



Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA
AquaData - Sistema de monitoramento da água

Autor: Grupo 9

Orientador: José Felicio Da Silva

Alex Reis

Paolo Gessini

Rhander Viana

Ricardo Matos Chaim

Brasília, DF

2021



Grupo 9

AquaData - Sistema de monitoramento da água

Projeto submetido aos cursos de graduação da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel.

Universidade de Brasília - UnB

Faculdade UnB Gama - FGA

Orientador: José Felicio Da Silva

Alex Reis

Paolo Gessini

Rhander Viana

Ricardo Matos Chaim

Brasília, DF

2021

Resumo

O documento apresenta um projeto de um sistema de monitoramento de qualidade da água doce, AquaData, em que o sistema recolhe informações de nível de oxigênio, nitrogênio, pH, temperatura, turbidez e condutividade da água. A partir dessas informações um aplicativo informará toda a base para o cliente utilizando gráficos, dados e um mapa para o seu conhecimento, portanto com isso o consumidor fará o que achar melhor para a sociedade ou seu empreendimento. Além disso constará dicas sobre cada informação, enquanto a boia terá um sistema de movimentação delimitada para certa área. A comercialização do produto tem o foco em empresas governamentais, clubes e estudantes cuja pesquisa envolve a qualidade da água. As engenharias envolvidas no projeto são eletrônica, responsável pela parte elétrica, controle e de hardware, aeroespacial, automotiva e energia, responsáveis pela parte mecânica e recursos energéticos, e software, responsável pela programação e pela interface com o usuário, todos os alunos responsáveis pelo projeto estudam na Faculdade do Gama(FGA) e cursam a disciplina Projeto Integrador 2, que visa ensinar aos alunos a trabalhar em grupo e agregar os diversos tipos de engenharia.

Palavras-chaves: Água Doce. PI2. Pesquisa. Tratamento.

Listas de ilustrações

Figura 1 – Primeira parte do Cronograma	21
Figura 2 – Segunda parte do Cronograma	21
Figura 3 – Terceira parte do Cronograma	22
Figura 4 – Quarta parte do Cronograma	22
Figura 5 – EAP do Projeto	26
Figura 6 – Primeira parte do RoadMap	27
Figura 7 – Segunda parte do RoadMap	27
Figura 8 – Terceira parte do RoadMap	27
Figura 9 – Quarta parte do RoadMap	28
Figura 10 – Pré-estrutura do projeto	31
Figura 11 – Painel de Tarefas	34
Figura 12 – Circuito da sonda de oxigênio dissolvido	42
Figura 13 – Circuito da sonda de oxigênio dissolvido	43
Figura 14 – Sensor de pH	44
Figura 15 – Sensor de temperatura	45
Figura 16 – Sensor de turbidez	46
Figura 17 – Sensor de proximidade	47
Figura 18 – Sensor de condutividade	48
Figura 19 – GPS	49
Figura 20 – Base do sistema de controle	53
Figura 21 – Sistema de controle de desvio	54
Figura 22 – Gráfico do sistema de controle de desvio	54
Figura 23 – Sistema de controle de movimentação	55
Figura 24 – Gráfico do sistema de controle de movimentação	55
Figura 25 – Base do sistema de controle	56
Figura 26 – Fluxograma do funcionamento do sistema	57
Figura 27 – Esquemático	58
Figura 28 – Circuito 2D	58
Figura 29 – Circuito 3D	59
Figura 30 – Diagrama de Contexto. Fonte: Autores	61
Figura 31 – Diagrama de Container. Fonte: Autores	62
Figura 32 – Diagrama de Componentes, API Principal. Fonte: Autores	63
Figura 33 – Diagrama de Componentes, Single Page Application. Fonte: Autores	64
Figura 34 – Diagrama de Componentes, Microsserviço Atena. Fonte: Autores	65
Figura 35 – Diagrama de Componentes, Microsserviço Poseidon. Fonte: Autores	66
Figura 36 – <i>Dashboard</i> de controle e visualização individual, V1. Fonte: Autores	69

Figura 37 – <i>Dashboard</i> de controle e visualização individual, V2. Fonte: Autores	70
Figura 38 – <i>Diagrama de Atividades</i> do usuário na aplicação web. Fonte: Autores	71
Figura 39 – Diagrama Unifilar do Sistema de Alimentação.	73
Figura 40 – Previsão de produção diária ao longo do ano.	75
Figura 41 – Potência máxima ideal.	75
Figura 42 – Esboço do cenário do sistema flutuante perante o sol nascente.	76
Figura 43 – Esboço do cenário do sistema flutuante perante o sol no começo da geração pelo lado voltado para o oeste.	76
Figura 44 – Esboço do cenário do sistema flutuante perante o sol nos últimos momentos de geração pelo lado voltado para o leste.	77
Figura 45 – Esboço do cenário do sistema flutuante como um todo perante o trajeto do sol por ele ao longo do dia.	77
Figura 46 – Tabela de potências com sombra.	78
Figura 47 – Gráfico de geração total por contribuição de cada painel solar.	78
Figura 48 – Tipos de radiação solar.	79
Figura 49 – Estrutura emersa e submersa	80
Figura 50 – Cavidade para Preenchimento da Espuma de Poliuretano	81
Figura 51 – Metacentro Transversal	82
Figura 52 – Vista Isométrica da estrutura central	85
Figura 53 – Estrutura central com suportes laterais	86
Figura 54 – Malha refinada do conjunto principal	87
Figura 55 – Quantidade de Nós e Elementos na malha	87
Figura 56 – Dados de entrada do material	88
Figura 57 – Concentrador de tensão	89
Figura 58 – Pontos de tensões	90
Figura 59 – Tensões de Von Mises na torre	91
Figura 60 – Malha na torre	92
Figura 61 – Quantidade de nós e elementos na malha da torre	92
Figura 62 – Tensões principais na torre	93
Figura 63 – Aço 316 - Tensão de Cisalhamento	94
Figura 64 – Aço 316 - Deformação de Cisalhamento	94
Figura 65 – Aço 316 - Deslocamento Total	95
Figura 66 – Nitronic 50 - Tensão de Cisalhamento	95
Figura 67 – Nitronic 50 - Deformação de Cisalhamento	96
Figura 68 – Nitronic 50 - Deslocamento Total	96
Figura 69 – Gráfico Comparativo do Módulo de Elasticidade	98
Figura 70 – Gráfico Comparativo da Resistência à Tração	99
Figura 71 – Gráfico Comparativo da Densidade	99
Figura 72 – Geometria da Estrutura	103

Figura 73 – Resultado 1 da Simulação	104
Figura 74 – Resultado 2 da Simulação	105
Figura 75 – Mancal	106
Figura 76 – Resultado 1 da Simulação para o Mancal	107
Figura 77 – Resultado 2 da Simulação para o Mancal	108
Figura 78 – Carga Aplicada na Torre	109
Figura 79 – Resultado 1 da Simulação para a Torre	110
Figura 80 – Resultado 2 da Simulação para a Torre	111
Figura 81 – Diagrama de funcionamento geral do sistema.	112
Figura 82 – Movimento Retilíneo sem Tração - Velocidade	116
Figura 83 – Movimento Retilíneo sem Tração - Deslocamento	116
Figura 84 – Movimento Retilíneo com Tração - Velocidade	117
Figura 85 – Movimento Retilíneo com Tração - Deslocamento	118
Figura 86 – Movimento Retilíneo com Tração Contrária - Velocidade	119
Figura 87 – Movimento Retilíneo com Tração Contrária - Deslocamento	119
Figura 88 – Trajetória Rotacional de 90º - Velocidade Angular	121
Figura 89 – Trajetória Rotacional de 90º - Deslocamento Angular	121
Figura 90 – Sistema de controle de movimentação	127
Figura 91 – Esquemático do circuito desconectado	128
Figura 92 – Esquemático do circuito conectado	128
Figura 93 – Placa de circuito impresso em 2D	129
Figura 94 – Placa de circuito impresso em 3D	129
Figura 95 – Visualização do verso da placa de circuito impresso em 3D	130
Figura 96 – Montagem Final	131
Figura 97 – Montagem Boia	132
Figura 98 – Bateria	133
Figura 99 – Carenagem Boia	134
Figura 100–Eixo	135
Figura 101–Estrutura Principal	136
Figura 102–Fixador de Boia	137
Figura 103–Espuma de poliuretano	138
Figura 104–Mancal	139
Figura 105–Montagem das Pás	140
Figura 106–Carenagem	141
Figura 107–Pás	142
Figura 108–Placa Solar	143
Figura 109–Proteção dos Sensores	144
Figura 110–Rolamento	145
Figura 111–Suporte das Baterias	146

Figura 112 – Suporte das Pás	147
Figura 113 – Suporte das Placas	148
Figura 114 – Tampa Inferior	149
Figura 115 – Tampa Superior	150
Figura 116 – Vedaço de Alumínio	151
Figura 117 – Vedaço de Borracha	152
Figura 118 – Esquemático da sonda de oxigênio dissolvido	163
Figura 119 – Esquemático da sonda de ph	163
Figura 120 – Esquemático do sensor de proximidade	164
Figura 121 – Esquemático do sensor de turbidez	164
Figura 122 – Esquemático do sensor de condutividade	165
Figura 123 – Diagrama de blocos do sensor de temperatura	165

Lista de tabelas

Tabela 1 – Estimativa de Custo - Eletrônica	23
Tabela 2 – Estimativa de Custo - Estruturas	23
Tabela 3 – Estimativa de Custos - Energia	24
Tabela 4 – Riscos eletrônicos	24
Tabela 5 – Riscos estruturais	25
Tabela 6 – Riscos energéticos	25
Tabela 7 – Descrição das categoriais	25
Tabela 8 – Matriz de Probabilidade x Impacto	26
Tabela 9 – Legenda da Matriz de Probabilidade X Impacto	26
Tabela 10 – Requisitos de Software	35
Tabela 11 – Requisitos eletrônica	36
Tabela 12 – Requisitos Energia	37
Tabela 13 – Requisitos Estruturais	38
Tabela 14 – Lista É/Não É	38
Tabela 15 – Especificações circuito OD	42
Tabela 16 – Especificações circuito OD	43
Tabela 17 – Especificações	44
Tabela 18 – Características sensor de temperatura	45
Tabela 19 – Especificações Sensor de Turbidez	46
Tabela 20 – Especificações do sensor de proximidade	47
Tabela 21 – Especificações do sensor de condutividade	48
Tabela 22 – Tabela de potência	52
Tabela 23 – Tabela de conexão	59
Tabela 24 – Propriedades Mecânicas das Fibras de Reforço	98
Tabela 25 – Propriedades Comparativas para Fibras de Reforço	100
Tabela 26 – Legenda da Tabela Propriedades Comparativas para Fibras de Reforço	100
Tabela 27 – Propriedades Comparativas CFRP vs. GFRP	101
Tabela 28 – Propriedades Comparativas PVC vs.Poliuretano	101
Tabela 29 – Propriedades Comparativas para o Aço Inoxidável	102
Tabela 30 – Propriedades Mecânicas para o Aço	103
Tabela 31 – Carga Aplicada na Estrutura	104

Lista de abreviaturas e siglas

BCI	Brain-Computer Interface
EEG	Eletroencefalografia
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
pH	Potencial hidrogeniônico
TAP	Termo de Abertura do Projeto
EAP	Estrutura analítica de projeto
ANA	Agência Nacional das Águas
IQA	Índice de Qualidade da Água
OD	Oxigênio dissolvido
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport
IOT	Internet Of Things
FRP	Fibre-reinforced plastic
PDI	Controlador proporcional integral derivativo

Lista de símbolos

Γ	Letra grega Gama
Λ	Lambda
ζ	Letra grega minúscula zeta
ρ	Densidade
B	Força de empuxo
G	Centro de gravidade
θ	Ângulo de deslocamento
M	Metacentro transversal
T	Empuxo
V_o	Velocidade tangencial da roda
V	Velocidade da embarcação

Sumário

I	ASPECTOS GERAIS	13
1	INTRODUÇÃO	14
II	TAP	15
2	TERMO DE ABERTURA DO PROJETO	16
2.1	Gerenciamento	16
2.1.1	Justificativa	16
2.1.2	Proposta	17
2.1.3	Recursos humanos	17
2.1.4	Scrum	18
2.1.5	Ferramentas	19
2.1.6	Stakeholders	20
2.1.7	Premissas	20
2.1.8	Cronograma	20
2.1.9	Estimativa de custos	22
2.1.9.1	Eletrônica	23
2.1.9.2	Estruturas	23
2.1.9.3	Energia	24
2.1.9.4	Viabilidade Financeira	24
2.1.10	Levantamento de Riscos	24
2.1.11	Estrutura Analítica de Projeto	26
2.1.12	Roadmap	26
III	ESCOPO	29
3	ESCOPO	30
3.1	Escopo do projeto	30
3.1.1	Visão do produto	30
3.1.2	Objetivos Gerais	32
3.1.3	Objetivo Específicos	32
4	DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES E RESPONSABILIDADES	33
4.1	Integração	34
4.2	Requisitos	35

4.2.1	Software	35
4.2.2	Eletrônica	35
4.2.3	Energia	36
4.2.4	Estrutura	37
4.2.5	Lista É/ Não É	38
IV	CONCEPÇÃO DO PROJETO	39
5	CONCEPCAO	40
5.1	Eletrônica	40
5.1.1	Dados a serem coletados	40
5.1.2	Mecanismos de coletas de dados	41
5.1.2.1	Sonda de oxigênio dissolvido	41
5.1.2.2	Sensor de potencial Hidrogeniônico (pH)	43
5.1.2.3	Sensor de temperatura	44
5.1.2.4	Sensor de turbidez	45
5.1.2.5	Sensor de proximidade	46
5.1.2.6	Sensor de condutividade	47
5.1.2.7	Sistemas de geolocalização e comunicação	48
5.1.2.8	Microcontrolador ESP32	49
5.1.3	Código dos sensores	50
5.1.3.1	Códigos adaptados	50
5.1.3.1.1	Códigos DF Robot	50
5.1.3.1.2	Códigos de outros repositórios	51
5.1.3.2	Códigos autorais	51
5.1.3.3	Potência do sistema	52
5.1.4	Controle	52
5.1.5	Sistema embarcado	55
5.1.6	Sistema de sinalização	56
5.1.7	Fluxograma de funcionamento do sistema	56
5.1.8	Circuitos	57
5.2	Software	59
5.2.1	Especificações de Software	59
5.3	Energia	72
5.3.1	Demanda energética dos sistemas	72
5.3.2	Sistema de geração	72
5.3.2.1	Introdução ao sistema fotovoltaica off-grid	72
5.3.2.2	Justificativa da escolha das baterias	73
5.3.2.3	Dimensionamento do sistema	73

5.3.3	Disponibilidade de recursos energéticos e capacidade de geração	74
5.3.3.1	Efeito da geometria e distribuição na produção diária	75
5.3.3.2	Teoria da Reflexão - Albedo	79
5.4	Estruturas	79
5.4.1	Flutuabilidade e Estabilidade	79
5.4.1.1	Cálculo do volume, densidade e empuxo da estrutura	82
5.4.2	Simulações	84
5.4.3	Definição de Materiais	96
5.4.3.1	Estrutura Flutuante	96
5.4.3.2	Eixos Propulsores e Pás	101
5.4.3.3	Estruturas Metálicas	102
5.4.4	Diagrama geral de funcionamento da estrutura	111
5.4.5	Resposta dinâmica do sistema	112
5.4.5.1	Dimensionamento de Desempenho	113
5.4.5.2	Resposta do Tempo de Parada	115
5.4.5.3	Resposta de aceleração	117
5.4.5.4	Resposta à frenagem	118
5.4.5.5	Resposta à Rotação	120
REFERÊNCIAS		122
APÊNDICES		124
APÊNDICE A – DECISÕES E APRENDIZADOS EM SOFTWARE .		125
APÊNDICE B – ÍNDICE DE CÓDIGO NO GITHUB		126
APÊNDICE C – CÓDIGO DE CONTROLE MATLAB		127
APÊNDICE D – ESQUEMÁTICOS DO CIRCUITO E PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO		128
APÊNDICE E – DESENHOS TÉCNICOS		131
APÊNDICE F – CÓDIGO		153
ANEXOS		162
ANEXO A – ESQUEMÁTICOS DOS SENSORES		163

Parte I

Aspectos Gerais

1 Introdução

O cuidado com o meio ambiente é, sem dúvida, uma das maiores preocupações da humanidade do século XXI. Dentre as diversas ameaças à conservação ambiental, a poluição hídrica tem se mostrado particularmente desafiadora: além de impactar diretamente na vida da flora e da fauna a que abastece, os lagos e demais reservatórios de água doce são fonte basilar para o desenvolvimento de atividades econômicas essenciais, como a agricultura, o turismo, e a produção industrial.

Nesse sentido, visando atender ao bem-estar social, bem como aos interesses de mercado, o projeto “AquaData” se propõe a analisar os diversos aspectos fundamentais para a garantia da qualidade da água. Parâmetros como o potencial hidrogeniônico (pH), temperatura, níveis de nitrogênio e oxigênio, turbidez e condutividade da água serão fornecidos para os clientes em uma base de dados na aplicação, possibilitando que tomem as melhores decisões possíveis em seus investimentos, e fornecendo maior aparato tecnológico para estudantes universitários engajados em pesquisas ambientais e ecológicas. Dessa forma, o AquaData se mostra uma solução viável e interessante para os problemas relatados.

O Aquadata consiste de uma boia autônoma com sensores para medir diversos parâmetros relativos à qualidade da água, estes dispositivos farão essa medição a cada intervalo curto de tempo, após isso um microcontrolador recolhe esses dados e envia para um servidor central que disponibilizará essas informações em uma API. Uma página web consome esses dados e disponibiliza de forma visual e organizada para o usuário, além de mostrar a atual localização da boia e disponibilizar relatórios sobre a qualidade da água.

Parte II

TAP

2 Termo de Abertura do Projeto

Há um grande interesse mundial de diminuir a poluição e transformar o mundo melhor para futuras gerações. Por meio desse projeto é apresentado uma forma de oferecer um meio eficaz de controlar a qualidade de água doce, a partir de sensoriamento, que pode ser movimentado e ter seus sensores controlados a partir de uma aplicação, a fim de dar ao cliente pleno controle de seu empreendimento, tendo em vista que o consumidor final será empresas governamentais, pesquisadores e clubes.

Nome do Projeto
AquaData

Data de abertura	Código do Projeto
01/08/2021	9

2.1 Gerenciamento

2.1.1 Justificativa

No que tange a sustentabilidade e ao meio ambiente, uma preocupação que se tornou mais relevante nos últimos anos foi com os ecossistemas aquáticos, especialmente com os corpos de água doce. Um dos motivos da preocupação com o aumento desta forma de poluição é o impacto direto a fauna e flora marinha, além de afetar a população humana que depende desta água, como por exemplo gerências de clubes, condomínios, equipes de turismo e até prefeituras que dependem da qualidade da água de suas localidades para gerar renda e garantir o bem estar de sua comunidade.

Ainda que haja uma gama de leis brasileiras voltadas para a preservação dos bens hídricos, existe uma (CONAMA, 2012) dificuldade notável no que tange ao seu monitoramento- a resolução de número 454 do Conselho Nacional do Meio Ambiente , por exemplo, estabelece uma série de critérios a serem analisados para garantir a viabilidade do uso da água, mas faltam os mecanismos e recursos necessários para a fiscalização adequada das águas doces, tais como a ausência de coordenação entre os instrumentos da política ambiental, que não definem as etapas de diagnóstico da água, a inexistência de flexibilidade na determinação dos padrões de qualidade, as barreiras de estruturação de sistemas de gestão, como comitês e agências, e a falta de um banco de dados com informações ambientais dos sistemas hídricos, mencionados no artigo "Análise da sustentabilidade ambiental do sistema de classificação das águas doces superficiais brasileiras"(PIZELLA; SOUZA, 2007).

A partir desta realidade, o projeto AquaData tem função principal centralizar em um

único dispositivo a medição e análise da água afim de assegurar sua qualidade. Para isso seguindo à risca as regulações e leis brasileiras que cuidam da água e de sua qualidade.

2.1.2 Proposta

O projeto foi pensado com a proposta de ajudar na monitoração das águas doces do país, colaborando na identificação de invasões irregulares, medição de parâmetros, identificação de água apropriada para banho e turismo, assim formando uma base de dados da parte híbrida do Brasil.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA no uso de suas competências no dia 17 de março de 2005 criou a resolução nº 357 que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos de água superficiais, bem como as condições e padrões de lançamento de efluentes (CONAMA, 2005). Essa resolução classifica os corpos de água como água doce, águas salinas e águas salobras. Dessa forma observaremos os seguintes padrões informados por essa resolução: Oxigênio dissolvido não pode ser inferior a 6mg/l, pH variando entre 6 a 9, até 40 unidades nefelométrica de turbidez, o nitrogênio depende do pH da água seguindo pelos seguintes padrões para um 3.7 mg/L N para pH 7.5, 2mg/L N para 7.5<pH 8, 1mg/L N para 8 < pH 8.5 e por fim 0.5 mg/L N, para pH > 8.5.

A partir dos critérios coletados foi traçado um público alvo para um mercado do produto proposto, que têm foco em clubes, universidades, ONGs e agências de regularização do governo.

2.1.3 Recursos humanos

A equipe é uma integração de engenheiros das áreas de energia, eletrônica, aeroespacial, software e automotiva. Sendo organizados a partir de um coordenador geral, um diretor de qualidade, três diretores técnicos e dez desenvolvedores, formados por:

- Coordenador Geral: Julia de Melo Franco Fernandes
- Diretor de Qualidade: Lucas Ganda Carvalho
- Eletrônica:
 - Diretor técnico: Leonardo Sampaio Barros
 - Desenvolvedor: Henrique Caracioli da Mata Gouveia
 - Desenvolvedor: Rebecca Kristina Mendes de Sousa
 - Desenvolvedor: Eduardo Martins Costa
 - Desenvolvedor: Danilo Ribeiro Tosta
- Estruturas:

- Diretor técnico: Alexandre Alencar de Melo
 - Desenvolvedor: João Pedro Leal Vieira
 - Desenvolvedor: Mayra Carolina Pinto de Souza
 - Desenvolvedor: Filipe Miranda de Macedo
- Software:
 - Diretor técnico: Felipe Campos de Almeida
 - Desenvolvedor: Kairon Velozo Brito
 - Desenvolvedor: Lieverton Santos Silva
 - Desenvolvedor: Wictor Bastos Girardi

2.1.4 Scrum

O SCRUM é uma das mais famosas e utilizadas metodologia ageis modernas e que vem se destacando pela sua efetividade e organização. Derivada de um termo do Rugby, o scrum busca auxiliar nas entregas de valor, com mais rapidez, adaptabilidade e eficiência, tudo isso de uma maneira onde as tomadas de decisões são sempre executadas por meio de observações e trabalhando na constante otimização para mudanças.

O seu principal artefato, que relaciona todos os eventos e papéis dentro do projeto é o Backlog, ele é uma fonte de informacao, por meio de uma lista, sobre todas as demandas ou tarefas do produto de forma clara e concisa, além de representar o progresso do time, por meio de suas finalizações, impedimentos e afins.

Por isso, o gerenciamento foi feito a partir disso, dentro do Scrum temos alguns papéis e eventos de destaque:

- Sprint
 - São as iterações no processo de desenvolvimento.
 - A Sprint foi dividida por semana, com o término de cada uma sendo toda sexta-feira.
 - Em cada Sprint são programadas a realizações de tarefas.
 - São estabelecidas metas, e ao final o produto deverá estar terminado
- Planejamento da Sprint
 - Evento de planejamento da próxima sprint, ocorre semanalmente. Esta reunião busca responder as demandas do Product Owner, bem como alocar tarefas e adequar a disponibilidade com habilidades dos desenvolvedores para entregar valor;
 - O planejamento foi decidido no início do projeto, com o formato de cronograma.

- Pré-Sprint
 - A reunião de pré sprint ocorre de sete em sete dias com duração de 45 min, entre cada equipe técnica. É alinhado ao planejamento da sprint entre os desenvolvedores, conforme decidido na reunião de planejamento
 - São atribuídos e discutidos os backlogs da sprint
 - Cada reunião pré-sprint ocorre a cada 7 dias, antes da reunião geral.
- Daily/Stand-up
 - São reuniões diárias e curtas
 - São feitas atualizações diárias do desenvolvimento pelo grupo do telegram.
- Sprint Review
 - É o período final de revisão da sprint, geralmente com um Time-box, em que as tarefas realizadas da Sprint são demonstradas para o time e validadas pelo Product Owner como "feitas" ou "necessitando ajustes".
 - Todo domingo é feita a revisão de tudo o que foi feito pelos diretores e coordenador.
- Retrospectiva da Sprint
 - É um evento que possibilita que o time possa avaliar como foi a Sprint, com pontos positivos ou de melhoria. Ela tem o objetivo de melhorar a qualidade e eficácia do trabalho desenvolvido por todo o time, buscando melhorar o processo.
 - A retrospectiva é feita a cada ponto de controle.

2.1.5 Ferramentas

Para um melhor gerenciamento, cronograma e acompanhamento do projeto foram utilizadas algumas ferramentas:

- Telegram: Utilizado para comunicação com o intuito de agilizar e revisar os pontos do projeto
- Discord: Utilizado para reuniões semanais (Sprints e pré-sprints), dividido em geral e em cada subgrupo.
- Trello: Utilizado para uma melhor visualização e controle do que já foi feito e que ainda não.
- Google Drive: Utilizado para guardar documentos, organização do projeto e atas de reuniões

- Overleaf: Utilizado para a realização dos relatórios
- GitHub: Utilizado para repositório do projeto
- Visio e LucidChart: Utilizado para a montagem de diagramas
- ASANA: Utilizado para a montagem do cronograma e acompanhamento do coordenador

2.1.6 Stakeholders

Além dos colaboradores e alunos que fazem parte do o time responsável pelo desenvolvimento do projeto, os professores também assumem o papel de stakeholders, sendo-lhes atribuída a orientação, o auxilio nas tomadas de decisao e na definicao do escopo, bem como no levantamento de questionamentos tecnicos e de avaliacao do projeto, sao esses:

Alex Reis - Engenharia de Energia;

José Felício da Silva - Engenharia Eletronica;

Paolo Gessini - Engenharia Aeroespacial;

Rhander Viana - Engenharia Automotiva;

Ricardo Matos Chaim - Engenharia de Software;

2.1.7 Premissas

O produto foi arquitetado com as seguintes premissas:

- O cliente terá acesso a todo banco de dados da região com a opção de pagamento por mês;
- O cliente poderá escolher quais parâmetros medir
- O cliente terá acesso a mapas, gráficos e tabelas com os parâmetros
- O cliente deverá se responsabilizar pela integração do produto
- A equipe se responsabilizará por falha na vedação da máquina
- A equipe fornecerá um dashboard de fácil compreensão
- O produto foi projetado a partir das resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente

2.1.8 Cronograma

Para o bom funcionamento do projeto e a preocupação de não sobrecarregar um fim de semestre, foi proposto um cronograma de execução. O cronograma está evidenciado nas imagens 1, 2, 3 e 4.

O cronograma foi calculado com reuniões gerais e técnicas, em que cada subgrupo programou pelas datas de entrega do produto e com as tarefas divididas, ele foi feito pela ferramenta ASANA.

Gerenciamento	
<input checked="" type="checkbox"/> Definição dos grupos	30 Jul - 4 Ago
<input checked="" type="checkbox"/> Requisitos e escopo de projeto	22 - 30 Jul
<input checked="" type="checkbox"/> Definição de apps para controle	5 - 10 Ago
<input checked="" type="checkbox"/> Gerenciamento organizacional	30 Jul - 10 Ago
<input checked="" type="checkbox"/> Cronograma geral	9 - 12 Ago
<input checked="" type="checkbox"/> Modelo de relatório	9 - 11 Ago
<input checked="" type="checkbox"/> TAP	9 - 12 Ago
<input checked="" type="checkbox"/> EAP	9 - 11 Ago
<input checked="" type="checkbox"/> Checagem semanal de projeto	30 Jul - 5 Nov

Figura 1 – Primeira parte do Cronograma

Eletrônica	
<input checked="" type="checkbox"/> Projeto dos esquemáticos finais	25 Out - 1 Nov
<input checked="" type="checkbox"/> Integração do circuito eletrônico com estrutura e fonte de alimentação	11 - 24 Out
<input checked="" type="checkbox"/> Simulação dos circuitos	27 Set - 11 Out
<input checked="" type="checkbox"/> Desenvolvimento dos códigos para os sensores e integração com sistema embarcado	6 - 26 Set
<input checked="" type="checkbox"/> Projeto dos esquemáticos iniciais e diagrama de blocos	24 Ago - 5 Set
<input checked="" type="checkbox"/> Orçamento inicial dos componentes eletrônicos	9 - 12 Ago
<input checked="" type="checkbox"/> Levantamento dos requisitos do sistema	9 - 23 Ago
<input checked="" type="checkbox"/> Levantamento dos parâmetros a serem mensurados com base nos órgãos regulamentadores	9 - 24 Ago
<input checked="" type="checkbox"/> Definição dos escopos e objetivos do projeto	2 - 11 Agp

Figura 2 – Segunda parte do Cronograma

Software	
<input checked="" type="checkbox"/> Definir requisitos	7 - 10 Ago
<input checked="" type="checkbox"/> Definir cronograma	7 - 14 Ago
<input checked="" type="checkbox"/> Definir arquitetura	7 - 14 Ago
<input checked="" type="checkbox"/> Realizar protótipo	7 - 14 Ago
<input checked="" type="checkbox"/> Definir proposta de inovação	7 - 14 Ago
<input checked="" type="checkbox"/> Criar histórias de usuário	15 - 22 Ago
<input checked="" type="checkbox"/> Criar diagramas de especificação	15 - 22 Ago
<input checked="" type="checkbox"/> Configurar repositórios	15 - 22 Ago
<input checked="" type="checkbox"/> Comunicação dos sensores com a esp32	23 Ago - 5 Set
<input checked="" type="checkbox"/> Desenvolvimento do servidor	23 Ago - 5 Set
<input checked="" type="checkbox"/> Desenvolvimento do mock	7 Set - 12 Set
<input checked="" type="checkbox"/> Desenvolvimento da interface básica	7 Set - 27 Set
<input checked="" type="checkbox"/> Comunicação da esp32 com o servidor	13 Set - 20 Set
<input checked="" type="checkbox"/> Desenvolvimento do mapa para localização da boia	28 Set - 9 Out
<input checked="" type="checkbox"/> Desenvolvimento dos gráficos de histórico	29 Set - 6 Out
<input checked="" type="checkbox"/> Revisão e aprofundamento	6 Out - 5 Nov

Figura 3 – Terceira parte do Cronograma

Estrutura	
<input checked="" type="checkbox"/> Problematização	9 Ago - 3 Set
<input checked="" type="checkbox"/> Concepção e detalhamento da solução	9 Ago - 3 Set
<input checked="" type="checkbox"/> Projeto e construção da solução proposta	4 - 24 Set
<input checked="" type="checkbox"/> Projeto de subsistemas e integração da solução proposta	25 Set - 29 Out
<input checked="" type="checkbox"/> Revisão do projeto	29 Out - 5 Nov

Figura 4 – Quarta parte do Cronograma

2.1.9 Estimativa de custos

Para a confecção do projeto foi feita uma estimativa inicial dos custos, pensando nos equipamentos e materiais que deverão ser utilizados após ser feita uma pesquisa de mercado. O orçamento é apenas inicial, podendo ser alterado com o avanço do desenvolvimento da boia.

Com o intuito de ter uma ordem comum no relatório e uma melhor visualização, os custos também foram divididos por área. Os custos de software ainda estão sendo analisados.

2.1.9.1 Eletrônica

Como mencionado em objetivos, o CONAMA estabelece algumas variáveis para a determinação da qualidade da água, a partir delas foi determinado os melhores tipos de sensores para cumprir a função de fornecer as melhores informações de dados para o cliente.

Na tabela 1 mostra a estimativa inicial dos sensores que serão utilizados no projeto.

Tabela 1 – Estimativa de Custo - Eletrônica

Sensores	Valor R\$	Quantidade	Fornecedor	Total R\$
Oxigênio	1065,30	1	Akso	1065,30
Nitrogênio	742,36	1	banggood	742,36
PH	206,44	1	Mercado Livre	206,44
Temperatura				
Prova d'água	16,90	1	Hu infinito	16,90
Turbidez	184,02	1	Mercado Livre	184,02
Condutividade	269,90	1	Mercado Livre	269,90
Modulo sensor Infravermelho	17,25	4	Hu infinito	69,00
Esp32	63,00	1	Mercado Livre	63,00
Sensor de proximidade	79,99	4	Casa da Robótica	319,96
Total	2936,88			

2.1.9.2 Estruturas

A fim de estimar um valor inicial do orçamento previsto para o produto, no que se refere a parte propulsora e estrutural, foram feitas pesquisas de mercado de materiais escolhidos que estão aptos a garantir o funcionamento do sistema.

Tabela 2 – Estimativa de Custo - Estruturas

Material	Unidade			Fonte	Total
Manta de Fibra de Vidro 450 g/m ²	Kg	R\$ 50,00	3,77	Ideal Resinas	R\$ 188,73
Resina Poliéster	Kg	R\$ 64,90	9,44	Americanas	R\$ 612,43
Espuma de Poliuretano	Kg	R\$ 93,28	11,48	Redelease	R\$ 1.070,85
Espuma de PVC	m ²	R\$ 168,43	4,19	e-composites	R\$ 706,40
Motor	Un	R\$ 76,98	1,00	Mercado Livre	R\$ 76,98
Acoplamento Flexível de Eixo	Un	R\$ 21,89	1,00	Mercado Livre	R\$ 21,89
Eixo de Aço Inox	m	R\$ 95,00	2,00	Mercado Livre	R\$ 190,00
Rodas de Pás de Aço Inox	m ²	R\$ 81,56	0,54	Casa do Serralheiro	R\$ 44,37
Mancal de Aço Galvanizado	m	R\$ 11,16	3,66	Casa do Serralheiro	R\$ 40,82
Total:	R\$ 2.952,47				

A partir da tabela 2, é visualizável a maior influência no preço dos recursos destinados a laminação da estrutura e ao material que garante flutuabilidade ao sistema.

2.1.9.3 Energia

Foi estabelecido que será utilizado painéis solares para energizar todo o circuito, a partir disso, foram escolhidos kits de painéis e baterias para uma melhor confecção de projeto.

Na tabela 3 mostra o orçamento inicial desses componentes.

Tabela 3 – Estimativa de Custos - Energia

Componente	Preço unitário	Quantidade	Frete estimado	Valor total
Kit 3 Painéis Solares (50 W)	R\$ 635,67	2	R\$ 44,79	R\$ 1.316,13
Kit 2 Painéis Solares (50 W)	R\$ 438,43	1	R\$ 31,53	R\$ 469,96
Bateria de chumbo-ácido (220 Ah)	R\$ 1.549,00	2	R\$ 200,00	R\$ 3.298,00
Controlador de Carga MPPT (30 A)	R\$ 63,00	1	R\$ 77,90	R\$ 134,90
Preço Total	R\$ 5.218,99			

2.1.9.4 Viabilidade Financeira

De acordo com o orçamento tomado como base a partir das estimativas de custo dos componentes de eletrônica(tabela 1), de estruturas(tabela 2) e de energia (tabela 3), o valor aproximado de um possível protótipo da AquaData foi estimado em R\$11.108,34 levando em consideração os requisitos e objetivos propostos.

2.1.10 Levantamento de Riscos

O levantamento de riscos do projeto foi separado por áreas, em que foi feita uma análise nos possíveis problemas e quais poderiam ser suas soluções. A partir desse levantamento, poderá ser aperfeiçoada as confecções e planejamento dos riscos.

As tabelas 4 , 5 e 6 são divididas por tipos de risco, descrição de risco e impacto, categoria e qual poderia ser sua causa.

Tabela 4 – Riscos eletrônicos

Risco	Descrição do Risco	Descrição do Impacto	Categoria	Causa
1	Oxidação do circuito elétrico devido ao contato com a água.	Caso o isolamento falhe e o circuito elétrico entre em contato com a água, a oxidação danificará todos os componentes do circuito eletrônico, impedindo o funcionamento da boia.	Climática/Ambiental	Exposição ao ambiente.
2	Falha no sistema de sensores	Os dados não seriam coletados, logo a boia não cumpriria seu propósito	Eletrônica	Falhas mecânicas ou eletrônicas.
3	Falha no sistema de controle	Caso o sistema de controle falhe, é possível que a boia saia de seu perímetro, ou ainda pare de se locomover	Eletrônica	Falha eletrônica
4	Falhas de comunicação	Caso o sistema de comunicação falhe, a boia poderia perder seu posicionamento e/ou parar a transmissão de dados.	Eletrônica	Falha eletrônica
5	Falha de calibração dos sensores	Caso os sensores estejam mal calibrados, os dados coletados podem ser incorretos	Eletrônica	Falha humana
6	Falha de manutenção	O circuito elétrico precisará de manutenção com o tempo, que caso feita de forma incorreta pode afetar os demais sistemas eletrônicos da boia.	Mecânica	Falha humana

Tabela 5 – Riscos estruturais

Risco	Descrição do Risco	Descrição do Impacto	Categoria	Causa
1	Corrosão da estrutura devido ao contato constante com a água, podendo causar falha ou dano estrutural.	A corrosão pode causar perdas e deterioração dos materiais, perda de resistência mecânica e falhas estruturais.	Climática/Ambiental	Exposição ao ambiente.
2	Colisão com outras embarcações, banhistas, objetos flutuantes ou submersos (lixo descartado na lagoa, placas sinalizadoras, plantas aquáticas, etc.), animais aquáticos e aves, e construções como pontes, decks, etc. que possam causar danos estruturais.	Impactos podem ocasionar esforços mecânicos, deformações e fraturas.	Navegação / Interferência Externa	Exposição a um ambiente sujeito a presença de pessoas, animais e construções.
3	Falha no sistema estrutural de estabilidade e flutuação da boia.	Pode ocasionar perdas de equipamentos e componentes estruturais e o afundamento da boia.	Mecânica	Falhas mecânicas ou eletrônicas.
4	Falhas mecânicas na estrutura da boia, nas pás e nos eixos do motor.	Podem comprometer o funcionamento da boia.	Mecânica	Esforços mecânicos.
5	Falhas de manutenção.	Podem ocasionar falhas mecânicas, e comprometer equipamentos e componentes estruturais.	Mecânica	Erros humanos.
6	Danos causados por fatores ambientais e condições climáticas como ventos, chuvas, temporais, etc.	Podem ocasionar a redução da vida útil de equipamentos e componentes estruturais.	Climática / Ambiental	Exposição ao ambiente.
7	Danos estruturais causados por encalhamento.	Podem causar esforços mecânicos e deformações na estrutura da boia.	Navegação	Erros de navegação.
8	Danos causados por vandalismo e roubo.	Pode ocasionar a perda ou deterioração de equipamentos e componentes estruturais.	Interferência Externa	Exposição às ações humanas.

Tabela 6 – Riscos energéticos

Risco	Descrição do Risco	Descrição do Impacto	Categoria	Causa
1	Superaquecimento de baterias	Caso elas venham a superaquecer, podem expandir e danificar outras estruturas, podendo até mesmo explodir.	Ambiental / Segurança	Falhas em controlar o carregamento das baterias Falha em Inverter as fases da onda
3	Descargas Elétricas Indesejadas	Em casos leves, pode gerar interferências nas coletas de dados e, em casos mais graves, pode queimar circuitos internos e ferir ou matar alguém.	Ambiental / Segurança	Subdimensionamento do sistema de aterramento Queima de algum circuito interno Sobrecarga de baterias
3	Insuficiência no fornecimento de energia	A insuficiência de fornecimento de energia pode gerar descontinuidade de sistemas e erros numéricos que, ao longo do tempo, podem tornar o equipamento inutilizável.	Segurança	Subdimensionamento do sistema de armazenamento Falhas no controlador de carga
3	Falha em Inverter as fases da onda	Esse erro pode gerar uma sobrecarga do controlador de carga, facilitando um fornecimento inadequado de energia para as baterias e, consequentemente, seu superaquecimento.	Ambiental / Segurança	Subdimensionamento do Inversor Falhas internas do inversor por falta de manutenção

Na tabela 7 descreve o que foi considerado em cada categoria.

Tabela 7 – Descrição das categorias

Categorias	Descrição das Categorias
Mecânica	Referente à estrutura e ao sistema ativo de estabilidade da boia.
Eletrônica	Referente aos circuitos e componentes eletrônicos presentes na boia
Climática/ Ambiental	Referente às características climáticas e ambientais do meio ao qual a boia será exposta.
Segurança	Referente a integridade física tanto do equipamento como de terceiros que possam ser prejudicados por falhas no sistema.
Navegação	Referente ao sistema de navegação da boia.
Interferência Externa	Referente às interferências de caráter humano.

Fundamentado nas tabelas acima, foi discutido e analisado as probabilidades e o impacto que cada risco poderia causar no sistema, então foi feita uma matriz de probabilidade de quais riscos possuem grande ou baixo impacto, mostrada em 8, as probabilidades foram analisadas em conjunto dos materiais e em discussões de sprints.

Tabela 8 – Matriz de Probabilidade x Impacto

Probabilidade	Matriz de Probabilidade x Impacto				
	Muito alta	Alta	Risco 6	Risco 1	Risco 2
Alta					Riscos 3 e 4
Moderada					
Baixa		Risco 8		Riscos 5 e 7	
Muito baixa					
Impacto	Muito baixo	Baixo	Moderado	Alto	Muito Alto

Tabela 9 – Legenda da Matriz de Probabilidade X Impacto

Legenda		
Baixo Risco	Médio Risco	Risco Crítico

2.1.11 Estrutura Analítica de Projeto

Foi feita a estrutura analítica de projeto para uma percepção das funcionalidade de cada subgrupo. A composição do EAP também foi discutida em sprint, determinando os passos do projeto. A figura 5 foi composta na ferramenta do desenhos google e separado por frequência de cores de acordo com o subgrupo.

