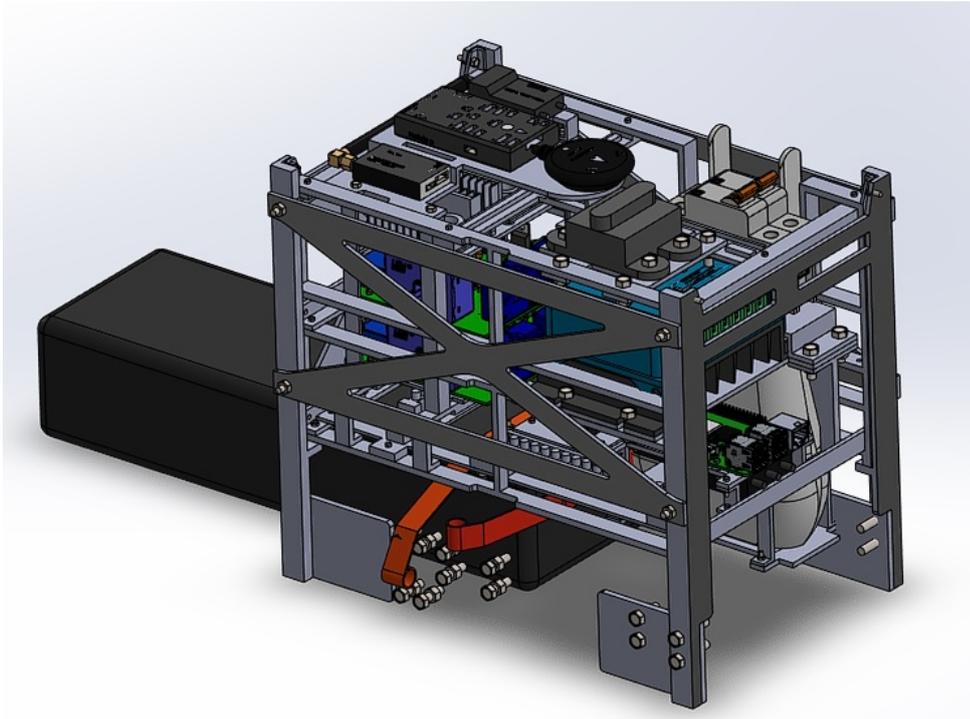


Figura 4.19: Caixa elétrica

instalados.

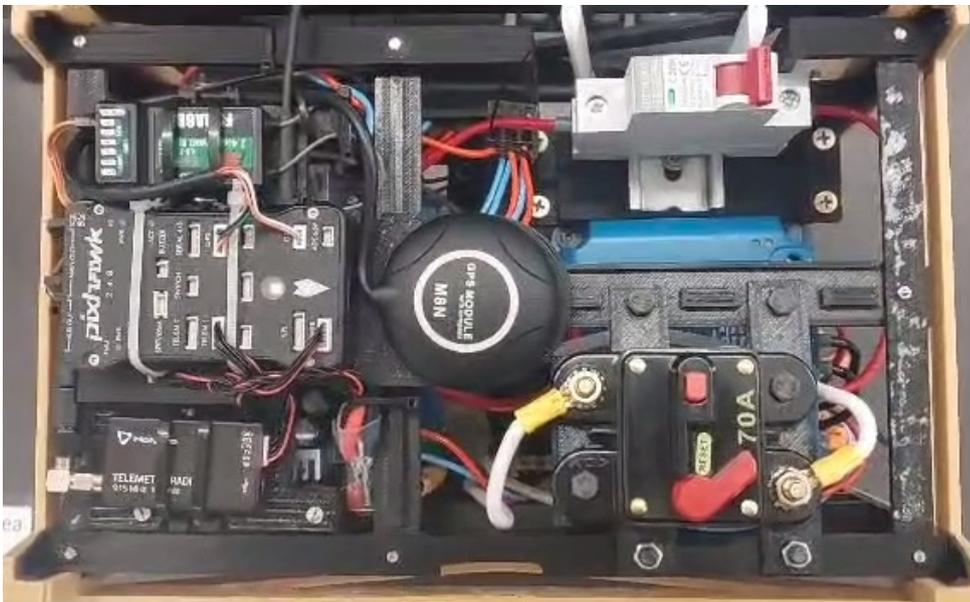


Figura 4.20: Caixa elétrica fabricada

4.3.3 Soluções de softwares

Nesta seção, serão detalhados os softwares utilizados e os algoritmos construídos para a navegação, conectividade, gerenciamento da energia e de dados da qualidade da água.

Porém, antes do detalhamento, é necessário o planejamento e a pré-definição das atividades que os softwares irão desempenhar. Logo, a figura 4.21 demonstra de forma detalhada o objetivo de cada software.

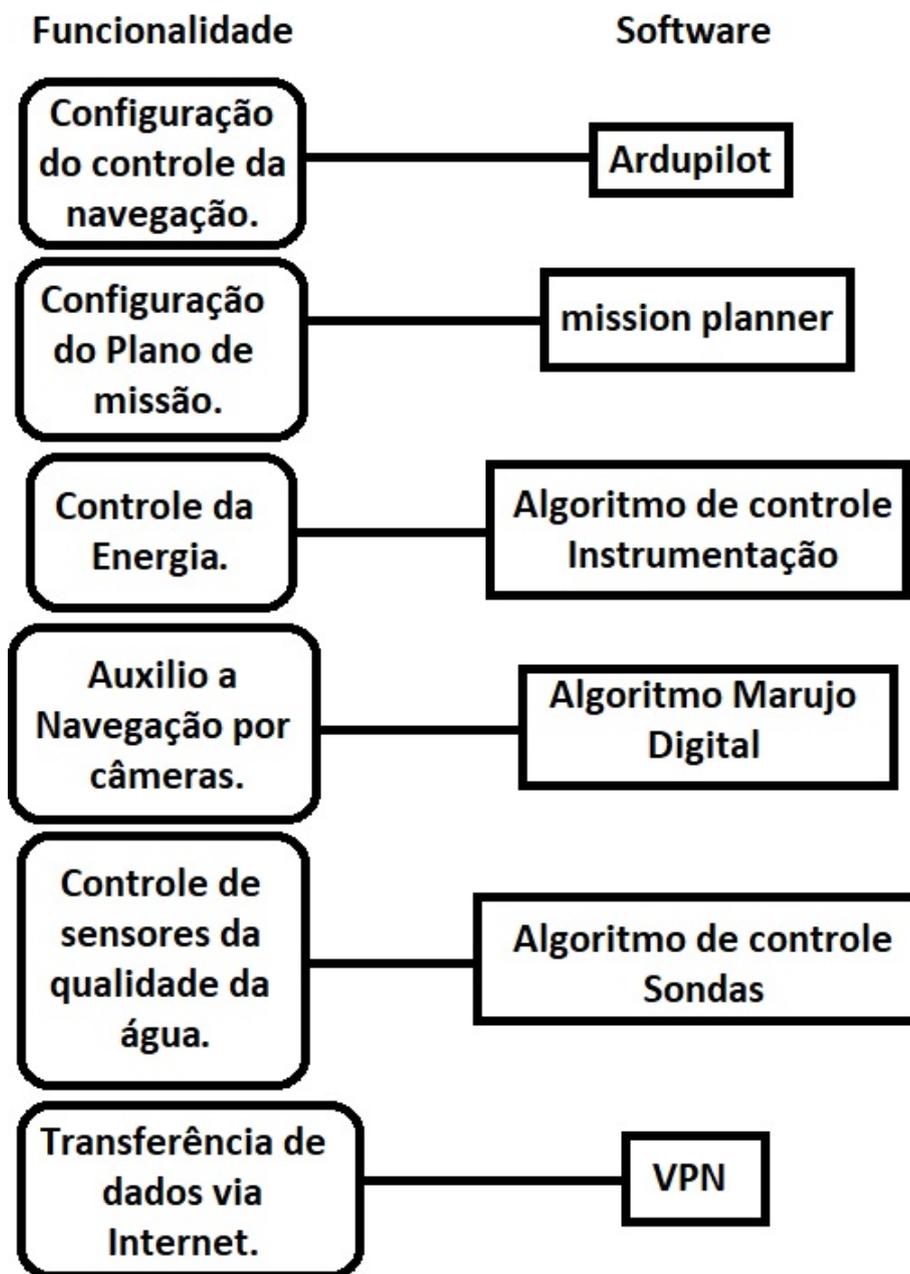


Figura 4.21: Diagrama de funções dos softwares

Para a navegação remota, utilizamos o Ardupilot e o Mission Planner que são duas ferramentas relacionadas ao campo da robótica, especialmente utilizadas em veículos aéreos não tripulados e outras plataformas robóticas autônomas assim como embarcações o nosso caso. Aqui está uma breve descrição de cada um.

O ArduPilot é um software de piloto automático de código aberto, desenvolvido para

controlar veículos autônomos, como drones, aviões, helicópteros, barcos e até mesmo carros terrestres. Ele é projetado para fornecer funções de controle de voo e navegação, permitindo que as máquinas operem de forma autônoma ou semi-autônoma, seguindo rotas e executando missões específicas. O ArduPilot é altamente configurável e suporta uma variedade de sensores, tornando-o uma escolha popular na comunidade de robótica e drones.

O Mission Planner é uma interface gráfica de usuário (GUI) usada para configurar, monitorar e planejar missões para veículos controlados pelo ArduPilot. É uma ferramenta poderosa que permite aos operadores de drones ou outros veículos autônomos definir trajetórias de voo, estabelecer pontos de interesse, verificar telemetria em tempo real, realizar calibrações e realizar outras tarefas relacionadas ao planejamento e controle de missões. O Mission Planner é compatível com uma variedade de plataformas, tornando-o uma escolha popular para usuários do ArduPilot em todo o mundo.

Para a conectividade via internet e rádio, um algoritmo construído em Python foi criado. Este código fica funcionando na Raspberry da embarcação, que também é a porta de acesso à internet da embarcação. O algoritmo construído é responsável por viabilizar o controle remoto via internet para a embarcação e também, caso a embarcação perca a conectividade com a internet, o algoritmo ativa o modo failsafe, tentando restabelecer conexão ou conectando a embarcação ao controle por rádio. Os dados enviados à internet pela Raspberry são transmitidos por meio de uma VPN particular para um banco de dados na nuvem, que pode ser acessado de qualquer computador com as credenciais da VPN.

Então, as principais informações recebidas da base pela embarcação são dados de controle, comandos de manobrabilidade ou eventuais atualizações de software em tempo real. E os dados enviados da embarcação para o banco de dados na nuvem incluem imagens das câmeras, dados dos sensores da Pixhawk, informações dos sensores de qualidade da água e dados da placa de instrumentação e gerenciamento energético. A figura 4.22 demonstra com maior clareza as informações enviadas e recebidas.

Com os dados no banco de dados, um sistema desenvolvido em Java e SCADA recebe os dados e os organiza em um dashboard para a visualização do operador da embarcação.

O SCADA permite que operadores supervisionem e interajam com os processos industriais através de uma interface gráfica em um computador. Ele coleta dados de sensores e dispositivos de campo, como medidores de temperatura, pressão, nível, vazão, entre outros, e os apresenta em tempo real no dashboard (painel de controle). Além disso, o

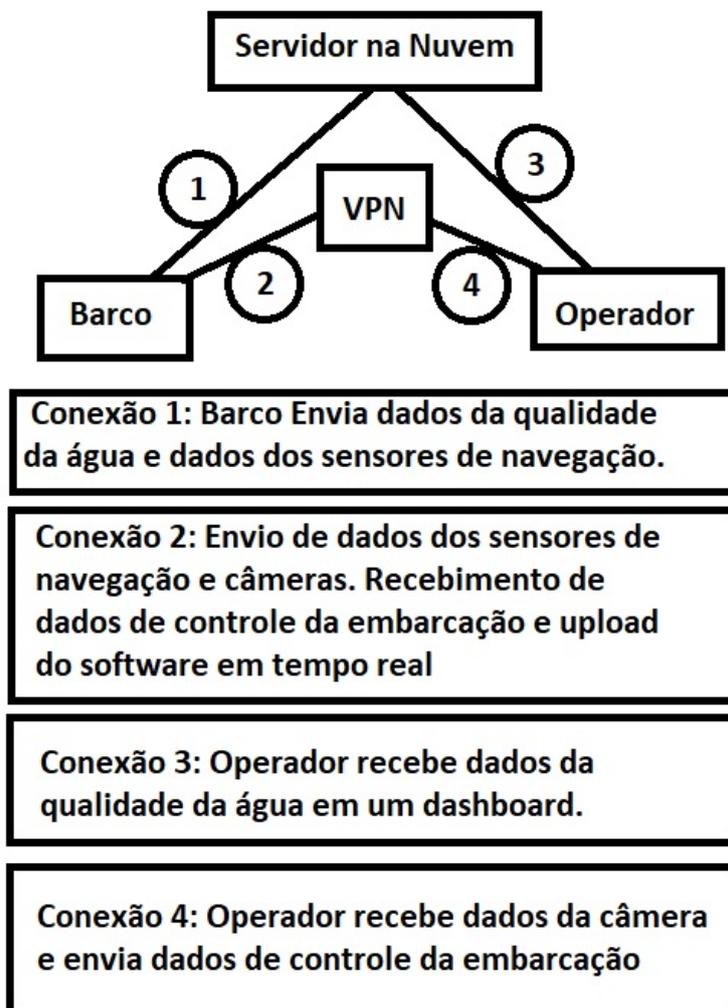


Figura 4.22: Conexões por software

SCADA também pode executar ações de controle automatizadas ou permitir que operadores tomem decisões e intervenções com base nas informações exibidas.

O dashboard desenvolvido demonstra dados da qualidade da água e navegação, além de dar acesso às câmeras da embarcação de forma sistemática, o que permite que os dados sejam avaliados enquanto o piloto navega a embarcação. A Figura 4.23 demonstra o dashboard desenvolvido em SCADA.

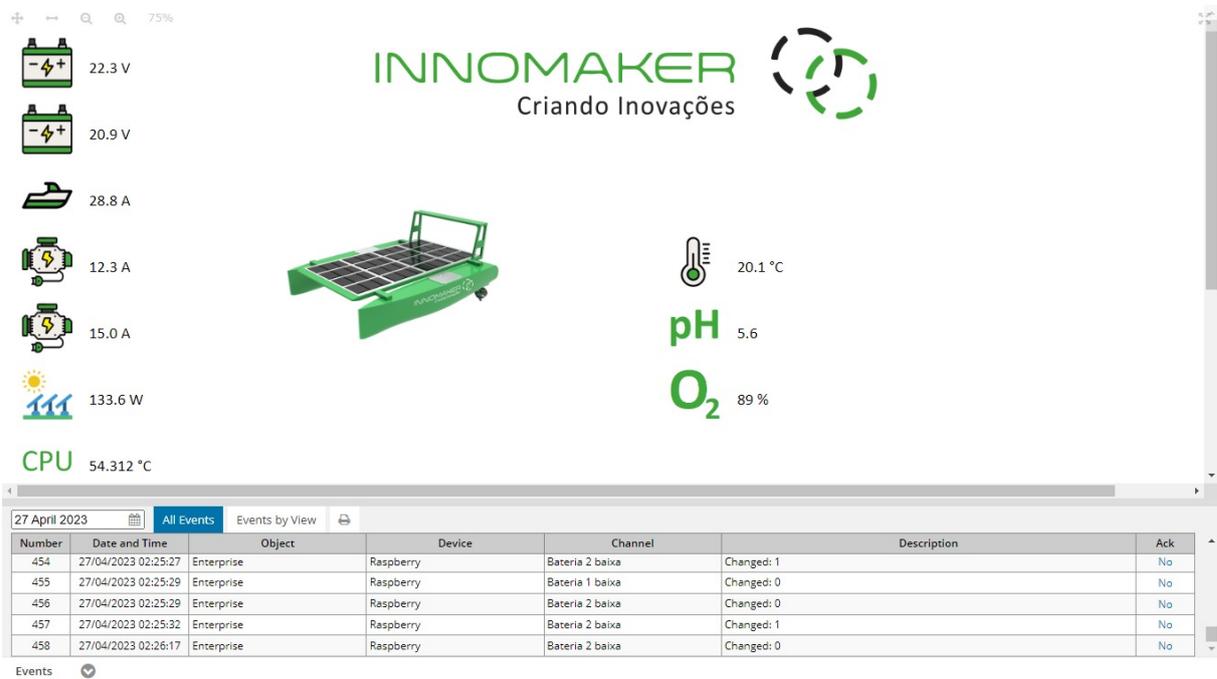


Figura 4.23: Dashboard SCADA

Capítulo 5

Experimentos e resultados

A realização de testes e experimentos é um componente essencial em diversas áreas de pesquisa e desenvolvimento, sendo uma prática imprescindível para a validação, análise e aprimoramento de hipóteses, teorias e soluções. Seja no campo da ciência, engenharia, tecnologia ou outras disciplinas acadêmicas, a condução de testes e experimentos representa um meio confiável e sistemático para obter insights, coletar dados empíricos e, por fim, comprovar ou refutar as premissas teóricas levantadas.

Este capítulo tem como objetivo apresentar uma análise detalhada dos testes e experimentos realizados no âmbito desta pesquisa. Serão descritas as metodologias empregadas, os procedimentos adotados, bem como os instrumentos e ferramentas utilizados para coleta e análise dos dados obtidos. Além disso, serão discutidos os resultados alcançados e as conclusões que podem ser inferidas a partir dos dados experimentais.

É importante ressaltar que a realização de testes e experimentos é uma etapa crítica e fundamental no avanço do conhecimento e no desenvolvimento de soluções inovadoras. Ao analisar minuciosamente as abordagens e os resultados obtidos ao longo desta pesquisa, busca-se contribuir para o fortalecimento da base científica e tecnológica, além de proporcionar um embasamento sólido para futuros trabalhos e investigações nesta área específica.

5.1 Arquitetura naval

Nesta seção, serão abordados dois experimentos cruciais para o desenvolvimento do nosso estudo: os testes realizados na piscina com os propulsores e o teste de flutuabilidade do casco.

Os experimentos realizados na piscina com os propulsores foram de fundamental importância para avaliar o desempenho e eficiência dos sistemas de propulsão utilizados na embarcação. Durante esses testes, foram medidos parâmetros como velocidade, tração, consumo de energia e manobrabilidade, fornecendo valiosos dados para a compreensão do comportamento dos propulsores em condições simuladas de operação.

Por outro lado, o teste de flutuabilidade do casco permitiu verificar a estabilidade e equilíbrio da embarcação em diferentes condições de carga e distribuição de peso. Esse experimento também possibilitou identificar possíveis problemas de vedação e impermeabilidade do casco, garantindo a segurança e navegabilidade da embarcação.

5.1.1 Experimento dos propulsores

Foi conduzido um experimento para avaliar a força gerada por um propulsor de embarcação utilizando um motor elétrico. O teste foi realizado em uma piscina contendo água doce à temperatura ambiente. O objetivo era determinar a eficácia do propulsor em produzir a força esperada.

O propulsor foi acoplado ao motor elétrico, e a estrutura foi posicionada dentro da piscina. Durante o teste, o motor elétrico foi ativado, acionando o propulsor para gerar um fluxo de água através dele. Esse fluxo de água, impulsionado pelo propulsor, é responsável pela geração da força de propulsão. A figura 5.1 mostra o teste sendo executado na piscina com o propulsor acoplado a um flutuador.



Figura 5.1: Teste em piscina.

Para medir a força gerada, foram utilizados instrumentos de medição adequados, células de carga, que são capazes de registrar a força exercida sobre eles. Esses instrumentos foram devidamente calibrados antes do teste para garantir leituras precisas.

Durante o experimento, foram realizadas várias medições da força gerada em diferentes

configurações, como diferentes velocidades de rotação do motor elétrico ou ângulos de posicionamento do propulsor. Isso permitiu obter um conjunto abrangente de dados para análise.

Após a coleta dos dados, foi realizada uma análise estatística para determinar a força média gerada pelo propulsor em diferentes condições de teste. Essa análise incluiu cálculos de média, desvio padrão.

Os resultados obtidos no teste foram comparados com as expectativas teóricas e especificações do motor. A comparação entre os dados experimentais e as previsões teóricas permitiu avaliar se o propulsor está operando conforme o esperado e se a força gerada está dentro dos parâmetros desejados.

É importante destacar que o teste foi realizado em uma piscina com água doce à temperatura ambiente para fornecer um ambiente controlado e reproduzível. Essas condições foram selecionadas para minimizar a influência de variáveis externas que poderiam afetar os resultados.