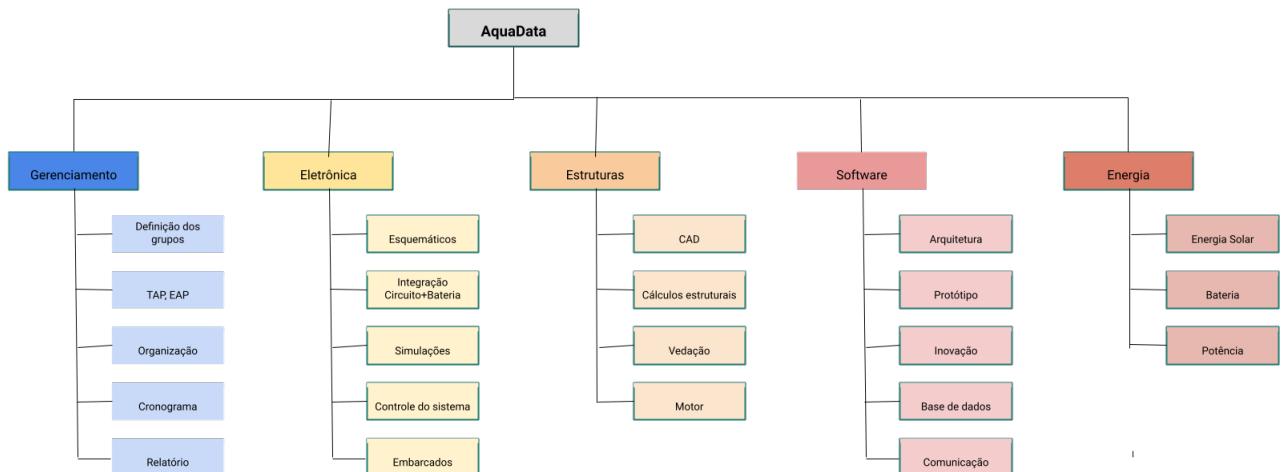


Figura 5 – EAP do Projeto

2.1.12 Roadmap

Além do cronograma, foi composto um roadmap para a visualização. Ele foi formado a partir do cronograma, também pela ferramenta ASANA, nele é possível colocar check-list para a visualização de tarefas já realizadas.

Pode-se verificar o roadmap nas imagens 6, 7, 8 e 9, divididas da mesma forma que o cronograma.

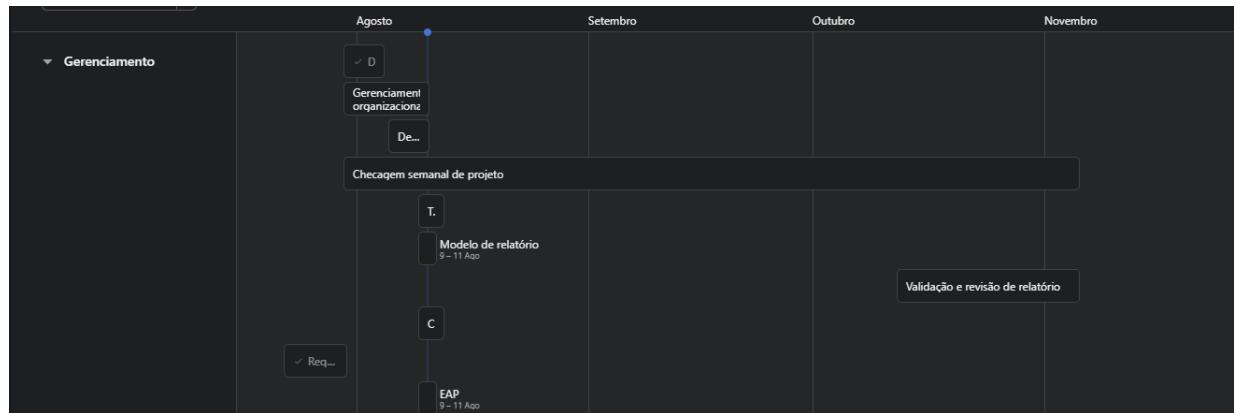


Figura 6 – Primeira parte do RoadMap

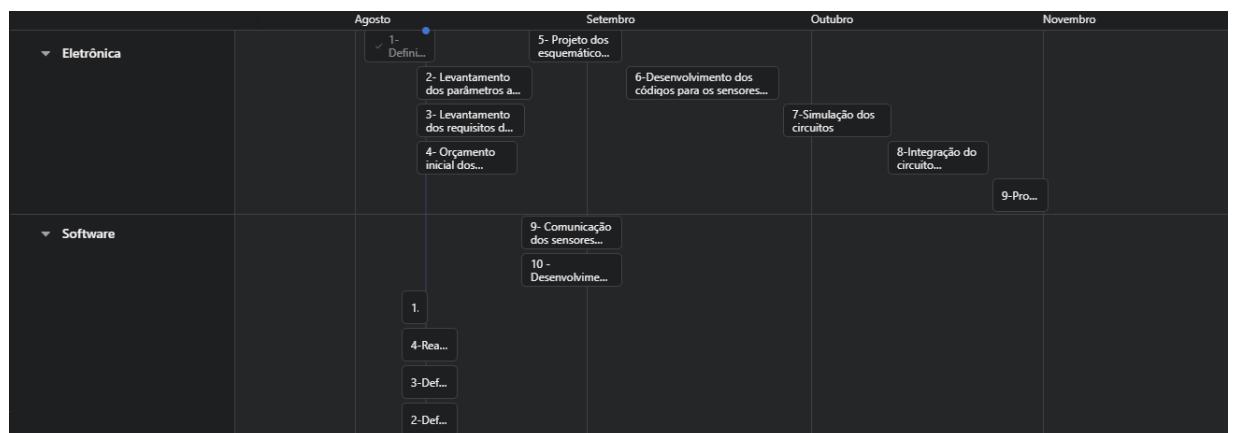
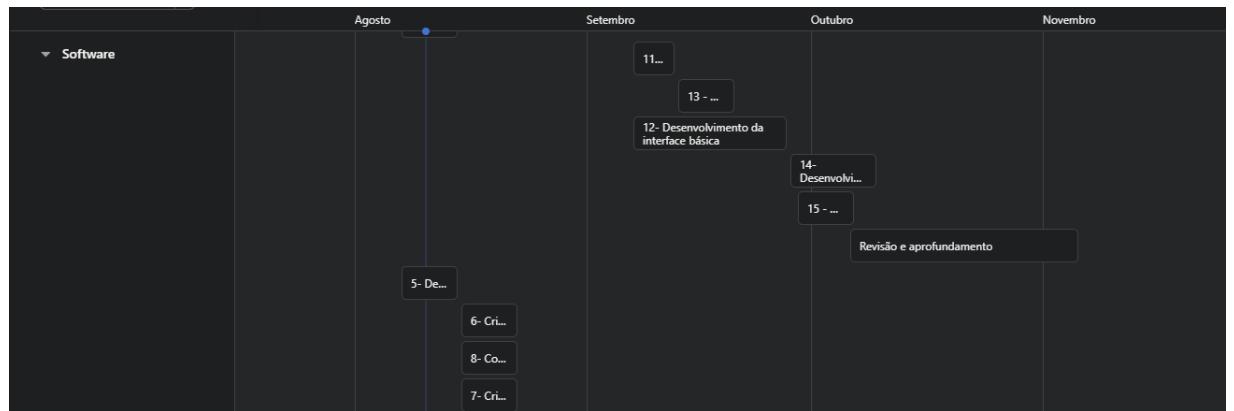


Figura 7 – Segunda parte do RoadMap



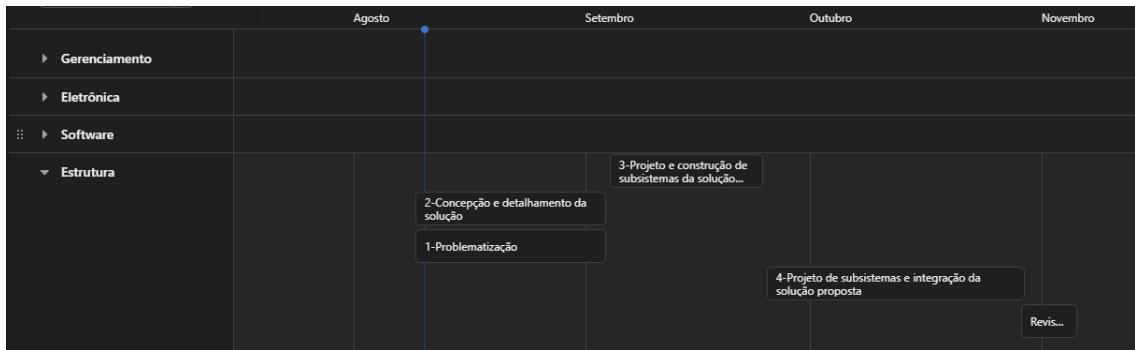


Figura 9 – Quarta parte do RoadMap

Parte III

Escopo

3 Escopo

Neste capítulo serão destrinchados tanto objetivos gerais quanto objetivos específicos do projeto, auxiliando assim na compreensão dele. Serão elucidados também os objetivos de cada área componente do projeto, sendo elas as de eletrônica, estrutura e software.

3.1 Escopo do projeto

O projeto apresentado neste documento será desenvolvido de forma remota utilizando as ferramentas e métodos supracitados visando atingir um nível de concepção elaborado o suficiente para se tornar uma proposição real de mercado. Para alcançar este fim, será construído ao longo dos capítulos um protótipo que abarcará todo o conteúdo necessário para futura construção física de um Aquadata.

O protótipo auxiliará na visualização do funcionamento real do projeto, permitindo assim avaliar se as funcionalidades propostas atendem as necessidades de mercado, bem como garantir que os objetivos aqui propostos foram alcançados. A fim de facilitar o levantamento de requisitos e objetivos do produto, a equipe de projetistas utilizou algumas técnicas, são elas:

- Projeto visual da estrutura, dos circuitos e das interfaces computacionais: facilita a compreensão da proposta física do projeto, auxiliando na definição dos objetivos e requisitos.
- Levantamento dos parâmetros de medição da qualidade da água: Neste processo, a equipe identifica os principais parâmetros a serem medidos, bem como a forma adequada de medição, auxiliando na definição dos componentes e funcionalidades da boia.
- Definição de objetivos: Auxilia na delimitação das funcionalidades da boia e, consequentemente, guia a projeção estrutural, computacional e embarcada do projeto.
- Definição de requisitos: Coaduna com os objetivos, estabelecendo o que deve ser atribuído de funcionalidade à boia, bem como evidencia as atribuições de cada núcleo.
- Lista É/ Não É: Tabela que evidencia os objetivos almejados e requisitos.

3.1.1 Visão do produto

Como citado anteriormente, a figura 10 trás o projeto visual de como a estrutura física da boia seria projetada. Pode ser observado na figura que há alguns pontos destacados, são eles:

- Pás: Responsáveis pelo deslocamento da boia.
- Sensores: Os sensores que necessitam estar em contato com a água para realizar sua medição serão projetados para fora da estrutura através de um cano circular, para garantir a preservação da vedação do circuito presente no interior da estrutura bem como dos demais componentes que não podem entrar em contato com a água.
- Eixo: guia a movimento de rotação da boia;
- Mancal e suporte do mancal: Dão suporte ao eixo para aguentar a carga;
- Boia lateral: garante a flutuação e rotação da boia;
- Placa solar: Converte luz solar em energia para alimentar a bateria da boia, garantindo autonomia dela, por ser uma fonte de energia renovável;
- Torre: estrutura de apoio a sinalizações;
- Sinalização: Permite a visualização da boia por embarcações que se aproximarem dela, para evitar possíveis colisões.

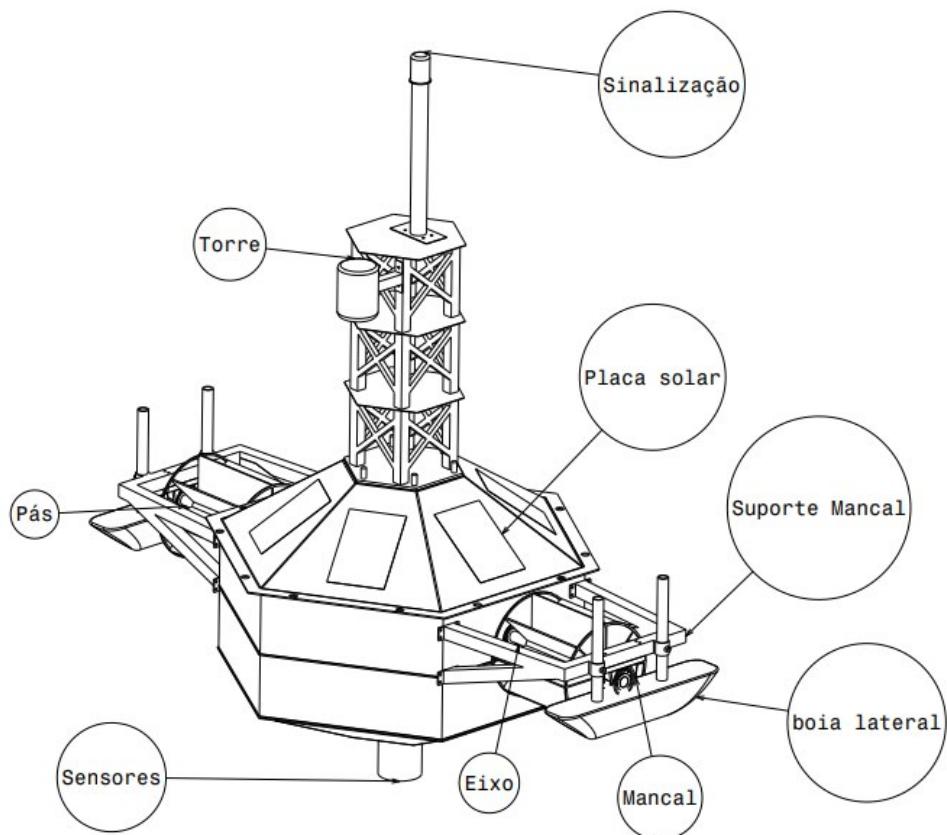


Figura 10 – Pré-estrutura do projeto

3.1.2 Objetivos Gerais

O objetivo geral do projeto se baseia no desenvolvimento de uma forma autônoma de medição dos parâmetros da qualidade da água a cada pequeno curto espaço de tempo. Dessa forma o usuário sempre terá os dados mais recentes e atualizados possíveis para que possa utilizar da forma que for melhor se encaixar ao seus interesses. Além disso, o sistema deve ser capaz de produzir relatórios mostrando o histórico e comparando os dados.

3.1.3 Objetivo Específicos

Os objetivos específicos do projeto são :

- Software:

- Desenvolvimento de uma aplicação web que disponibilize para o usuário os parâmetros atuais da água, parâmetros para comparação, a localização da boia e um relatório completo.
 - Concepção de um servidor que receba os dados da boia e os disponibilize na forma de uma API

- Eletrônica:

- Projeto e concepção de sistema embarcado integrado à uma série de sensores que permitam o processamento dos parâmetros da água;
 - Projeto de um sistema de localização que permita o usuário localizar o equipamento;
 - Projeto de iluminação para identificar a estrutura;
 - Concepção de um sistema que permita que a boia volte para terra firme caso seja necessário

- Estruturas:

- Projeto estrutural que seja resistente a impactos físicos ou causados pela água;
 - Realização de cálculos estruturais;
 - Realização de simulações a fim de comprovar o funcionamento do sistema

- Energia:

- Projeto de bateria e sistema de alimentação que mantenha a boia e seus sensores em funcionamento 24/7;
 - Diagrama unifilar;
 - Definição do motor e baterias

4 Descrição das Atividades e Responsabilidades

Com o escopo e objetivos definidos as atividades foram separadas, e nesse capítulo descreveremos os requisitos das atividades que serão desenvolvidas por cada subgrupo e definiremos o produto de maneira mais clara pela lista É/Não É.

Diferentemente dos orçamentos e riscos, as descrição de atividades será dividida em quatro partes: software, eletrônica, energia e estruturas. Cada subgrupo foi designado com uma tarefa essencial para a formação do produto final.

- Software:
 - Comunicação com o usuário(cliente que irá utilizar o produto ou dashboard); comunicação usuário/cliente e produto;
 - Código do sistema embarcados;
 - Interface de usuário;
 - Mock para geração de dados;
 - Código do backend central
- Eletrônica:
 - Formulação de circuitos elétricos;
 - Simulação dos circuitos;
 - Projeto do sistema embarcado;
 - Definição de sensores;
 - Controle da boia
- Energia:
 - Definição de tecnologia de conversão;
 - Definição de baterias;
 - Certificação de demanda máxima de potência;
 - Certificação de demanda máxima de corrente;
 - Certificação de velocidade de carga e descarga das baterias;
 - Determinação do período médio estimado dos ciclos das baterias;
 - Determinação da provável vida útil do sistema de geração e seus componentes;

- Delimitar capacidade de fornecimento e uso de energia para os demais subsistemas.
- Estruturas:
 - Análise e formulação de cálculos estruturais,
 - Definição de CAD;
 - Dimensionamento do produto;
 - Definição de materiais;
 - Processos de fabricação

4.1 Integração

Como todo projeto, os subgrupos precisam ter uma alta comunicação para o seu ótimo funcionamento. Dessa forma, as áreas estão em constante contato e comunicação.

É necessário a integração software-eletrônica para uma boa resolução de sistemas embarcados, os dados adquiridos pela eletrônica são processados e comunicados através de um website para o cliente, em que é preciso uma organização e uma interface otimizada, feita pelos desenvolvedores.

A montagem e cálculo estrutural é medida pelas necessidades dos componentes, todos precisam caber dentro da boia com uma vedação excelente para a execução. A energia deve estabelecer uma bateria que aguente o tamanho da potência necessitada por todos os sensores e motores.

Ao final, a equipe deve estar bem estruturada para uma iniciativa ser de acordo com o esperado. Na imagem 11 mostra um painel de tarefas a realizar e já realizadas por subgrupo, havendo um acompanhamento diário de atrasos, reuniões e estatísticas sobre a qualidade de trabalho.



Figura 11 – Painel de Tarefas

4.2 Requisitos

Nesse capítulo será constatado os requisitos de cada área do projeto. Cada subárea possui seus próprios requisitos, portanto os que precisam do conjunto e integração das áreas foram repetidas de forma específica para validar que aquele tópico particular deverá ser feito em conjunto.

4.2.1 Software

Primeiramente na tabela 10 é exposto os requisitos de software para o projeto.

Tabela 10 – Requisitos de Software

ID	Categoria	Requisito
S00	Embarcado	Realizar comunicação entre o servidor e os dispositivos embarcados através do protocolo MQTT
S01	Embarcado	Conectar o microcontrolador por meio de gsm/gprs para constante envio de informações dos sensores
S02	Embarcado	Tolerar falhas no embarcado relacionadas a queda de energia ou a falha de internet (devendo reconectar automaticamente)
S03	Embarcado	Realizar leitura de dados relativos à água cada 30 minutos
S04	Embarcado	Enviar posicionamento do gps a cada 30 segundos
S05	Servidor	Realizar controle ativo do posicionamento da bóia
S06	Servidor	Disponibilizar os dados em uma API
S07	Servidor	Tratar os dados de forma a eliminar possíveis inconsistências
S08	Servidor	Capacidade de gerenciar várias boias
S09	Servidor	Necessidade de manter-se online, caso ocorra quedas, deve reiniciar automaticamente
S10	Servidor	Cadastrar ou excluir boias
S11	Servidor	Cadastrar super-usuário
S12	Servidor	Salvar dados em um banco de dados
S13	Servidor	Acender LEDs de sinalização da bóia de acordo com o horário

4.2.2 Eletrônica

Na tabela 11 é explorada as categorias e requisitos de eletrônica.

Tabela 11 – Requisitos eletrônica

ID	Categoria	Requisito
EL00	Controle	Controle de deslocamento da boia para um perímetro pré-determinado pelo usuário
EL01	Sensoriamento e controle	Detecção de objetos imóveis ou em baixa velocidade que estejam no trajeto da boia a fim de se evitar colisões
EL02	Integração	Desenvolver o circuito que integre os módulos sensores e o microcontrolador
EL03	Integração	Desenvolver o circuito que integre o microcontrolador à fonte de alimentação
EL04	Instrumentação	Calibração dos sensores para garantir precisão e exatidão nas medições
EL05	Embarcados	Deve haver garantia de funcionamento do sistema embarcado, visto que a aplicação será autônoma
EL06	Alimentação	O sistema deve ser alimentado por uma bateria interna, que será recarregada através de energia solar
EL07	Alimentação	O sistema deve possuir autonomia o suficiente para que complete um ciclo inteiro de medições sem que haja qualquer necessidade de interferência do usuário
EL08	Escolha dos componentes	Os componentes eletrônicos e do sistema de alimentação devem ser o mais leves e compactos possíveis, para possibilitar a aplicação embarcada e flutuação do sistema
EL09	Circuito	Circuito de iluminação externo para facilitar a visualização da boia durante o período da noite

4.2.3 Energia

Na tabela 12 se mostra os requisitos de energia do projeto.

Tabela 12 – Requisitos Energia

ID	Categoría	Requisito
EN00	Comprovar a disponibilidade de recursos energéticos no local	O potencial de geração local das fontes de energia selecionadas deve ser tal que toda a demanda operacional do equipamento seja atendida.
EN01	Definição de fonte primária de energia	A definição dessa fonte primária se dará por meio de análise em bancos de dados geológicos fornecidos como os da [CRESESB].
EN02	Estimar o consumomédio dos equipamentos	Por meio da listagem de equipamentos e suas respectivas frequências e períodos de uso, seria possível estimar a demanda dos equipamentos.
EN03	Estimar a Potência requisitada dos equipamentos	Por meio da listagem de equipamentos e suas respectivas frequências e períodos de uso, seria possível estimar a demanda dos equipamentos.
EN04	Estimativa de horas de consumo energético	Por meio da listagem de equipamentos e suas respectivas frequências e períodos de uso, seria possível estimar a demanda dos equipamentos.
EN05	Estimativa de consumo diário em Watt ou kW/dia	Por meio da listagem de equipamentos e suas respectivas frequências e períodos de uso, seria possível estimar a demanda dos equipamentos.
EN06	Dimensionamento do controlador de carga	O controlador de carga deve ser capaz de fornecer a quantidade de energia exata necessária para carregar as baterias sem danificá-las.
EN07	Dimensionamento das baterias	A capacidade de carga das baterias deve ser tal que a demanda dos equipamentos nunca seja maior que a disponibilidade de energia.
EN08	Dimensionamento do inversor (eólico)	O inversor deve ser capaz de transmitir energia de forma segura e contínua para o controlador de carga.
EN09	Aterramento	O aterramento deve impedir descargas elétricas e proteger o sistema de possíveis acidentes.
EN10	Resistência	A estrutura deve resistir ao possível impacto com uma embarcação;

4.2.4 Estrutura

E por último, na tabela 13 é evidenciado os requisitos para a parte estrutural do projeto.

Tabela 13 – Requisitos Estruturais

ID	Categoría	Requisito
A00	Estrutura metálica	Estrutura deve sustentar a massa de todos os componentes estruturais sem deformação plástica. Materiais com excelente resistência à deformação e leves;
A01	Proteção	Estrutura que respeite os requisitos de proteção dos sensores. Necessidade de passagem de água pelos sensores sem que fiquem exposto a impactos;
A02	Vedaçāo	Todo o sistema de eletrônica será vedado, de forma a proteger todos os elementos de forças externas;
A03	Material	Material inerte que não interfira na transmissão de dados;
A04	Vedaçāo	Todos os encaixes e conexões devem ser bem vedados para que a boia não encha de água;
A05	Material	Os materiais das pás e dos eixos do motor devem suportar os esforços de fadiga e os esforços de torção;
A06	Montagem	Fácil montagem possibilitando substituição de componentes;
A07	Material	Material resistente ao tempo e as intempéries climáticas. Material submetido a tratamento que melhorem resistência à corrosão;
A08	Flutuação	Estrutura deve se manter flutuando e estável;
A09	Sinalização	O objeto flutuante deve ser bem sinalizado a fim de evitar impactos;
A10	Resistência	A estrutura deve resistir ao possível impacto com uma embarcação;

4.2.5 Lista É/ Não É

A lista É/Não É serve para um compreensão mais correta do produto, a partir dela o cliente poderá verificar suas dúvidas em relação ao projeto.

Foi formada a partir de discussões de sprint para definir melhor o funcionamento da boia, a tabela 14 é exposta abaixo.

Tabela 14 – Lista É/Não É

É	Não É
Capaz de informar parâmetros da água	Não é capaz de modificar os parâmetros
Capaz de se movimentar por uma área delimitada	Não é capaz de se orientar não havendo uma demarcação de área
Capaz de organizar os dados do cliente no dashboard	Não é capaz de funcionamento em água salgada
Capaz de funcionar em água doce	Não é capaz de evitar colisões ou desvios de rotas (como furto) intencionais e externos
Capaz de formar um sistema de boias que se conectam	Não é capaz de ser submerso
Capaz de delimitar quais parâmetros cada cliente quer medir	
Verificar a localização da bôia	
Ligar LEDs para uma sinalização	
Dar informações sobre a legislação	
É capaz de flutuar em corpos d'água por longos períodos	
É necessário fazer verificações anuais do sistema	

Parte IV

Concepção do Projeto

5 Concepção e Detalhamento do Projeto

5.1 Eletrônica

Para o núcleo de eletrônica, as responsabilidades atribuídas no desenvolvimento do projeto são aquelas que agregam em nível de hardware, circuitos, instrumentação e controle. Entre essas atribuições, estão: o desenvolvimento do sistema embarcado, que será feito em conjunto com o núcleo de software; a integração completa de todos os sensores; o desenvolvimento do circuito que permite a integração entre microcontroladores, sensores e fonte de alimentação; o controle de deslocamento, sensoriamento e posicionamento da boia.

Para complementar as conclusões teóricas do projeto, o núcleo aqui descrito também deve realizar simulações de circuitos e algoritmos competentes à área e elaborar os diagramas elétricos e lógicos.

5.1.1 Dados a serem coletados

Os parâmetros a serem mensurados pela boia foram levantados com base em dois fatores: as medições realizadas pelos órgãos regulamentários em âmbito nacional, no caso a Agência Nacional das Águas (ANA), que utilizam o Índice de Qualidade da Água (IQA) para definir tais parâmetros, e de acordo com a necessidade de mercado para o uso da água.

O IQA estabelece ao todo nove parâmetros indicativos da qualidade da água, sendo eles:

- Oxigênio dissolvido, vital para preservação da vida aquática;
- Coliformes termotolerantes, indicadores de poluição por esgoto doméstico;
- Potencial Hidrogeniônico (pH), que afeta o metabolismo de várias espécies aquáticas;
- Demanda bioquímica de oxigênio (DBO_{5,20}), que representa a quantidade necessária de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica na água através de decomposição microbiana;
- Temperatura da água, que influencia diversos parâmetros físico-químicos, além de causar impacto aos organismos aquáticos;
- Nitrogênio total, pois o nitrogênio em excesso causado pela poluição pode levar ao processo de eutrofização do corpo d'água;
- Fósforo total, assim como o nitrogênio, em excesso também pode levar ao processo de eutrofização;

- Turbidez, o alto grau de turbidez causado pela presença de sólidos em suspensão ou outros materiais químicos na água pode afetar a vida dos organismos aquáticos devido à ausência de luz solar;
- Resíduo total, corpos d'água com alto índice de resíduo total podem sofrer de assoreamento.

Alguns destes parâmetros possuem medições restritas a laboratórios ou a equipamentos fixos por possuírem análises mais complexas, é o caso dos coliformes termotolerantes(DBO5,20), fósforo total e resíduo total.

Assim, os parâmetros utilizados pelo IQA a serem analisados serão os de oxigênio dissolvido, pH, Temperatura da água, Nitrogênio total e Turbidez. Além disso, será analisada a condutividade da água, pois esse parâmetro indica a concentração iônica da água, bem como haverá um sensor para detecção de proximidade, a fim de se evitar colisões da boia com outros objetos fixos ou que estejam a baixas velocidades.

5.1.2 Mecanismos de coletas de dados

Conforme foi supracitado, todos os dados serão coletados por sensores integrados à estrutura, que enviarão os dados através de conexão móvel utilizando o protocolo MQTT, para que assim o cliente possa visualizar os resultados obtidos.

O controle das aquisições será realizado por meio de um microcontrolador ESP32, escolhido devido ao excelente custo-benefício, além de parâmetros como tamanho, peso e vir com conectividade móvel de fábrica. Quanto aos sensores, a preferência foram pelos desenvolvidos pela DF Robot, pois além de atenderem às especificações do projeto, a fabricante fornece os códigos base para desenvolvimento de aplicações de controle utilizando microcontroladores como Arduino e ESP32, e também possuem a função de auto calibração baseada na temperatura, a fim de se garantir medições mais precisas. Porém, a fabricante não fornece todos os sensores necessários para desenvolvimento do protótipo, logo há alguns sensores de outras fabricantes. Nas subseções a seguir, tanto o microcontrolador quanto os sensores serão brevemente destrinchados.

5.1.2.1 Sonda de oxigênio dissolvido

O sensor escolhido para realizar as medições referentes ao nível de oxigênio dissolvido na água é o kit SEN0237 da marca DF Robot. Trata-se de uma sonda de oxigênio dissolvido (OD) galvânica.

Este método de medição usa uma membrana permeável que, inserida na água, permite que o oxigênio passe através dela. Uma vez dentro do sensor, o oxigênio reagirá com uma solução presente em seu cap, gerando assim uma corrente elétrica que pode ser medida. Essa medida

é então convertida através da placa conversora de sinal presente no kit, e enviada para o microcontrolador(circuito mostrado na 12 e imagem da sonda na figura 13).

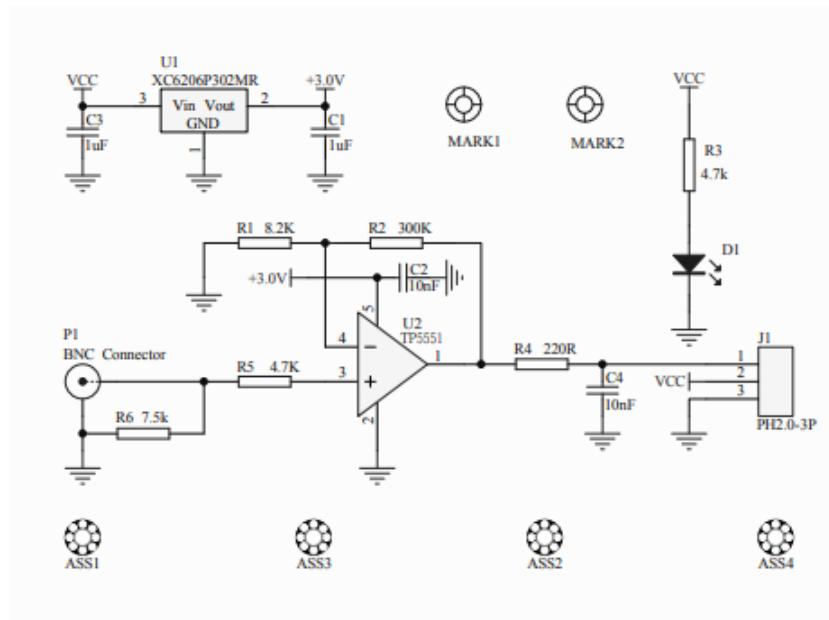


Figura 12 – Circuito da sonda de oxigênio dissolvido

Tabela 15 – Especificações circuito OD

Sonda de oxigênio dissolvida	Tipo: sonda galvânica
Faixa de detecção	De 0 ate 20mg/l
Tempo de resposta	Até 98% de resposta total, dentro de 90 segundos (25 °C)
Faixa de pressão	de 0 ate 50psi
Vida útil do eletrodo	1 ano (uso normal)
Período de manutenção	Período de substituição da tampa de membrana: entre 1 e 2 meses (em água enlameada); entre 4 e 5 meses (em água limpa)
Período de substituição da solução de enchimento	Uma vez por mês
Comprimento do cabo	2 metros
Conector de sonda	bnc
Placa conversora de sinal	
Tensão de operação	Entre 3.3 e 5.5v
Sinal de saída	Entre 0 e 3.0v
Conector de cabo	bnc
Conector de sinal	Interface analógica de gravidade (osmo)
Dimensão	42mm * 32mm

Tabela 16 – Especificações circuito OD

Placa conversora de sinal	
Tensão de operação	3.3 ~5.5v
Sinal de saída	0 ~3.0v
Conector de cabo	bnc
Conector de sinal	Interface analógica de gravidade (osmo)
Dimensão	42mm * 32mm

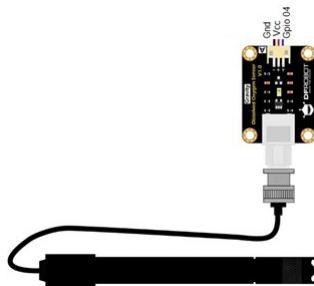


Figura 13 – Circuito da sonda de oxigênio dissolvido

5.1.2.2 Sensor de potencial Hidrogeniônico (pH)

O sensor de pH escolhido é o SEN0161, também da fabricante DF Robot. Ele funciona através de uma solução para medição de PH que é inserida no cap do sensor, de maneira similar ao descrito para o sensor de oxigênio dissolvido. Este tipo de medição garante maior precisão de dados se comparado ao método tradicional que utiliza um eletrodo, além de possuir a vantagem supracitada de auto calibração, e possuir dois pontos de calibração para maior precisão, em 4.0 e em 7.0.

O circuito do sensor pode ser visualizado na figura 14 e as especificações do sensor na tabela 17.

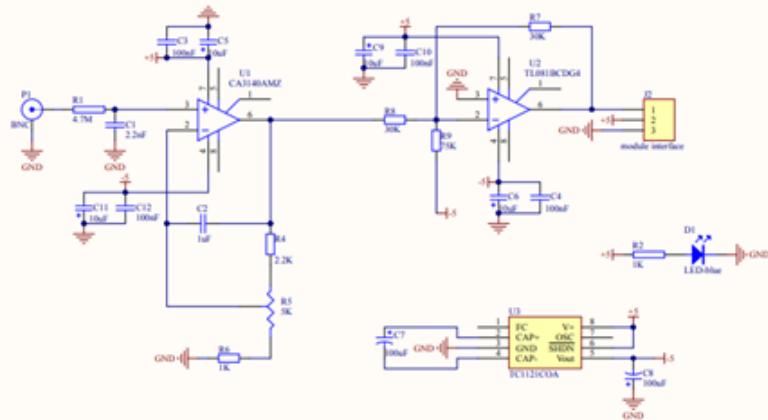


Figura 14 – Sensor de pH

Tabela 17 – Especificações

Placa conversora de sinal (Transmitter) V2	
Supply Voltage	3.3~5.5V
Output Voltage	0 ~3.0v
Probe Connector	bnc
Signal Connector	PH2.0-3P
Measurement Accuracy	$\pm 0.1 @ 25^{\circ}\text{C}$
Dimension	42mm*32mm/1.66*1.26in
Sonda de PH	
Probe Type	Laboratory Grade
Detection Range	0~14
Temperature Range	5~60°C
Zero Point	7 ± 0.5
Response Time	<2min
Internal Resistance	<250M
Probe Life	>0.5 year (depending on frequency of use)
Cable Length	100cm

5.1.2.3 Sensor de temperatura

O sensor de temperatura escolhido é o DS18B20. Foi escolhido também o da DF Robot pelos motivos supracitados, porém este modelo de sensor não é exclusivo deles, diferente dos anteriores, sendo uma versão comum de sensor de temperatura à prova d'água. Ele realiza leituras digitais de temperatura, com resolução de 9 a 12 bits, e tem por vantagem uma interface de comunicação simples através de um único fio (OneWire), o que lhe permite utilizar apenas uma porta digital do microcontrolador para transferir os dados(na figura 15 e suas especificações na

18).

O sensor interno de temperatura funciona através da variação de tensão em concordância com a variação de temperatura, que por sua vez é digitalizada e memorizada em dois bytes no bloco scratchpad. Além disso, este bloco permite o acesso aos registros de alarme programável (TH e TL), através do qual é possível fazer a configuração de registro, possibilitando a definição da resolução da conversão. Todos os dados são armazenados em uma memória não volátil, ou seja, os dados são conservados mesmo ao tirar a alimentação do sistema.

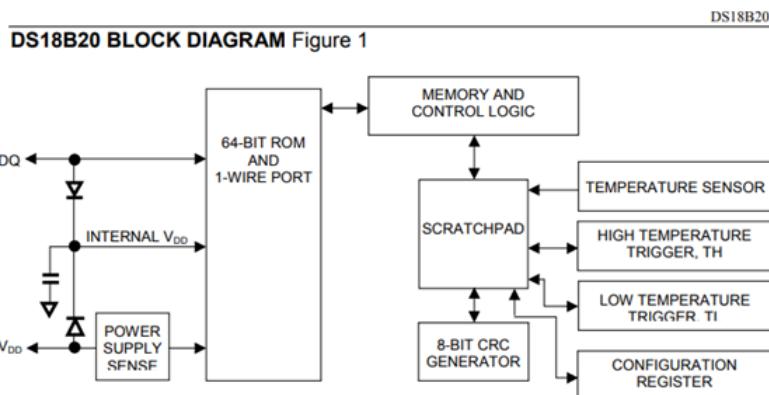


Figura 15 – Sensor de temperatura

Tabela 18 – Características sensor de temperatura

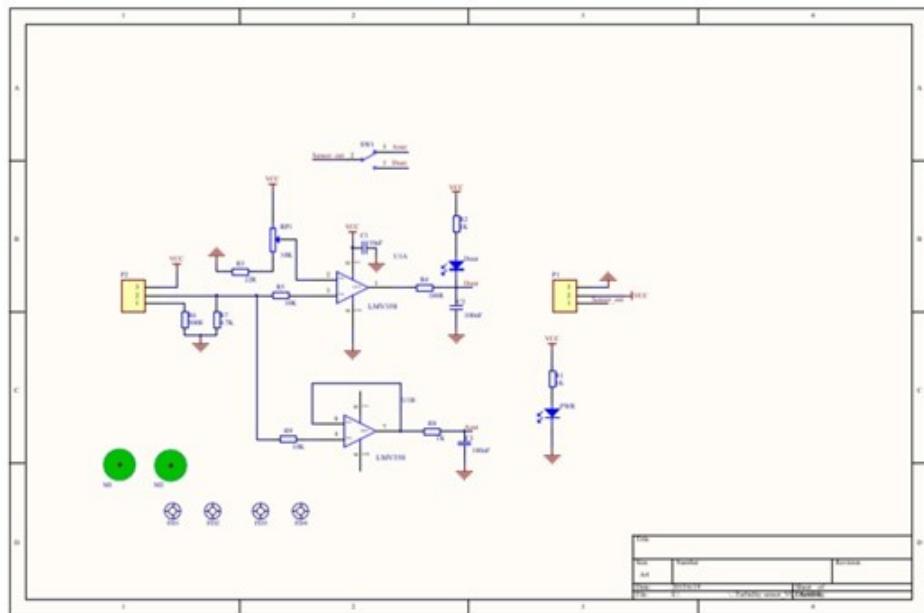
Sensor de Temperatura	
Interface a 1 fio	
Tensão de operação	3 – 5.5V
Faixa de temperatura	-55°C até +100°C; devido ao cabo de PVC.
Precisão	±0,5°C na faixa de -10°C a +85°C
Tempo de resposta	<750ms
Possui cabo de ligação revestido em PVC de 90 cm	Fio Vermelho (VCC), Branco ou Amarelo (DADOS), Preto (GND)
Ponteira de aço inoxidável com 6mm de diâmetro por 30mm de comprimento, vedado com cola e tubo isolante termo retrátil garantindo isolamento e proteção da água, permitindo ficar submersa	Possui número de série único de 64-bit, permitindo compartilhar vários sensores no mesmo pino do microcontrolador

5.1.2.4 Sensor de turbidez

O sensor de turbidez funciona de maneira simples: através de um LED emissor e de um fototransistor receptor de luz, o nível de turbidez da água é calculado a partir da quantidade de luz que sai do emissor e chega até o receptor, já que quanto maior a turbidez, maior o grau de dispersão da luz. O modelo escolhido para captar estes dados é o sensor SEN0189, da DF Robot, em conjunto com o módulo conversor, possibilitando tanto leituras analógicas quanto digitais(circuito mostrado na figura 16 e especificações na tabela 19).

Este sensor necessita de calibração prévia, onde deve-se ajustar um trimmer presente na

placa conversora de sinal até se alcançar o sinal de 0 turbidez antes da inserção do sensor na água, e as calibrações subsequentes que serão necessárias devem ser feitas manualmente



melhor controle do protótipo e evitar ao máximo possíveis colisões. O princípio de funcionamento é: um pulso ultrassônico é emitido pelo sensor, e caso ele seja refletido por um objeto, o sensor calcula o tempo entre a emissão e a recepção e transmite a distância há qual o objeto se encontra(circuito mostrado na figura 17 e especificações na tabela 20).

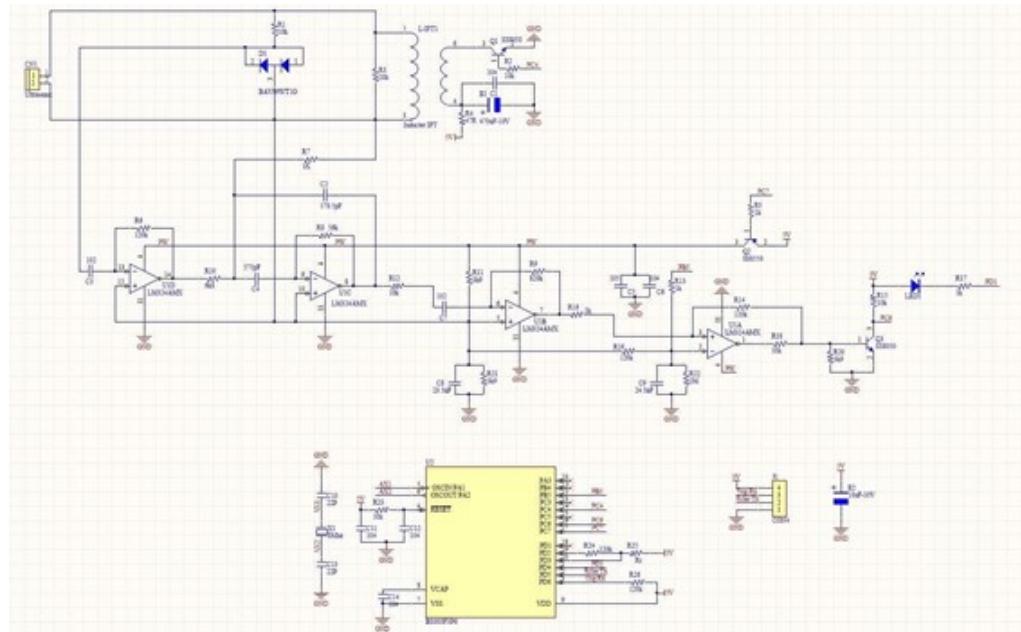


Figura 17 – Sensor de proximidade

Tabela 20 – Especificações do sensor de proximidade

Modelo JSON-SR04	
Tensão de operação	3 a 5V DC
Corrente de operação	<8mA
Frequência do ultrassom	40KHz
Precisão	+/- 1cm
Resolução	1mm
Ângulo de medição máximo	75°
Sinal de entrada [Trigger]	Pulso TTL (5V) de 10us
Sinal de saída [Echo]	Pulso TTL (5V) proporcional à distância detectada
Temperatura de operação	-20°C a 70°C
Diâmetro do sensor	22mm
Dimensões do módulo (CxLxA)	42 x 29 x 17 mm
Comprimento do cabo	2,5m

5.1.2.6 Sensor de condutividade

O sensor de condutividade elétrica, o último do grupo de sensores a ser mencionado, é o SKU: DFR0300, também da DF Robot(circuito mostrado na figura 18 e as especificações na tabela 21). Similar a outros sensores apresentados anteriormente da fabricante, ele realiza as

medições através de uma solução inserida no cap da sonda, que reage ao entrar em contato com líquidos e a partir dessa reação uma corrente elétrica é gerada e então convertida em um sinal através da placa conversora. Além disso, também apresenta a função de auto calibração baseada na temperatura.