Em resumo, o teste realizado utilizou um motor elétrico acoplado a um propulsor de embarcação para medir a força gerada. A análise dos dados coletados permitiu determinar se o propulsor estava produzindo a força esperada. Os resultados obtidos fornecem informações importantes para avaliar o desempenho do propulsor e otimizar o projeto da embarcação. A tabela 5.1 demonstra os dados coletados a coluna Sinal demonstra a ganho do PWM na potencia do motor, a coluna V é a tensão utilizada o tempo demonstra por quantos segundos o propulsor funcionou naquela condição, a carga de arrasto é o valor da força que o propulsor gerou sob a celula de carga.

Tabela 5.1: Dados do teste dos propulsores

Teste dos propulsores					
Sinal (%)	V	Tempo (s)	Corrente (A)	Potência (Watt)	Carga de Arrasto (kg)
25	12	30	0,85	10,2	2,6
50	12	60	5,75	69	5,1
75	12	30	12,5	150	13,2
100	12	60	15	180	19,5
25	24	30	1,7	40,8	3,2
50	24	60	11,5	276	6,9
75	24	30	25	600	14,1
100	24	60	30	720	23,2

5.1.2 Experimento do casco

O experimento do casco foi conduzido para avaliar a conformidade da parte submersa da embarcação com os cálculos realizados utilizando o software Freeship. Durante o uso do Freeship, o peso máximo da embarcação foi medido em 80 Kg, resultando em uma linha d'água de 100 mm, ou seja, a embarcação fica submersa em 100 mm e 300 mm permanecem acima da água quando está carregada ao máximo, com todos os sensores instalados. A figura 5.2 demonstra a representação de linha dagua teórica calculada.

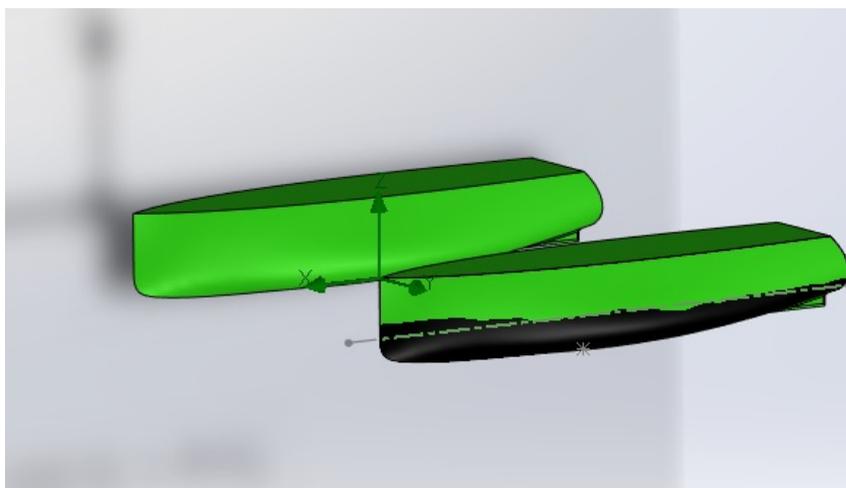


Figura 5.2: Marca de linha d'água calculada destacada em preto

Durante o teste do casco com o peso distribuído de $80 \pm 0,5$ Kg, a linha d'água real foi medida e apresentou uma média de 103 ± 8 mm. Isso indica uma diferença máxima de 11 mm em relação à linha d'água calculada. A Figura 5.3 ilustra os valores da linha d'água real obtidos no teste.

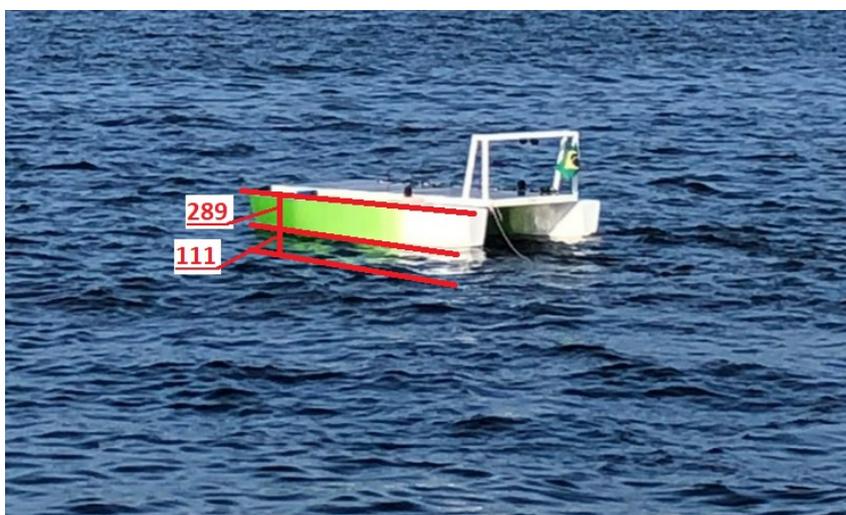


Figura 5.3: Marca de linha d'água real

Em relação ao balanço da embarcação, não foram observadas quaisquer alterações, uma vez que toda a carga utilizada no teste foi posicionada sem modificar o centroide já calculado da embarcação. Isso indica que a distribuição da carga não influenciou significativamente no equilíbrio da embarcação durante o teste, mantendo-a estável conforme previamente estimado.

5.2 Experimentos elétrica

Nesta seção, foram conduzidos quatro testes essenciais para avaliar o desempenho e a eficácia do sistema fotovoltaico proposto. Os testes abrangeram a análise dos sensores fotovoltaicos, o monitoramento das baterias e a avaliação do sistema em sua totalidade, tanto na bancada de testes como em um ambiente controlado.

O primeiro teste concentrou-se na avaliação dos sensores fotovoltaicos, cuja precisão e sensibilidade são fundamentais para a captação eficiente da luz solar. Foram realizadas medições detalhadas para verificar a resposta dos sensores sob diferentes intensidades luminosas e condições ambientais.

Em seguida, o teste das baterias foi conduzido para avaliar o desempenho e a capacidade de armazenamento de energia do sistema. Foram analisados fatores como a taxa de carregamento, a autonomia das baterias e a eficiência da transferência de energia entre o sistema fotovoltaico e as unidades de armazenamento.

Finalmente, o sistema em sua totalidade foi submetido a testes tanto na bancada de testes quanto em um ambiente controlado, simulando condições reais de operação. Esses testes permitiram verificar a integração e a eficácia de toda a arquitetura proposta, desde a captação da luz solar pelos sensores até o armazenamento e o fornecimento de energia pelas baterias.

5.2.1 Teste dos módulos fotovoltaicos

Para realizar os testes dos módulos Fotovoltaicos, iniciamos verificando as especificações do Módulo utilizado para entender suas capacidades e limitações. No capítulo 4 foi definido as especificações do módulo fotovoltaico. Certificamos de que as condições climáticas estavam adequadas para o teste. Fizemos o teste em um dia ensolarado e sem nuvens.

Conectamos o multímetro ao painel solar de acordo com as instruções do fabricante.

O multímetro foi configurado para medir corrente e tensão. Colocamos o painel solar em um local onde ele foi exposto diretamente à luz solar a um ângulo perpendicular ao solo. a figura 5.4 demonstra a posição do módulo e o arranjo dos sensores.



Figura 5.4: Teste dos módulos fotovoltaicos

Com o multímetro conectamos e medimos a tensão gerada pelo painel solar. Depois de medir a tensão, medimos a corrente gerada pelo painel solar. Calculamos a potência do painel solar multiplicando a corrente pela tensão. Depois de obter os resultados, analisamos para verificar se o painel solar está gerando a potência esperada. É importante lembrar que os resultados podem variar dependendo das condições de teste e das especificações do painel solar. Por isso, realizamos vários testes em diferentes condições para obter uma leitura mais precisa do desempenho do painel solar. Então a tabela 5.2 mostra os horários da coleta dos dados, a tensão e a corrente medidas.

Tabela 5.2: Dados do teste do painel fotovoltaico

Horário de Medição	9:40 h	13:10 h
Tensão de Circuito aberto Medido	20,52 V	20, 17 V
Corrente de Curto Circuito Medido	2,5 A	2,86 A

5.2.2 Teste das baterias

Antes de realizar qualquer teste, verificou-se as especificações da bateria para entender suas capacidades e limitações.

Ao começar o teste, certificou-se que a bateria estava completamente carregada. Isso permitiu que uma leitura precisa do desempenho da bateria. Conectamos a bateria ao BMS de acordo com as instruções do fabricante. Certificou-se que a conexão estava segura e bem firme.

Iniciou-se o teste de descarga e deixando a bateria descarregar completamente. Observamos pelo multimêtro a tensão da bateria durante o teste e registramos os dados relevantes diretamente no software do equipamento de medição.

A descarga das baterias foi realizada utilizando dois potenciômetros resistivos que converteram a energia da bateria em calor, a figura 5.5 demonstra o sistema montado junto com o sistema de aquisição de dados conectado ao computador coletando os dados em tempo real.

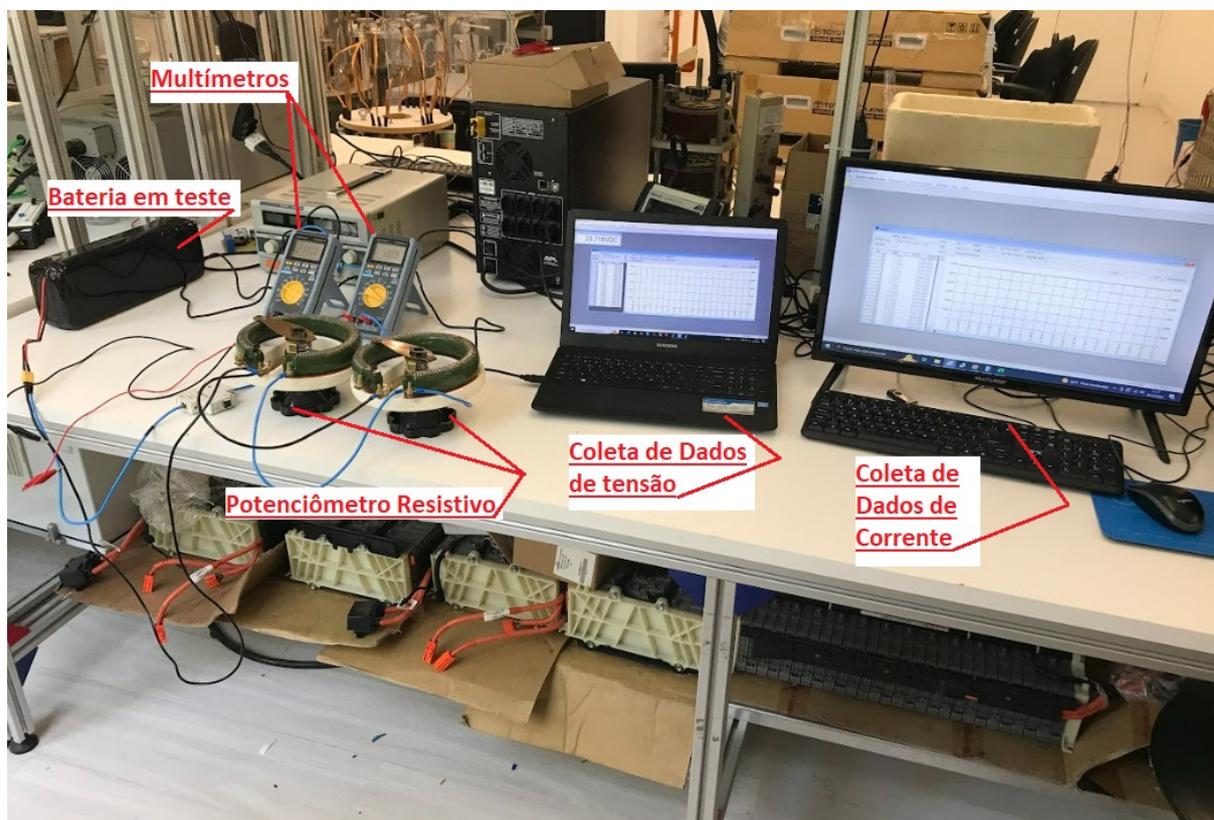


Figura 5.5: Setup do teste das baterias

Após 5 horas de descarga de teste foi possível construir o gráfico de descarga da bateria e definir o momento exato que o BMS desativa o sistema da bateria para preservá-la. A