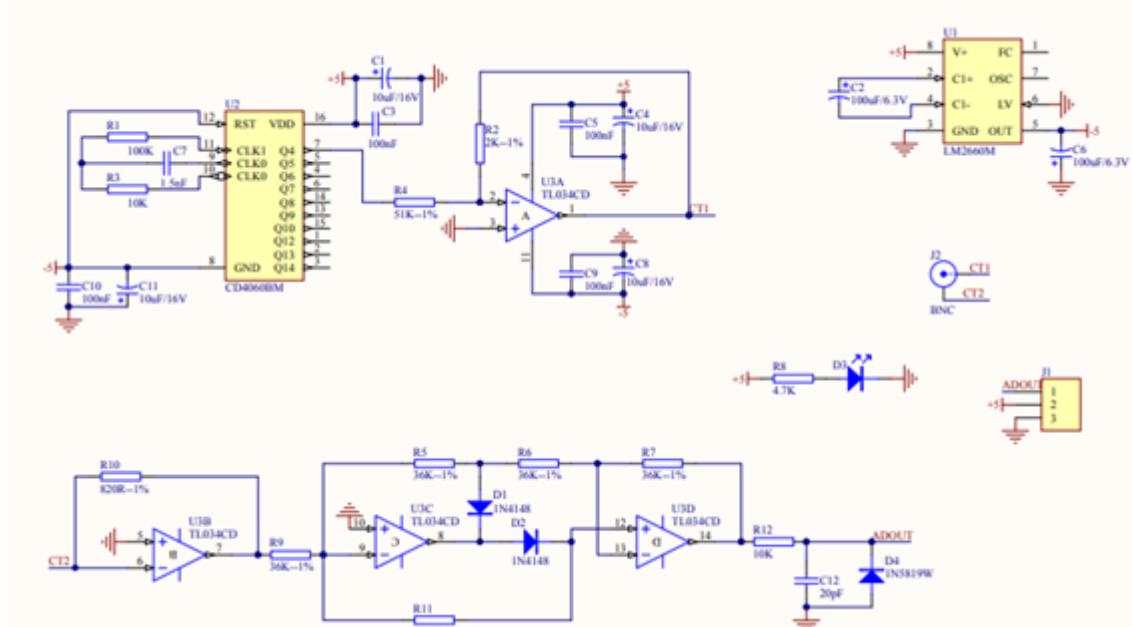


Figura 18 – Sensor de condutividade

Tabela 21 – Especificações do sensor de condutividade

Signal Conversion Board (Transmitter) V2	
Supply Voltage	3.0~5.0V
Output Voltage	0~3.4V
Probe Connector	BNC
Signal Connector	PH2.0-3Pin
Measurement Accuracy	±5% F.S.
Board size	42mm*32mm/1.65in*1.26in
Electrical Conductivity Probe	
Probe Type	Laboratory Grade
Cell Constant	1.0
Support Detection Range	0~20ms/cm
Recommended Detection Range	1~15ms/cm
Temperature Range	0~40°C
Probe Life	>0.5 years
Cable Length	100cm

5.1.2.7 Sistemas de geolocalização e comunicação

Para realizar a transmissão dos dados e da localização da boia, optou-se pelo uso de um módulo adicional. O módulo escolhido foi um do modelo GSM GPRS SIM800L(19), que realiza

tanto a função de comunicação, através da inserção de um cartão SIM que conecta o projeto à rede de comunicação móvel, desde que haja sinal de telefonia móvel disponível na área, quanto a função de localização, através do sistema de GPS. Esta escolha deve-se ao fato da comunicação via WiFi ou Bluetooth ser inviável, pois a boia irá se locomover dentro do lago, se distanciando dos pontos de fornecimento destes dois tipos de rede.



Figura 19 – GPS

5.1.2.8 Microcontrolador ESP32

O microcontrolador escolhido para realização do projeto foi a ESP32 DEVKIT V1 da empresa BOLTON. A escolha do microcontrolador foi feita baseada nos seguintes critérios: capacidade de processamento suficiente para realizar o controle dos sensores, dos motores da boia e da comunicação; ótima relação custo-benefício, pois se trata de um dos modelos mais potentes de microcontrolador a um preço relativamente baixo (cerca de 60 reais, como observado na tabela 1); familiaridade que os projetistas têm em desenvolver utilizando este microcontrolador.

Este microcontrolador é amplamente utilizado em aplicações voltadas para IoT, pois além de ser pequeno e com grande capacidade de processamento, possui versões que já vem com conectividade via WiFi e bluetooth integradas. Aqui, como citado anteriormente, será utilizada a conexão via rede móvel de comunicação (2G ou 3G), mas caso no futuro haja interesse em outras formas de comunicação por parte do cliente, não será necessário adicionar mais componentes.

Especificações:

- Processador: Xtensa® Dual-Core 32-bit LX6
- Memória Flash programável: 4 MB
- Memória RAM: 520 KBytes
- Memória ROM: 448 KBytes
- Clock máximo: 240 MHz

- Pinos Digitais GPIO: 11 (todos com PWM)
- Resolução do PWM: até 16 bits (ajustável via código)
- Wireless 802.11 b/g/n – 2.4GHz (antena integrada)
- Modos de operação: Access Point / Estação / Access Point + Estação
- Bluetooth Low Energy padrão 4.2 integrado
- Tensão de alimentação externa: 4,5 V a 9 V (o módulo possui regulador integrado para 3,3 V)

5.1.3 Código dos sensores

O código para controle dos sensores foi desenvolvido em C++ e é uma junção de códigos fornecidos pelos fabricantes dos componentes, códigos extraídos de repositórios da internet e códigos desenvolvidos pelos projetistas. Eles serão explicados nos subtópicos a seguir para melhor compreensão do funcionamento do sistema de controle. Todos os códigos de terceiro são caracterizados como softwares de livre distribuição, e por isso seu uso é permitido.

5.1.3.1 Códigos adaptados

5.1.3.1.1 Códigos DF Robot

A fabricante DF Robot fornece repositórios com bibliotecas em C++ para aplicações de controle utilizando seus sensores. Desta forma, os códigos foram adaptados para melhor adequação ao projeto, retirando funções que não seriam utilizadas e integrando aos demais sensores presentes quando possível. As bibliotecas retiradas do repositório da fabricante são:

- DFRobot_OxygenSensor: Realiza o controle do sensor de oxigênio dissolvido, e tem a função de estabelecer a conexão I2C deste sensor, coletar e armazenar os dados de oxigênio, calibrar o sensor baseado na temperatura do meio;
- DFRobot_EC: Realiza o controle do sensor de condutividade elétrica, e tem a função de inicializar o sensor, calibrar, coletar e armazenar os dados na EEPROM da placa conversora de sinal;
- DFRobot_ESP_PH: Realiza o controle do sensor de PH, e tem a função de inicializar o sensor, calibrar baseado na temperatura e nos valores de ácido e neutro ($pH = 4$ e $pH = 7$), coletar e armazenar os dados obtidos na EEPROM da placa conversora.

É possível visualizar que as funções dos códigos se repetem, visto que é um modelo padrão desenvolvido pela fabricante, onde a estrutura permanece constante e é apenas ajustada para cada tipo de sensor.

5.1.3.1.2 Códigos de outros repositórios

Para os demais sensores foram adaptados códigos de outros repositórios, mas também desenvolvidos em C++. São eles:

- DS18B20: Responsável pelo controle do sensor de temperatura, controla a resolução, localiza o fio de transmissão e realiza a chamada da biblioteca OneWire e realiza a chamada da biblioteca DallasTemperature para coleta dos dados;
- OneWire: Biblioteca responsável por realizar a comunicação de fio único para o sensor DS18B20, realizando ao mesmo tempo a função de energização, transmissão de dados entre sensor e microcontrolador, e localiza o endereço de transmissão (para casos de mais de um sensor utilizando a biblioteca);
- DallasTemperature: Biblioteca que complementa a DS18B20 realizando a coleta de dados, bem como utiliza a OneWire para transmiti-los também. Possui também funções de detecções de erro na medição;
- DTH_Turbidity: Realiza o controle do sensor de turbidez, estabelecendo a inicialização, coleta e transmissão de dados;
- Jsn_srt04t: Realiza o controle de até 4 sensores ultrassônicos de proximidade, estabelecendo a inicialização, comunicação, coleta e transmissão de dados.

Aqui as bibliotecas são mais específicas e apresentam estruturas bem diferentes entre si. Novamente, algumas funcionalidades de código foram retiradas, como a estruturação para coleta de dados por mais de um sensor do mesmo tipo nos casos do DS18B20 e de turbidez.

5.1.3.2 Códigos autorais

Os demais códigos utilizados para realização do controle dos sensores foram desenvolvidos pelos projetistas, também em C++, e tem por principal característica a junção dos demais blocos de códigos específicos para cada sensor, bem como estabelecer o tipo de comunicação. São eles:

- Aquadata: Biblioteca responsável por agrupar e realizar a chamada das demais bibliotecas específicas de cada sensor;
- GPIO: Biblioteca que estabelece a comunicação dos sensores que utilizam o método de comunicação GPIO e declara as portas;
- I2C: Estabelece a comunicação para os sensores que utilizam o método I2C e declara a posição no barramento;

- Main: Inicializa o código realizando a chamada da biblioteca AquaData.

Após a integração de todos os códigos supracitados, utilizou-se a IDE do Arduino para compilar e verificar a presença de erros. Essa escolha foi fundamentada no fato de que a própria fabricante DF Robot fornece os códigos voltados para aplicações com microcontroladores da família Arduino. Porém, estes códigos foram adaptados para implementação na ESP32, e deve-se progressivamente transportá-los para a framework ESP-IDF, por ser mais especializada em aplicações utilizando microcontroladores ESP.

5.1.3.3 Potência do sistema

Após as escolhas dos elementos, foi feita uma tabela para a análise de potência e escolha de bateria. A tabela pode ser vista em 31.

Tabela 22 – Tabela de potência

Sensor	Voltagem(V)	Amperagem(mA)	Potência(mW)
Oxigênio dissolvido	7.5	15	112.5
Nitrogênio total	10	20	200
Turbidez	5	30	150
pH	5	10	50
Temperatura	5	30	150
Condutividade	5	3.66	18.3
Proximidade	6	20	120

5.1.4 Controle

O produto poderá se locomover em uma área delimitada e conhecida pelo cliente, em que se poderá saber sua localização por GPS. Portanto, para essa locomoção será necessário um sistema de controle.

O sistema será automático, com opções para o cliente, ou seja, ele não poderá manobrar a boia, visto que assim é dado ao cliente uma maior proteção e verificação do funcionamento. As opções serão dadas via dashboard, que serão as seguintes:

- Voltar para "casa": uma opção em que a boia vá para o local de ser retirada da água, para alguma manutenção ou mesmo para o recolhimento do produto.
- Área delimitada: para a utilização da boia será necessário o conhecimento da área do lago, e a partir desse conhecimento, o cliente escolhe que área que ela irá se delimitar e essa área fica fixa

Para a montagem de um sistema de controle é necessário formar ideias básicas. Nos livros estudados de controle (NISE, 2012) e (OGATA, 2010) e na aula (ALMEIDA,) são vistas

definições básicas para se começar, sendo controle a manipulação de variáveis do sistema a fim de que elas assumam o valor desejado.

O nosso processo é a movimentação regularizada da boia, esse é o sistema físico que é desejado o controle. A variável controlada, também conhecida como saída, é a variável que deverá ser forçada a uma trajetória de referência, ou seja, será a área delimitada que a boia deverá seguir(a trajetória da boia). A variável manipulada ou entrada é a que o sistema atua, a que é modificada para seguir o foco do sinal de referência, sendo assim é a direção dos motores, o atuador é o aparelho que recebe o sinal de entrada, os motores.

Depois do atuador é o controlado, a esp32 que recebe e manda o sinal para o processo ser continuado, e por fim, a realimentação, que é o sensor infravermelho para identificação de objetos e desvios no caminho para evitar acidentes, a partir da realimentação, o sistema mede a variável de saída, e modifica de acordo com ela para seguir o mais fiel possível o sinal desejado.

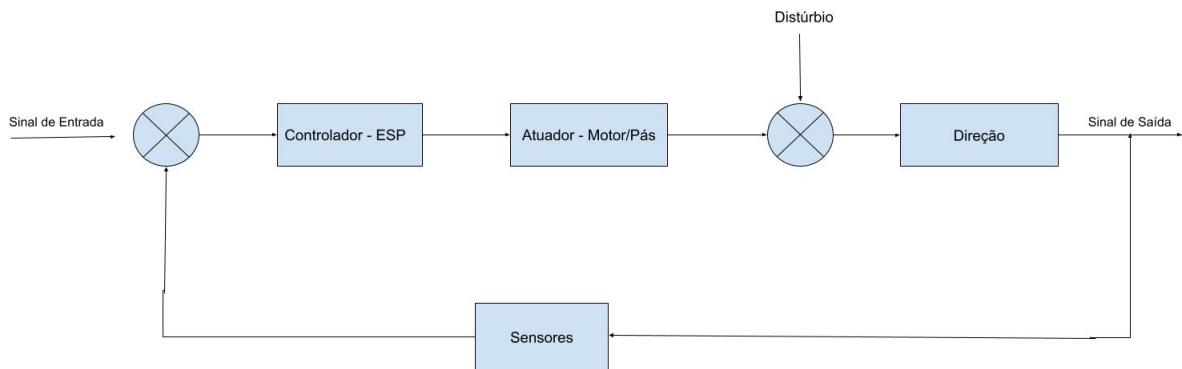


Figura 20 – Base do sistema de controle

Com todas as informações, foi montado a base do sistema de controle, mostrado na imagem 20, nela é mostrada a ordem dos elementos explicados no texto. O sistema funcionará a partir dos dados de GPS coletados, a boia seguirá no caminho desejado, esse sinal irá para o controlador, movimentando cada pá para seguir para esquerda/direita, frente/trás e o sensor infravermelho detectará as possíveis falhas e obstáculos no caminho, podendo haver alguns distúrbios em que a boia detectará alguma movimentação.

A partir do diagrama de blocos acima foi montado um controlador PID para a solução de desvio de objetos. Com o programa matlab e o simulado SIMULINK, a figura 21 mostra o sistema de controle da primeira parte da boia. Em sua entrada tem o foco ideal para o sensor, que é sempre não estar detectando objeto, após a entrada tem o PID e o controlador do motor, há uma realimentação em que é o sinal real do sensor, que se conectado muda o erro e o distúrbio, acionando o sistema de parada do motor, fazendo com que ele dê uma volta.

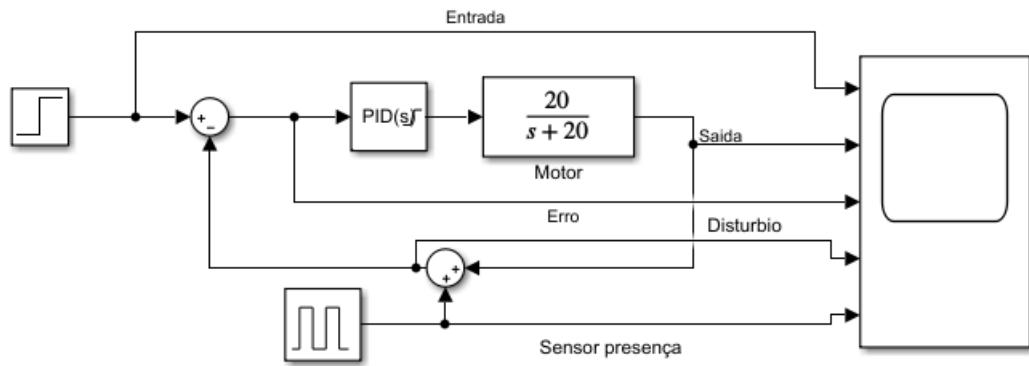


Figura 21 – Sistema de controle de desvio

O controlador PID foi calculado por simulações com tune no simulink, foi encontrada a equação 5.1 e os valores das incógnitas estão na equação 5.2.

$$P + I * \frac{1}{s} + D * \frac{N}{1 + N * \frac{1}{s}} \quad (5.1)$$

$$P = 3,22; I = 131,81; D = 73,74 * 10^{-5}; N = 8122,29 \quad (5.2)$$

A figura 22 mostra a simulação desse sistema, pode-se observar que a entrada em que o sistema deve seguir está sempre em 1, a cada mudança no sensor de presença nota-se que há picos opostos no erro e no distúrbio, e com essas mudanças a saída tende a mudar, ligar ou desligar o motor, a fim de seguir fielmente a entrada.

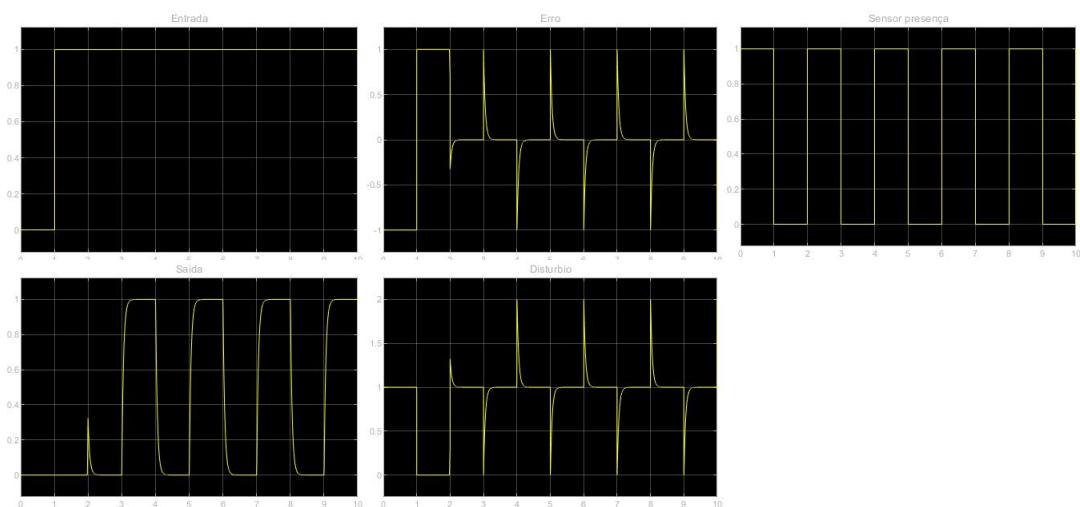


Figura 22 – Gráfico do sistema de controle de desvio

O segundo sistema de controle, inicial, é o de movimentação contínua da boia, em que o cliente mapeia pelo dashboard a área para o monitoramento da água, o sistema fica andando

para frente até a identificação de uma curva, então os motores param, um começa a girar em sentido horário, o outro no sentido anti-horário e após a curva volta a andar para frente.

Na figura 23 mostra o sistema inicial de simulação do controle da movimentação, em que há uma entrada que é o GPS, depois passa por uma toolbox do matlab, no qual foi realizado um código autoral para a identificação de rotação dos motores por um controlador on-off, disponibilizado no Anexo A e por último vem a saída.

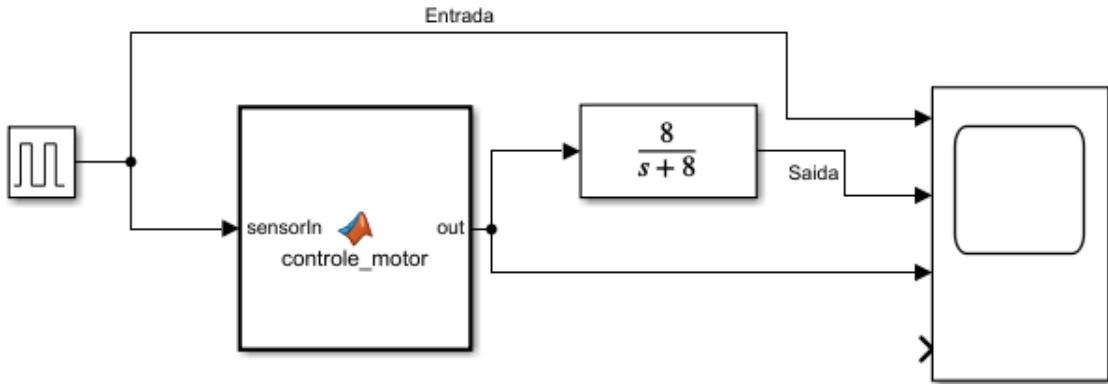


Figura 23 – Sistema de controle de movimentação

A simulação desse sistema pode ser vista na figura 24, em que se mostra o gráfico da entrada do sistema, o comando para ligar e desligar o motor e pode-se observar a saída acompanhando o sistema com um leve atraso.

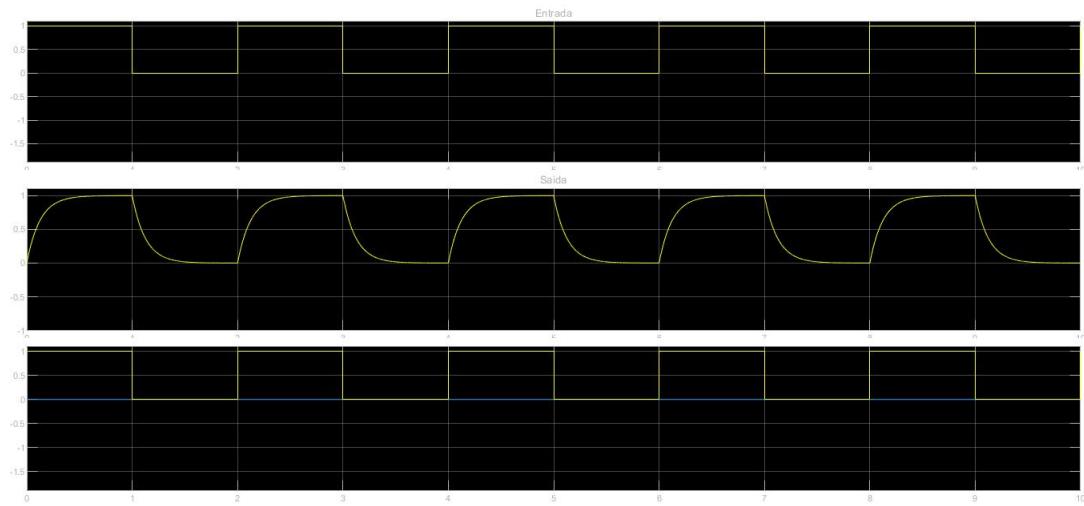


Figura 24 – Gráfico do sistema de controle de movimentação

5.1.5 Sistema embarcado

Na figura 25, pode-se visualizar o esboço inicial de ligações para o sistema embarcado. Tirando o módulo de comunicação GSM GPS, que obrigatoriamente deve ser conectado aos

pinos GIOP1 e GIOP3, que são, respectivamente, os pinos de TX e RX, os outros sensores foram arbitrariamente distribuídos entre os pinos de porta presentes no microcontrolador. Percebe-se que ainda há uma grande disponibilidade de portas para realizar as futuras ligações com o sistema de controle das pás, bem como haja necessidade futura de acréscimo de algum componente. Todos os sensores, seus objetivos e funcionamentos foram destrinchados anteriormente.

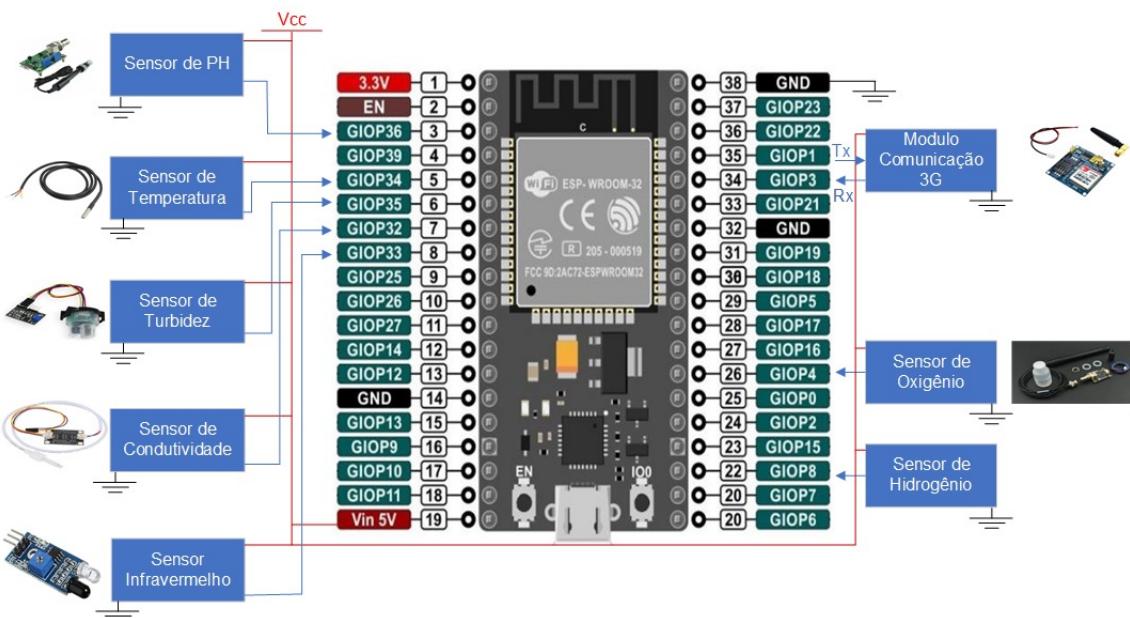


Figura 25 – Base do sistema de controle

5.1.6 Sistema de sinalização

Uma das maiores preocupações do projeto é a visibilidade da boia enquanto ela se movimenta para a captação de dados. A partir disso, vai ser implantado um sistema de sinalização, localizado na ponta superior da estrutura 10, em que terá iluminação, que poderá ser escolhida e programada pelo cliente. A iluminação é sugerida ser utilizada para:

- Iluminação noturna;
- Localização para barcos;
- Enfeitar os lagos - deixar o visual da boia mais elegante

5.1.7 Fluxograma de funcionamento do sistema

O fluxograma 26 mostra a lógica de funcionamento inicial do produto, e foi elaborado com o objetivo de facilitar a compreensão do processo que será realizado pela boia, para que se possa avaliar as etapas separadamente e auxiliar no processo de elaboração do protótipo.

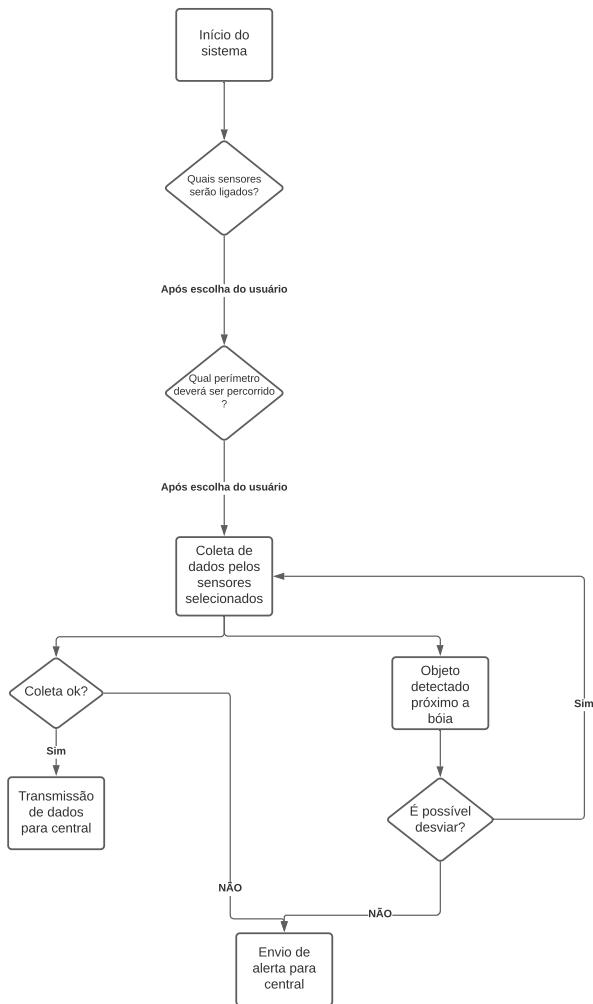


Figura 26 – Fluxograma do funcionamento do sistema

5.1.8 Circuitos

Os esquemáticos do circuito e as placas de circuito impresso (tanto em 2D quanto em 3D) foram projetados com o auxílio do software EasyEDA e podem ser visualizados nas imagens 27, 28 e 29. Foram utilizados conectores do tipo pino para realizar a conexão entre os módulos

dos sensores com o microcontrolador Esp32. No total foram utilizados 14 conectores.

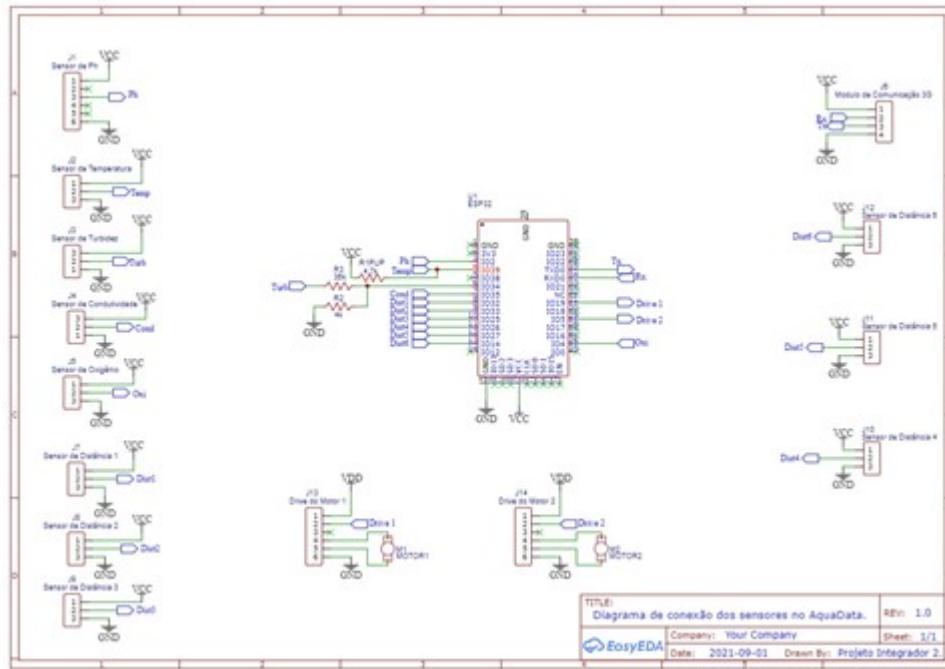


Figura 27 – Esquemático

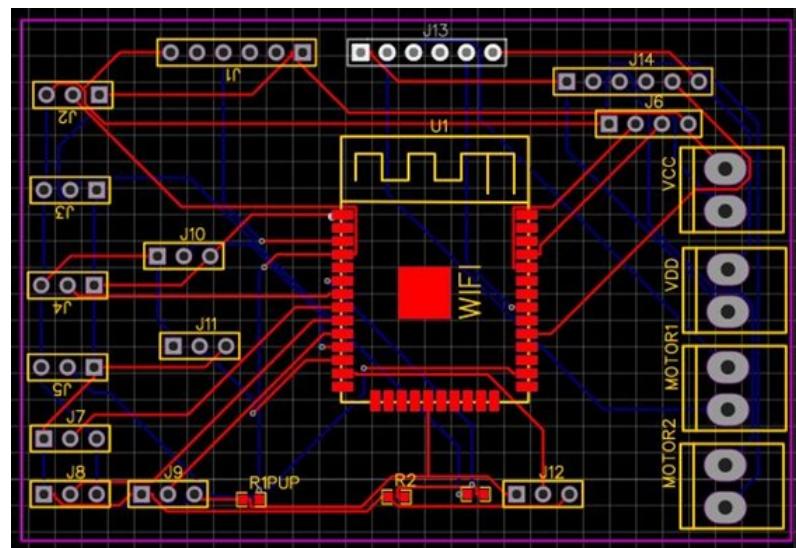


Figura 28 – Circuito 2D

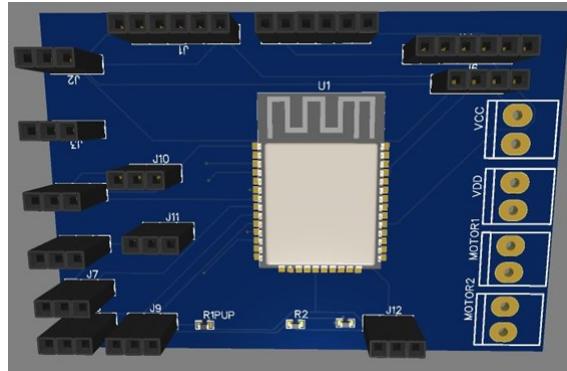


Figura 29 – Circuito 3D

Todos os sensores possuem 3 pinos de conexão, sendo eles, respectivamente: primeiro pino de alimentação Vcc de 5 volts; segundo pino de comunicação para transmissão de dados; terceiro pino para aterramento GND. Abaixo há uma tabela que apresenta o sensor e a respectiva nomenclatura representativa nos esquemáticos.

Tabela 23 – Tabela de conexão

Sensor	Nomenclatura	Porta de comunicação
Ph	J1	IO2
Temperatura	J2	IO39
Turbidez	J3	IO34
Condutividade elétrica	J4	IO35
Oxigênio Dissolvido	J5	IO4
Distância	J7 ao J12	IO32, IO33, IO25, IO26

Para o módulo de comunicação, há 4 pinos de conexão: Pino um de Vcc 5V; Pinos 2 e 3 de RX e TX; Pino 4 para aterramento GND. As portas de comunicação são, respectivamente, RXD0 e TXD0 para os pinos 2 e 3, e a nomenclatura para o módulo no esquemático é J6.

Por fim, para os drivers dos motores, há 6 conexões ao todo. Pino um para alimentação VDD de 12 Volts (que utilizará uma ponte H); pino dois para comunicação, que será feita através das portas IO5 e IO19; pino 3 não utilizado; pinos 4 e 5 para alimentação Vcc; e pino 6 para GND. A nomenclatura representativa dos motores é J13 e J14.

5.2 Software

5.2.1 Especificações de Software

1) Objetivo

- Essa seção do documento tem como intuito especificar a parte referente a atuação do software no projeto AquaData, detalhando suas características e importância no projeto.

2) Escopo do Projeto

- As aplicações envolvidas no funcionamento do sistema foram projetadas com o objetivo de captar e processar os dados referentes a qualidade de corpos de água, para prover ao usuário uma visualização dos parâmetros necessários para a análise da qualidade da água.

3) Funcionalidades

a) Acesso

- O usuário deve ser capaz de realizar login na plataforma WEB para acessar sistema.

b) Visualização de Dados

- O usuário deve ser capaz de visualizar os dados atuais referentes a qualidade da água, e a atual localização do flutuador. É necessário também que seja possível acessar o histórico desses dados.

c) Super-Usuário

- Deve ser possível o cadastro de um super-usuário no servidor, este terá permissões e privilégios específicos para efetuar determinadas operações que um usuário comum não poderá, como adicionar novos usuários na plataforma.

d) Gerenciar Flutuadores

- O super-usuário deve ser capaz de gerenciar as boias, podendo adicionar novas ou excluir alguma já existente.

4) Arquitetura de Software

A Arquitetura de Software proposta foi ilustrada utilizando o Modelo C4, que consiste em um conjunto hierárquico de diagramas de arquitetura de software para *Contexto, Container, Componentes e Código* (BROWN, 2018b).

a) Diagrama de Contexto

- O Diagrama de Contexto, que descreve o software no aspecto das pessoas que o utilizam e dos outros sistemas de software com os quais ele interage, pode ser visto na figura 30.

Diagrama de Contexto -
Sistema AquaData

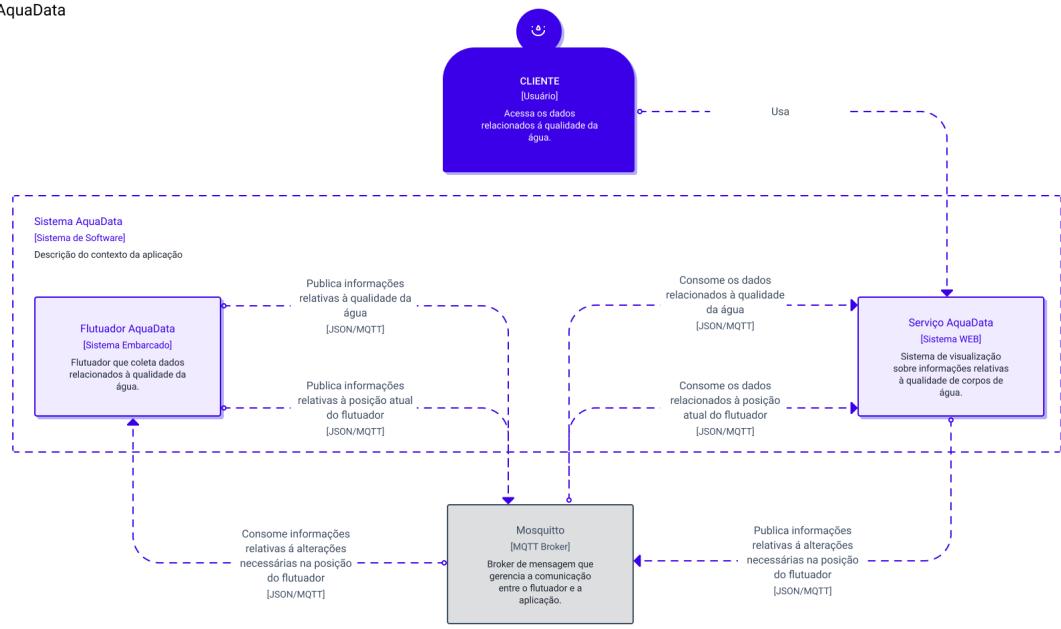


Figura 30 – Diagrama de Contexto. Fonte: Autores

a) Diagrama de Container

- O Diagrama de Container, que descreve o software no aspecto dos containers que compõem o software (APIs, bancos de dados, Serviços WEB, microsserviços, etc.) pode ser visto na figura 31.

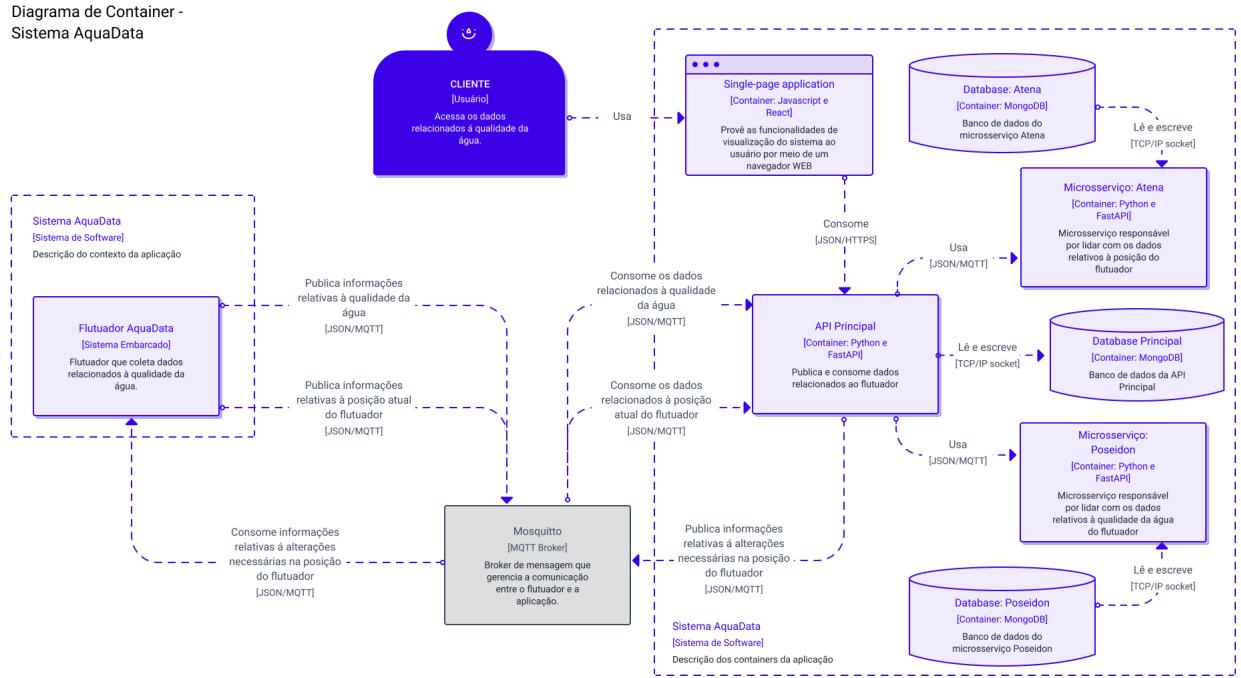


Figura 31 – Diagrama de Container. Fonte: Autores

a) Diagrama de Componentes - API Principal

- O Diagrama de Componentes, que descreve os componentes da API Principal, pode ser visto na figura 32.

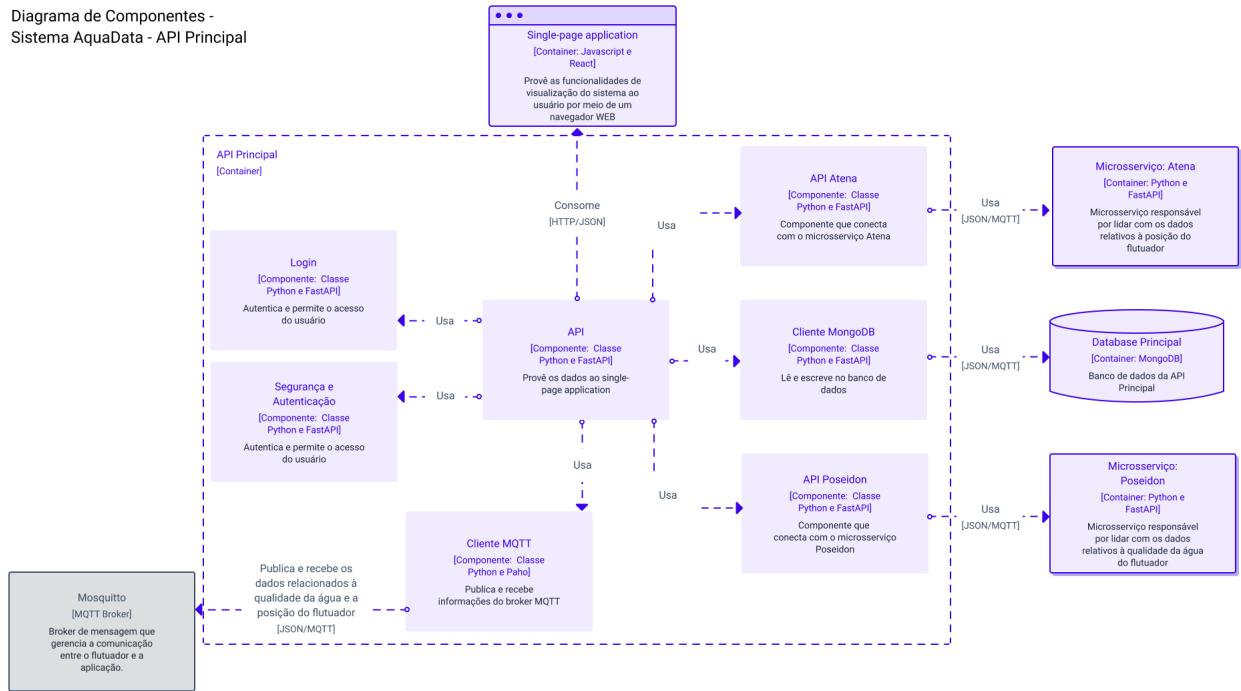


Figura 32 – Diagrama de Componentes, API Principal. Fonte: Autores

a) Diagrama de Componentes - Single Page Application

- O Diagrama de Componentes, que descreve os componentes da Single Page Application, pode ser visto na figura 33.

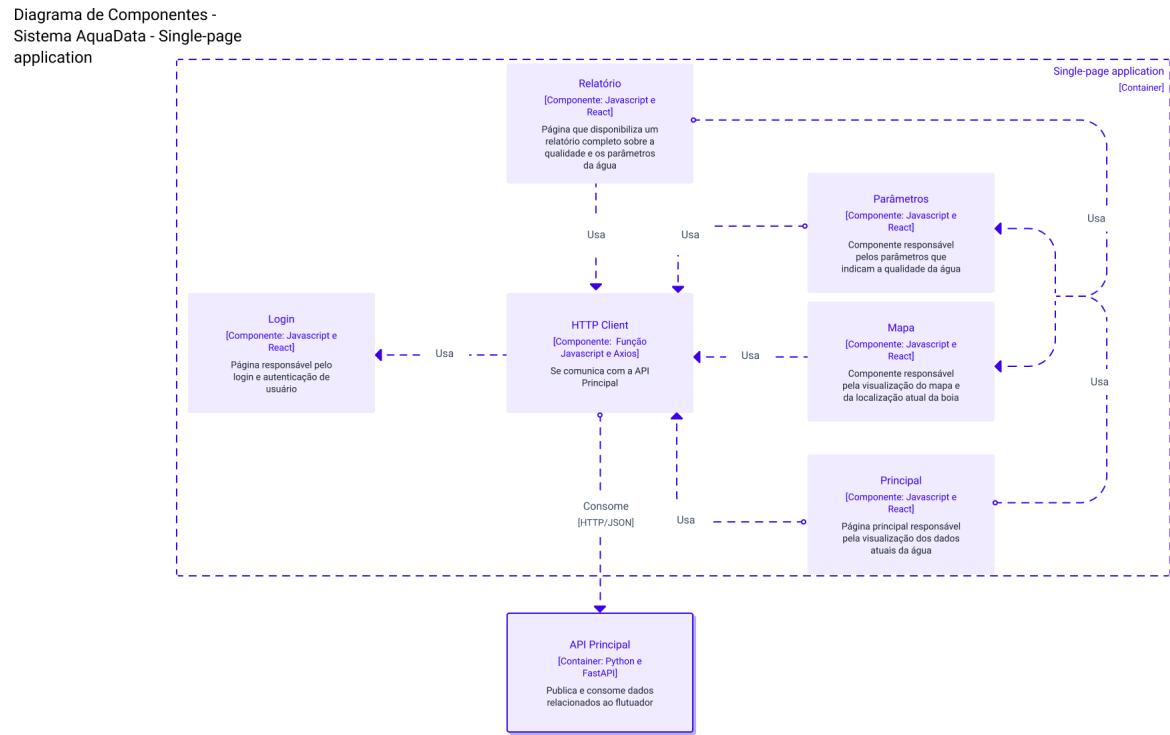


Figura 33 – Diagrama de Componentes, Single Page Application. Fonte: Autores

a) Diagrama de Componentes - Microsserviço Atena

- O Diagrama de Componentes, que descreve os componentes do Microsserviço Atena, pode ser visto na figura 34.

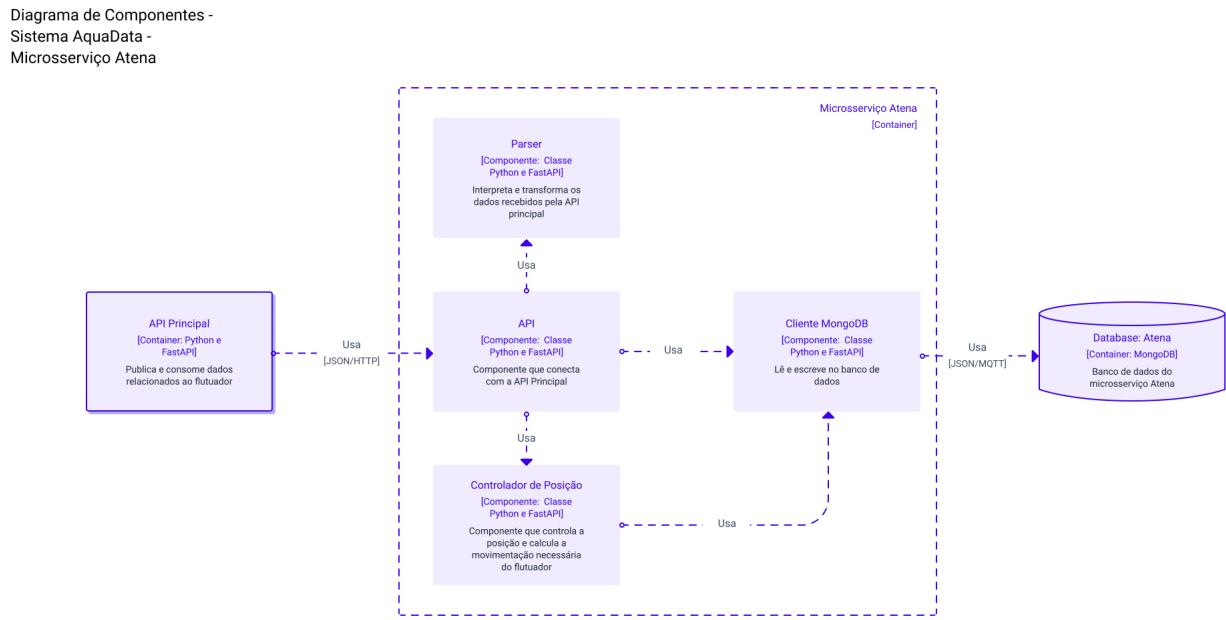


Figura 34 – Diagrama de Componentes, Microsserviço Atena. Fonte: Autores

a) Diagrama de Componentes - Microsserviço Poseidon

- O Diagrama de Componentes, que descreve os componentes do Microsserviço Poseidon, pode ser visto na figura 35.

Diagrama de Componentes -
Sistema AquaData -
Microsserviço Poseidon

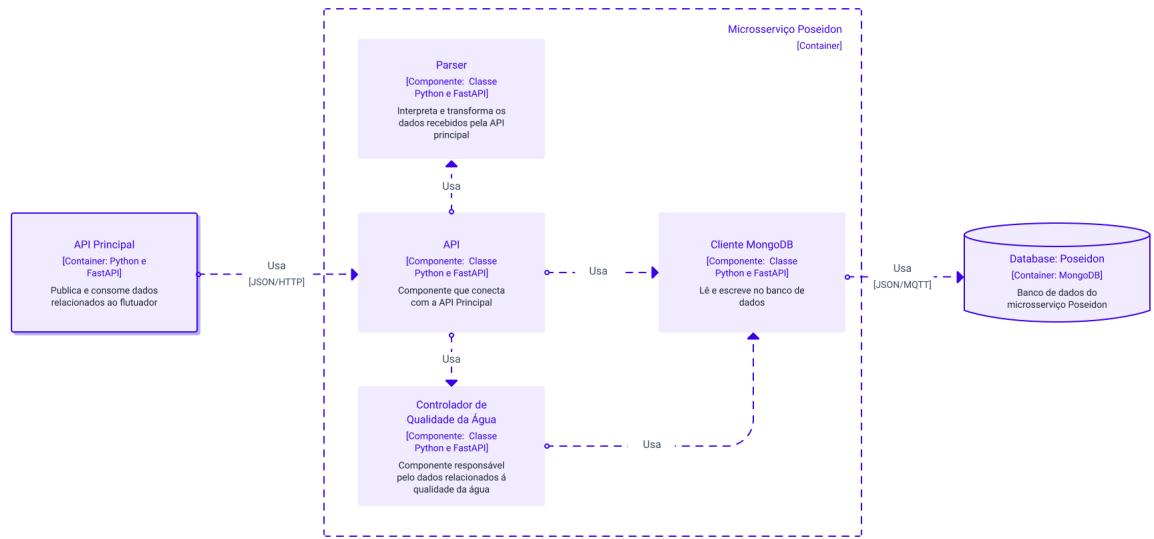


Figura 35 – Diagrama de Componentes, Microsserviço Poseidon. Fonte: Autores

5) Serviços

a) *Front-end (Single Page Application)*

- O *front-end* é o módulo de interface que permite a interação do usuário com a aplicação. O sistema previsto é uma aplicação *web*. A principal vantagem desse modelo é que nesse tipo de sistema o usuário pode acessar e interagir com a plataforma via navegador, logo, não há a necessidade de instalação da aplicação. Na construção do *front-end* é utilizado a linguagem *javascript* junto ao *framework React* para auxiliar no desenvolvimento e permitir maior manutenibilidade e entendimento do código.

b) API Principal

- A *API Principal* é o serviço responsável por prover e estruturar os recursos necessários para que o *front-end* corresponda de modo satisfatório à interação do usuário, o gerenciamento de usuários e a implementação da lógica de negócios e da comunicação com os dispositivos embarcados. Para a construção da API Principal é utilizado o *framework FastAPI* que utiliza a linguagem *Python* para o desenvolvimento de APIS, e a biblioteca *Paho* para a comunicação com o serviço embarcado, utilizando *MQTT*. A API principal conta com um banco de dados *MongoDB* para o armazenamento de informações referentes aos usuários da aplicação.

c) Microsserviço: Atena

- O Microsserviço Atena, tem como objetivo o processamento dos dados relacionados ao posicionamento do flutuador, gerados por GPS. Também é responsabilidade do microsserviço Atena, definir a movimentação necessária do flutuador para que o mesmo permaneça nos limites devidos de posicionamento no corpo de água. Para a construção do microsserviço Atena é utilizado o *framework FastAPI* que utiliza a linguagem *Python* para o desenvolvimento de APIS. O microsserviço Atena conta com um banco de dados *MongoDB* para o armazenamento de informações referentes ao histórico de posicionamento do flutuador.

d) Microsserviço: Poseidon

- O Microsserviço Poseidon, tem como objetivo o processamento dos dados relacionados a qualidade da água, gerados pelos sensores. É de responsabilidade do microsserviço Poseidon, Armazenar e retornar os dados quando necessário, que serão utilizados no dashboard do flutuador, e na geração de relatórios. Para a construção do microsserviço Poseidon é utilizado o *framework FastAPI* que utiliza a linguagem *Python* para o desenvolvimento de APIS. O microsserviço Poseidon conta com um banco de dados *MongoDB* para o armazenamento de informações referentes ao histórico das coletas de informações relativas a qualidade da água realizadas pelo flutuador.

e) *Broker*

- O *broker* é o módulo responsável por gerir as publicações e as subscrições do protocolo *Message Queuing Telemetry Transport(MQTT)*, mediando a comunicação entre os dispositivos embarcados e o servidor. O protocolo *MQTT* possui grandes vantagens em projetos *IoT*, como segurança, codificação mais simples, baixa alocação de banda e permite a comunicação de vários dispositivos de forma simples. O Broker MQTT utilizado será o Eclipse Mosquitto.

f) Dispositivos Embarcados

- Os dispositivos embarcados são os responsáveis por coletar os dados para alimentar o sistema, a partir dos sensores.

6) Arquitetura da Informação

a) Protótipo

- O protótipo foi desenvolvido com o objetivo de cumprir os requisitos no que diz respeito á visualização de dados e controle do sistema que são necessários aos usuários.

Na figura 38 e na figura 37 é possível ver as iterações do *dashboard* de dados referente á uma flutuador, além da localização atual do mesmo em um mapa.

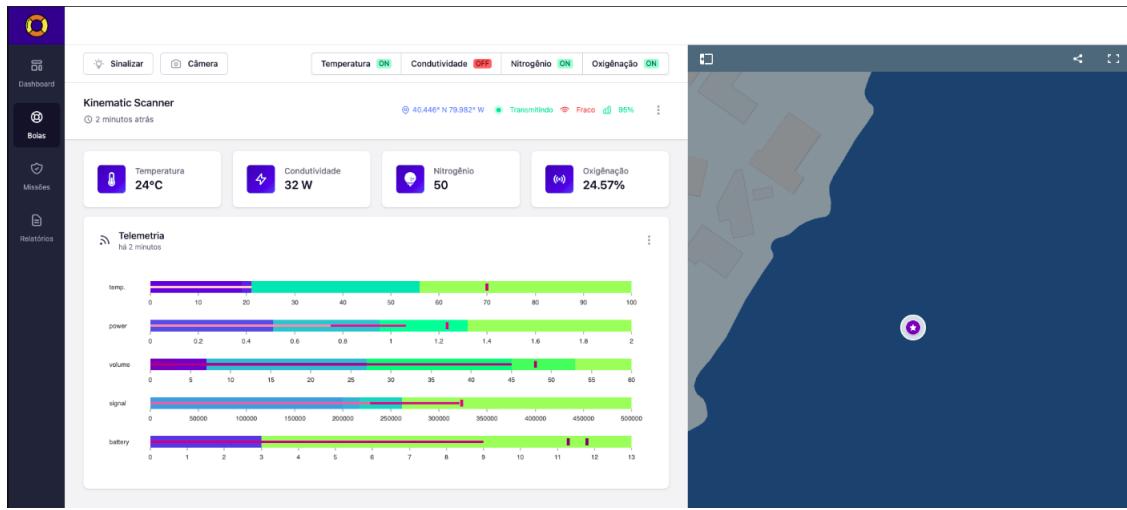


Figura 36 – *Dashboard* de controle e visualização individual, V1. Fonte: Autores

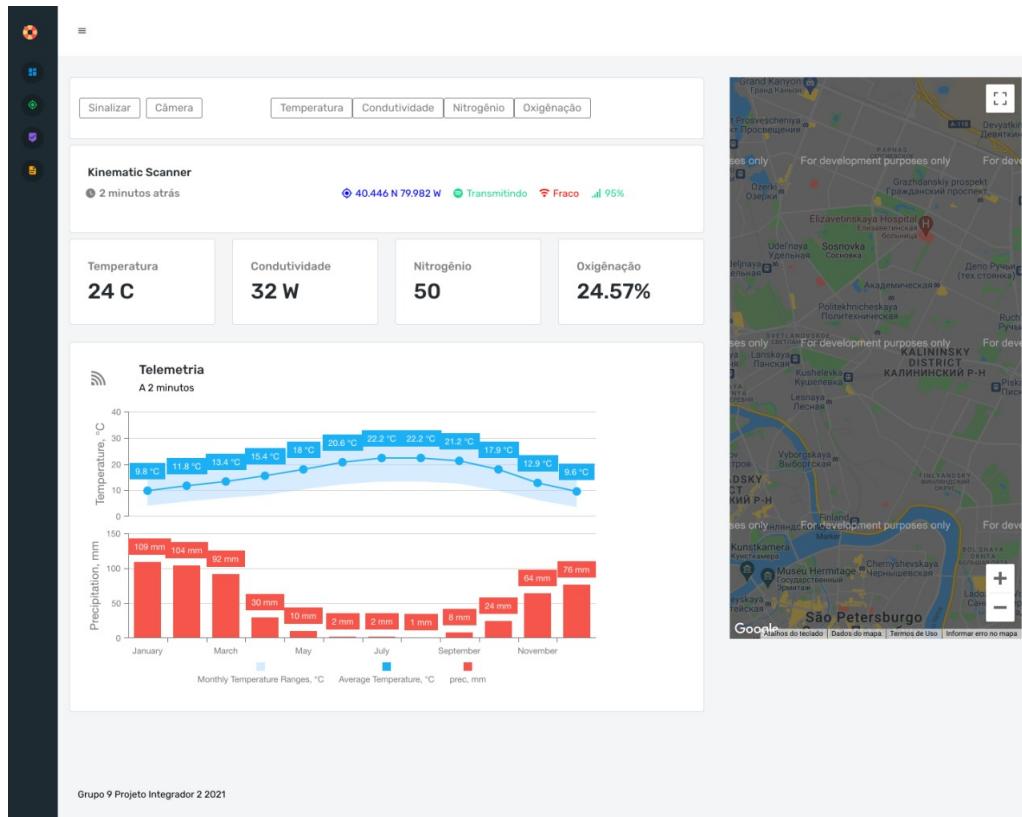


Figura 37 – Dashboard de controle e visualização individual, V2. Fonte: Autores

7) Inovação no Software

a) Internet Of Things (IOT)

- A internet das coisas, do inglês *Internet of Things (IoT)*, visa conectar dispositivos heterogêneos, tanto em hardware quanto em software, dotados de sensores e atuadores de modo que sejam capazes de interagir com o mundo físico, coletar vários tipos de variáveis de ambiente e apoiar processos de tomada de decisão (SANTANA et al., 2021).

O projeto utiliza *IoT* pela necessidade do desenvolvimento de um sistema que realizasse a integração entre diversos sensores e atuadores empregados na construção do flutuador com o sistema de processamento e monitoramento dos dados no servidor central da solução.

b) Arquitetura de Microsserviços (IOT)

- A arquitetura baseada em microsserviços é uma abordagem voltada para o desenvolvimento de uma aplicação composta por um conjunto de pequenos serviços, de modo que cada serviço execute o seu próprio processo e se comunique com os demais através da rede de computadores (BROWN, 2018a).

O projeto utiliza a arquitetura de microsserviços para aproveitar-se dos benefícios que esta arquitetura apresenta, como uma maior independência e modularidade entre serviços. Isso reflete ainda em uma maior facilidade no desenvolvimento e na escalabilidade de cada serviço individualmente.

8) Outros Diagramas

a) Diagrama de Atividades

- Diagrama de atividades mostrar o fluxo de atividades de um sistema, com o intuito de ilustrar as etapas do processo, esclarecer a visualização de um projeto de forma simplificada e modelar elementos de arquitetura de software.

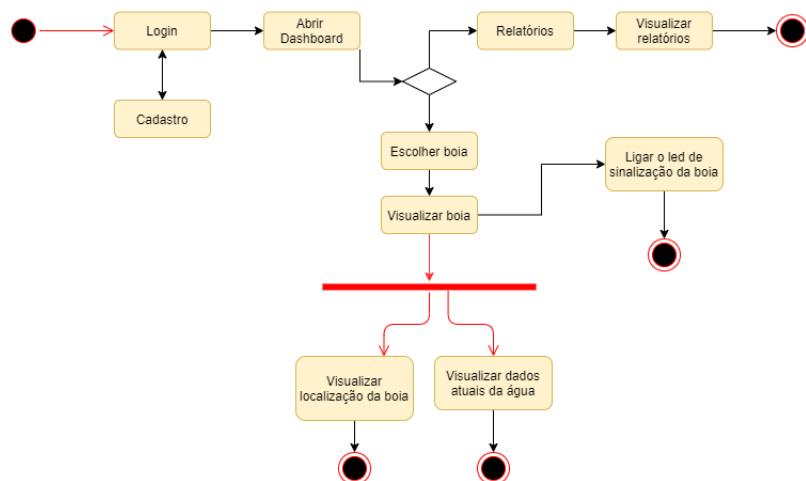


Figura 38 – *Diagrama de Atividades* do usuário na aplicação web. Fonte: Autores

5.3 Energia

Para o núcleo de energia, as responsabilidades atribuídas no desenvolvimento do projeto são aquelas que agregam em nível de identificação de disponibilidade de recursos energéticos na região, dimensionamento de capacidade de conversão de energia solar em energia elétrica, armazenamento e planejamento de disponibilidade de energia para momentos com e sem geração, definição do motor a ser utilizado a partir do resultado de demanda de torque obtido por meio de cálculos desenvolvidos pelo núcleo de estruturas.

O sistema off-grid aqui dimensionado para a alimentação do dispositivo flutuante deve ser também representado por meio de um diagrama unifilar, da montagem física - realizada juntamente com o núcleo de estruturas - e seu dimensionamento deve ser justificado por meio de cálculos pautados em normas e manuais técnicos que dêem suporte a eles.

5.3.1 Demanda energética dos sistemas

A demanda energética do sistema pode ser obtida por meio da aplicação do teorema de Thévenin à carga dos circuitos dos demais sistemas que viriam a ser alimentados pelo sistema dimensionado.

Por meio deste teorema, todo circuito pode ser reduzido a uma representação mais simples, com apenas uma fonte de tensão e duas resistências, sendo uma delas a resistência de Thévenin (R_{th}) e a outra, a resistência equivalente do circuito à fonte conectado.

A partir dessa representação, obtemos a tensão de circuito aberto (V_{oc}) e a corrente de curto circuito (I_{sc}) do sistema, obtendo, assim, os limites do circuito de alimentação para circuitos lineares.

5.3.2 Sistema de geração

5.3.2.1 Introdução ao sistema fotovoltaica off-grid

Em um sistema de geração fotovoltaica off-grid, são acoplados módulos fotovoltaicos ao circuito por intermédio de um controlador de carga e a produção excedente de energia pelos módulos é armazenada em baterias ou sistemas de armazenamento de energia para serem posteriormente utilizados.

Assim, em momentos em que a produção de energia elétrica for menor que a demanda dos demais sistemas do dispositivo flutuante, as baterias passam a compensar esse déficit energético. Basicamente, na imagem 39 temos a seguinte configuração para o sistema dimensionado.

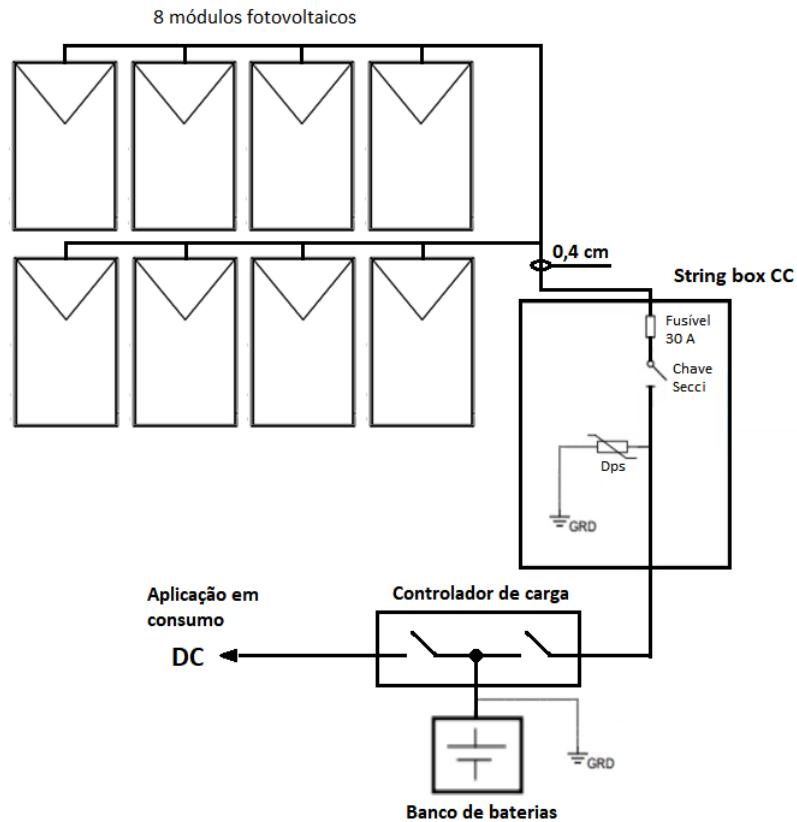


Figura 39 – Diagrama Unifilar do Sistema de Alimentação.
Fonte: figura gerada com a ferramenta *Paint* pelos próprios autores.

5.3.2.2 Justificativa da escolha das baterias

Foi optado pelo núcleo de energia em conjunto com as demais equipes o uso da tecnologia de chumbo-ácido para o sistema de armazenamento, uma vez que a tecnologia de lítio-íon para o armazenamento de energia do sistema de alimentação poderia tornar o projeto inviável devido aos altos custos envolvidos em aquisição e manutenção dessa tecnologia, que resultariam em um aumento no custo do projeto que, infelizmente, poderiam tornar esse sistema inviável para aplicação em baixa escala.

5.3.2.3 Dimensionamento do sistema

Para o dimensionamento do sistema, o núcleo de energia pautou-se nas normas ABNT NBR 16767:2019, referente a “Elementos e baterias estacionárias para aplicação em sistemas fotovoltaicos não conectados à rede elétrica de energia (off-grid) - Requisitos gerais e métodos de ensaio”, e na norma ABNT NBR 16690:2019, referente a “Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos - Requisitos de projeto”.

A partir dos requisitos listados nas normas supracitadas, foram feitas simulações de 4 potenciais cenários de produção para o sistema de alimentação do dispositivo flutuante.

Para todos os cenários, foram utilizados os dados de irradiação solar diária média, em kWh/m².dia, ao longo do ano obtidos da base de dados do CRESESB.

Após as simulações, o núcleo de energia, juntamente com o de estruturas, optou pelo uso de 8 painéis solares de 50 W flexíveis, uma vez que as dimensões das placas e sua flexibilidade permitiriam um melhor aproveitamento do espaço e uma consequente diminuição de custos com a estrutura do projeto. O gráfico de potencial de máxima produção ao longo do dia do sistema de geração adotado, sem considerar sombras e reflexão de luz pelos painéis, é indicado no gráfico abaixo.

Outra definição adotada, por uma questão de viabilidade de ocupação para o espaço interno estipulado do dispositivo flutuante, foi o de utilizar apenas 2 baterias de 220 Ah, o que resultaria em uma descarga de 40% de sua capacidade, que foge um pouco da orientação fornecida pela norma ABNT NBR 16767:2019, que seria de uma descarga máxima de até 20% de sua capacidade.

O que justifica essa escolha é a viabilidade econômica com gastos iniciais com a estrutura, a queda na velocidade de resposta mecânica do sistema flutuante a estímulos de acionamento e frenagem, e diminuição dos períodos de manutenção de R1 meses para R2 meses, o que implicaria em um aumento de custo mensal equivalente de manutenção para o sistema flutuante.

Para essa simulação, considerou-se a utilização de 4 horas pico para o tempo de geração, de uma perda de cerca de 10% de energia por efeito joule, mesma porcentagem prevista para perdas em circuitos de linhas de transmissão, durante a transmissão dessa energia e de um acionamento dos equipamentos de aferição dos parâmetros de qualidade da água por uma proporção de tempo equivalente a 20 minutos de acionamento para 60 minutos de inatividade.

5.3.3 Disponibilidade de recursos energéticos e capacidade de geração

Para a realização da análise de disponibilidade de recursos e simulação de capacidade de geração do sistema, utilizou-se a base de dados do CRESESB para se obter os dados de geração média de incidência solar em uma região posicionada a (15.8048963 S, 47.9407076 O), que se encontra dentro do lago Paranoá.

Com base nesses valores e considerando uma eficiência de 20%, pode-se obter uma previsão de produção média diária ao longo do ano, que demonstra a variação da disponibilidade de energia nesse período.



Figura 40 – Previsão de produção diária ao longo do ano.

Fonte: figura gerada por captura de tela de gráfico gerado com a ferramenta *Google Planilhas* pelos próprios autores.

Já, a partir dos dados das placas, foi possível estimar-se a potência geral ao longo do dia, como foi ilustrado no gráfico abaixo, o qual não levou em consideração efeitos de reflexão e ou de sombra nas placas.

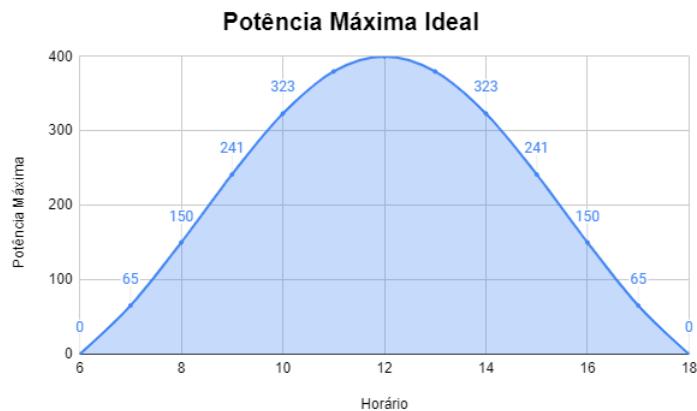


Figura 41 – Potência máxima ideal.

Fonte: figura gerada por captura de tela de gráfico gerado com a ferramenta *Google Planilhas* pelos próprios autores.

5.3.3.1 Efeito da geometria e distribuição na produção diária

Para obter-se uma previsão mais precisa da produção de energia pelo sistema dimensionado, seria necessário levar-se em consideração a geometria do dispositivo flutuante e as possíveis sombras e reflexões que poderiam afetar a eficiência das placas ao longo do dia.

Tendo em vista a geometria da parte superior do dispositivo de monitoramento, onde 6 das 8 placas estarão apoiadas, temos que a seguinte visualização:

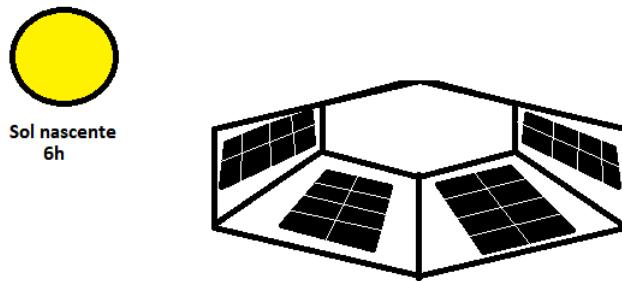


Figura 42 – Esboço do cenário do sistema flutuante perante o sol nascente.

Fonte: figura gerada com a ferramenta *Paint* pelos próprios autores.

Inicialmente, temos que a metade da estrutura que está voltada para o lado do sol nascente é iluminada, enquanto a outra metade fica às sombras do restante da estrutura. Até que, quando o sol atinge um ângulo superior ao do plano que contém a placa solar do lado oposto ao do sol nascente, como é ilustrado na imagem abaixo.

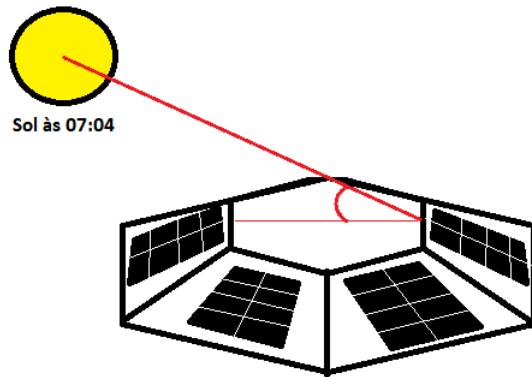


Figura 43 – Esboço do cenário do sistema flutuante perante o sol no começo da geração pelo lado voltado para o oeste.

Fonte: figura gerada com a ferramenta *Paint* pelos próprios autores.

Assim, as placas voltadas para o lado do sol nascente (leste) devem ficar bem iluminadas desde as 6h até o horário em que o sol ultrapasse o ângulo do plano em que a placa volta para o sol nascente se encontra, isto é, quando o sol ultrapassar o ângulo de $= 180^\circ - 16^\circ = 164^\circ$ com relação ao sol nascente, momento a partir do qual estas placas começaram a ficar à sombra do restante da estrutura.

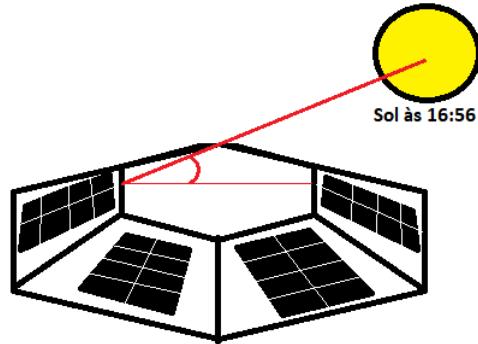


Figura 44 – Esboço do cenário do sistema flutuante perante o sol nos últimos momentos de geração pelo lado voltado para o leste.

Fonte: figura gerada com a ferramenta *Paint* pelos próprios autores.

Com esses intervalos de luz e sombra bem definidos, podemos obter uma tabela de produção para cada painel ao longo do dia, enumerando os painéis de acordo com a ilustração abaixo.

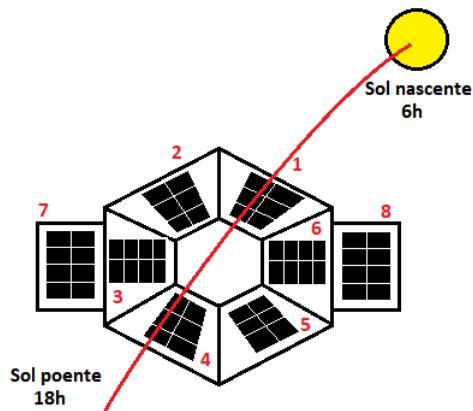


Figura 45 – Esboço do cenário do sistema flutuante como um todo perante o trajeto do sol por ele ao longo do dia.

Fonte: figura gerada com a ferramenta *Paint* pelos próprios autores.

Com essa nomenclatura estabelecida, podemos entender melhor o ângulo de cada placa com relação ao sol, tanto pela vertical como pela horizontal e, a partir deles, podemos obter a componente da radiação solar que entrará em contato com cada placa ao longo do dia.

Horário	Placa 1	Placa 2	Placa 3	Placa 4	Placa 5	Placa 6	Placa 7	Placa 8
06:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
07:00	25,75	25,75	0,00	0,00	0,00	25,75	12,94	12,94
08:00	35,97	35,97	13,78	13,78	13,78	35,97	25,00	25,00
09:00	43,73	43,73	25,75	25,75	25,75	43,73	35,36	35,36
10:00	48,51	48,51	35,97	35,97	35,97	48,51	43,30	43,30
11:00	49,99	49,99	43,73	43,73	43,73	49,99	48,30	48,30
12:00	48,06	48,06	48,51	48,51	48,51	48,06	50,00	50,00
13:00	42,86	42,86	49,99	49,99	49,99	42,86	48,30	48,30
14:00	34,73	34,73	48,06	48,06	48,06	34,73	43,30	43,30
15:00	24,24	24,24	42,86	42,86	42,86	24,24	35,36	35,36
16:00	12,10	12,10	34,73	34,73	34,73	12,10	25,00	25,00
17:00	0,00	0,00	24,24	24,24	24,24	0,00	12,94	12,94
18:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Figura 46 – Tabela de potências com sombra.

Fonte: figura gerada por captura de tela de uma tabela gerada com a ferramenta *Documentos do Google* pelos próprios autores.

Com esses dados de potência, podemos gerar o seguinte gráfico de contribuição individual para a produção global diária do sistema.

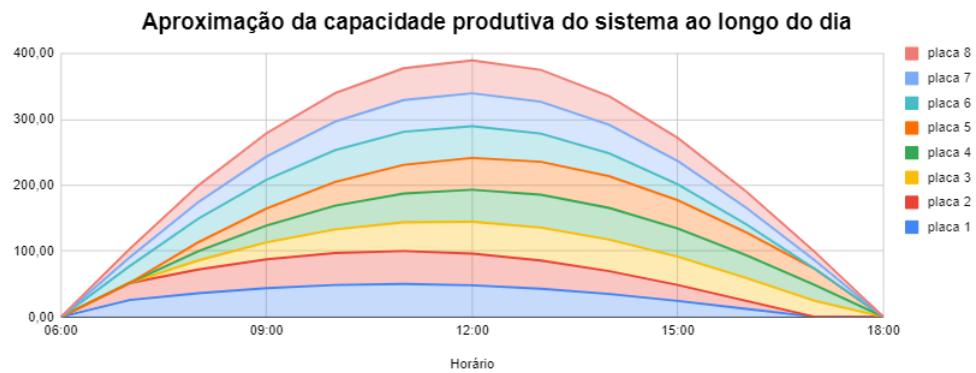


Figura 47 – Gráfico de geração total por contribuição de cada painel solar.

Fonte: figura gerada por captura de tela de gráfico gerado com a ferramenta *Google Planilhas* pelos próprios autores.

Com essa nova consideração, a potência máxima ideal caiu de 400 W para 389,73 W.

5.3.3.2 Teoria da Reflexão - Albedo

Para falar sobre a teoria da reflexão ou albedo, devemos discorrer sobre os tipos de radiação de solar, que são 3:

Radiação solar direta: São os raios que vem direto do sol e são paralelos a superfície;

Radiação solar difusa: São os raios do sol que se espalham pela atmosfera terrestre refletidos pelas nuvens; e

Radiação solar refletida (Albedo): Radiação refletida pelas superfícies que se encontram na terra. Exemplo: Prédios, asfalto, solo, carros, etc.

A figura abaixo mostra visualmente a direção dessas radiações sobre a Terra.

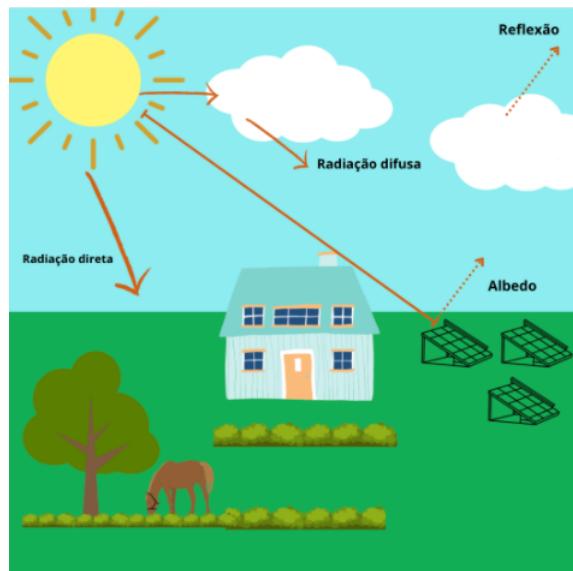


Figura 48 – Tipos de radiação solar.
Fonte: figura gerada pelos próprios autores.

Sendo superfícies adjacentes à Terra, as placas solares também sofrem o Albedo, ou seja, elas refletem parte da radiação difusa e direta que recebe.

5.4 Estruturas

5.4.1 Flutuabilidade e Estabilidade

A fim de garantir o funcionamento correto do produto, os preceitos básicos de flutuabilidade e estabilidade do sistema devem ser assegurados. A flutuabilidade de um corpo ocorre devido a diferenciação de pressão entre sua superfície inferior e superior, enquanto a estabilidade deste corpo será definida a partir de sua geometria e distribuições mássicas(figura 49).

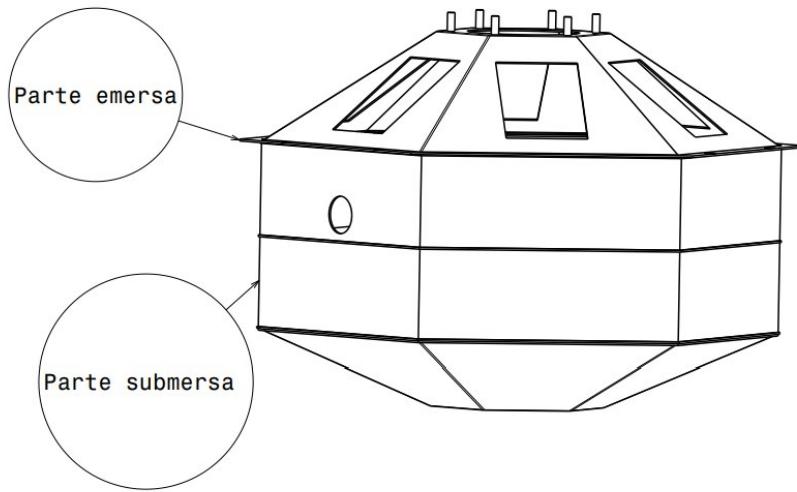


Figura 49 – Estrutura emersa e submersa

O primeiro objetivo deste tópico é garantir que o sistema flutue e seja possível dimensionar o ponto exato em que dividirá a parte emersa e submersa do corpo. O que garante tal efeito surge a partir da equação da força de empuxo.

$$B = \left[\iiint_V \rho(z) dV \right] g \hat{k}$$

(5.3)

A equação acima, retirada de (HARTE, 2011), mostra o conceito desta força.

Neste sentido, foi definido uma área para preenchimento do corpo com espuma de poliuretano de baixa densidade, que possui valores de 28 a 50 kg/m³. A quantidade e volume preenchido deverá ser dimensionado a partir do peso total da estrutura, garantindo uma força de empuxo maior a partir da superfície delimitada de emersão.