figura 5.6 demonstra o grafico de descarga da baterial onde o BMS desativa o sistema em aproximadamente 22V.

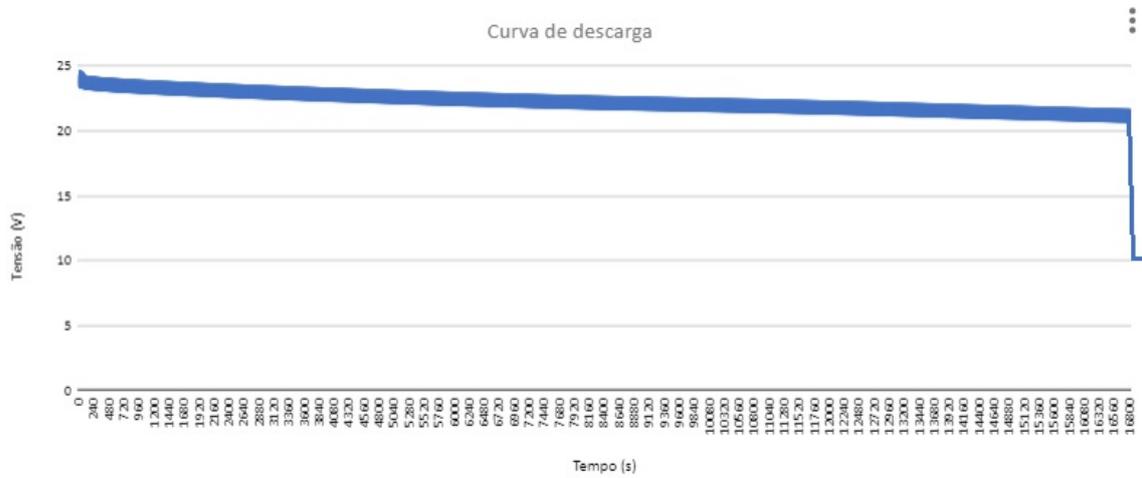


Figura 5.6: Curva de descarga das baterias

Com esta informação é possível dimensionar a energia real da bateria, precisamos apenas calcular a área da curva gerada no gráfico e multiplicar pela corrente usada na descarga que foi 5 amperes. Logo:

$$Energia(Wh) = Potencia(W) \cdot Tempo(h) \quad (5.1)$$

E Potência é a Tensão multiplicada pela corrente.

$$Potencia(W) = Tensao(V) \cdot Corrente(A) \quad (5.2)$$

Nas condições que o gráfico se encontra podemos fazer o cálculo da área do trapézio, pois o gráfico possui esta semelhança e multiplicamos pela corrente. Então teremos:

$$Potencia(W) = ((B + b) \cdot h)/2 \quad (5.3)$$

E a energia será igual a:

$$Energia(Wh) = (((B + b) \cdot h)/2) \cdot Corrente(A) \quad (5.4)$$

$$Energia(Wh) = (((25 + 22) \cdot 5)/2) \cdot 5 = 587,5Wh \quad (5.5)$$

5.2.3 Teste da arquitetura em bancada

O teste da arquitetura eletrônica em bancada não teve como objetivo coletar dados do sistema eletrônico. Essa coleta de dados será realizada durante o teste em ambiente relevante e prova de mar. O foco do teste em bancada foi verificar se todos os componentes estavam funcionando corretamente e se os valores medidos no software estavam em conformidade com os valores reais.

Avaliamos o desempenho do sistema em condições normais e sob carga. Verificamos se o sistema é capaz de lidar com a demanda prevista e se responde de forma rápida e eficiente.

Realizamos testes de exceção para verificar como o sistema lida com situações inesperadas, como erros de entrada, falhas de comunicação e outras condições de erro. Verificamos se o sistema é capaz de se recuperar adequadamente e se fornece mensagens de erro claras quando necessário.

A figura 5.7 mostra o arranjo montado em bancada para os testes.

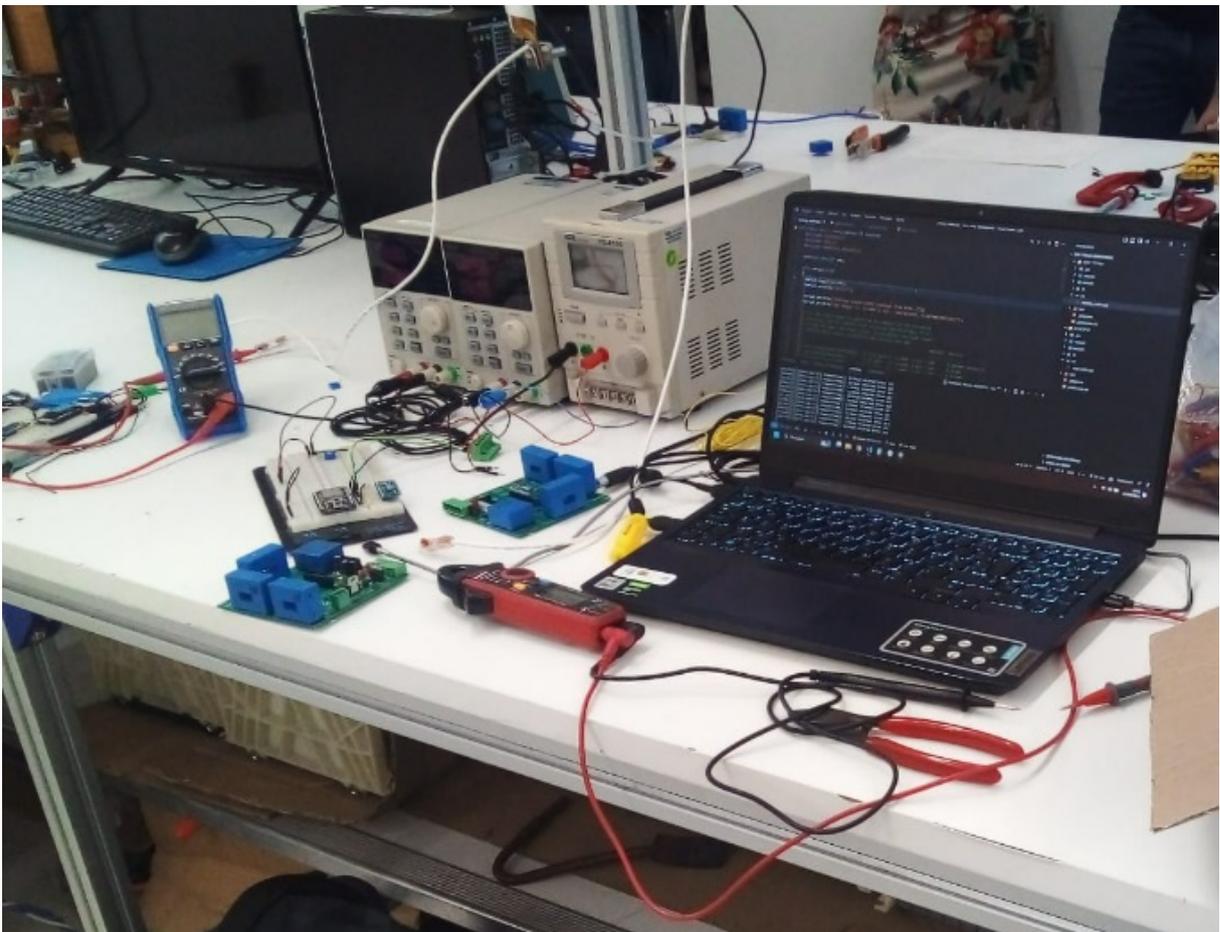


Figura 5.7: Teste de bancada

5.2.4 Teste da arquitetura em ambiente controlado

Como os componentes e softwares foram calibrados em bancada, este estudo teve como objetivo analisar a eficiência energética da embarcação por meio da coleta de dados sobre a energia consumida e a energia regenerada pelo sistema de Módulos Fotovoltaicos. O teste foi realizado em um ambiente controlado, onde todos os sistemas da embarcação foram avaliados e colocados em prova. A figura 5.8 mostra o teste montado e o tanque de prova.



Figura 5.8: Teste geral do sistema.