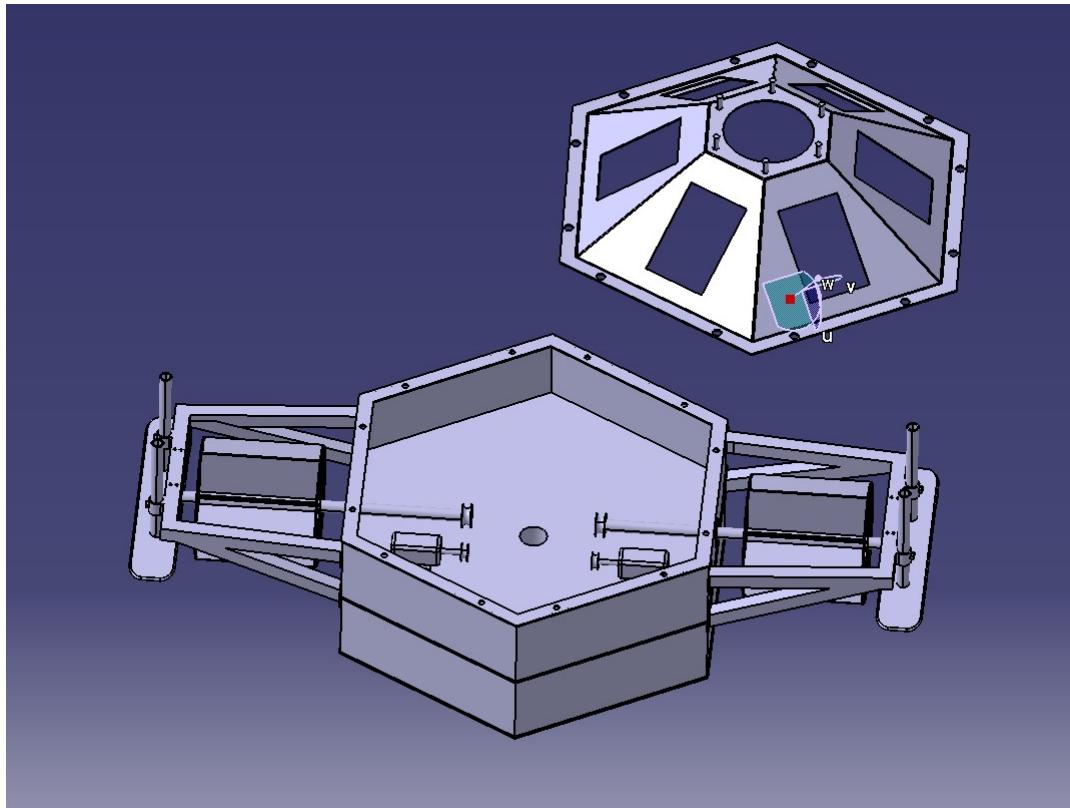


Figura 50 – Cavidade para Preenchimento da Espuma de Poliuretano

A figura 50 mostra a cavidade que será preenchida com a espuma, evitando contato direto com os eixos e motores para seu funcionamento correto. Suas dimensões serão definidas a partir da necessidade de material de baixa densidade para assegurar a flutuabilidade do sistema. A princípio, o volume de espuma utilizado será de aproximadamente $0,31 \text{ m}^3$.

Quanto a estabilidade, ela será garantida a partir da disposição geométrica do corpo. Para que isso aconteça é necessário dispor de um centro de gravidade em uma posição que ao se deslocar o eixo da força de empuxo, ou seja, ao rotacionar, um momento seja aplicado por esta no sentido de voltar a posição original.

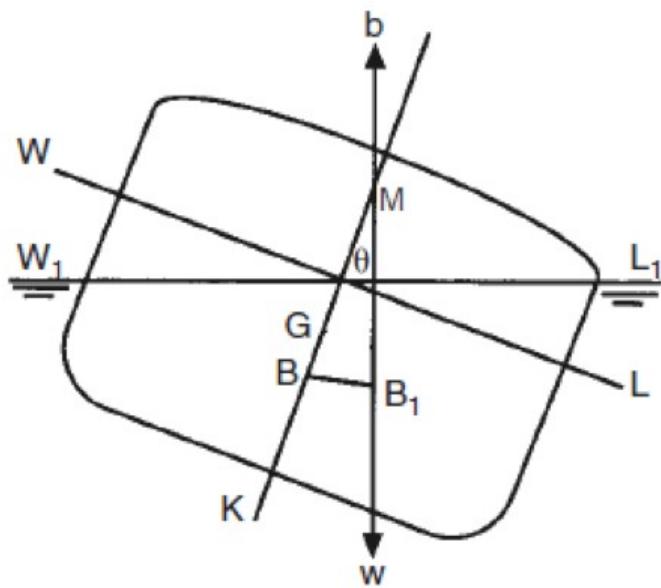


Figura 51 – Metacentro Transversal

Da figura 51 temos um exemplo de corpo deslocado de seu ponto de estabilidade. Onde G corresponde ao centro de gravidade, θ o ângulo de deslocamento, e M o chamado metacentro transversal. Este metacentro transversal é o ponto onde, ao se rotacionar o corpo e alterar o eixo de aplicação da força de empuxo, este eixo se encontra com o eixo longitudinal inicial do corpo. Este ponto possui grande importância para a estabilidade do corpo, pois quanto maior sua altura em relação ao centro de gravidade, maior será o momento gerado forçando o retorno do corpo a posição inicial.

Desta forma, o sistema deve ser dimensionado de maneira a impor um centro de gravidade na posição mais baixa possível, mantendo a segurança dos equipamentos internos, e além disso, possuir uma área submersa grande o suficiente para gerar as forças de empuxo necessárias a estabilidade.

5.4.1.1 Cálculo do volume, densidade e empuxo da estrutura

A seguir iremos calcular o volume da estrutura.

Como a estrutura possui um formato hexagonal calcularemos primeiro seu corpo central e em seguida a tampa superior e inferior.

Podemos calcular a área do hexágono regular, formato do corpo da estrutura, utilizando a seguinte fórmula:

$$A(\text{hex}) = (3L^2\sqrt{3})/2 \quad (5.4)$$

Em que L é o tamanho da lateral do hexágono que mede 902mm, logo, obtemos como resultado 2,114m² para área do hexágono.

A lateral da estrutura possui uma altura $h=594\text{mm}$.

Utilizado a área do hexágono calculada anteriormente e a altura indicada, obtemos o volume da parte central da estrutura a partir da seguinte fórmula:

$$V(\text{hex}) = A(\text{hex}) * h \quad (5.5)$$

Utilizando a fórmula supracitada e os valores já obtidos e indicados, chegamos ao volume de $1,2555\text{m}^3$ para a parte central da estrutura.

A diagonal do hexágono é obtida multiplicando por dois o valor de sua lateral, obtendo, assim, $2L=1,804\text{m}$.

O volume das tampas será calculado a partir da seguinte fórmula:

$$V(\text{tampas}) = (A(\text{hex}) * h(\text{tampas}))/3 - \text{Volume.recortado} \quad (5.6)$$

Volume recortado é o volume a ser subtraído pois a peça possui uma face plana para encaixar a torre na parte superior e os sensores na parte inferior.

Para calcular a altura das tampas utilizaremos a seguinte fórmula:

$$h(\text{tampas}) = L * \text{sen}(16) \quad (5.7)$$

Com isso obtemos $0,26\text{m}$ como valor de $h(\text{tampas})$. Utilizamos 16 graus pois este é o valor da inclinação da tampa, angulo esse escolhido com base na melhor posição das placas solares.

Agora calcularemos o volume recortado por meio da seguinte fórmula:

$$\text{Volume.recortado} = [L(\text{hex.menor}) * \text{sen}(16) * L(\text{hex.menor}) * 2]/3 \quad (5.8)$$

Para $L(\text{hex.menor})$ utilizaremos o valor de $0,233\text{m}$, tamanho da lateral do hexágono menor que fica no topo e na base da estrutura, onde se encaixam a torre e os sensores, respectivamente. Com isso obtemos o valor de $0,10\text{m}^3$ para o volume recortado.

Agora podemos calcular o volume das tampas, chegando ao valor de $0,408\text{m}^3$.

Agora podemos, por fim, calcular o volume total da estrutura utilizando a seguinte fórmula:

$$V(\text{total}) = [2 * V(\text{tampas})] + V(\text{hex}) \quad (5.9)$$

Com isso obtemos $2,072\text{m}^3$ como volume total da estrutura.

De acordo com os materiais utilizados para a construção da estrutura e dos componentes utilizados a massa aproximada total da estrutura com componentes será de aproximadamente 356kg.

Calcularemos agora o peso necessário para que a estrutura fique 50% submersa, fazendo com que a mesma permaneça estável. Para isso precisamos de uma densidade de $0,5\text{g/cm}^3$. Para isso utilizaremos a fórmula da densidade:

$$\rho = \text{massa}/\text{volume} \quad (5.10)$$

Como queremos a massa necessária para que a estrutura fique metade submersa e sabendo o volume da mesma, obtemos como resultado 453,9kg. Com uma diferença de quase 98kg a menos que o peso ideal da estrutura, devemos acrescentar mais peso ao sistema para que ele fique na profundidade desejada e mantenha assim sua estabilidade.

Para calcular o volume deslocado utilizaremos a fórmula a seguir:

$$V(\text{deslocado}) = V(\text{total}) * \rho \quad (5.11)$$

Com os resultados já apresentados, obtemos o valor de $0,453\text{m}^3$ para o volume deslocado.

Por fim calcularemos o empuxo atuante na estrutura utilizando a seguinte fórmula:

$$\text{Empuxo} = \rho(\text{água}) * V(\text{deslocado}) * g \quad (5.12)$$

Nessa equação obtemos o valor de 444N.

Como a estrutura possui 50% de seu volume submerso foram adicionadas boias laterais para melhor estabilidade, garantindo que a estrutura permaneça em condições de operação, e anulando forças laterais que atuariam na estrutura causando sua desestabilidade.

5.4.2 Simulações

As simulações foram realizadas com auxílio do software Ansys e Catia V5 que utiliza o Método dos Elementos Finitos (MEF). O projeto seguiu a Teoria da Mecânica de Estruturas, presente em (BEER, 1982), e as estruturas foram projetadas de modo a, mesmo nas condições últimas de carregamento, trabalhar dentro do regime elástico.

A estrutura principal consiste em um “esqueleto” de metalon 30x30 de aço 1020 galvanizado que serve para a fixação de todos os aparelhos da boia. As geometrias foram modeladas e simuladas no Catia V5 2020.

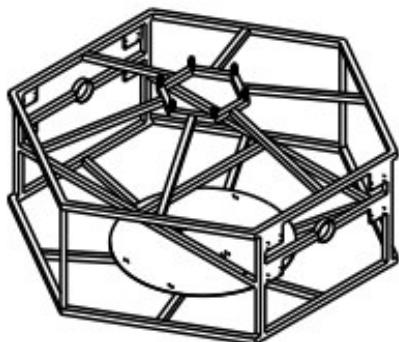


Figura 52 – Vista Isométrica da estrutura central

As simulações se concentraram na verificação de segurança do esqueleto e dos suportes laterais por serem os componentes mais críticos (Apresentado na figura 52). A malha foi construída com elementos do tipo hexaédrico linear e, além da análise visual e de qualidade da malha, também foi feito um estudo de convergência de malha onde observamos que melhorando o refinamento da malha a diferença no resultado final era muito pouco para justificar um maior esforço computacional necessário afim de realizar mais uma iteração de refino de malha.

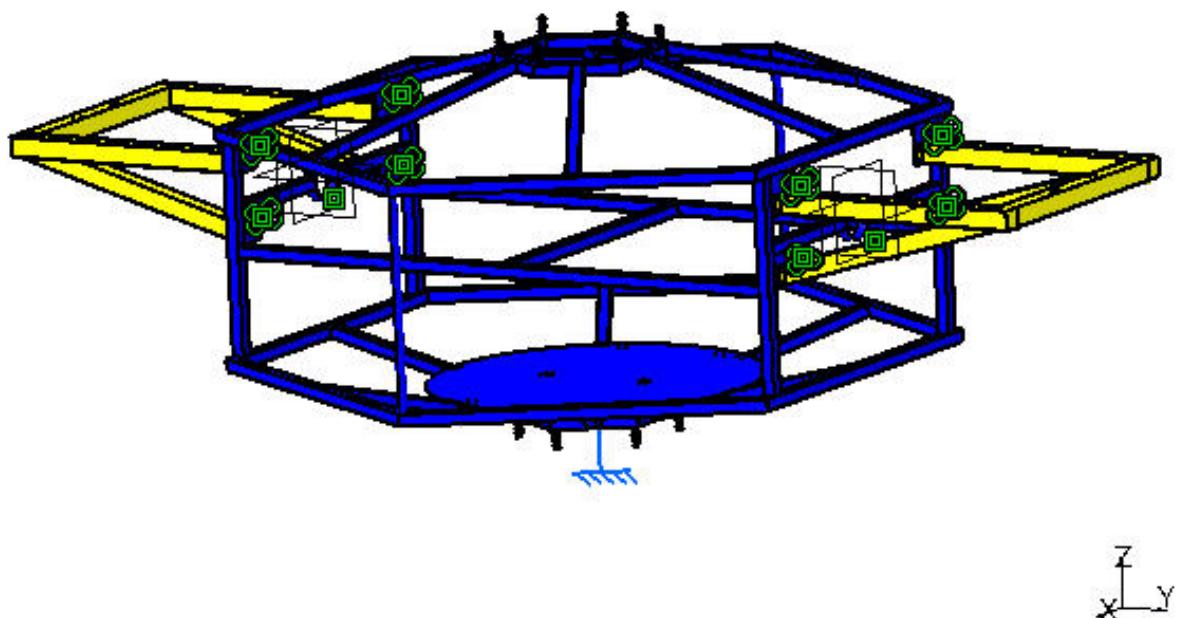


Figura 53 – Estrutura central com suportes laterais

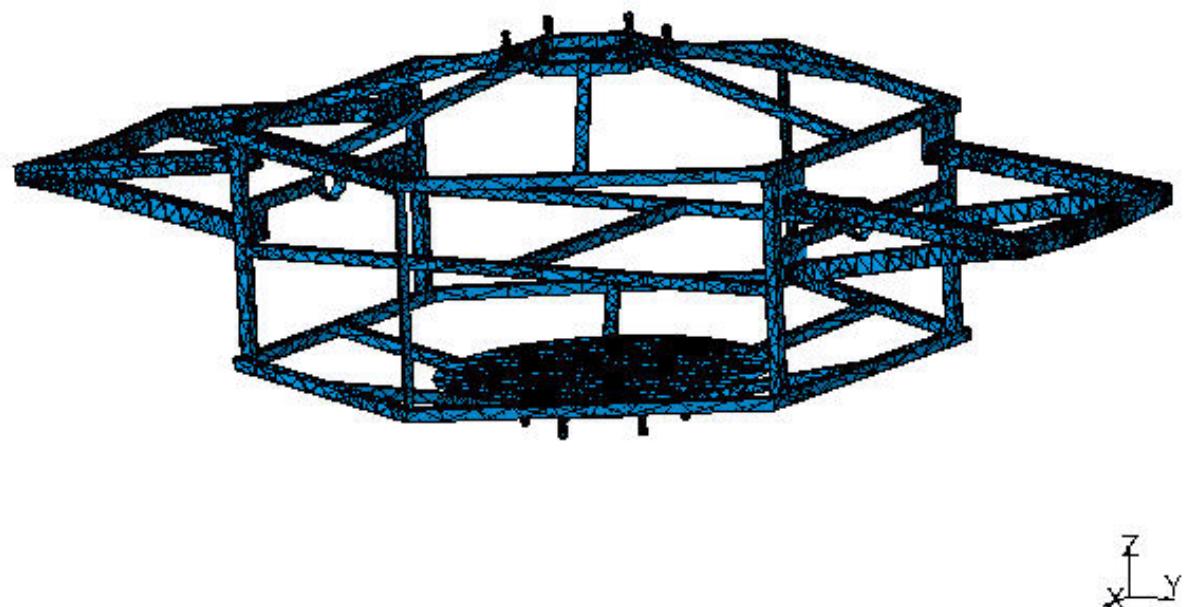


Figura 54 – Malha refinada do conjunto principal

Entidade	Tamanho
Nós	10654
Elementos	31498

Figura 55 – Quantidade de Nós e Elementos na malha

Material	Aço
Módulo de Young	2e+011N_m2
Razão de Poisson	0,266
Densidade	7860kg_m3
Coeficiente de expansão térmica	1.17e-005_Kdeg
Força de rendimento	2,5e+008N_m2

Figura 56 – Dados de entrada do material

Os valores para as tensões e deformações principais na estrutura estão mostrados nas Figura 57 a 58. Os resultados apresentaram o comportamento esperado, as máximas tensões aconteceram em locais de conexão e os deslocamentos máximos foram nos extremos da estrutura. Mesmo o caso simulado sendo o de condição mais crítica, o componente que experimentou as maiores tensões se manteve em regime elástico, sem ultrapassar a tensão de escoamento do material.

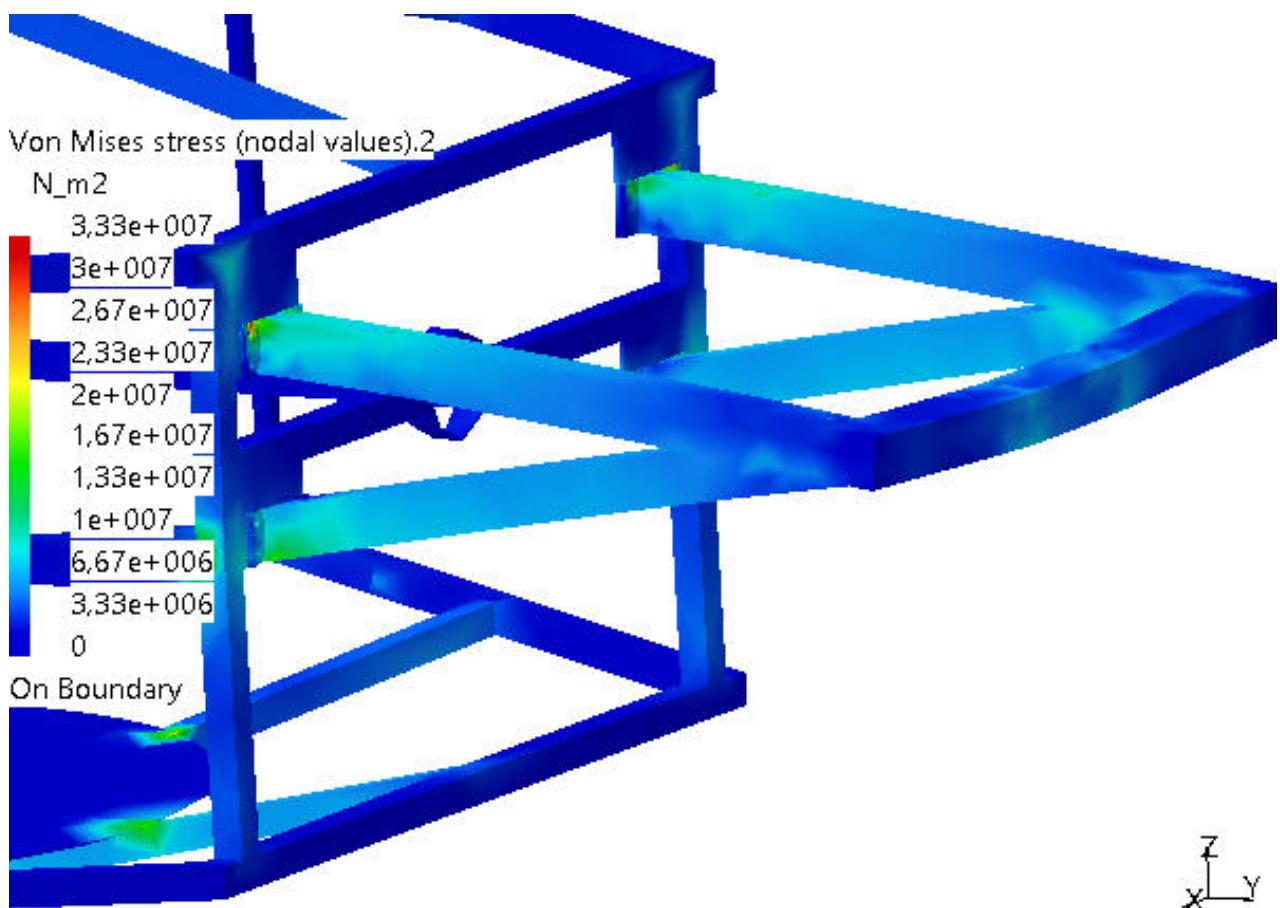


Figura 57 – Concentrador de tensão

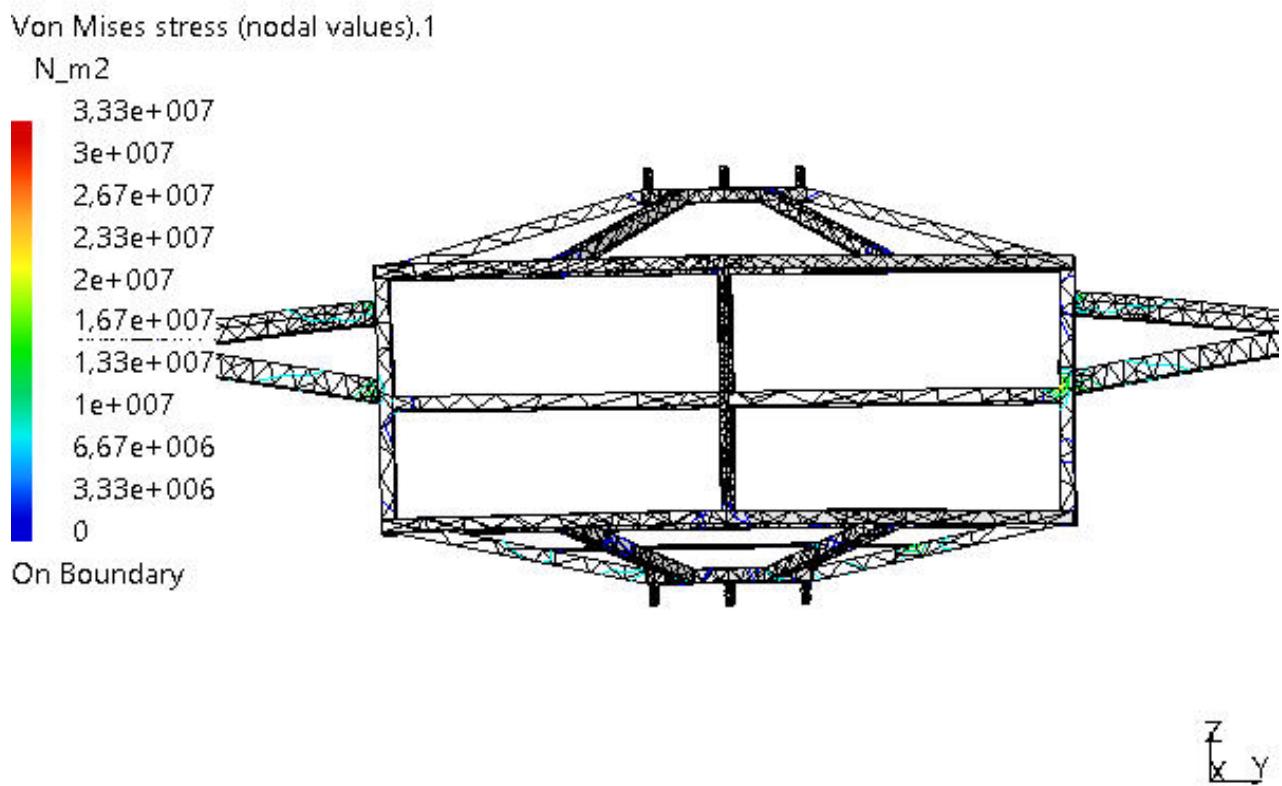


Figura 58 – Pontos de tensões

Foi utilizado os mesmos critérios para a torre. Podemos notar que os valores de maiores tensões são nas soldas das chapas com os metalons como na figura a seguir:

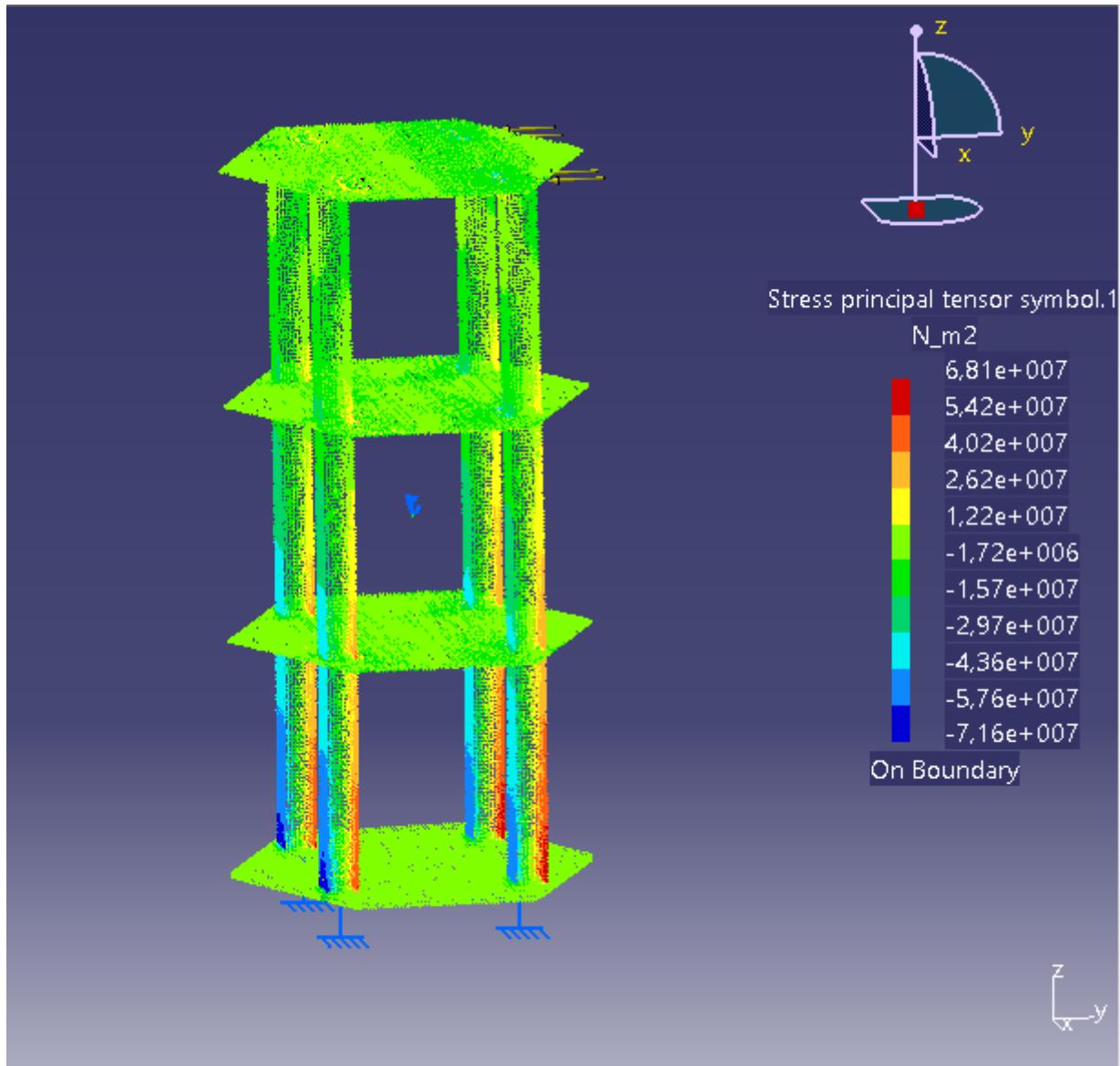


Figura 59 – Tensões de Von Mises na torre

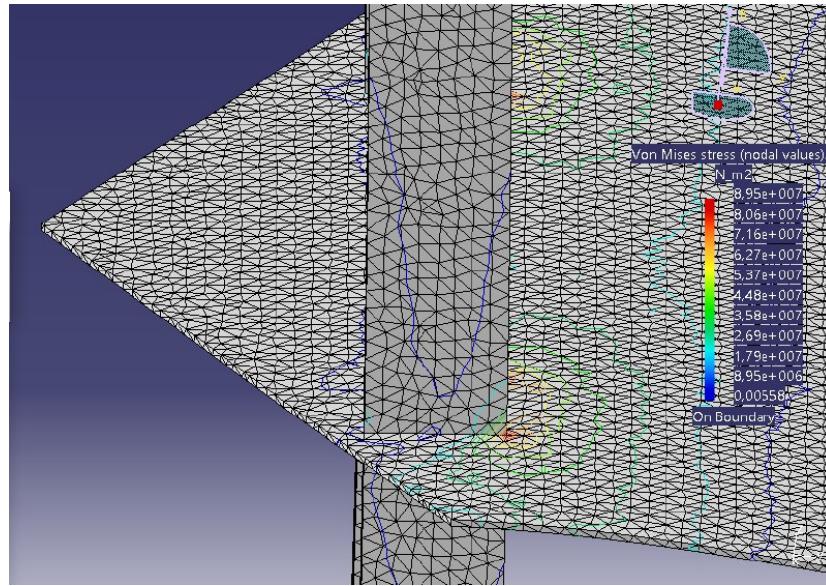


Figura 60 – Malha na torre

MALHA:

Entidade	Tamanho
Nós	97764
Elementos	295076

Figura 61 – Quantidade de nós e elementos na malha da torre

Podemos notar na imagem a seguir os pontos onde sofrem maior tensão de compressão e tração na estrutura da torre e que as tensões máximas não ultrapassam os valores de escoamento do material.

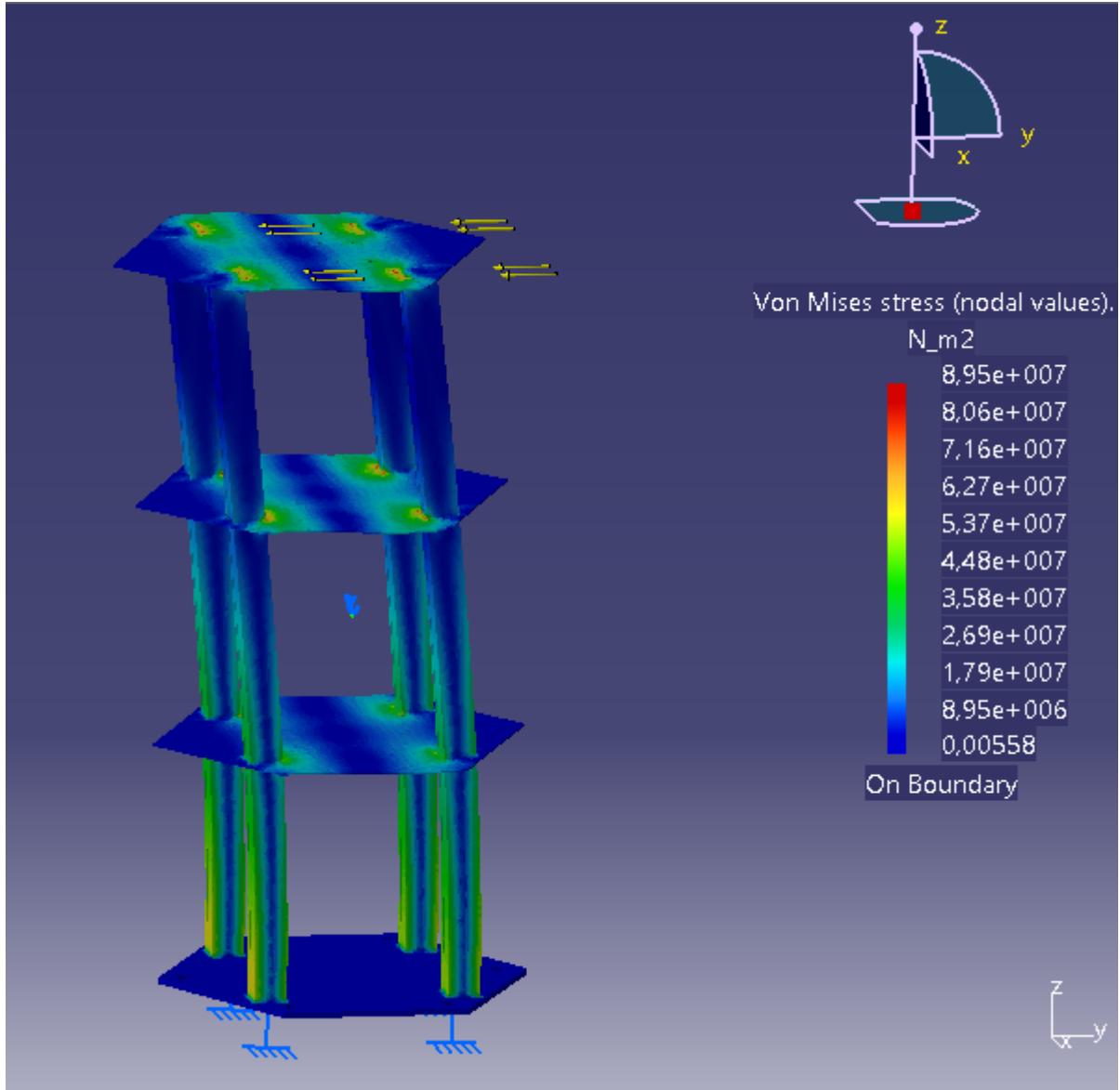


Figura 62 – Tensões principais na torre

O eixo das pás também é uma parte critica do projeto. Ele vai transferir todo o torque do motor para as pás fazendo com que a estrutura se move no lago sem sofrer grandes deformações. Na simulação aplicamos um torque de 30Nm e três suportes no eixo simulando os mancais e rolamento e uma faze deixamos fixadas, foi observado um deslocamento muito pequeno como mostra a figura 68 como já era esperado. O material escolhido foi o aço inox que será discutido mais a frente. As tensões principais também não ultrapassaram a tensão de escoamento do material como mostra a figura 63 a 68.

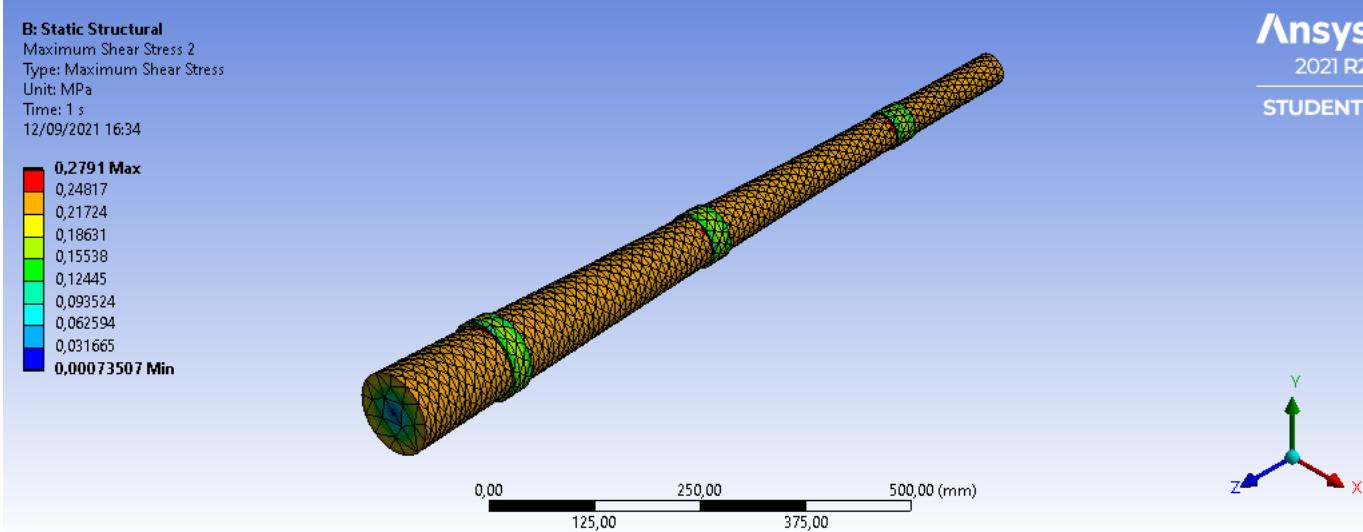


Figura 63 – Aço 316 - Tensão de Cisalhamento

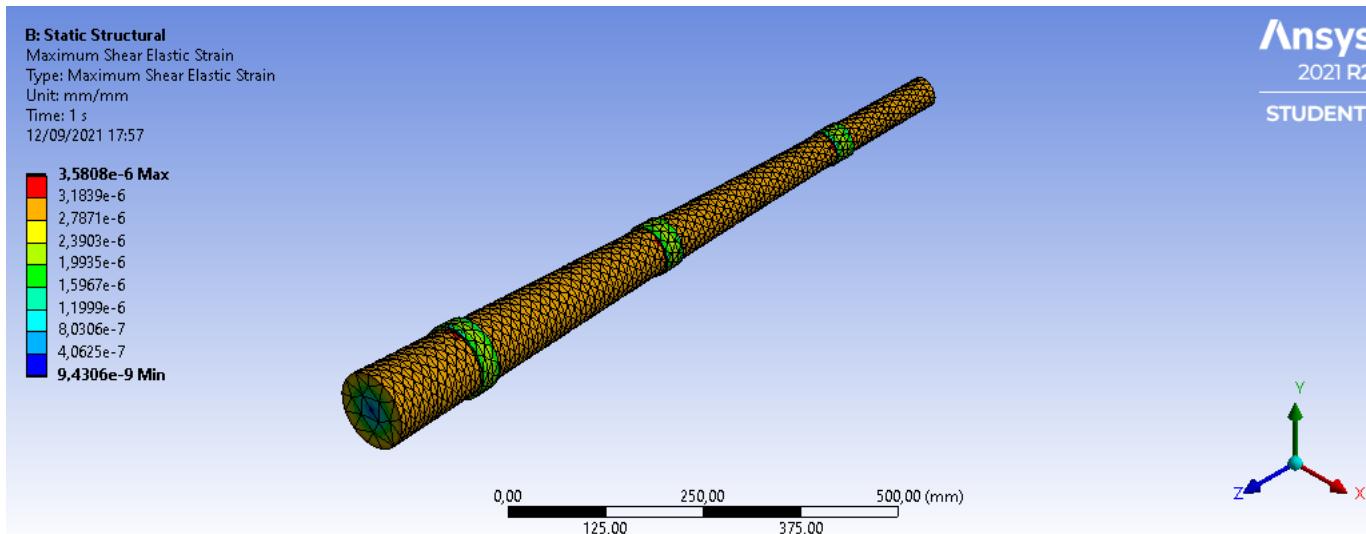


Figura 64 – Aço 316 - Deformação de Cisalhamento

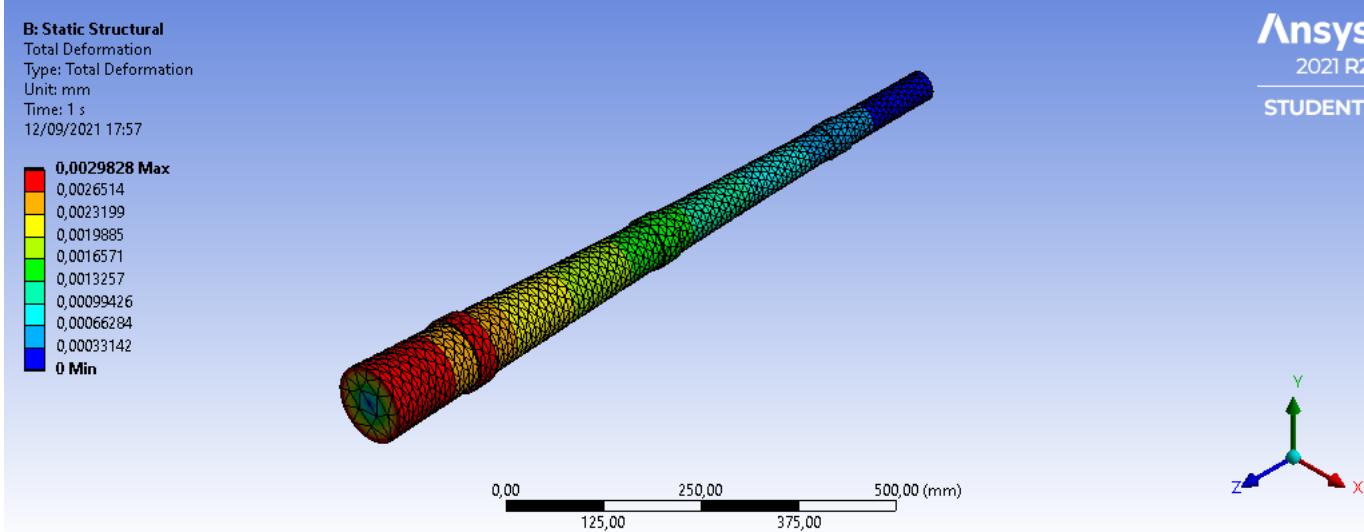


Figura 65 – Aço 316 - Deslocamento Total

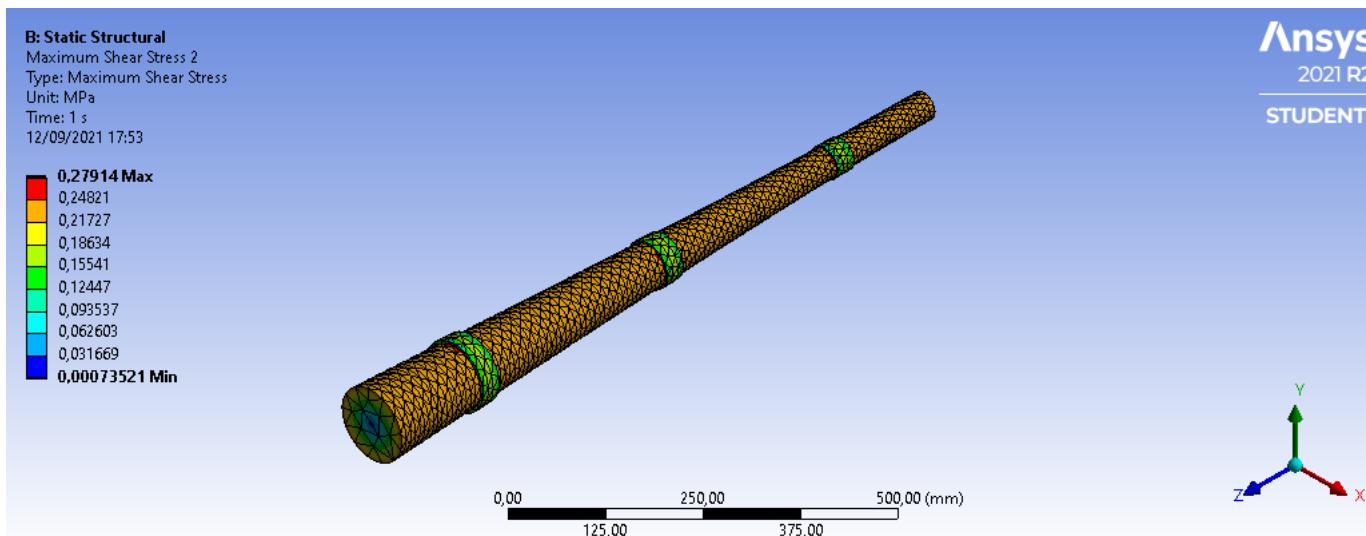


Figura 66 – Nitronic 50 - Tensão de Cisalhamento

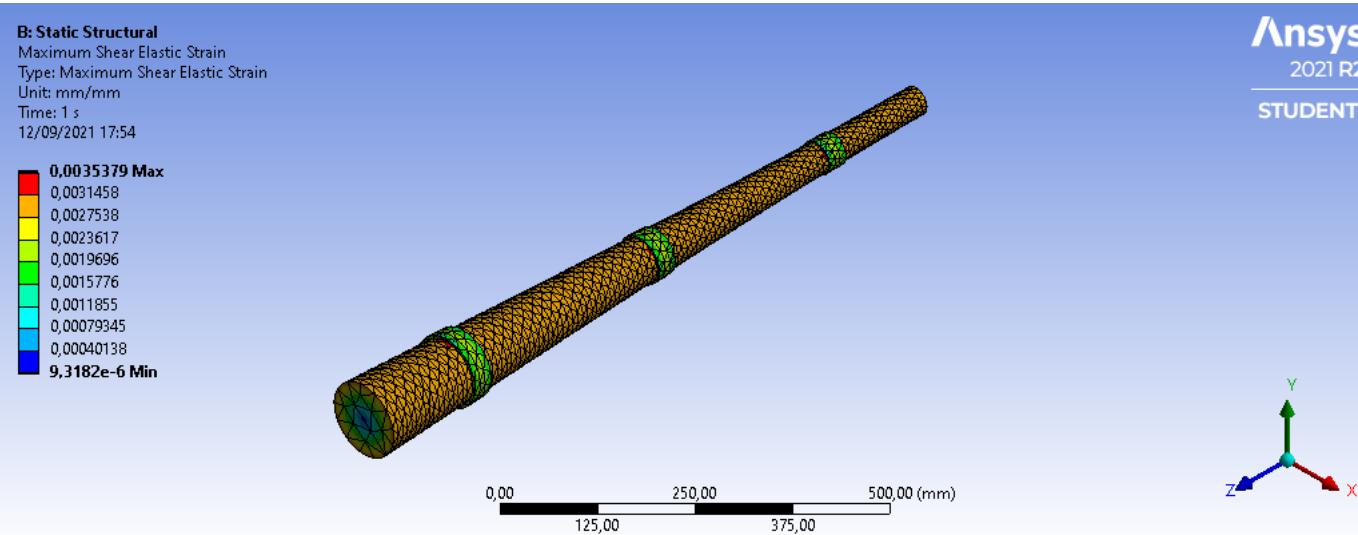


Figura 67 – Nitronic 50 - Deformação de Cisalhamento

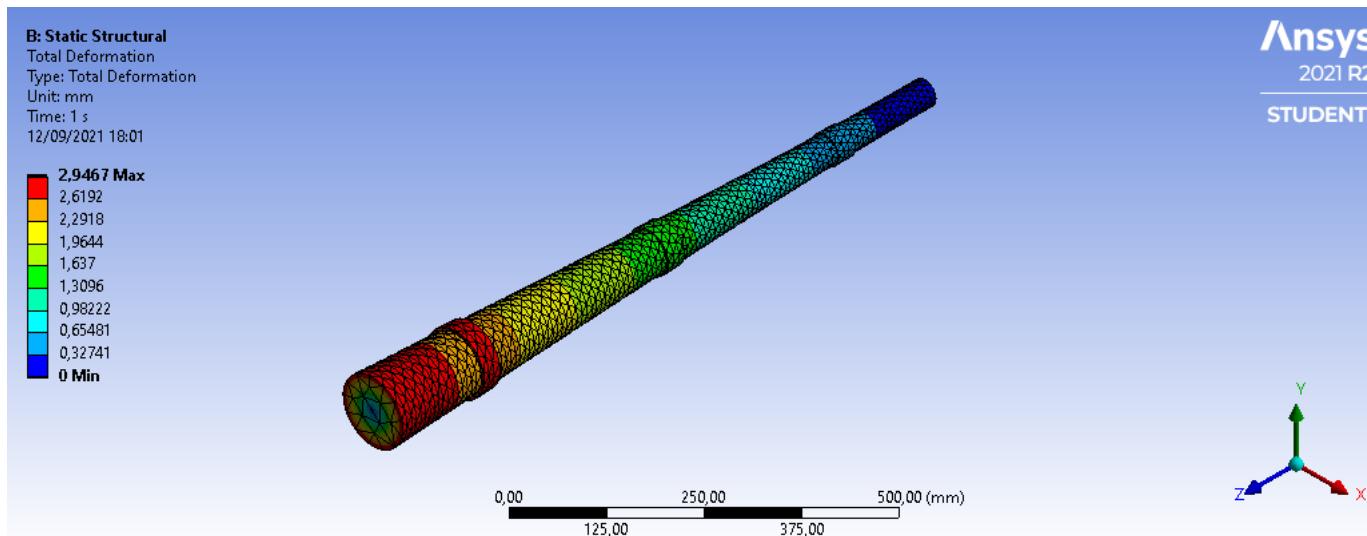


Figura 68 – Nitronic 50 - Deslocamento Total

5.4.3 Definição de Materiais

Para a definição dos materiais a serem utilizados em cada componente estrutural foram considerados os materiais mais comumente usados na indústria de construção naval. A partir da seleção dos materiais mais viáveis, foi feita uma análise comparativa de suas características e propriedades mecânicas a fim de obter as melhores opções que suprirão os requisitos de projeto.