Os dois propulsores da embarcação foram imersos em um tanque de água potável, enquanto os Módulos Fotovoltaicos foram expostos ao ambiente ensolarado das 10h às 16h, em um dia claro e sem nuvens. Os sistemas eletrônicos da embarcação estavam conectados à internet, possibilitando a coleta de dados de corrente dos motores, tensão das baterias e corrente de entrada dos módulos. Considerando que os Módulos Fotovoltaicos foram arranjados para uma tensão de 40V e as baterias possuem uma tensão de 24V, a conservação de energia foi considerada para análise dos resultados, logo a potência W_1 de entrada deve-se ser igual a potência W_2 de saída conforme ilustrado na equação 5.6.

$$w_1 = w_2 \quad (5.6)$$

Para o caso de sistemas reais é possível estimar também as perdas do mppt e de outros componentes de menor solicitação, logo temos a equação:

$$w_1 = w_2 - w_{perdas} \quad (5.7)$$

podemos então substituir as tensões e resolver os problemas com as coletas de informação apenas das correntes, assim temos que:

$$v_1 \cdot a_1 = (v_2 \cdot a_2) - (v_2 \cdot a_{perdas}) \quad (5.8)$$

Então substituindo pela tensão máxima dos módulos que é 40V e das baterias 24V temos:

$$40 \cdot a_1 = (24 \cdot a_2) - (24 \cdot a_{perdas}) \quad (5.9)$$

Durante o período de teste, foram coletados dados sobre a energia consumida pelos motores e a energia regenerada pelos módulos. Os valores de corrente dos motores, tensão das baterias e corrente de entrada dos Módulos Fotovoltaicos foram registrados a cada intervalo de tempo determinado. Com base na conservação de energia, considerando que os Módulos Fotovoltaicos possuem uma tensão de 40V e as baterias uma tensão de 24V, foi possível analisar a eficiência energética do sistema. Segue abaixo tabela de dados coletados durante o teste:

Tabela 5.3: Dados Coletados no Teste

Eficiência do sistema							
Hc	V1	A1	W1	V2	A2	W2	Perda da potência
10:00	40	6	240	24	7,5	180	60
11:00	40	8	320	24	10,8	259,2	60,8
12:00	40	9	360	24	12	288	72
13:00	40	8	320	24	11	264	56
14:00	40	8	320	24	10,9	261,6	58,4
15:00	40	7	280	24	9	216	64
16:00	40	7	280	24	9,1	218,4	61,6

Onde,

Hc = Hora da Coleta;

V1 = Tensão do sistema no lado dos Módulos Fotovoltaicos;

A1 = Corrente do sistema no lado dos Módulos Fotovoltaicos;

W1 = Potência do sistema no lado dos Módulos Fotovoltaicos;

V2 = Tensão do sistema no lado das bateriais;

A2 = Corrente do sistema no lado das bateriais;

W2 = Potência do sistema no lado das bateriais;

Perda da potência = Perdas do sistema quando a energia passa pelo sistema.

Outros dados coletados foram os consumos dos propulsores no tanque de teste, com água potável:

Tabela 5.4: Dados coletados do propulsor no teste

Potência dos motores			
Posição do throttle	aMotor1	aMotor2	Wmotores
30%	4,1	4	179,82
60%	7,9	7,8	348,54
100%	12,9	12,8	570,54

Onde,

Posição do throttle = Ganhos com PWM;

aMotor1 = Corrente no motor 1;

aMotor2 = Corrente no motor 2;

Wmotores = Potência dos motores.

Com as informações é possível mensurar o consumo e o ganho energético do sistema em relação a potência nos motores;

Foi possível avaliar que a trinta por cento de ganho do pwm, o sistema todo consegue funcionar sem consumir energia da bateria. Ou seja a embarcação pode navegar com uma potência dos motores a 30% que não tera apenas a luz solar será necessária para que a embarcação navegue.

5.3 Resultados da prova de mar

A prova de mar é um teste em um ambiente marítimo, geralmente em embarcações, para verificar o desempenho, a segurança e a capacidade operacional do veículo ou embarcação em diferentes condições de mar.

Durante a prova de mar o barco foi submetido a uma variedade de testes e verificações para avaliar sua estabilidade, manobrabilidade, sistemas de propulsão, sistemas de navegação e comunicação, sistemas de segurança. A figura 5.9 mostra uma embarcação durante uma prova de mar.



Figura 5.9: Prova de mar.

5.3.1 Dados de estabilidade

Para avaliar a estabilidade foram coletados dados do giroscópio e acelerômetro da embarcação. Então em quanto a embarcação navegava em sua velocidade máxima, velocidade de cruzeiro e quando estava em repouso avaliou-se a variação angular de trim e banda. Que são as movimentações que a embarcação realiza enquanto esta no mar. A figura 5.10 demonstra as movimentações que podem ocorrer.

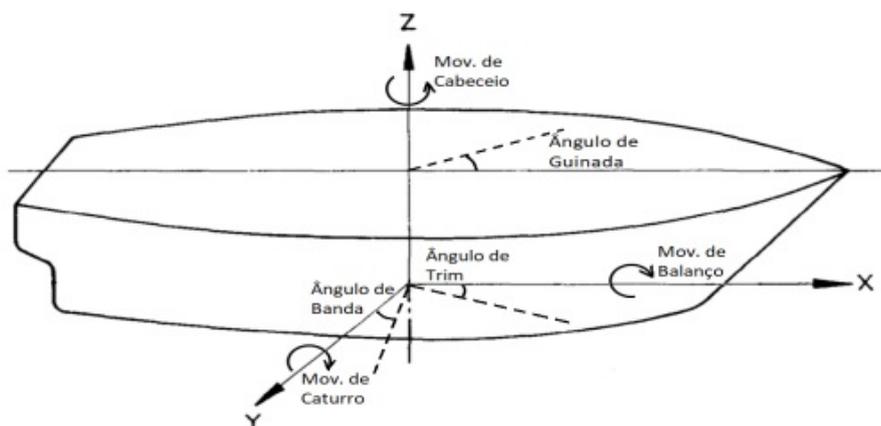


Figura 5.10: Movimentos rotacionais e ângulos da embarcação.

A tabela 5.5 demonstra os valores mínimos e máximos de angulação coletados pelos sensores nos 3 estágios de movimento da embarcação.

Tabela 5.5: Dados Coletados de trim e banda, Angulo máximo

Movimento	Trim	Banda
Velocidade Máxima	8 ^o	6 ^o
Velocidade de Cruzeiro	3 ^o	2 ^o
Parado	3 ^o	1 ^o

Durante o teste o mar estava calmo com poucas ondas e sem vento, de acordo com a NORMAM o compasso do trim deve ser menor que o valor de 4 vezes a linha dagua que no nosso caso seria aproximadamente 400mm, no entanto em velocidade máxima a angulação de 8^o gera uma altura de casco fora dagua a espelho de popa de 100mm oque mostra que o projeto esta dentro das normas da norma para trim.

Já para angulações de banda o permitido é que a linha dagua afunde ate 100mm do convés e em uma angulação de 6^o a altura de costado chegou a 250mm oque também está dentro da norma.

Em resumo o teste demonstra que a estabilidade da embarcação para na vegação em mar calmo está muito superior ao solicitado pela norma vigente atualmente.

5.3.2 Dados de manobrabilidade

Para coletar os dados de manobrabilidade, foram registradas informações do GPS em quatro momentos distintos.

Primeiramente, realizou-se a navegação em linha reta, onde ambos os propulsores foram mantidos trabalhando com a mesma rotação. Em seguida, foram executadas manobras para bombordo e boreste em velocidade máxima, seguidas de manobras para bombordo e boreste em velocidade de cruzeiro. Por fim, foram realizadas manobras com a embarcação parada, onde apenas um propulsor foi ligado por vez, para fins de análise.

Cada uma dessas etapas proporcionou dados essenciais para avaliar a manobrabilidade da embarcação em diferentes situações operacionais. As figuras 5.11, 5.12, 5.13, 5.14 mostram o caminho percorrido pela embarcação coletado pelo Gps para cada ensaio realizado, ao mesmo tempo que demonstra a posição da alavanca no radio controle e os ganhos do PWM para o motores durante a manobra.

Com base nessas informações, podemos antecipar e desenvolver manobras padrões para a elaboração de procedimentos de atracação e até mesmo para a navegação autônoma. Esses dados são fundamentais para a criação de algoritmos e sistemas que permitirão que

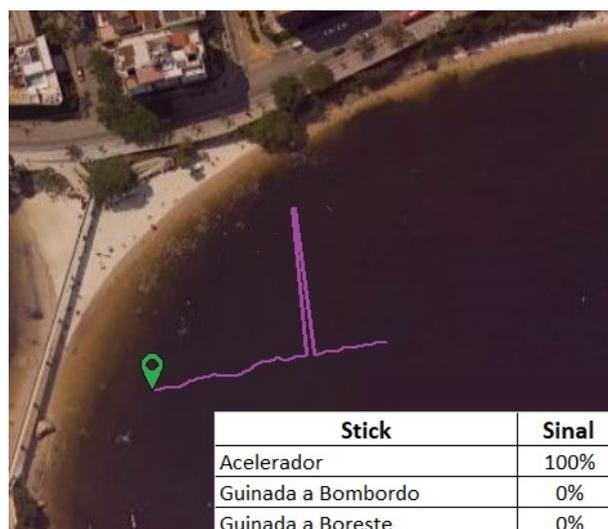


Figura 5.11: Navegando em linha reta, com pequeno ruído no GPS, PWM máximo no acelerador e sem alteração na guinada.



Figura 5.12: Navegação em alta velocidade, Manobras para BB e BE com PWM no máximo para o acelerador e guinadas máximas para BB e BE.

a embarcação execute manobras com precisão e segurança, seja durante as manobras de atracação em portos ou ao navegar autonomamente em diversas condições de operação. Essa previsibilidade contribui significativamente para a eficiência e confiabilidade das operações da embarcação em diferentes contextos.

Para dados de manobrabilidade não existe uma norma padrão específica que define o formato correto que uma embarcação deve fazer uma manobra, o próprio teste em si constrói o plano de manobras que é informado no manual da embarcação. Este estudo não define totalmente os parâmetros necessários para montar o plano de manobras da embarcação porém estes são dados iniciais para a construção do plano e já pode ser utilizado para balizar estudos aprofundados neste assunto.



Figura 5.13: Navegação em velocidade de cruzeiro, Manobras para BB e BE com PWM em 30 % para o acelerador e guinadas máximas para BB e BE.



Figura 5.14: Embarcação parada, Manobras para BB e BE com PWM em 0 % para o acelerador e guinadas máximas para BB e BE.

5.3.3 Dados de velocidade

Durante o teste de manobrabilidade, também registramos as velocidades atingidas pela embarcação ao longo dos ensaios. Essas informações complementares são relevantes para uma análise mais abrangente do desempenho da embarcação em diferentes manobras, permitindo uma compreensão mais completa de sua capacidade de aceleração, desaceleração e resposta a comandos durante as operações. A tabela 5.6 mostra as velocidades máximas atingidas durante o ensaio de manobrabilidade.

5.3.4 Dados de comunicação

O teste de comunicação teve como propósito a medição do volume de dados enviados para a nuvem, além de verificar a velocidade e estabilidade da conexão com a internet

Tabela 5.6: Dados Coletados de velocidades nos ganhos do PWM

Velocidades Máximas	
Sinal acelerador	Velocidade Máxima (km/h)
30%	19
60%	23
100%	29

Tabela 5.7: Teste das Conexões

Log de Testes de Conectividade	
Dados Enviados	12 Mbps
Sinal de Internet	Forte
Velocidade Internet	60 Mbps
Disconexão Internet 1	14(h):11(m):47(s)
Conexão Internet 1	14(h):11(m):53(s)
Disconexão Internet 2	14(h):25(m):01(s)
Conexão Radio 2	14(h):25(m):19(s)

durante a prova de mar. Além disso, foram realizados testes para avaliar a velocidade de reconexão e a transição entre a conexão com a internet e o controle via rádio. Os resultados detalhados desses testes estão disponíveis na tabela 5.7, fornecendo informações valiosas sobre o desempenho da comunicação em diferentes situações e condições.

Foi possível verificar que a velocidade de reconexão automática é de 6 segundos, a transferência da conexão de internet para rádio leva 18 segundos, o fluxo de dados enviado para a nuvem via internet é de 12 Mbps e a velocidade da internet disponível era de 60 Mbps.

5.3.5 Sistema de segurança

Durante os ensaios em ambiente relevante, foi observada a necessidade de um sistema que interrompesse os motores quando a conexão com a internet fosse perdida. Isso ocorreu porque, na ausência de conexão, os motores continuavam operando na velocidade em que foram deixados, o que poderia resultar em possíveis acidentes durante as operações.

Para abordar essa questão, foi desenvolvido um algoritmo que verifica constantemente se a embarcação está conectada à internet. Caso ocorra uma interrupção na conexão, o barco entra em modo failsafe, que consiste em desativar os motores e tentar realizar a reconexão com a internet ou com o rádio.

Para testar o Failsafe, deixamos a embarcação em velocidade máxima e desabilitamos

a internet. No entanto, para evitar danos à embarcação, conduzimos o teste com a embarcação navegando em direção a uma área com faixa de areia.

Foi observado que, após 4 segundos da perda de conexão, a embarcação desativou os motores e, mesmo assim, continuou navegando até que toda a velocidade fosse desabilitada, entrando em modo Loiter. Nesse modo, a embarcação tende a permanecer parada no lugar, independentemente das forças externas impostas a ela. A figura 5.15 demonstra no mapa como ocorreu o processo.



Figura 5.15: Ativação do failsafe.

O último teste demonstra que a embarcação está apta a navegar com segurança. Caso algo inesperado ocorra, como a perda de conexão, ela é capaz de se manter estável na posição, aguardando o socorro ou qualquer ação necessária. Isso proporciona uma camada adicional de segurança, garantindo que a embarcação possa lidar com situações imprevistas de forma controlada e estável, minimizando riscos e danos potenciais.

Capítulo 6

Conclusão

Neste último capítulo, estão apresentadas as considerações finais acerca do trabalho realizado, bem como algumas sugestões de aprimoramentos para o futuro.

6.1 Conclusões

O objetivo central desta dissertação era construir uma arquitetura de embarcação que fosse eficiente quanto sua navegação utilizando Módulos Fotovoltaicos e que navegasse remotamente. Para cumprir esse objetivo principal, foi realizado um estudo sobre os diferentes tipos de sistemas utilizados em embarcações robóticas autônomas, assim como sua hidrodinâmica associada.

Após selecionar os equipamentos adequados, o perfil da hélice foi dimensionado e desenhado em um software 3D. Em seguida, a hélice foi construída em uma impressora 3d junto com o restante do sistema de propulsão e montada nas oficinas da universidade.

Para analisar o desempenho do casco como um todo, foram realizadas simulações em um software de análise transiente. Além disso, foi desenvolvido um modelo para a dinâmica no Solidworks e Freeship, a fim de criar um simulador para avaliar o desempenho do veículo autônomo com a inclusão desse novo método de propulsão.

Quanto ao sistema de orientação em relação aos sensores, foram descritas algumas estratégias possíveis, e foi implementada a navegação com Pixhawk e Raspberry Pi junto de um GPS e um módulo de internet que transmitia as informações para a base, obtendo resultados bastante satisfatórios.

Além disso a utilização de um sistema de gestão de energia foi auxiliou para aumentar a autonomia da embarcação, foi realizado um estudo que indicou a melhor solução como

a utilização de quatro Módulos Fotovoltaicos flexíveis, seguido de um controlador MPPT para otimizar seu funcionamento no ponto de máxima potência.

Foram implementados sensores de coleta de dados da qualidade da água, que funcionaram a partir de um arduino uno, que transmitiam os dados pela raspberry para um dashboard online.

A realização da prova de mar demonstrou, que a embarcação operou dentro da NORMAM-01 que define regras de construção de embarcações e que define padrões de estabilidade.

6.2 Trabalho futuro

Nesta seção, são apresentadas algumas indicações de trabalhos a serem desenvolvidos no futuro, que permitirão obter um estudo mais completo sobre este tema. Primeiramente, seria proveitoso realizar mais simulações em Solid Works e Freeship e, se possível, em um laboratório que simula ambiente real, a fim de aprimorar as estimativas dos coeficientes relacionados à propulsão. Outra abordagem relevante seria realizar as mesmas simulações para várias propulsões, a fim de avaliar o fluxo ao redor delas e analisar seu impacto na evolução da dinâmica da embarcação.

Uma segunda abordagem seria melhorar os sistemas de orientação da pixhawk, conforme apresentado nas estratégias de utilização da navegação como método de propulsão nesta dissertação. Além disso, seria importante desenvolver sistemas de controle de orientação eficientes para vários obstáculos simultâneos, analisando as direções possíveis que o veículo autônomo pode seguir com o aumento do número de interferências. Esses aprimoramentos podem ser implementados em um digital twin, tornando-o mais realista.

Do ponto de vista da gestão eficiente da energia elétrica consumida pelos diversos subsistemas eletrônicos, seria importante criar uma aplicação para o sistema que utilizando dados sobre a carga das baterias ou o consumo dos diversos subsistemas e a recarga dos Módulos Fotovoltaicos em tempo real, criar um algoritmo que gerenciasse automaticamente quais recursos utilizar em cada momento e o quanto de potência a embarcação pode utilizar para navegar sem consumir energia da bateria.

Como estamos diante de uma evolução constante, com o surgimento de novas formas de geração de energia limpa a partir do ambiente, o desenvolvimento de uma nova forma de geração de energia limpa de baixo impacto poderia revolucionar a operacionalização de

veículos autônomos robóticos. Sugiro também um estudo sobre novos tipos de Módulos Fotovoltaicos que poderiam ser utilizados no projeto.

Referências

- [1] FONSECA, M. M. *Livro da construção de embarcações O Arte Naval*. [S.l.]: SDM, 1954.
- [2] FOSSEN, T. I. Handbook of Marine Craft Hydrodynamics and Motion Control. *Journal of Field Robotics*, 2019.
- [3] MASCARO S., . T. A. Design and development of a low-cost autonomous boat for environmental monitoring. *Journal of Field Robotics*, 2021.
- [4] BENETAZZO A., C. S. B. F. B. D. . S. M. Design and development of a small autonomous boat for environmental monitoring in Venice Lagoon. *Journal of Field Robotics*, 2019.
- [5] LIU, Z.; ZHANG, Y.; YU, X.; YUAN, C. Unmanned surface vehicles: An overview of developments and challenges. *Annual Reviews in Control*, v. 41, p. 71–93, 2016. ISSN 1367-5788. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1367578816300219>>.
- [6] FOSSEN T. I., . P. K. Y. Hydrodynamic modeling and control of an autonomous surface craft. *IEEE TRANSACTIONS ON CONTROL SYSTEMS TECHNOLOGY*, 2022.
- [7] KERDONCUFF, J. Autonomous Maritime Systems: Technology, Applications and Impacts on Maritime Security. *Springer*, 2018.
- [8] SINGH, P.; GREGSON, E.; ROSS, J.; SETO, M.; KAMINSKI, C.; HOPKIN, D. Vision-based auv docking to an underway dock using convolutional neural networks. In: *2020 IEEE/OES Autonomous Underwater Vehicles Symposium (AUV)*. [S.l.: s.n.], 2020. p. 1–6.
- [9] WANG, N.; ZHANG, Y.; AHN, C. K.; XU, Q. Autonomous pilot of unmanned surface vehicles: Bridging path planning and tracking. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, v. 71, n. 3, p. 2358–2374, 2022.
- [10] KAEDING P., . H. G. Real-time trajectory optimization and path planning for autonomous ships. *Ocean Engineering*, 2019.
- [11] FOSSEN T. I., J. T. A. . B. M. Nonlinear observer design for marine craft: tracking and motion control. Control Engineering Practice. *Springer*, 2017.
- [12] RATTI, Y. Q. J. Y. W. W. F. D. J. Y. C. A survey of autonomous surface vehicles: Recent advances, current challenges, and future directions. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2023.

- [13] V. RACHID O., R. B. O. L. T. F. A. Path planning and obstacle avoidance for autonomous maritime vehicles: A review. *Journal of Marine Science and Technology*, 2022.
- [14] CHEN T., L. B. . W. F. Y. Deep reinforcement learning-based path planning for autonomous surface vehicles in uncertain environments. *Journal of Marine Science and Technology volume*, 2022.
- [15] LIU Y., . Z. H. Vision-based perception and control for autonomous docking of unmanned surface vehicles. *IEEE/OES Autonomous Underwater Vehicles Symposium*, 2020.
- [16] BIRK A., P. M. . S. S. Autonomous Underwater Vehicles: Technology and Applications. *journal CRC Press*, 2017.
- [17] WANG, H.; FU, Z.; ZHOU, J.; FU, M.; RUAN, L. Cooperative collision avoidance for unmanned surface vehicles based on improved genetic algorithm. *Ocean Engineering*, v. 222, p. 108612, 2021. ISSN 0029-8018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0029801821000470>>.
- [18] NI J., C. W. . T. M. Sensor-based path following for autonomous surface vessels in inland waterways. *IEEE International Conference on Information and Automation*, 2023.
- [19] JOHNSON L. E., S. R. S. . E. G. G. Autonomous Underwater Vehicles: Technology and Applications. *Journal of Ship Production and Design*, 2019.
- [20] FRAZZOLI E., . F. E. E. Springer Handbook of Robotics. *Springer*, 2019.
- [21] ZHANG X., . L. Y. Machine learning techniques for autonomous decision-making in unmanned surface vehicles. *Macauley and Shafiee Autonomous Intelligent Systems*, 2022.
- [22] MOHTA K., W. M. M. Y. L. W. . K. V. Aggressive flight with quadrotors for perching on inclined surfaces. *Science Robotics*, 2018.
- [23] BAI S., . H. J. P. Autonomous surface vehicle path planning using artificial potential fields and Dubins curves. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2022.
- [24] IDRIS, M. I. S. M. H. M. Development and testing of an autonomous surface vehicle for hydrographic surveying. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2022.
- [25] LI Y., . R. J. Energy-aware path planning for autonomous solar-powered boats. *Journal of Field Robotics*, 2023.
- [26] BIBULI, M.; CACCIA, M.; LAPIERRE, L. Virtual target based coordinated path-following for multi-vehicle systems. *IFAC Proceedings Volumes*, v. 43, n. 20, p. 336–341, 2010. ISSN 1474-6670. 8th IFAC Conference on Control Applications in Marine Systems. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474667016334851>>.