5.4.3.1 Estrutura Flutuante

A estrutura da boia deve ser composta de um material capaz de fornecer a maior eficiência estrutural, alta resistência e rigidez, alta durabilidade, baixo peso que garanta a flutuabilidade

da boia e uma alta resistência a corrosão, que são aspectos necessários para que os componentes estruturais suportem as adversidades características do ambiente à qual ela estará exposta.

Para que esses objetivos sejam alcançados, a construção em sanduíche foi a escolhida, uma vez que ela resulta em estruturas leves e capazes de resistir aos esforços de flexão e compressão a qual a boia estará submetida, e que podem causar deformações estruturais resultando em falhas, efeitos indesejáveis como vibrações, perda de desempenho ou das características hidrodinâmicas. Sendo assim, optou-se pela utilização de um material compósito formado por uma matriz polimérica reforçada com fibra, denominado *fibre-reinforced plastic*, ou FRP, para compor as camadas externas, e por uma espuma polimérica para compor o núcleo da estrutura em sanduíche. Os materiais compósitos em comparação a outros materiais possuem uma excelente combinação entre suas propriedades mecânicas com uma baixa densidade, fornecendo leveza combinada com alta resistência, rigidez, alta resistência à corrosão e alta resistência à abrasão.

Desse modo, foram selecionadas as opções mais populares e utilizadas para as fibras de reforço, as matrizes e espumas poliméricas, em decorrência de maior viabilidade e disponibilidade, de forma que uma análise comparativa entre suas características pudesse ser realizada para a escolha final dos materiais que integrarão o projeto estrutural.

- Fibras de Reforço

As fibras de reforço constituem um dos parâmetros de projeto de grande influência, uma vez que elas são responsáveis por fornecer a maior parcela da resistência e rigidez do compósito. As propriedades mecânicas do material compósito são dependentes de fatores como o teor de fibras e de sua orientação, que pode ser unidirecional, bidirecional ou aleatória, em relação a direção do carregamento a qual a estrutura estará submetida, e da performance e adesão entre a matriz polimérica e a fibra.

Dentre as fibras de reforço existentes, as fibras de vidro ganham um destaque na construção de embarcações por sua durabilidade, resistência, rigidez e acessibilidade econômica. Elas são classificadas de acordo com suas composições químicas, e entre elas, as fibras do tipo E e S, denominadas E-glass e S-glass respectivamente, são as mais utilizadas na construção naval.

As fibras do tipo S são caracterizadas e por possuírem um teor maior de sílica comparado aos outros tipos de fibra, o que resulta em uma temperatura de fusão mais elevada, o que consequentemente exige um processamento a altas temperaturas, tornando o seu custo relativamente elevado. Além disso, suas propriedades mecânicas são mais elevadas, o que lhes garante uma alta performance. Em comparação as fibras do tipo E, possuem maior resistência a tração e a flexão, bem como um custo mais alto. Entretanto, as fibras do tipo E também são capazes de fornecer uma boa resistência e rigidez com uma excelente relação custo benefício, o que as tornam as mais usadas nas construções de embarcações.

Além das fibras de vidro, as fibras de carbono também ganham destaque por suas características, já que abrangem uma ampla gama de valores para suas propriedades mecânicas, alcançando assim altos valores de módulo de elasticidade e resistência a tração e a compressão. Elas são caracterizadas por serem um material leve extremamente rígido e resistente, além de possuírem uma relação rigidez/peso superior a de metais como aço e alumínio. Além disso, as fibras de carbono não sofrem deformações sob tensões abaixo de sua resistência a tração final, e, portanto, não possuem um limite de escoamento, ao passo que o aço se deforma permanentemente sob tensões superiores ao seu escoamento.

A tabela a seguir mostra as propriedades mecânicas dos materiais discutidos, e uma comparação com metais como aço (AISI 1020) e alumínio pode ser observada nos gráficos abaixo:

Tabela 24 – Propriedades Mecânicas das Fibras de Reforço

	E-glass	S-glass	Carbono
Módulo de Elasticidade	72 - 85 GPa	86 - 93 GPa	200 - 500 GPa
Resistência a Tração	1950 - 2050 MPa	4700 - 4800 MPa	1,10 - 6,96 GPa
Resistência a Compressão	4000 - 5000 MPa	4000 - 5000 MPa	1,00 - 2,80 GPa
Resistência a Flexão	3300 - 3450 MPa	4500 - 4900 MPa	-
Resistência a Fadiga	2970 - 3110 MPa	4050 - 4410 MPa	-
Módulo de Cisalhamento	30 - 36 GPa	35 - 39 GPa	10 - 15 GPa
Densidade	2,55 - 2,60 g/cm ³	2,48 - 2,49 g/cm ³	1,65 - 2,20 g/cm ³

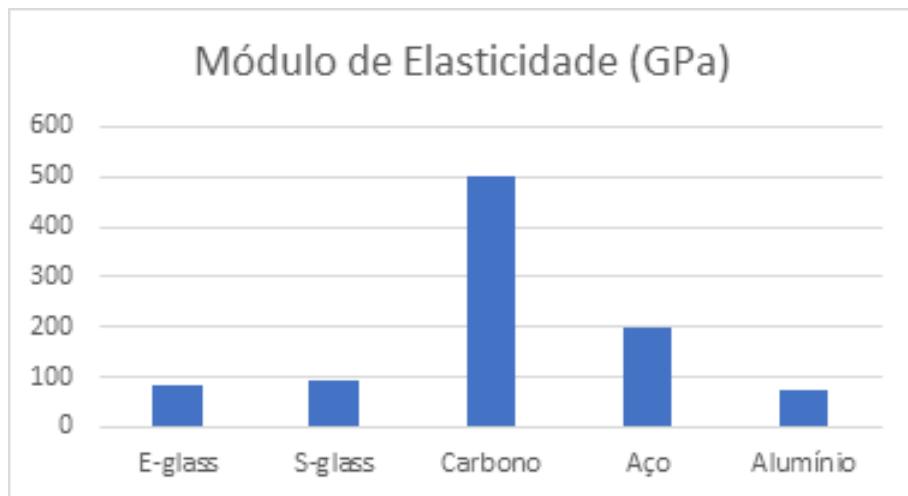


Figura 69 – Gráfico Comparativo do Módulo de Elasticidade

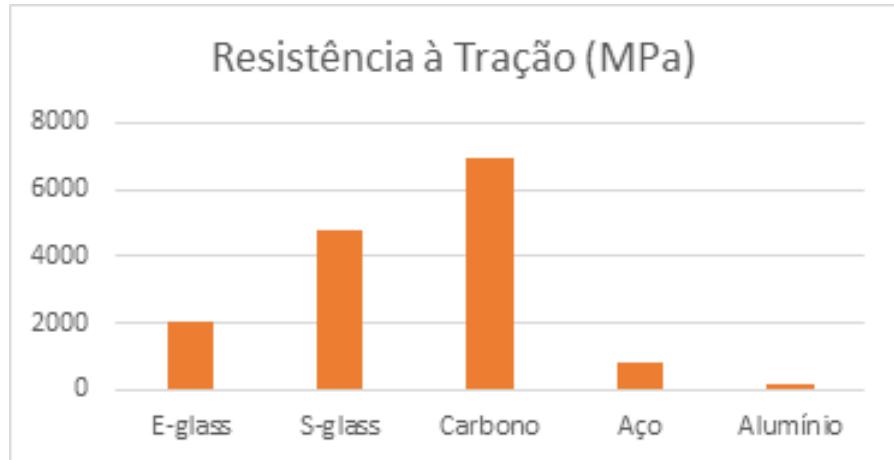


Figura 70 – Gráfico Comparativo da Resistência à Tração

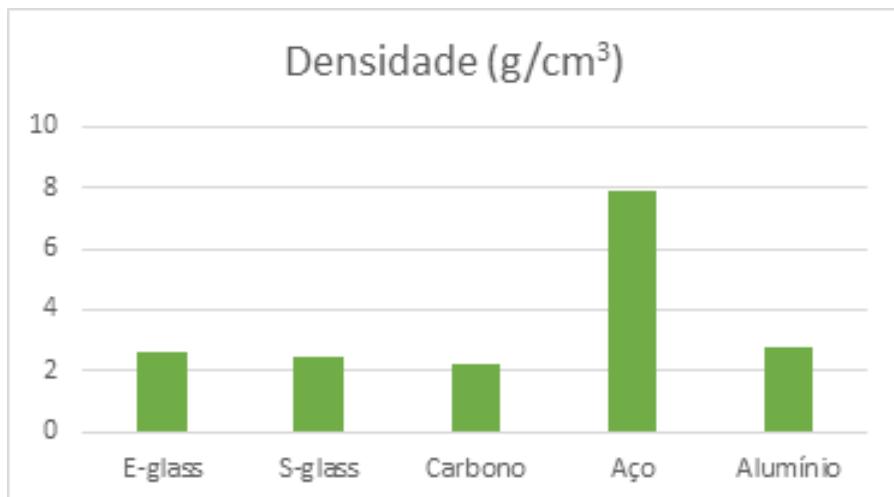


Figura 71 – Gráfico Comparativo da Densidade

A partir de todas as características analisadas das fibras de reforço, é possível fazer uma comparação entre as vantagens que cada material oferece em relação ao seu custo benefício:

Tabela 25 – Propriedades Comparativas para Fibras de Reforço

	Vidro	Carbono
Alta Resistência a Tração	B	A
Módulo de Tração	C	A
Resistência a Compressão	B	A
Módulo de Compressão	C	A
Resistência a Flexão	B	A
Resistência ao Impacto	B	C
Resistência Interlaminar ao Cisalhamento	A	A
Resistência ao Cisalhamento	A	A
Densidade	C	B
Resistência a Fadiga	C	A
Resistência ao Fogo	A	C
Isolamento Térmico	B	C
Expansão Térmica	A	A
Custo	A	C

Fonte: NASSEH, Jorge

Tabela 26 – Legenda da Tabela Propriedades Comparativas para Fibras de Reforço

Legenda		
A = Excelente	B = Aceitável	C = Baixo

- Matrizes poliméricas

As matrizes poliméricas, comumente chamadas de resinas, são responsáveis por formar a matriz em que as fibras serão dispostas e fixadas, além de formarem a barreira que ajudará na transferência e distribuição de cargas e protegerá as fibras contra a ação da água, efeitos abrasivos e reações químicas. Dentre seus parâmetros fundamentais, está a sua capacidade de adesão às fibras, o que garante que permanecerão em suas posições evitando assim deslocamentos que podem comprometer a resistência do compósito, uma vez que usualmente as fibras estarão direcionadas no mesmo sentido do carregamento a qual serão submetidas, a fim de absorver as tensões geradas. Além disso elas devem ter capacidade de alongamento e de se deformar juntamente com as fibras sob carregamento, de forma que delaminações e rachaduras na estrutura sejam evitadas.

Entre as resinas mais utilizadas estão a do tipo poliéster e estervinílica. A resina poliéster possui desempenho médio, sendo leve, durável, resistente, de fácil processamento e custo acessível, porém possui ligações mais fracas que podem resultar em perda de resistência química e hidrólise sob ação da água. Sendo assim, as resinas poliéster são inferiores as resinas estervinílicas, já que estas possuem melhor desempenho mecânico, alta performance, e maior resistência à hidrólise, e consequentemente um processamento mais complexo e um custo mais elevado.

- Compósitos

As fibras de reforço juntamente com as resinas formarão os materiais denominados *Carbon-fiber Reinforced Polymer* (CFRP) ou Polímero Reforçado com Fibra de Carbono, quando o reforço é a fibra de carbono, e *Glass-fiber Reinforced Polymer* (GFRP) ou Polímero Reforçado com Fibra de Vidro, quando o reforço é a fibra de vidro.

O CFRP é caracterizado por baixa densidade, alta resistência a fadiga, módulo de elasticidade elevado, e por não absorver água, porém possui baixa resistência a compressão e alto custo, uma vez que a obtenção da fibra de carbono exige muita energia. Já o GFRP é caracterizado por possuir alta resistência, e resistência contra efeitos químicos e a ação da água, e baixo custo comparado a outros materiais reforçados com fibras. Uma comparação entre estes materiais pode ser feita a partir de suas propriedades mecânicas:

Tabela 27 – Propriedades Comparativas CFRP vs. GFRP

	CFRP	GFRP	GFRP
		E-glass	S-glass
Módulo de Elasticidade (GPa)	37 – 784	72,4	85,5
Resistência a Tração (MPa)	600 – 3920	3450	4580
Densidade (g/cm ³)	1,50 - 2,10	2,50	2,50
Alongamento (%)	0,5 – 1,8	2,4	3,3

- Espumas Poliméricas

As espumas poliméricas que irão compor a estrutura em sanduíche devem ser capazes de manter o afastamento entre as camadas externas de material compósito e satisfazer critérios que garantam o desempenho estrutural, necessitando de alta resistência a esforços compressivos e cisalhantes, e rigidez na direção perpendicular às camadas externas. Entre os materiais mais utilizados como núcleos de estruturas sanduíche estão a espuma de PVC e a espuma de Poliuretano. Suas propriedades mecânicas podem ser comparadas na tabela abaixo:

Tabela 28 – Propriedades Comparativas PVC vs. Poliuretano

	CFRP	GFRP
Densidade (kg/m ³)	65	70
Módulo de elasticidade (MPa)	55	19
Tensão limite a compressão (MPa)	1	0,5
Módulo de cisalhamento (MPa)	9	5
Tensão limite cisalhante (MPa)	1,15	0,6

5.4.3.2 Eixos Propulsores e Pás

Os eixos propulsores e pás devem possuir propriedades mecânicas que os tornem capazes de resistir ao desgaste, aos esforços de fadiga e torção, e ainda possuir alta resistência à corrosão.

Dentre as opções disponíveis, os aços inoxidáveis 316 e Nitronic 50 são utilizados com essa finalidade. Ambos materiais possuem propriedades mecânicas adequadas e alta resistência a corrosão, sendo o Nitronic 50 superior nesses quesitos e mais eficiente, o que permite que os eixos provenientes dele tenham diâmetros menores para uma mesma potência em comparação ao 316, possibilitando assim uma redução nos rolamentos e consequentemente uma redução de custos. As propriedades de ambos os aços podem ser comparadas na tabela abaixo:

Propriedades Comparativas para o Aço Inoxidável

Tabela 29 – Propriedades Comparativas para o Aço Inoxidável

	Aço Inoxidável 316	Aço Inoxidável Nitronic 50
Densidade	8,00 g/cm ³	7,88 g/cm ³
Ponto de Fusão	1398 °C	1415 – 1450 °C
Módulo de Rigidez	70,3 kN/mm ²	78,9 kN/mm ²
Módulo de Elasticidade	187,5 kN/mm ²	196,5 kN/mm ²

5.4.3.3 Estruturas Metálicas

- Estrutura de Suporte e Mancais

A estrutura de suporte será responsável por fornecer a sustentação necessária para os painéis da estrutura em sanduíche poderem ser alocados e fixados. Já os mancais serão responsáveis por proteger os eixos das pás e evitar que estes sofram esforços mecânicos que possam causar flambagem. Para compor esses elementos estruturais, os materiais considerados foram o metalon galvanizado e o aço 1020.

O metalon galvanizado é obtido a partir da galvanização do aço, que consiste em aplicar uma camada de zinco como revestimento ao material, proporcionando assim melhores propriedades anticorrosivas, além disso, é um material leve que possui boa resistência aos esforços compressivos e torcionais, sendo amplamente utilizado em construções como estrutura metálica.

Já o aço 1020 é amplamente utilizado pelo seu custo benefício, sendo indicado para elementos de fixação como parafusos e pinos, engrenagens, eixos, colunas e peças em geral submetidas a esforços pequenos e médios. As propriedades mecânicas do aço podem ser observadas abaixo:

Tabela 30 – Propriedades Mecânicas para o Aço

	Aço
Módulo de Elasticidade	200 GPa
Resistência a Tração	420 MPa
Tensão de Escoamento	207 MPa
Razão de Poisson	0,266
Densidade	7.860 kg/m ³
Coeficiente de Expansão Térmica	$1,17 \times 10^{-5} K deg$
Força de Rendimento	$2,5 \times 10^8 N/m\check{s}$

Para a seleção final do material a ser utilizado, uma análise estrutural com o aço foi realizada para o entendimento de seu comportamento mecânico, de forma que fosse possível observar se ele suportaria determinadas cargas a qual a estrutura de suporte da boia foi submetida. Com isso, a geometria da estrutura de suporte foi desenvolvida como mostra a figura abaixo, e esta foi submetida as cargas mostradas na tabela em seguida:

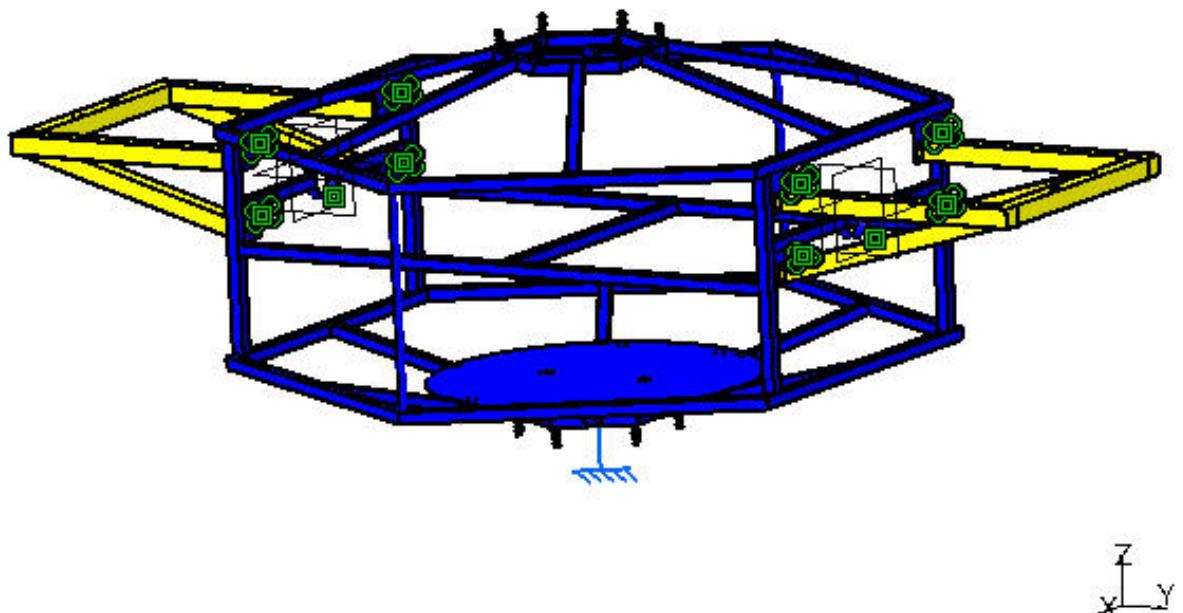


Figura 72 – Geometria da Estrutura

Tabela 31 – Carga Aplicada na Estrutura

Componentes	Forças Aplicadas	Reações	Residual	Erro de Magnitude Relativa
Fx (N)	1.0875e-014	1.6869e-007	1.6869e-007	1.2312e-010
Fy (N)	5.2765e-014	-6.9494e-008	-6.9494e-008	5.0721e-011
Fz (N)	-2.0000e+003	2.0000e+003	-3.0457e-007	2.2229e-010
Mx (Nxm)	-7.6027e+002	7.6027e+002	1.7169e-007	6.9365e-011
My (Nxm)	1.3085e-006	-1.5918e-006	-2.8329e-007	1.1445e-010
Mz (Nxm)	1.0702e-014	-1.3395e-007	-1.3395e-007	5.4117e-011

A partir da simulação estrutural, obteve-se os seguintes resultados mostrados nas figuras abaixo:

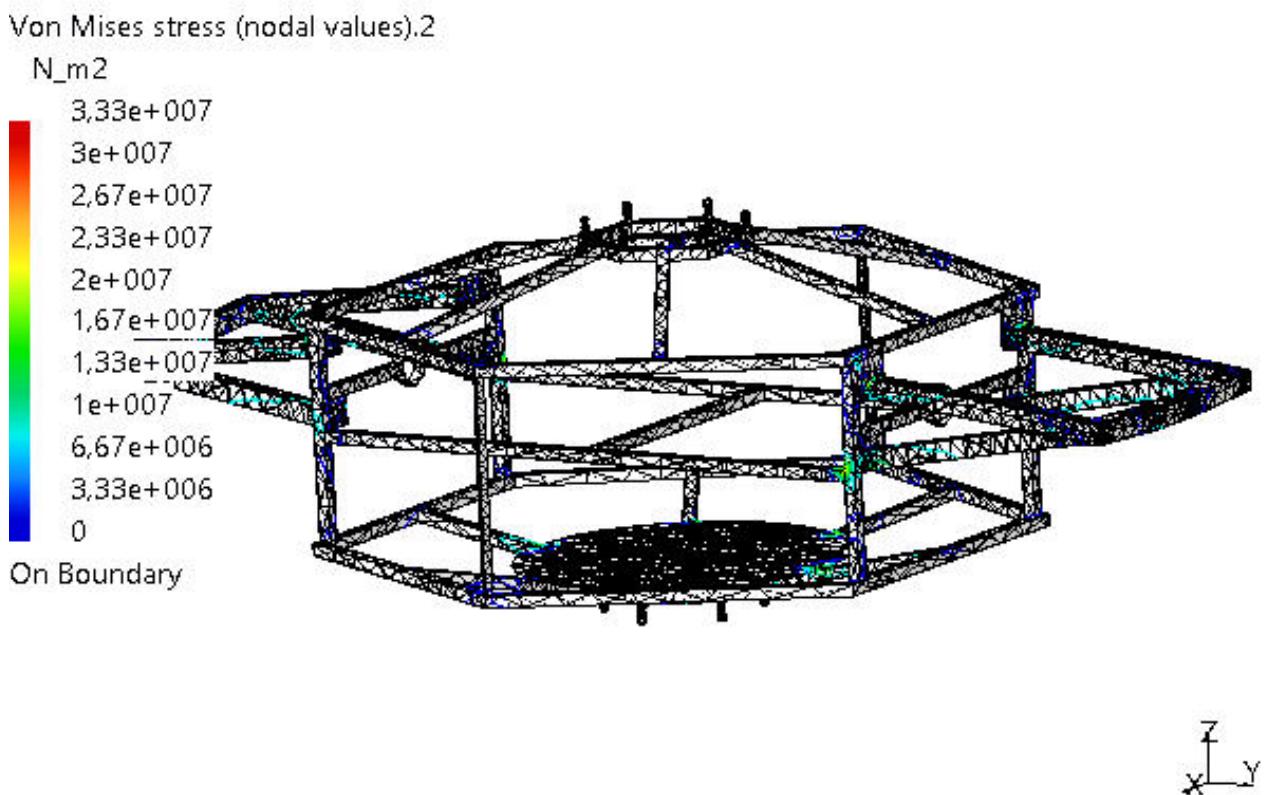


Figura 73 – Resultado 1 da Simulação

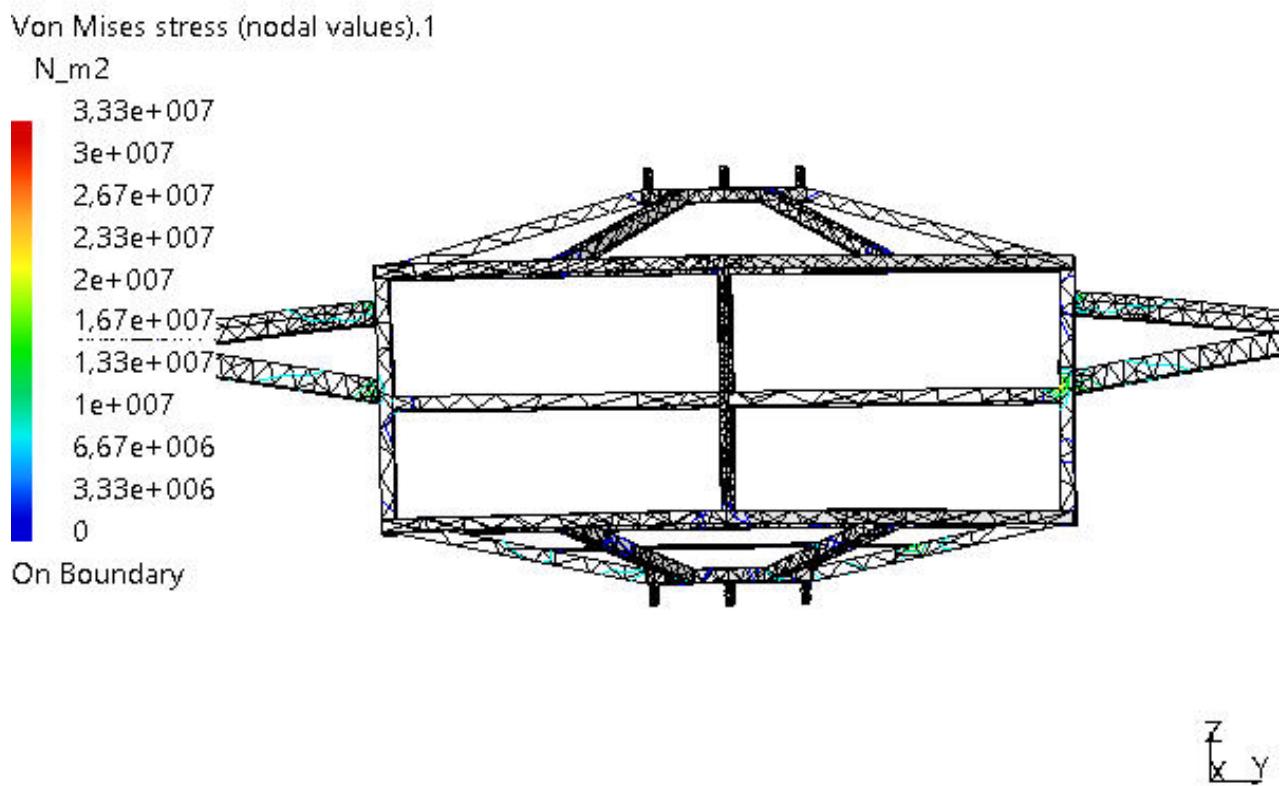


Figura 74 – Resultado 2 da Simulação

A partir das figuras acima observa-se que a tensão máxima aplicada na estrutura sob este carregamento tem o valor de 33,3 MPa, o que corresponde a apenas 16,09% da tensão de escoamento do aço cujo valor é de 207 MPa, portanto, o limite de escoamento não é atingido, e a estrutura permanece no regime elástico sem sofrer deformações plásticas. Com isso, é possível concluir que a estrutura suporta a carga aplicada, portanto o aço é uma escolha ideal para a estrutura de suporte da boia.

A mesma análise pode ser aplicada nos mancais. Na figura abaixo é possível observar a geometria desses elementos estruturais, e os resultados da simulação podem ser observados nas figuras seguintes:

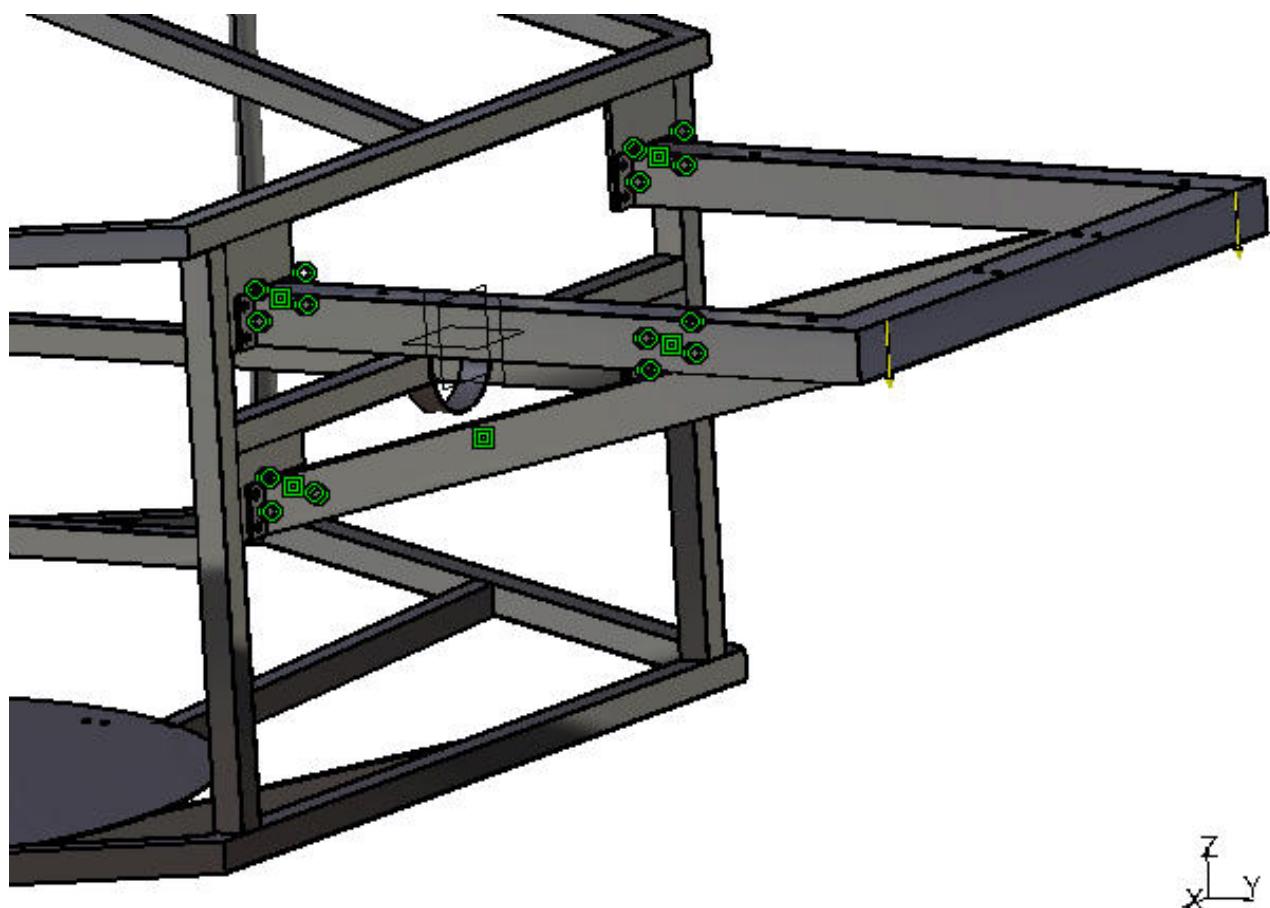


Figura 75 – Mancal

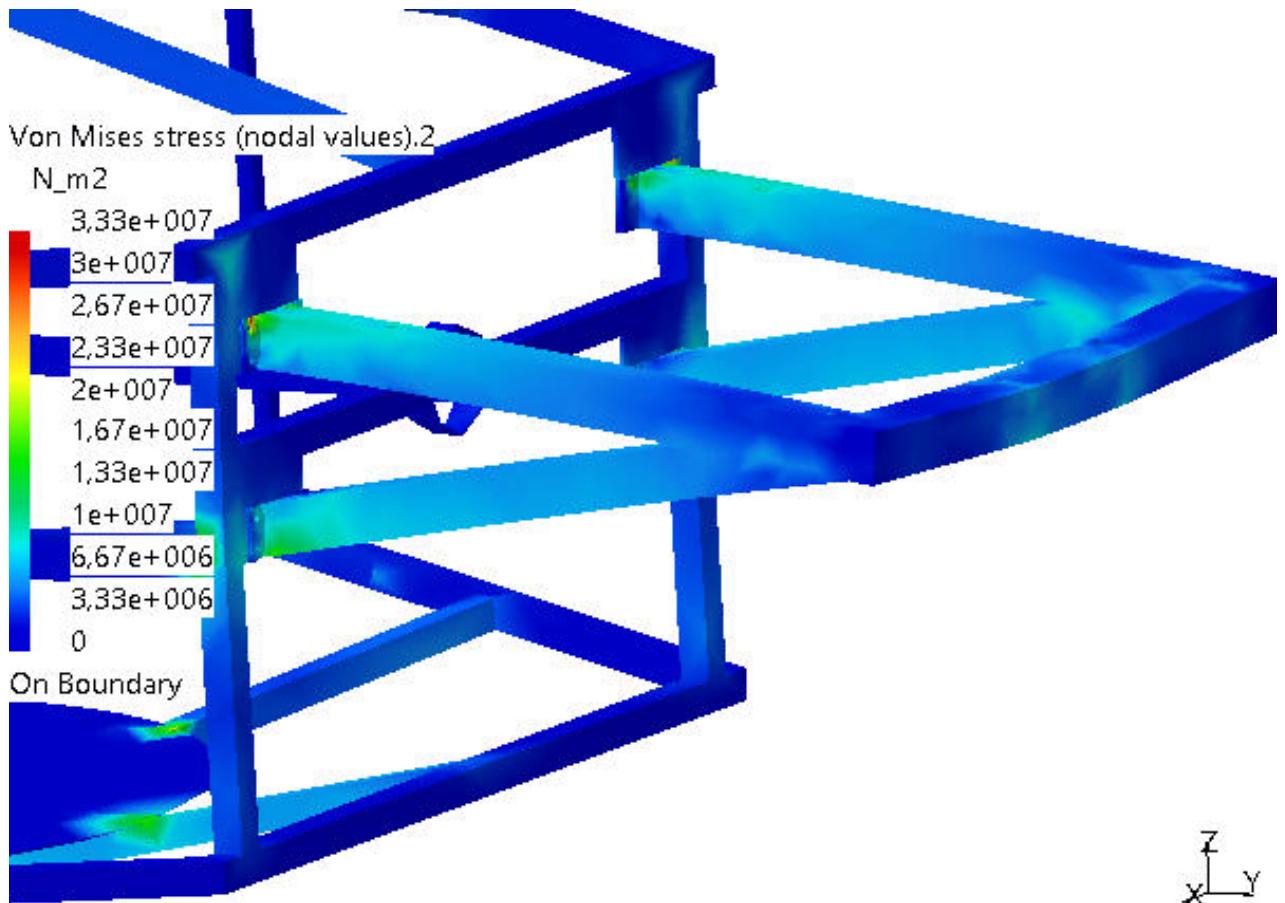


Figura 76 – Resultado 1 da Simulação para o Mancal

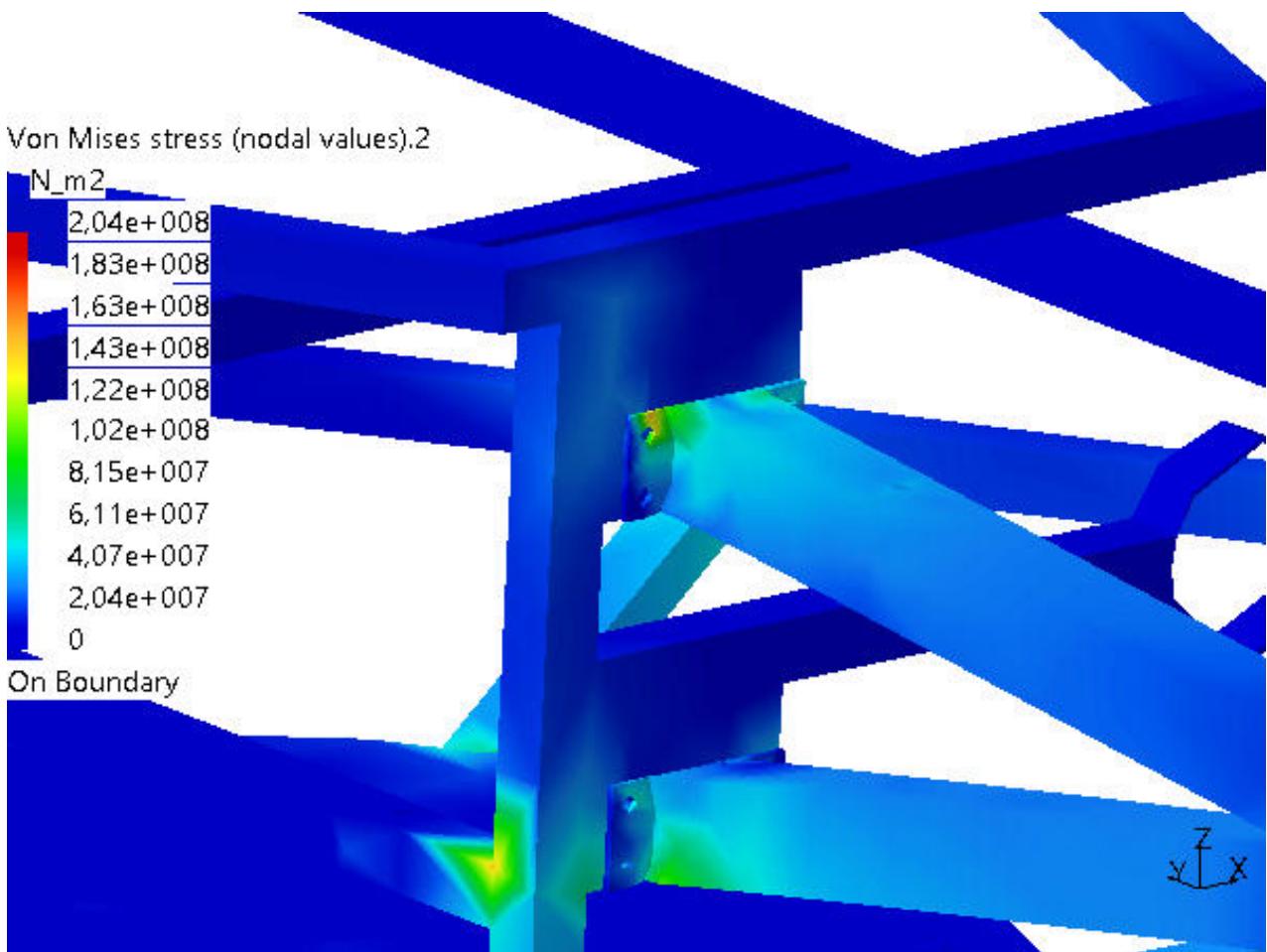


Figura 77 – Resultado 2 da Simulação para o Mancal

É possível observar que a região de fixação dos mancais possui uma maior concentração de tensões, porém elas permanecem dentro do regime elástico e resistem aos esforços aplicados sobre a estrutura. Portanto, conclui-se que esses elementos estruturais são resistentes e capazes de proteger os eixos das pás.