- [27] LIU, Y.; BUCKNALL, R. A survey of formation control and motion planning of multiple unmanned vehicles. *Robotica*, Cambridge University Press, v. 36, n. 7, p. 1019–1047, 2018.
- [28] CAO M., . M. S. Autonomous surface vehicles: Recent advances and challenges in environmental monitoring and sampling. *Annual Reviews in Control*, 2022.
- [29] WANG Y., L. H. . Y. J. A survey of algorithms for collision avoidance of unmanned surface vehicles. *Journal of Marine Science and Technology volume*, 2022.
- [30] NOVITZKY M., B. . F. T. I. Multi-vehicle coordination and control for autonomous marine research. *Journal of Marine Science and Technology volume*, 2019.
- [31] STILWELL, D.; GADRE, A.; SYLVESTER, C.; CANNELL, C. Design elements of a small low-cost autonomous underwater vehicle for field experiments in multi-vehicle coordination. In: *2004 IEEE/OES Autonomous Underwater Vehicles (IEEE Cat. No.04CH37578)*. [S.l.: s.n.], 2004. p. 1–6.
- [32] ZHOU Y., R. J. . C. H. A cooperative control strategy for multiple autonomous surface craft in environmental monitoring tasks. *J. Mar. Sci. Eng*, 2021.
- [33] LI Z., L. K. . Z. Y. Navigation and Control of Autonomous Underwater Vehicles. *journal CRC Press*, 2021.
- [34] HUANG S., . W. C. Collision avoidance for multiple autonomous surface vehicles using genetic algorithms. *Ocean Engineering*, 2022.
- [35] GIRARD, A.; SOUSA, J. de; HEDRICK, J. An overview of emerging results in networked multi-vehicle systems. In: *Proceedings of the 40th IEEE Conference on Decision and Control (Cat. No.01CH37228)*. [S.l.: s.n.], 2001. v. 2, p. 1485–1490 vol.2.
- [36] VIDAL P., . R. K. E. Autonomous Surface Vehicles: Advances in Maritime Research. *Springer*, 2020.
- [37] GARCIA R., G. E. C. J. A. . S. M. Advances in Autonomous and Cooperative Control for Marine Systems. *journal CRC Press*, 2021.
- [38] NEGREIROS, A. *N-Boat: Projeto e Desenvolvimento de um Veleiro Robótico Autônomo*. 2019.

APÊNDICE A - Datasheets e Informações de Equipamentos de Fornecedores

A.1 Lista de materiais

1. Casco Completo - Projeto Innoboat 1 Projeto REV00.
2. Tampa De Inspeção Náutica Anti-derrapante 27 X 37 Cm Lancha.
3. Tinta Verde Atibaia A01 QC BR M7091 1L - CATALISADOR F496 CONCENTRADO.
4. Tinta Nason branco geadá VW PU 0,6L 9121.
5. catalisador f496 300ml 9668.
6. Tinta Nason kit primer PU cinza f1259 0,9L.
7. Painel Placa Solar Monocristalino Flexível 100w.
8. Disjuntor 1p Cc Dc 250v 20a.
9. Controladores de carga SmartSolar com saída de carga MPPT 75/15.
10. Barramento De Distribuição Hc-004 Neutro 16 Ligações - 80a.
11. Disjuntor Automotivo Proteção Som Resetável Bateria 70a.
12. Packs de baterias, 24V, 24Ah, Li-ion, 6S 18P, com placa BMS.
13. Amplificador Operacional INA 128.
14. Sensor Hall De Corrente La55-p/sp2 ; La 55 P Sp2; Lem Garant.

15. Cabo 2,5mm² cor preta.
16. Cabo 2,5mm² cor Vermelha.
17. Cabo 6 mm² cor preta.
18. Cabo 6mm² cor Vermelha.
19. Cabo 1 mm² cor preta.
20. Cabo 1 mm² cor Laranja.
21. Cabo 1mm² cor Vermelha.
22. Cabo 4 mm² cor preta.
23. Cabo 4 mm² cor Vermelha.
24. Cabo de Rede UTP azul.
25. Conector Mc4 Pannel Solar Energia Solar (macho + Fêmea)
26. Anilha Identificadora Cabos Hellermann 0.5 a 0.6mm².
27. KYO-12T 12kg 24v waterproof o motor brushless subaquático do thruster incorporado cw do esc para rov/auv/embarcação não tripulada.
28. 100a esc 5a/5v bocal 2-7s para avião rc controle de velocidade eletrônico esc promoção.
29. Flysky FS-i6X 10CH 2.4GHz AFHDS 2A RC Transmissor com Receptor FS-iA10B - Modo 2 (Acelerador à esquerda).
30. Pixhawk 2.4.8 px4 pix controlador de vôo + m8n gps + 433/915mhz 100/500mw rádio v5 telemetria + interruptor de segurança buzzer + rgb i2c + 4g sd (Versão completa).
31. Raspberry Pi4 8GB de RAM Model B.
32. Ads1115 Conversor Analógico Digital 16 Bit I2c Para Arduino.
33. MicroSD 128GB San Disk.
34. Conversor DC/DC - Step Down - 100W / 12A
35. Switch 8 portas 10/100/1000 Mbps não gerenciável LS1008G Tp Link CX.

36. Modem Aquário MD-4000 branco.
37. Mini câmera externa do cctv de otg do andróide do tipo-c uvc para o quiosque da tabuleta ip66 waterproof a mini câmera completa hd 1080p 720p do ir usb de 940nm.

A.2 Datasheet PixHawk

Acesso pelo link:

<https://ardupilot.org/copter/docs/common-pixhawk-overview.html>

A.3 Datasheet Raspberry

Acesso pelo link:

<https://datasheets.raspberrypi.com/rpi4/raspberry-pi-4-datasheet.pdf>

A.4 Informações Gerais

A.4.1 Placa de Instrumentação

A placa de instrumentação desenvolvida pela equipe do projeto é uma solução tecnológica avançada e eficiente, projetada especificamente para medir as correntes dos motores do barco, a corrente proveniente do sistema fotovoltaico e a tensão da bateria. Essas medições são de extrema importância para o monitoramento e controle adequado do sistema elétrico embarcado, garantindo um funcionamento seguro e eficiente do barco.

Para alcançar esse objetivo, a placa de instrumentação foi equipada com circuitos e sensores de alta precisão, capazes de realizar medições precisas das correntes e tensões envolvidas no sistema. Essa precisão é crucial para fornecer informações confiáveis e em tempo real sobre o desempenho do sistema elétrico.

No entanto, devido à limitação da Raspberry Pi em acessar informações analógicas diretamente, foi necessário incorporar um shield módulo ADC (Conversor Analógico-Digital) à placa de instrumentação. Esse shield desempenha um papel fundamental ao converter os sinais analógicos medidos pela placa em dados digitais compreensíveis pela Raspberry Pi, permitindo uma comunicação eficiente entre os dispositivos.

Dessa forma, após a conversão analógico-digital, os dados de correntes e tensão são transmitidos para a Raspberry Pi por meio de uma interface de comunicação apropriada, como a interface serial ou a interface I2C. A placa de instrumentação é responsável por formatar e enviar esses dados de maneira adequada, garantindo que as informações sejam recebidas e processadas corretamente pela controladora.

A utilização dessa placa de instrumentação traz uma série de benefícios significativos para o sistema elétrico embarcado no barco. Por meio do monitoramento preciso das correntes dos motores, é possível realizar um controle adequado da potência, garantindo um funcionamento eficiente e seguro. Além disso, a capacidade de acompanhar a corrente proveniente do sistema fotovoltaico permite avaliar o desempenho e a eficiência do sistema de energia renovável, contribuindo para uma gestão sustentável da energia a bordo.

Outra vantagem importante é a verificação constante da tensão da bateria, o que evita descargas profundas e prolonga a vida útil da bateria, garantindo uma fonte confiável de energia. Além disso, a placa de instrumentação pode ser integrada a sistemas de controle e automação, possibilitando a implementação de estratégias inteligentes e eficientes de gerenciamento de energia.

Em resumo, a placa de instrumentação desenvolvida pela equipe do projeto é uma solução tecnológica avançada e essencial para medir correntes e tensões em um sistema fotovoltaico embarcado em um barco. Através da compatibilidade com a Raspberry Pi e do uso de um shield módulo ADC, essa placa supera a limitação de acesso a informações analógicas, permitindo a transmissão precisa e confiável dos dados para a controladora. Com seu uso, é possível garantir um funcionamento seguro, eficiente e sustentável do sistema elétrico embarcado, contribuindo para uma navegação tranquila e eficiente.

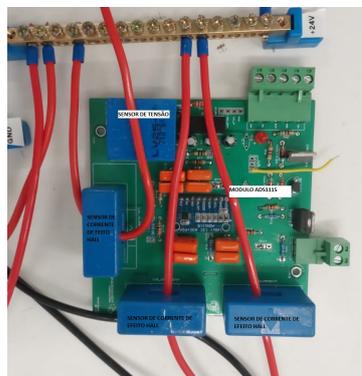


Figura A.1: Placa de Instrumentação.

A.4.2 Kit de sensor de pH

Valores de *Potencial Hidrogeniônico* (pH) acima ou abaixo dos limites são nocivos ou letais para a maioria dos organismos aquáticos, principalmente peixes, indicam contaminação por efluentes industriais ou ocorrência de acidentes com vazamento de produtos químicos, que podem intensificar o processo de eutrofização em lagos.

Um kit de sensor de pH é um dispositivo utilizado para medir o nível de acidez ou alcalinidade de uma substância, solução ou meio líquido. O pH é uma escala que varia de 0 a 14, onde 0 indica um meio altamente ácido, 14 indica um meio altamente alcalino e 7 representa uma solução neutra.

O kit de sensor de pH geralmente é composto por um eletrodo de vidro, um sistema de referência, um medidor ou indicador de pH e uma solução de calibração. O eletrodo de vidro é o componente central do kit, responsável por converter a atividade iônica de hidrogênio em um sinal elétrico. O sistema de referência fornece uma referência estável para a medição.

O funcionamento básico do kit de sensor de pH é o seguinte: o eletrodo de vidro é mergulhado na solução que se deseja medir, e o sistema de referência mantém uma diferença de potencial constante em relação ao eletrodo de vidro. Quando o eletrodo entra em contato com a solução, ocorre uma reação química entre os íons de hidrogênio presentes na solução e os íons do eletrodo de vidro, gerando um sinal elétrico proporcional ao pH da solução.

Esse sinal elétrico é então enviado ao medidor ou indicador de pH, que converte o sinal em uma leitura de pH. Alguns kits de sensor de pH possuem um display integrado para mostrar a leitura diretamente, enquanto outros podem se conectar a um dispositivo externo, como um computador ou smartphone, para exibir os resultados.

É importante ressaltar que os kits de sensor de pH precisam ser calibrados regularmente para garantir a precisão das medições. A calibração é feita utilizando soluções-padrão de pH conhecido, geralmente pH 4 e pH 7 (ou pH 10 em alguns casos). Através da calibração, o medidor de pH é ajustado para fornecer leituras corretas com base nas soluções-padrão.

Os kits de sensor de pH são amplamente utilizados em laboratórios, indústrias alimentícias, aquários, agricultura, controle de qualidade e em diversas outras aplicações onde é necessário monitorar e controlar o pH de substâncias ou soluções. Além disso, existem também sensores de pH mais avançados, como os sensores digitais, que podem fornecer

leituras mais precisas e possuem recursos adicionais, como compensação automática de temperatura.

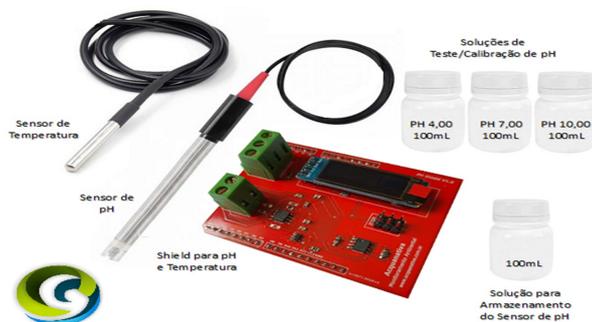


Figura A.2: Sensor Ph

A.4.3 Kit de Sensor de Oxigênio Dissolvido

Concentrações muito abaixo dos valores de saturação podem indicar atividade biológica intensa, principalmente devido à alta carga orgânica no corpo receptor. O alto calor específico da água e sua baixa capacidade de solubilizar o oxigênio tornam o ambiente aquático extremamente vulnerável à poluição orgânica e térmica (ANA, 2019).

Um kit de sensor de oxigênio dissolvido é um dispositivo usado para medir a quantidade de oxigênio presente em uma solução líquida. O oxigênio dissolvido é uma medida importante em várias áreas, como aquicultura, tratamento de água, controle ambiental e pesquisa científica.

Um kit de sensor de oxigênio dissolvido geralmente consiste em um eletrodo de oxigênio, um sistema de referência, um medidor ou indicador de oxigênio dissolvido e soluções de calibração. O eletrodo de oxigênio é o componente principal do kit e é responsável por converter a concentração de oxigênio em um sinal elétrico.

O funcionamento básico do kit de sensor de oxigênio dissolvido é o seguinte: o eletrodo de oxigênio é imerso na solução líquida que se deseja medir. O eletrodo contém uma membrana permeável ao oxigênio, geralmente feita de material polimérico, que permite que o oxigênio se difunda através dela.

Quando o oxigênio entra em contato com a membrana, ocorre uma reação química no interior do eletrodo, gerando um sinal elétrico proporcional à concentração de oxigênio na solução. Esse sinal elétrico é então enviado ao medidor ou indicador de oxigênio dissolvido, que converte o sinal em uma leitura de concentração de oxigênio.

Assim como no caso do kit de sensor de pH, os kits de sensor de oxigênio dissolvido

também requerem calibração regular. A calibração é feita utilizando soluções-padrão de oxigênio dissolvido em concentrações conhecidas. Através da calibração, o medidor de oxigênio dissolvido é ajustado para fornecer leituras precisas com base nas soluções-padrão.

Existem diferentes tipos de sensores de oxigênio dissolvido disponíveis, como sensores de membrana galvânica e sensores ópticos. Os sensores de membrana galvânica utilizam uma célula eletroquímica para medir a concentração de oxigênio, enquanto os sensores ópticos usam princípios ópticos para detectar o oxigênio dissolvido na solução.

Os kits de sensor de oxigênio dissolvido são amplamente utilizados em aplicações como monitoramento da qualidade da água em rios, lagos e oceanos, controle de processos industriais, aquicultura, pesquisa científica em biologia marinha e estudos ambientais.

É importante seguir as instruções do fabricante para o uso adequado do kit de sensor de oxigênio dissolvido, incluindo a limpeza e o armazenamento adequados do eletrodo, para garantir a precisão e a vida útil prolongada do equipamento.

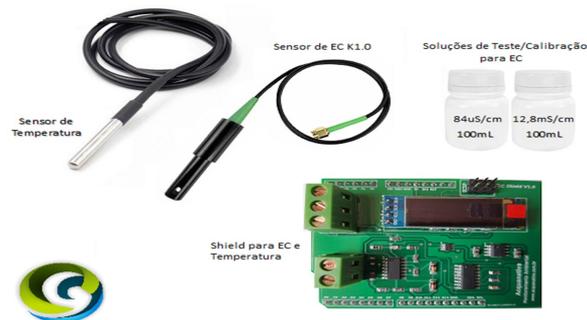


Figura A.3: Sensor Oxigenio Dissolvido

A.4.4 Kit de sensor de condutividade elétrica

A capacidade da água de transmitir corrente elétrica está diretamente relacionada à concentração de espécies iônicas dissolvidas, principalmente as inorgânicas. A medida da condutividade elétrica pode estar relacionada com a concentração de Sólidos Totais Dissolvidos, parâmetro muito sensível ao lançamento de efluentes, o que facilita a avaliação da qualidade do corpo hídrico, pois é uma medida direta.

Um kit de sensor de condutividade elétrica é um dispositivo utilizado para medir a capacidade de um meio líquido em conduzir corrente elétrica. A condutividade elétrica é uma propriedade física que está relacionada à presença de íons na solução.

Um kit típico de sensor de condutividade elétrica é composto por um eletrodo de condutividade, um circuito de medição, um medidor ou indicador de condutividade e soluções de calibração. O eletrodo de condutividade é a parte principal do kit e é responsável por detectar a condutividade elétrica da solução.

O funcionamento básico do kit de sensor de condutividade elétrica é o seguinte: o eletrodo de condutividade é imerso na solução líquida que se deseja medir. Quando a solução contém íons, esses íons permitem que a corrente elétrica flua através dela.

O eletrodo de condutividade possui dois eletrodos: um eletrodo de corrente e um eletrodo de tensão. O eletrodo de corrente aplica uma corrente elétrica à solução, enquanto o eletrodo de tensão mede a tensão resultante. Com base na diferença de potencial medida, o medidor de condutividade calcula a condutividade elétrica da solução.

A condutividade elétrica é geralmente expressa em unidades de Siemens por metro (S/m) ou microsiemens por centímetro (uS/cm). Para obter leituras precisas, é necessário calibrar o kit de sensor de condutividade elétrica usando soluções de calibração com condutividades conhecidas. As soluções de calibração normalmente incluem soluções-padrão de baixa, média e alta condutividade.

Os kits de sensor de condutividade elétrica são amplamente utilizados em várias áreas, como controle de qualidade da água, análise de água potável, monitoramento de processos industriais, análise de solos e controle de salinidade em aquicultura. Eles desempenham um papel essencial na determinação da qualidade e composição de soluções líquidas em diferentes contextos.

É importante seguir as instruções fornecidas pelo fabricante para a calibração, uso e manutenção adequados do kit de sensor de condutividade elétrica, a fim de garantir medições precisas e prolongar a vida útil do equipamento.



Figura A.4: Sensor de Condutividade Elétrica

A.4.5 Kit de sensor redox

Usado para determinar o potencial redox, valioso porque indica possíveis contaminações, principalmente de efluentes industriais. O excesso de cloro no efluente de águas residuais resultará em um alto valor positivo, por exemplo, e a presença de sulfeto de hidrogênio em um alto valor negativo.

Um kit de sensor redox, também conhecido como kit de sensor de potencial de oxidação-redução, é um dispositivo utilizado para medir o potencial redox de uma solução. O potencial redox é uma medida da capacidade de uma solução em sofrer reações de oxidação e redução.

Um kit típico de sensor redox é composto por um eletrodo redox, um sistema de referência, um medidor ou indicador de potencial redox e soluções de calibração. O eletrodo redox é o componente principal do kit e é responsável por converter o potencial redox da solução em um sinal elétrico.

O funcionamento básico do kit de sensor redox é o seguinte: o eletrodo redox é imerso na solução líquida que se deseja medir. O eletrodo redox contém dois componentes principais: um eletrodo de trabalho e um eletrodo de referência. O eletrodo de trabalho está envolvido nas reações de oxidação e redução, enquanto o eletrodo de referência fornece um potencial de referência estável.

Quando ocorrem reações de oxidação e redução na solução, há trocas de elétrons entre as espécies químicas presentes. Essas trocas de elétrons geram um potencial redox na solução. O eletrodo redox detecta essa diferença de potencial e converte-a em um sinal elétrico.

O sinal elétrico é então enviado ao medidor ou indicador de potencial redox, que exibe a leitura do potencial redox. A leitura é geralmente expressa em milivolts (mV). Para garantir medições precisas, é necessário calibrar o kit de sensor redox utilizando soluções de calibração com potenciais redox conhecidos.

Os kits de sensor redox são amplamente utilizados em diversas áreas, como análise de água, controle de qualidade industrial, pesquisa científica e monitoramento ambiental. Eles desempenham um papel importante na avaliação da atividade química e da estabilidade de soluções, bem como na compreensão de processos de oxidação e redução em diferentes sistemas.

É fundamental seguir as instruções fornecidas pelo fabricante para a calibração, uso

e manutenção adequados do kit de sensor redox, a fim de garantir medições precisas e prolongar a vida útil do equipamento.



Figura A.5: Sensor Redox