- Torre

A mesma análise estrutural foi aplicada à torre de sinalização, na qual o mesmo aço considerado na simulação anterior foi utilizado. A partir da simulação, foi possível o entendimento de seu comportamento mecânico neste componente estrutural, a fim de se definir se este material a ser empregado seria adequado. Para isso, foi aplicada o carregamento descrito na tabela abaixo:

Componentes	Forças Aplicadas	Reações	Residual	Erro de magnitude relativa
Fx (N)	-1.4901e-007	1.3452e-007	-1.4489e-008	5.3349e-011
Fy (N)	-1.0000e+003	1.0000e+003	-1.5784e-007	5.8117e-010
Fz (N)	0,0000e+000	-1.7362e-009	-1.7362e-009	6.3927e-012
Mx (Nxm)	9.0200e+002	-9.0200e+002	7.3404e-008	2.9898e-010
Meu (Nxm)	-1.3441e-007	1.0891e-007	-2.5498e-008	1.0385e-010
Mz (Nxm)	-9.3875e-007	8.6450e-007	-7.4249e-008	3.0242e-010

Figura 78 – Carga Aplicada na Torre

Os resultados obtidos na simulação da torre podem ser observados nas figuras abaixo:

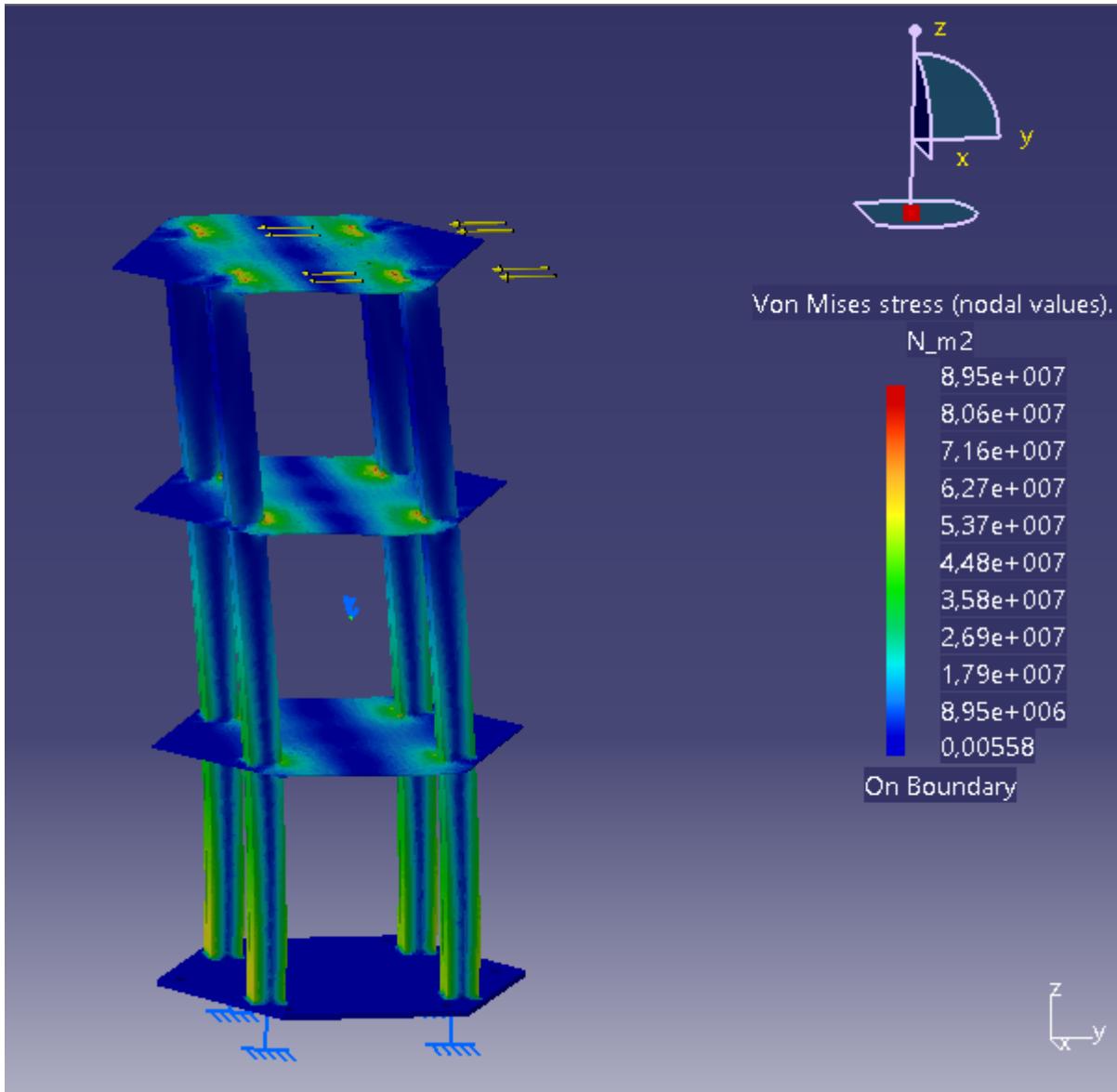


Figura 79 – Resultado 1 da Simulação para a Torre

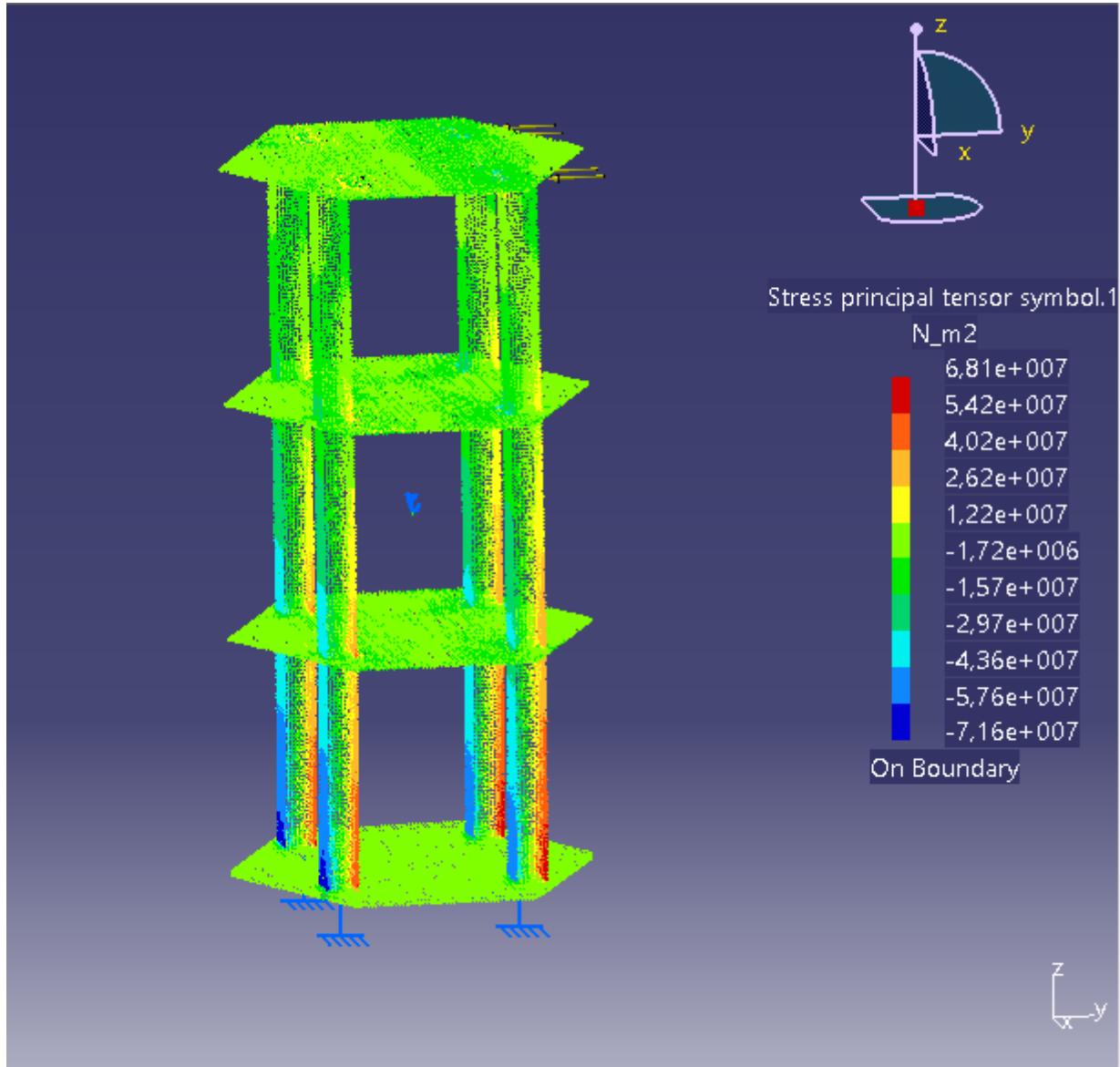


Figura 80 – Resultado 2 da Simulação para a Torre

Com os resultados obtidos na simulação, é possível observar que a torre suporta as cargas aplicadas, e o aço é adequado para a sua estrutura, uma vez que a tensão máxima obtida foi de 68,1 MPa na estrutura com um todo, e de 89,5 MPa nos nós. Ambos valores correspondem a 32,9% e 43,2% da tensão de escoamento do aço, e indicam que a estrutura permanece no regime elástico e não sofre deformações plásticas.

5.4.4 Diagrama geral de funcionamento da estrutura

A figura abaixo mostra o diagrama de funcionamento geral da solução proposta.

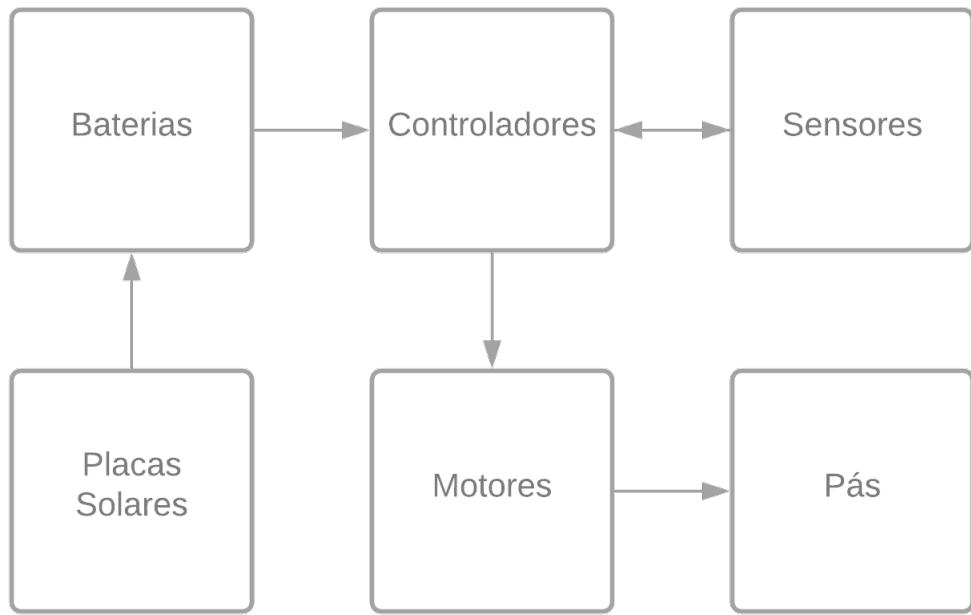


Figura 81 – Diagrama de funcionamento geral do sistema.

O sistema é composto por placas solares que estão posicionadas no topo da estrutura inclinadas à 16 graus, pois essa é a angulação ideal para maior incidência de raios solares durante o dia, as placas captam a energia e transferem para as baterias que estão armazenadas no interior da estrutura, garantindo assim autonomia de funcionamento.

As baterias de chumbo-ácido suprirão a demanda dos sensores e controladores enquanto não houver incidência solar.

Com o fornecimento de energia, as baterias alimentaram os controladores que, por sua vez, requisitam aos sensores informação necessárias sobre a qualidade da água. Em seguida, os sensores respondem os controladores com os dados solicitados.

Os controladores ESP32 DEVKIT V1 também serão responsáveis pela movimentação da estrutura, por meio de sinais enviados para os motores elétricos de 24v, que moverão as pás por meio de eixos para gerar propulsão na água.

5.4.5 Resposta dinâmica do sistema

A fim de garantir um melhor desempenho dos sistemas propulsores e assegurar sua manobrabilidade, alguns conceitos devem ser levados em consideração. Primeiramente, o dispositivo de propulsão escolhido foram as rodas de pás, que possuem cálculos relacionados ao seu empuxo bem definidos. Tais cálculos encontram-se presentes em detalhes com seus desenvolvimentos na

referência (SAUNDERS, 1957).

$$T(per-effective-blade) = \rho(s)hV_o(V_o - V) \quad (5.13)$$

Onde T corresponde ao empuxo efetivo por roda de pá, ρ corresponde a densidade, (s)h a área da pá, V^o a velocidade tangencial da roda, e V a velocidade da embarcação.

Tal equação aponta uma das variáveis de performance que serão dimensionadas posteriormente, considerando a geometria da roda e das pás.

Outro fator importante encontra-se na manobrabilidade do sistema, que possui como proposta se mover com a utilização de duas rodas de pás que funcionam de maneira independente, sendo possível alterar o ângulo de direção desejado ao fazê-las giraram em sentidos opostos. Desta forma, fatores como o coeficiente de arrasto serão estimados de maneira a aproximar as dissipações de energia com a redução de velocidade angular necessária a parada da embarcação no ângulo correto, reduzindo assim a quantidade de energia gasta pelas baterias em um possível sistema ativo de frenagem.

Apesar dessas considerações, será necessário calcular possíveis correções de trajetória a partir de pequenos movimentos dos dispositivos propulsivos, regulando com maior precisão o direcionamento desejado. Por fim, imediatamente depois da mudança de direção, os dois motores serão acionados conjuntamente para um movimento retilíneo, estabilizando o sistema.

Os cálculos de desempenho foram divididos em um dimensionamento inicial para definição do motor, área efetiva da pá, taxa de deslizamento e potência efetiva. Adiante, foram obtidas quatro tipos de respostas situacionais que serão desenvolvidas nos tópicos a seguir. Todos os cálculos referenciados foram desenvolvidos em uma rotina em Matlab disposta no Apêndice F. neste trabalho.

5.4.5.1 Dimensionamento de Desempenho

Inicialmente, o primeiro fator a ser dimensionado é a área efetiva das pás do sistema de propulsão, e tal otimização deve ser feita para condição de velocidade de cruzeiro sendo essenciais fatores como a resistência total envolvida, a área molhada e a taxa de deslizamento para sua obtenção. Os fatores geométricos foram predispostos da geometria preliminar do projeto.

O cálculo da resistência total envolvida no sistema flutuante pode ser descrita como:

$$R_T = R_W + R_V + R_A \quad (5.14)$$

Onde R_W é a resistência de onda, R_V a resistência viscosa e R_A a resistência do ar.

Para fins deste projeto, considerando a baixa influência da resistência do ar quando comparada à resistência da água, a resistência total foi estimada apenas considerando efeitos viscosos

da água. Desta maneira, sabendo-se da baixa otimização hidrodinâmica da estrutura e que seu casco principal corresponde à uma forma hexagonal, que já possui valores de coeficiente de arrasto bem definidas na teoria, o coeficiente de resistência total foi escolhido como 0,8, para efeitos de trajetória retilínea. Uma opção mais elaborada para definir tal valor, seria através de simulações fluidodinâmicas com custo computacional inviável para as resoluções deste trabalho.

A partir deste coeficiente definido, temos como a força de resistência do sistema flutuante como:

$$R_T = 0,5 C_T \rho S V^2 \quad (5.15)$$

Onde C_T é o coeficiente de resistência total, ρ é a densidade da água e V é a velocidade do escoamento.

Considerando uma otimização para velocidade de cruzeiro, teremos então que a tração total do sistema flutuante será igual ao arrasto, sendo o valor da tração por roda de pá já definida pela equação 5.13. Da equação citada, temos que encontrar o valor de V_o que pode ser definido como:

$$V_o = 2\pi r_w * RPM / 60; \quad (5.16)$$

Onde r_w corresponde ao raio médio das pás, e o RPM a velocidade de rotação eixo.

Considerando as dependências das variáveis que serão utilizadas, torna-se necessário uma dedução inicial de variáveis como a velocidade de rotação do motor e a velocidade de cruzeiro, que foram definidas como 60 RPM e 0,5 m/s respectivamente. Desta forma, isolando a área (s)h na equação 5.13, temos uma área efetiva das pás de 0,6105 m².

Outra variável importante a se definir, principalmente para encontrar o torque do eixo, é a taxa de deslizamento aparente, que mede a efetividade da tração gerada pela pá e pode ser calculada como:

$$\delta_a = \frac{(V_o - V)}{V_o}; \delta_a = 0,3110 \quad (5.17)$$

De acordo com (SAUNDERS, 1957), temos que para este valor de taxa de deslizamento, podemos encontrar a potência de eixo através de aproximações por um coeficiente K da seguinte forma:

$$K = 212,5 - 375\delta_a; P_s = \frac{(1.94384 * V)^3 (2 * sh * 10.7639)}{K} 745,7 \quad (5.18)$$

$$P_s = 99,4895W \quad (5.19)$$

$$Torque_s = \frac{60Ps}{(rpm * 2 * pi)} = 15,8342 N.m \quad (5.20)$$

5.4.5.2 Resposta do Tempo de Parada

Com as informações de desempenho desenvolvidas, seguiu-se para uma análise de respostas de movimento. A primeira desenvolvida foi o tempo de parada considerando velocidade inicial como a de cruzeiro e os motores desligados. Das dependências das variáveis e da aceleração variável com a velocidade, foi implementado um método iterativo de passos temporais pequenos variando pontualmente a velocidade com a aceleração encontrada na iteração passada. Tal método foi implementado em uma rotina Matlab disponível no Apêndice F.

$$V(i) = V(i - 1) - R_T(i - 1)t_p/m \quad (5.21)$$

Onde i é identificador da iteração, t_p é o passo de tempo e m é a massa.

Neste caso a única força envolvida é a força de resistência total ao movimento do sistema flutuante, porém a mesma depende diretamente do quadrado da velocidade. Com a utilização do método prescrito, foi possível encontrar os valores da velocidade e da posição do sistema flutuante pelo tempo, iniciando em uma posição igual a zero, sendo possível analisar o comportamento dinâmico do sistema com o decaimento e sua velocidade. Dadas as condições foi possível obter as seguintes respostas de movimento:

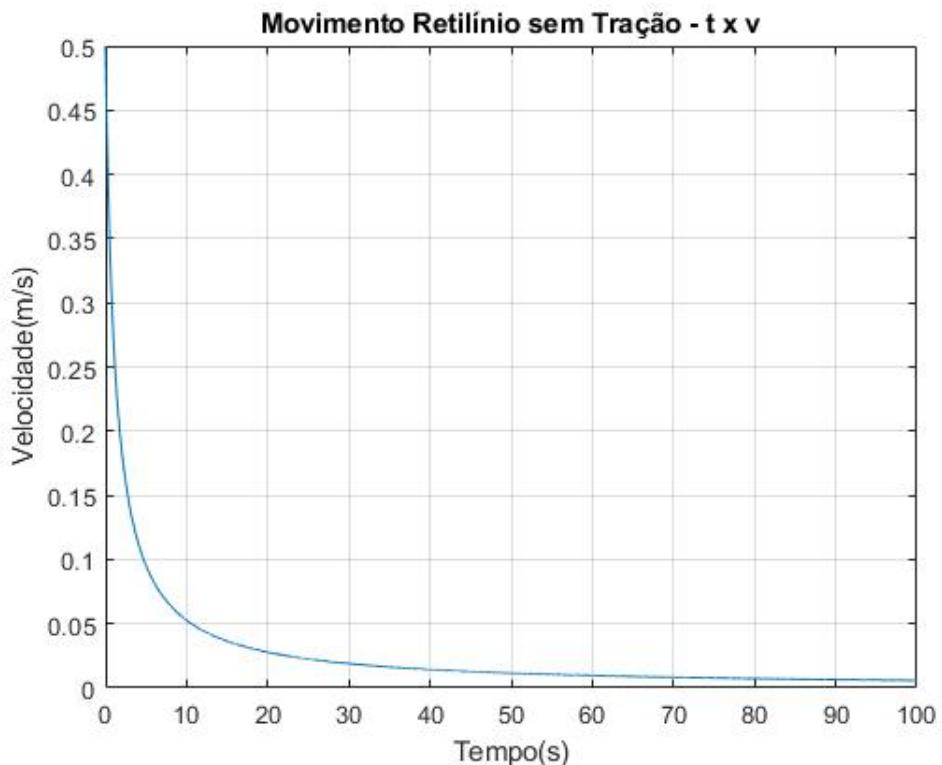


Figura 82 – Movimento Retilíneo sem Tração - Velocidade

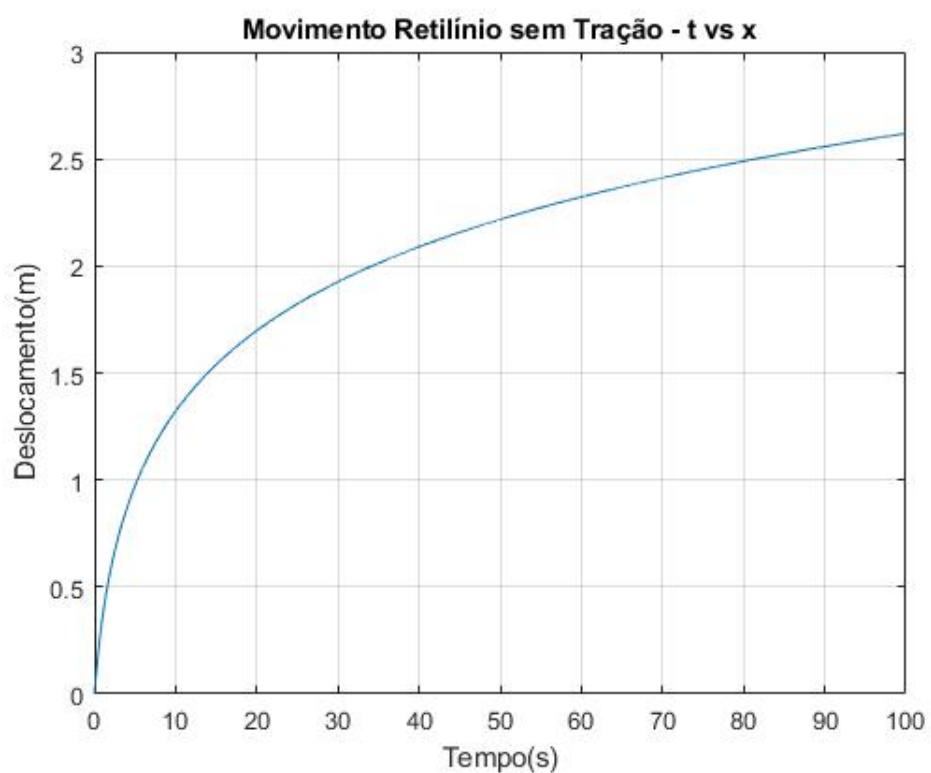


Figura 83 – Movimento Retilíneo sem Tração - Deslocamento

5.4.5.3 Resposta de aceleração

Para todos os tipos de resposta, foi necessário adaptar o método iterativo apresentado no tópico anterior, porém em situações de problemas físicos diferentes. Neste caso, a aceleração se dará pelas forças de resistência e tração efetiva, sendo as duas dependentes da velocidade. A velocidade inicial irá ser 0 com a rotação do motor em crescimento até 60 RPM em 5 segundos. Dadas as condições foi possível obter as seguintes respostas de movimento:

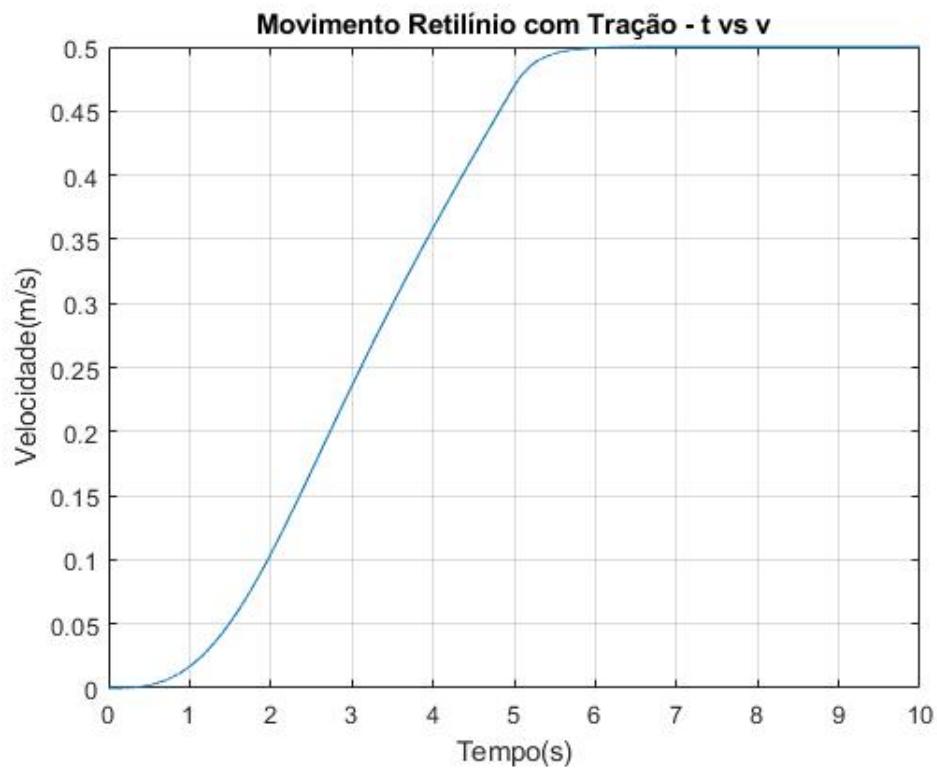


Figura 84 – Movimento Retilíneo com Tração - Velocidade

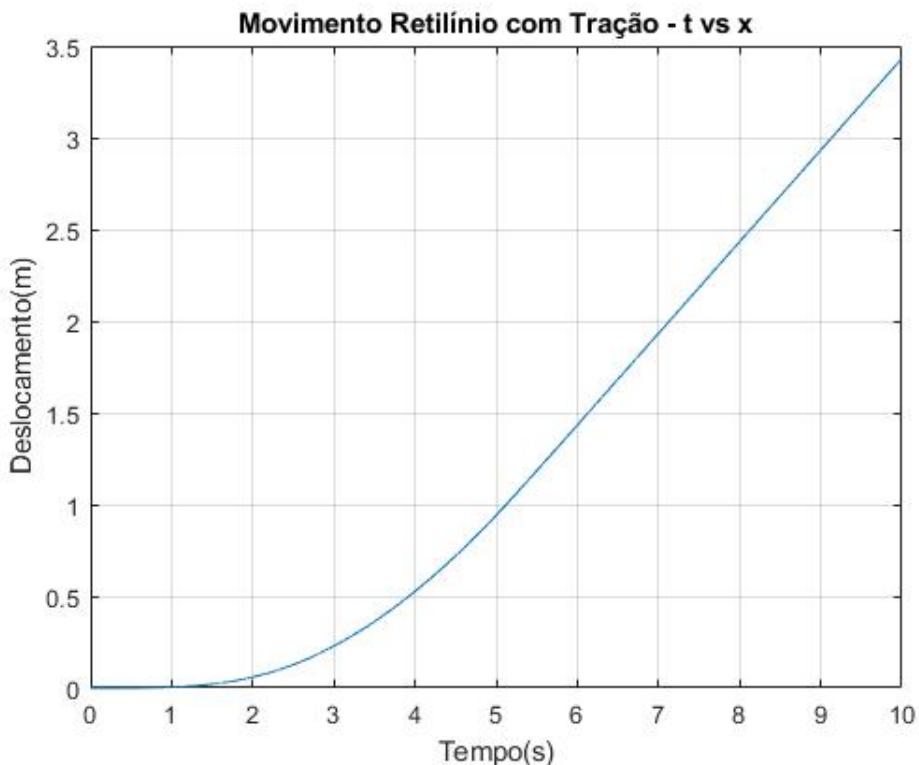


Figura 85 – Movimento Retilíneo com Tração - Deslocamento

5.4.5.4 Resposta à frenagem

Este problema, pode ser visto como uma adaptação dos dois anteriores, em que serão atuadas as forças de resistência e tração atuando no mesmo sentido e direção, com velocidade inicial sendo a de cruzeiro de 0.5 m/s. A rotação do motor também terá o mesmo crescimento apontado no item anterior. Dadas as condições foi possível obter as seguintes respostas de movimento:

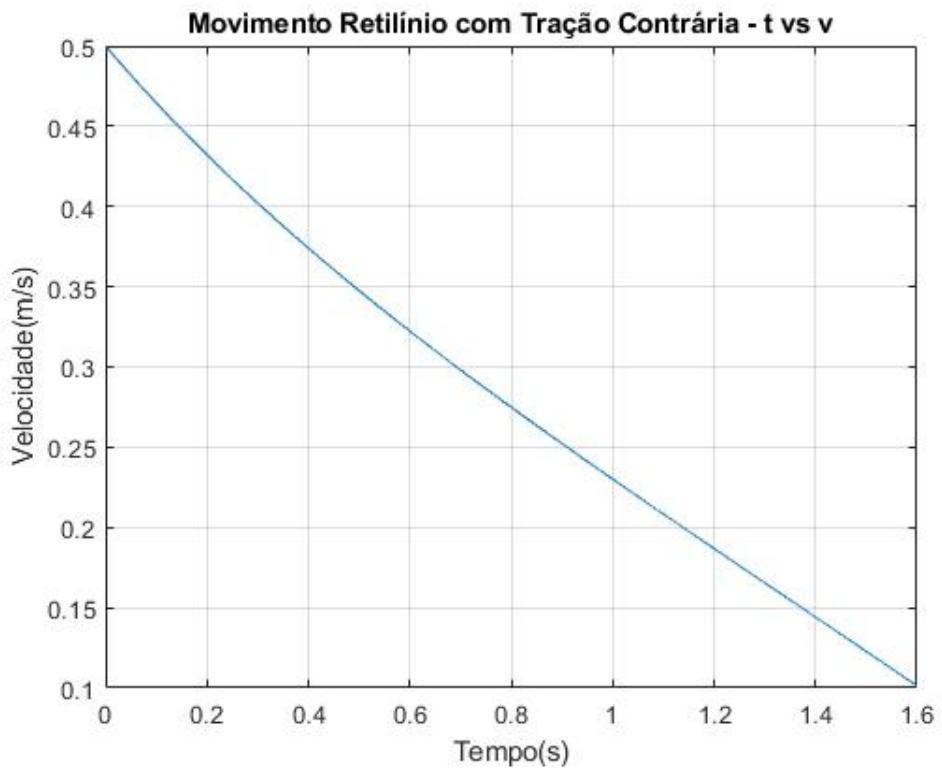


Figura 86 – Movimento Retilíneo com Tração Contrária - Velocidade

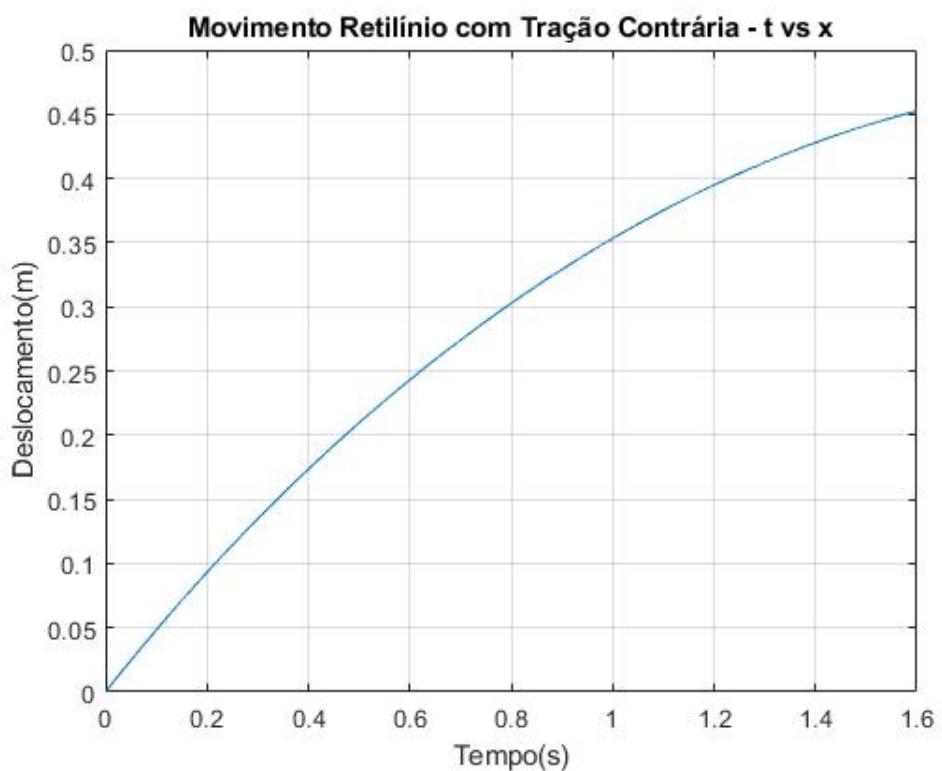


Figura 87 – Movimento Retilíneo com Tração Contrária - Deslocamento

5.4.5.5 Resposta à Rotação

Diferentemente das outras situações físicas já citadas, a resposta à rotação do sistema possui conceitos aplicados diferentes. Tal diferença se deve ao fato da consideração do movimento apenas em seu próprio eixo, existindo conservações de movimento calculadas a partir de princípios físicos diferentes.

O intuito desta resposta é otimizar o sistema para fazer uma rotação de 90º em seu próprio eixo. A primeira diferença está na trajetória proposta de fato, onde a velocidade inicial será zero e a final tenderá a zero. As outras diferenças compreendem as alterações dos parâmetros físicos para o meio rotacional, de forma que, pela conservação do momento:

$$M = r_r(T - R_T); \quad (5.22)$$

Onde M corresponde ao torque gerado na estrutura pelas forças envolvidas e r_r o raio de aplicação dessas forças.

$$a_\alpha = \frac{M}{I}; \quad (5.23)$$

Onde a_α corresponde a aceleração angular e I o momento de inércia.

Desta forma, foi utilizado o mesmo método iterativo mas para encontro da velocidade angular.

$$w(i) = w(i - 1) + a_\alpha(i - 1)tp \quad (5.24)$$

Dadas as condições, alternando o tempo de motor ligado, foi possível obter as seguintes respostas de movimento otimizadas:

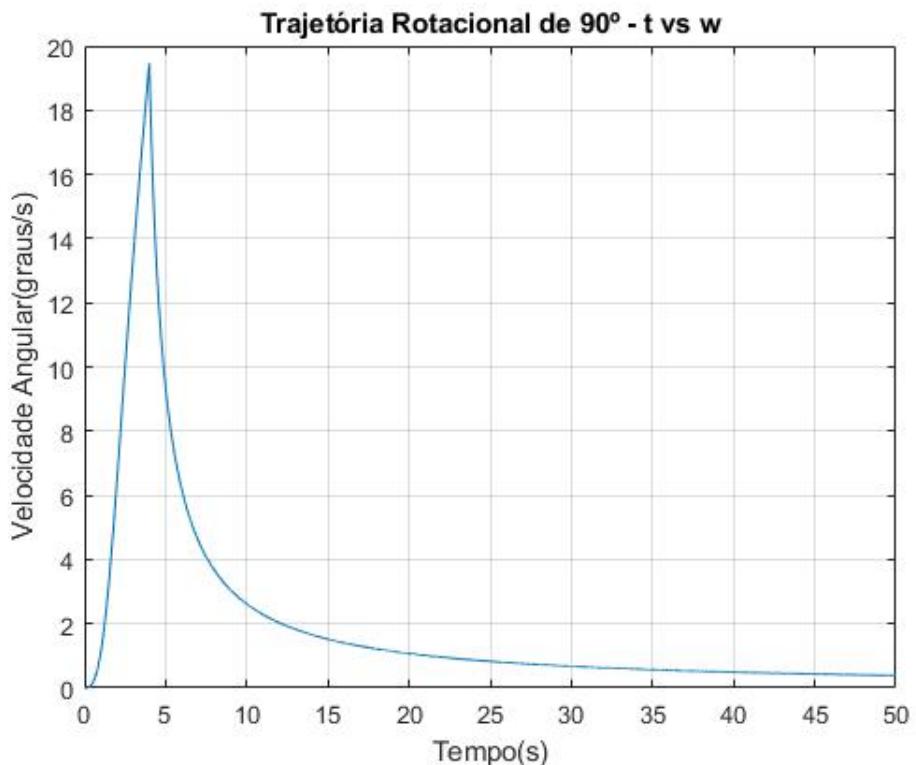


Figura 88 – Trajetória Rotacional de 90º - Velocidade Angular

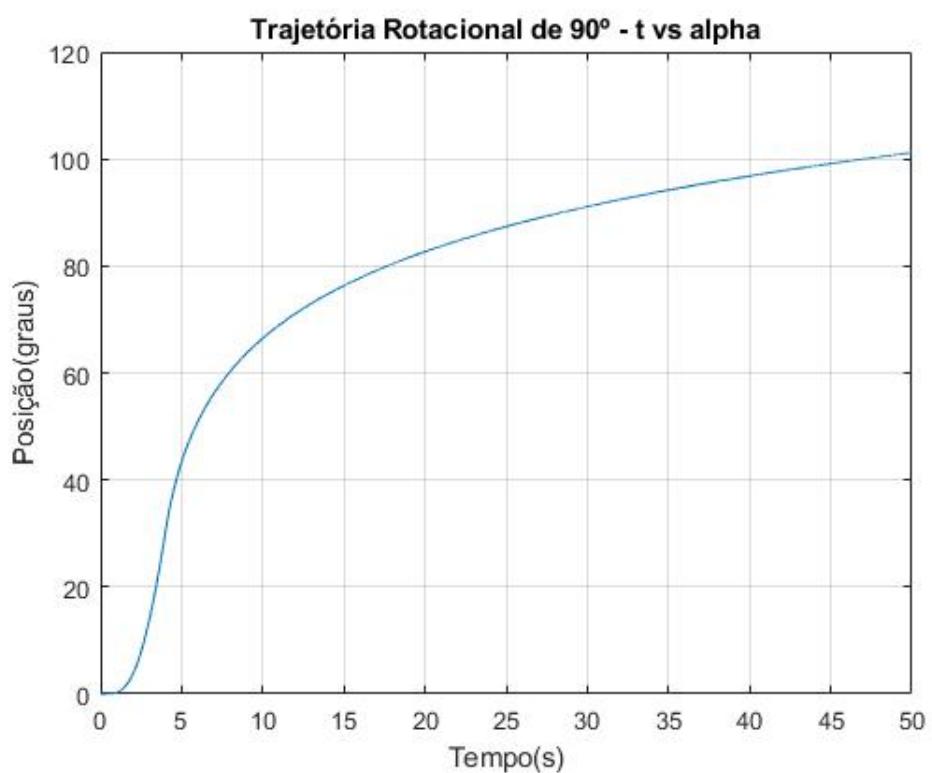


Figura 89 – Trajetória Rotacional de 90º - Deslocamento Angular

Referências

ALMEIDA, H. L. S. *Introdução aos Sistemas de Controle*. Disponível em: <http://www.del.ufrj.br/~heraldo/eel660_slides_01_Introducao-aos-Sistemas-de-Controle.pdf>. Citado na página 52.

ALMEIDA, T. H. S. d. et al. Dimensionamento de um sistema fotovoltaico grid-tie e off-grid para alimentação de energia elétrica do laboratório hidráulico do ccta/ufcg. Universidade Federal de Campina Grande, 2018. Nenhuma citação no texto.

AMBIENTE-CONAMA, C. N. D. M. *Soluções para melhorar a qualidade dos recursos hídricos - 2ª Edição*. 2013. Disponível em: <<https://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2013/CuidandoDasAguas-Solucao2aEd.pdf>>. Nenhuma citação no texto.

ARTIGO 54 da Lei nº 9.605. Disponível em: <<https://www.jusbrasil.com.br/busca?q=art.+54+da+lei+de+crimes+ambientais>>. Nenhuma citação no texto.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16145: Acumulador de lítio-íon para aplicação estacionária em 48 V c.c. - Especificações. Rio de Janeiro. 2013. Nenhuma citação no texto.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16767: Elementos e baterias estacionárias para aplicação em sistemas fotovoltaicos não conectados à rede elétrica de energia (off-grid) - Requisitos gerais e métodos de ensaio. Rio de Janeiro. 2019. Nenhuma citação no texto.

BAGHERPOUR, S. Fibre reinforced polyester composites. IntechOpen, Setembro 2012. Nenhuma citação no texto.

BROWN, S. *Microservices a definition of this new architectural term*. 2018. Disponível em: <<https://martinfowler.com/articles/microservices.html#footnotetymology>>. Citado na página 71.

BROWN, S. *O modelo C4 de documentação para Arquitetura de Software*. 2018. Disponível em: <<https://www.infoq.com.br/articles/C4-architecture-model/>>. Citado na página 60.

C., M. A. *Legislação Brasileira sobre Poluição Hídrica*. Disponível em: <https://ambientes.ambientebrasil.com.br/agua/impactos_sobre_as_aguas/legislacao_brasileira_sobre_polyuicao_hidrica.html>. Nenhuma citação no texto.

CONAMA. *RESOLUÇÃO CONAMA N° 357*. 2005. Disponível em: <<http://conama.mma.gov.br/images/conteudo/LivroConama.pdf>>. Citado na página 17.

CONAMA. *RESOLUÇÃO CONAMA N° 454*. 2012. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2012/res_conama_454_2012_materialserdragadoemaguasjurisdicionaisbrasileiras.pdf>. Citado na página 16.

CONSTRUINDO com Espumas de PVC. Disponível em: <<https://www.manualdeconstrucaodebarcos.com.br/construindo-com-espumas-de-pvc/>>. Nenhuma citação no texto.

COSTA, F. M. Dossiê técnico: Construção, reparo, conservação, manutenção e navegação em embarcações. Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas (SBRT), Fevereiro 2012. Nenhuma citação no texto.

ENQUADRAMENTO - BASES LEGAIS. Disponível em: <<http://pnqa.ana.gov.br/enquadramento-bases-legais.aspx>>. Nenhuma citação no texto.

FERIOLI, K. et al. Projeto de sistema fotovoltaico isolado (off grid) para residências. *IESAM: Belém*, 2005. Nenhuma citação no texto.

GAGLIARDO, D. P.; MASCIA, N. T. Análise de estruturas sanduíche: parâmetros de projeto. *Ambiente Construído: Porto Alegre*, v. 10, n. 4, 2010. Nenhuma citação no texto.

HARTE, N. B. D. *An application of paddlewheel propulsion to a high speed craft*. 2011. Disponível em: <https://www.marinepropulsors.com/smp/files/downloads/smp11/Paper/FA3-1_Harte.pdf>. Citado na página 80.

HéLICE, Tipos e Construção de Hélices para Navios. Disponível em: <<https://aco.com.br/helice-tipos-de-helices-e-construcao-de-helices/>>. Nenhuma citação no texto.

MéTODOS de Construção ou Sistemas Construtivos. Disponível em: <<http://www.estaleirofranzen.com.br/projetos/metodos.htm>>. Nenhuma citação no texto.

NISE, N. *Engenharia de sistemas de Controle*. [S.l.]: LTC, 2012. v. 6. Citado na página 52.

OGATA, K. *Modern Control Engineering*. [S.l.]: Pearson, 2010. v. 5. Citado na página 52.

PIZELLA, D. G.; SOUZA, M. P. de. Comparator with hysteresis reference design. 2007. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/esa/a/3vdKr9CwYmvbbdSz9Zz6Zpv/?lang=pt>>. Citado na página 16.

SANTANA, C. et al. Increasing the availability of iot applications with reactive microservices. *Service Oriented Computing and Applications*, Springer, v. 15, n. 2, p. 109–126, 2021. Citado na página 71.

SAUNDERS, H. E. *Hydrodynamics in ship design*. 1957. Disponível em: <https://openlibrary.org/works/OL7434125W/Hydrodynamics_in_ship_design>. Citado 2 vezes nas páginas 113 e 114.

SOUZA, T. L. de; ZAMPERIN, J. Análise e dimensionamento de um sistema fotovoltaico off-grid em um food truck. *Revista Engenharia em Ação UniToledo*, v. 2, n. 1, 2017. Nenhuma citação no texto.

Apêndices

APÊNDICE A – Decisões e Aprendizados em Software

Arquitetura de Software baseada em Microsserviços

O projeto passou a utilizar a arquitetura de microsserviços, pela identificação clara de dois serviços independentes e distintos que existem para o funcionamento do sistema, o serviço responsável pela localização e movimentação do flutuador, e o serviço responsável pelo processamento dos dados relacionados a qualidade da água. A partir do momento em que detectamos essa diferenciação, mudamos nossa proposta de arquitetura.

Documentação utilizando o Framework C4

A escolha do framework C4 se deu pela necessidade de uma linguagem simples e clara para a apresentação da arquitetura do software, nos níveis de abstração de contexto, containers e componentes. Não foi realizada a documentação baseada em código pois isso poderia acarretar em um grande retrabalho no futuro, tendo em vista que mudanças podem, e irão, acontecer muitas vezes no código da aplicação.

FastAPI

A escolha do framework FastAPI, se deu pela grande semelhança com o framework flask, e pelos benefícios que o framework adiciona, como a tipagem de entradas e retornos da API. Esse tipo de rigor no fluxo auxilia a aplicação a lidar de forma mais confiável com as informações recebidas pelos microsserviços, e pelo sistema embarcado.

Protocolo MQTT

O protocolo MQTT foi escolhido por cumprir as necessidades presentes na comunicação entre a API principal e o sistema embarcado, como velocidade, consumo de banda e segurança, além de possuir uma implementação relativamente simples no lado a API principal.

Banco de dados MongoDB

A escolha do banco de dados não-relacional MongoDB se deu pela sua ótima flexibilidade no armazenamento de informações, e sua grande sintonia com sistemas baseados em microsserviços, devido seu consumo de recursos ser menor que bancos tradicionais, tendo em vista que cada serviço possui um banco isolado, resultando em 3 bancos de dados diferentes na aplicação.

APÊNDICE B – Índice de Código no GitHub

Single Page Application: <<https://github.com/Projeto-Integrador-2-Grupo-9/Frontend>>

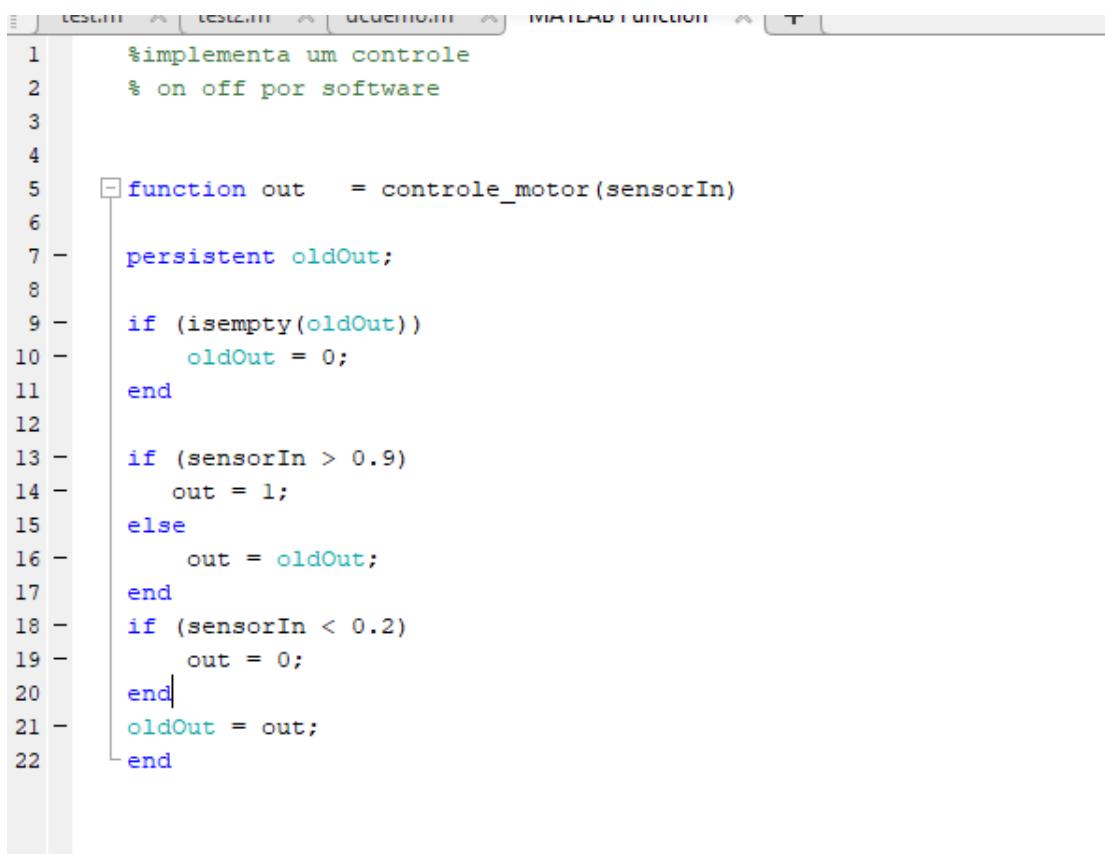
API Principal: <<https://github.com/Projeto-Integrador-2-Grupo-9/API>>

Atena: <<https://github.com/Projeto-Integrador-2-Grupo-9/Athena>>

Poseidon: <<https://github.com/Projeto-Integrador-2-Grupo-9/Poseidon>>

Embarcados: <<https://github.com/Projeto-Integrador-2-Grupo-9/Embarcados>>

APÊNDICE C – Código de controle matlab



```
1 %implementa um controle
2 % on off por software
3
4
5 function out = controle_motor(sensorIn)
6
7 persistent oldOut;
8
9 if (isempty(oldOut))
10    oldOut = 0;
11 end
12
13 if (sensorIn > 0.9)
14    out = 1;
15 else
16    out = oldOut;
17 end
18 if (sensorIn < 0.2)
19    out = 0;
20 end
21 oldOut = out;
22 end
```

Figura 90 – Sistema de controle de movimentação

APÊNDICE D – Esquemáticos do circuito e placa de circuito impresso

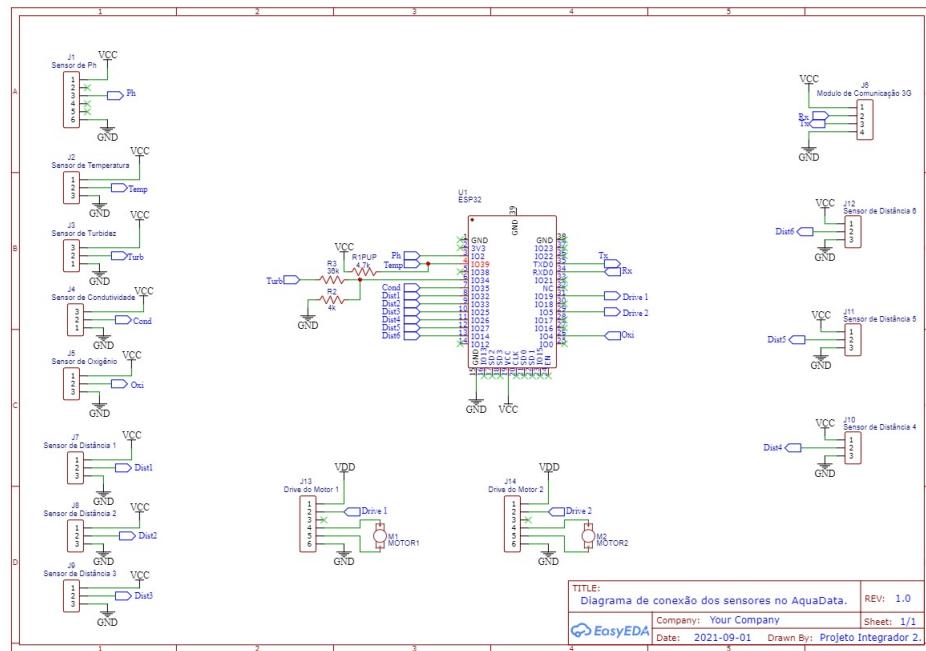


Figura 91 – Esquemático do circuito desconectado

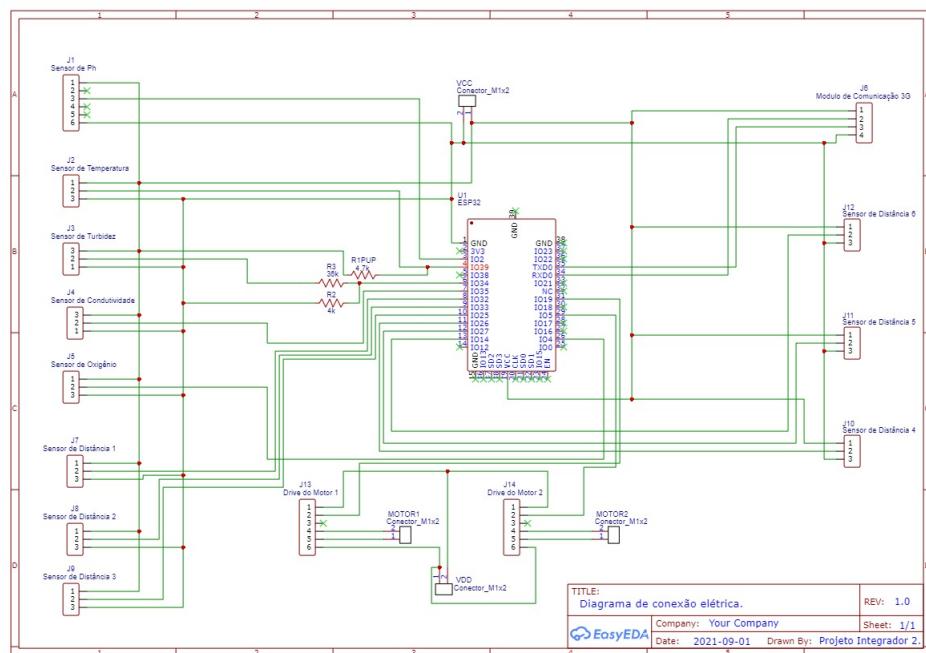


Figura 92 – Esquemático do circuito conectado

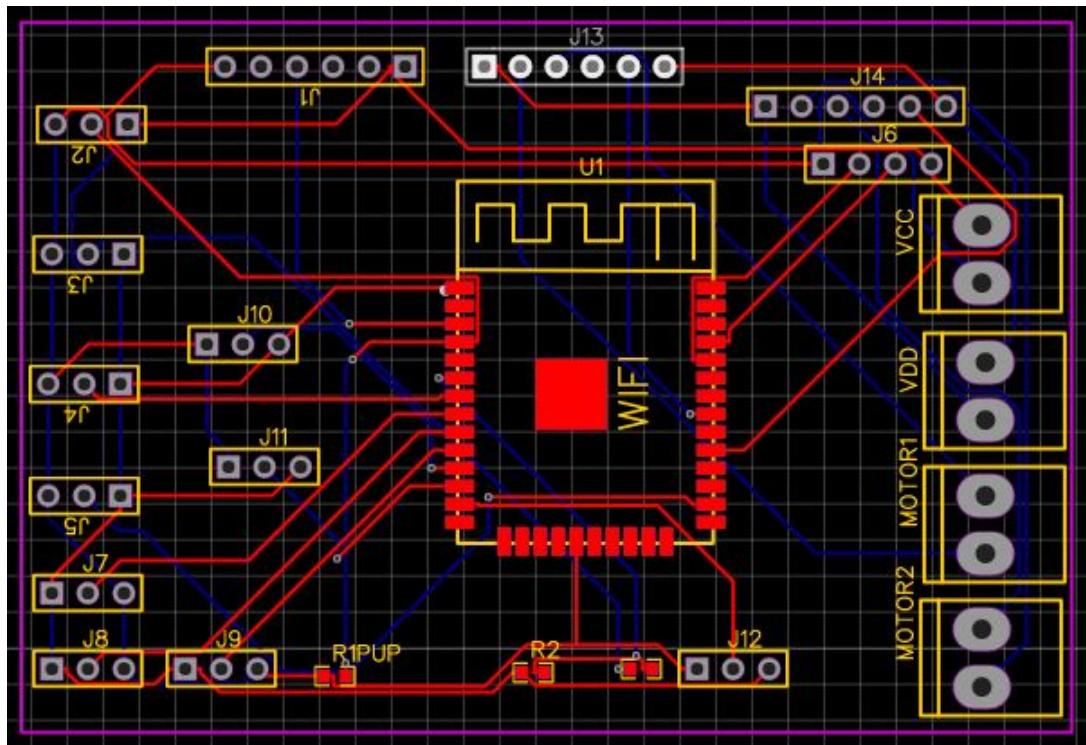


Figura 93 – Placa de circuito impresso em 2D

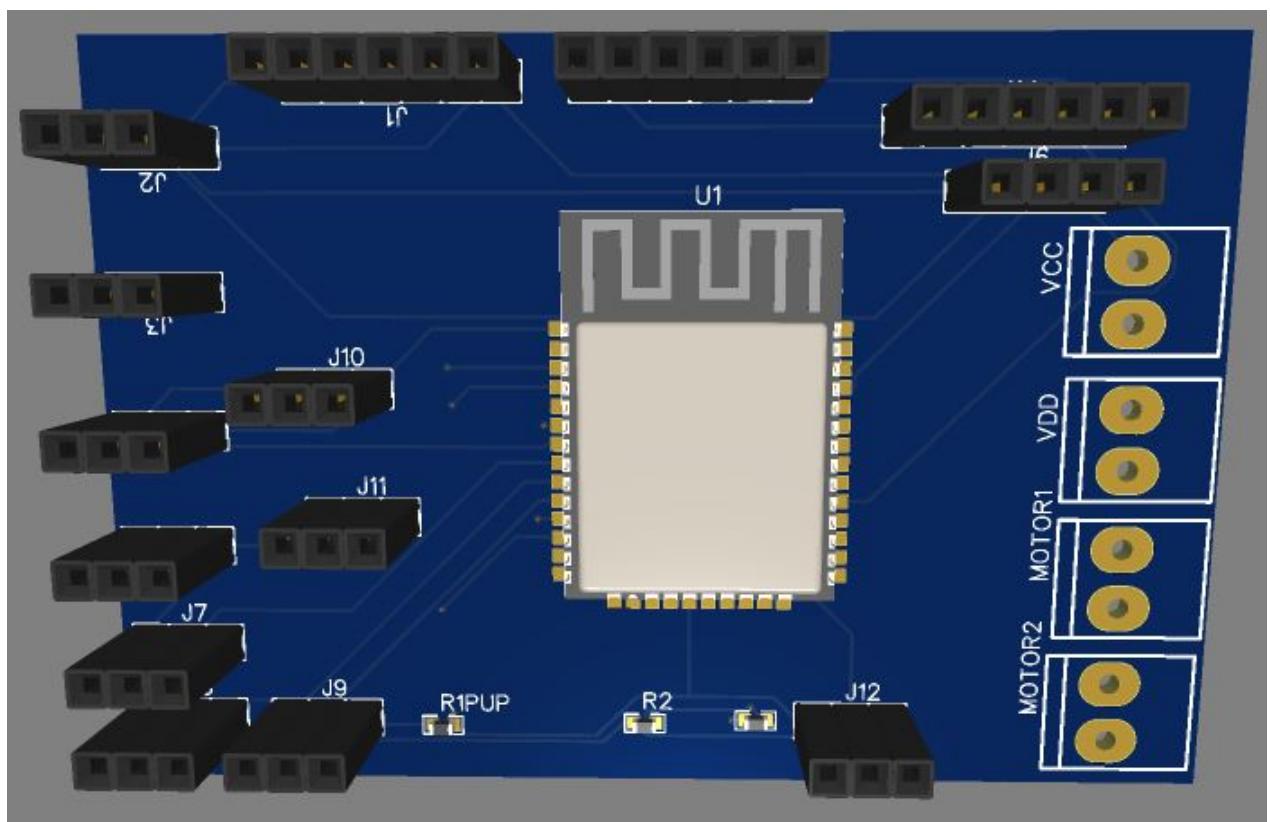


Figura 94 – Placa de circuito impresso em 3D

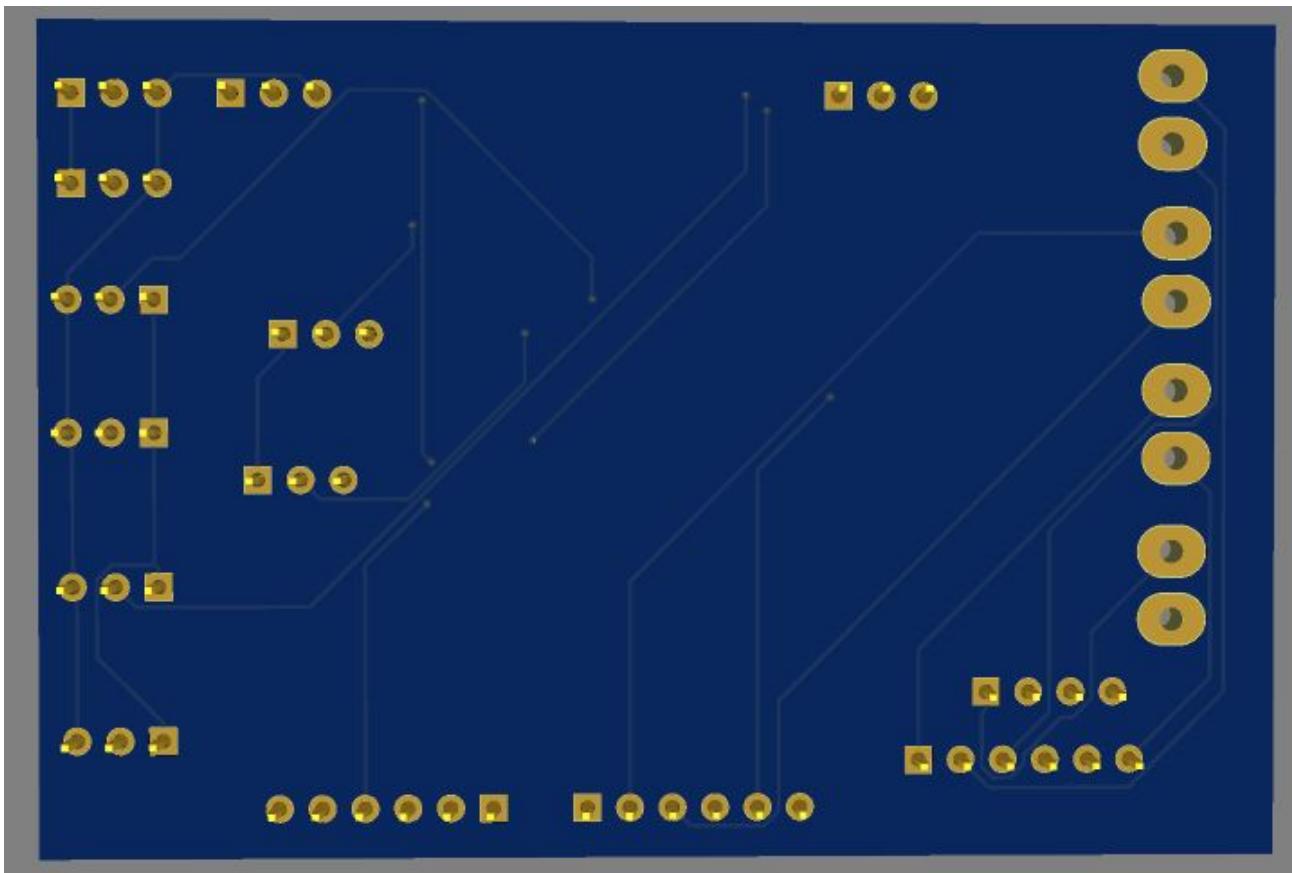


Figura 95 – Visualização do verso da placa de circuito impresso em 3D

APÊNDICE E – Desenhos técnicos

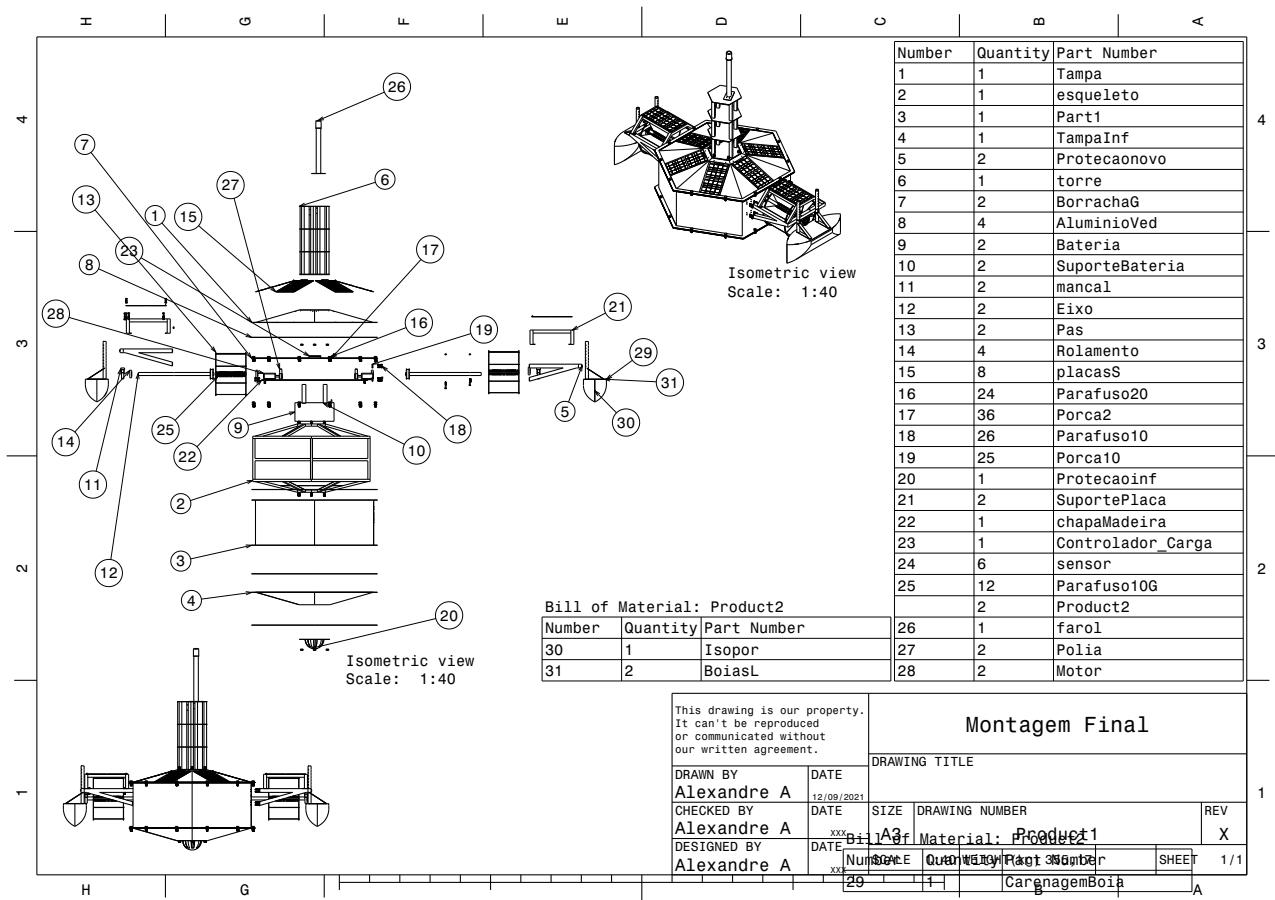


Figura 96 – Montagem Final

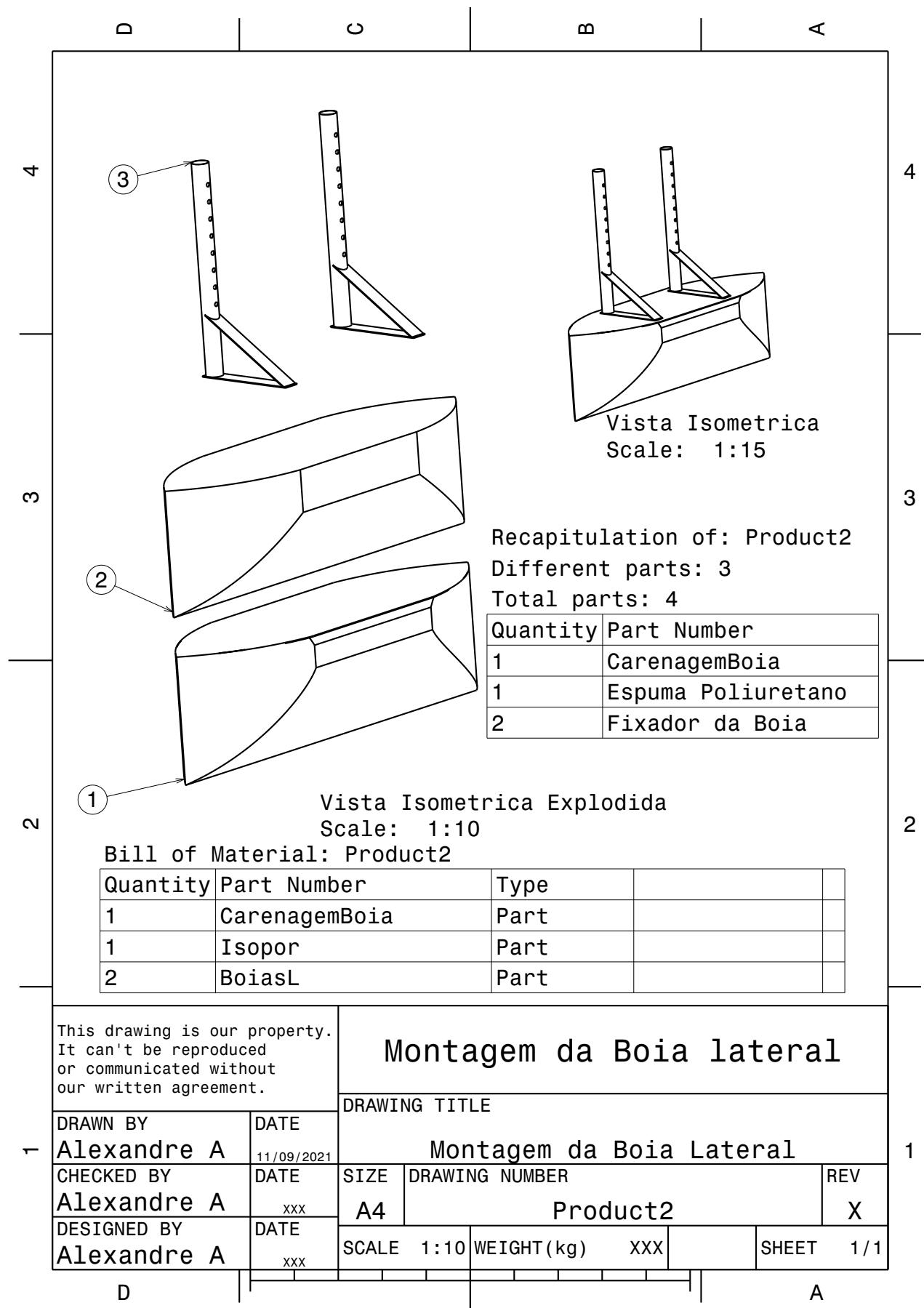


Figura 97 – Montagem Boia

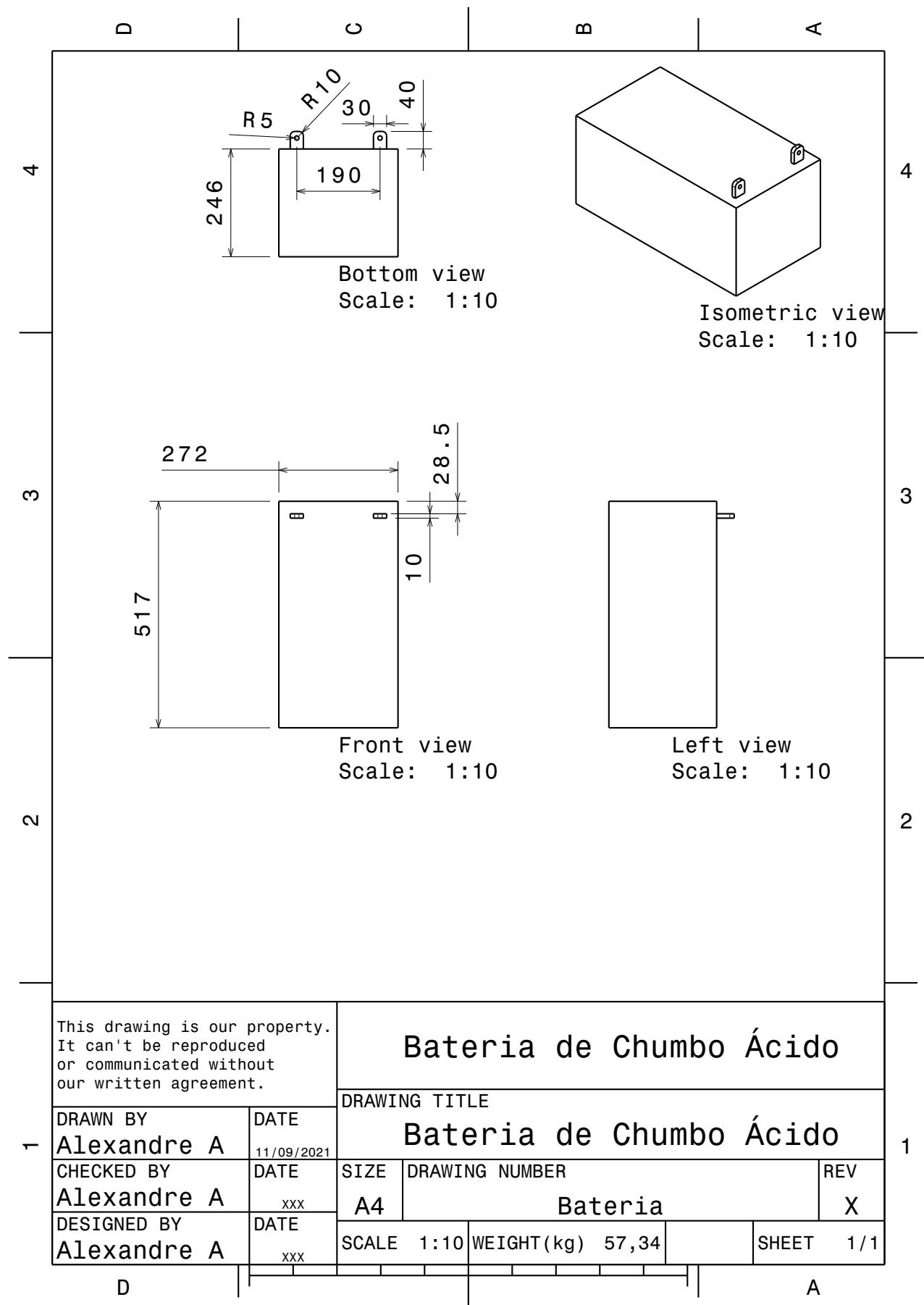


Figura 98 – Bateria

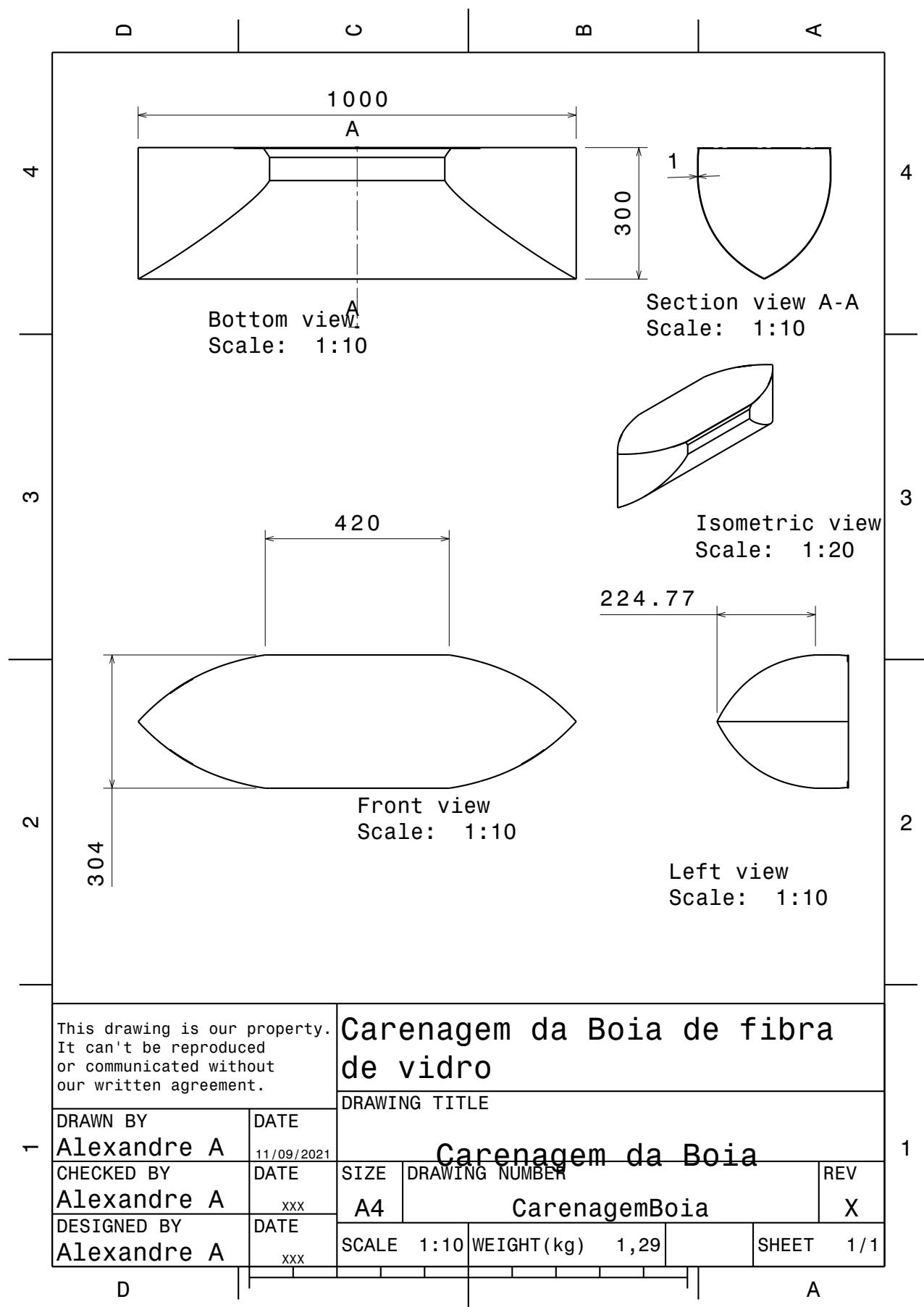


Figura 99 – Carenagem Boia

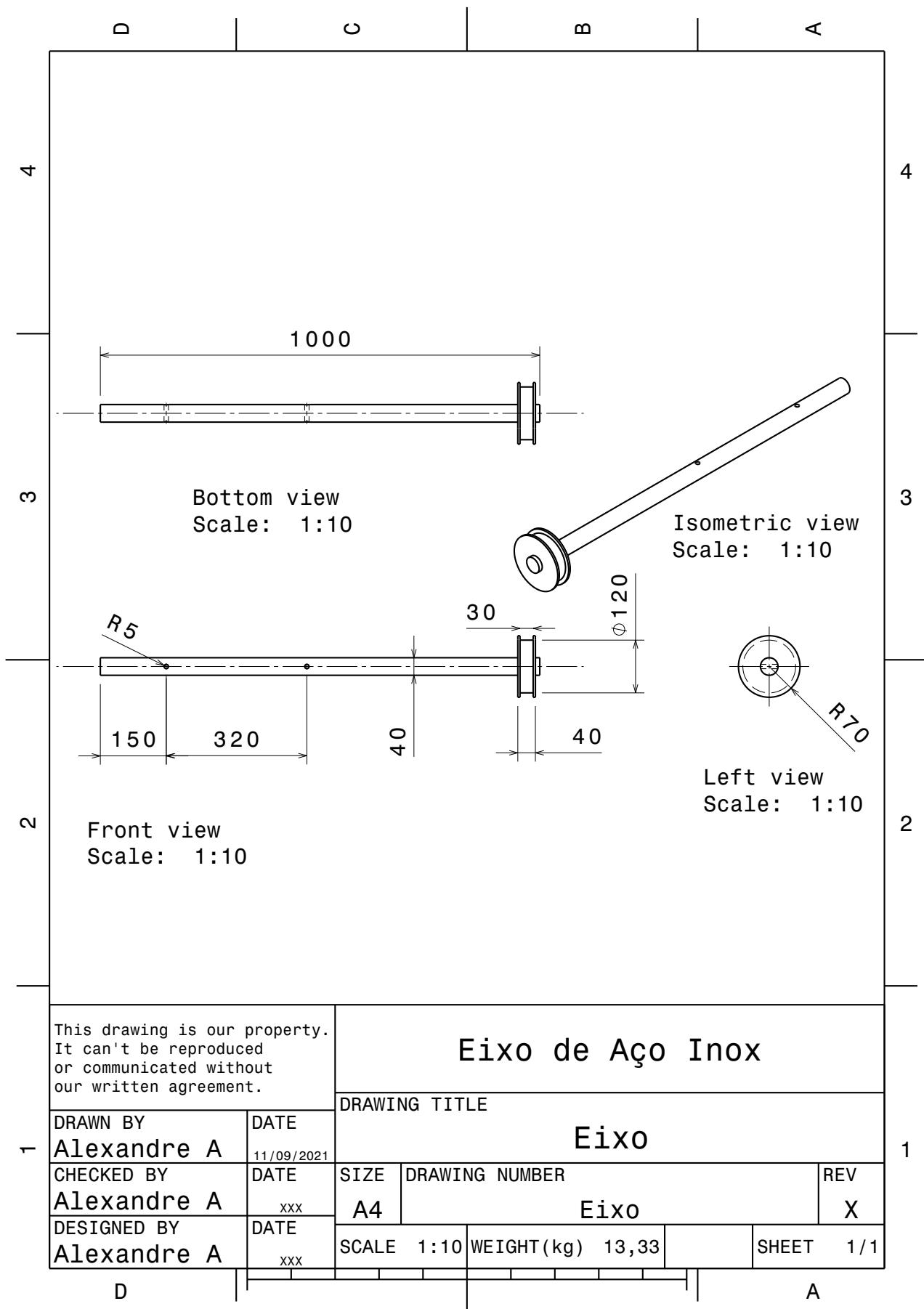


Figura 100 – Eixo

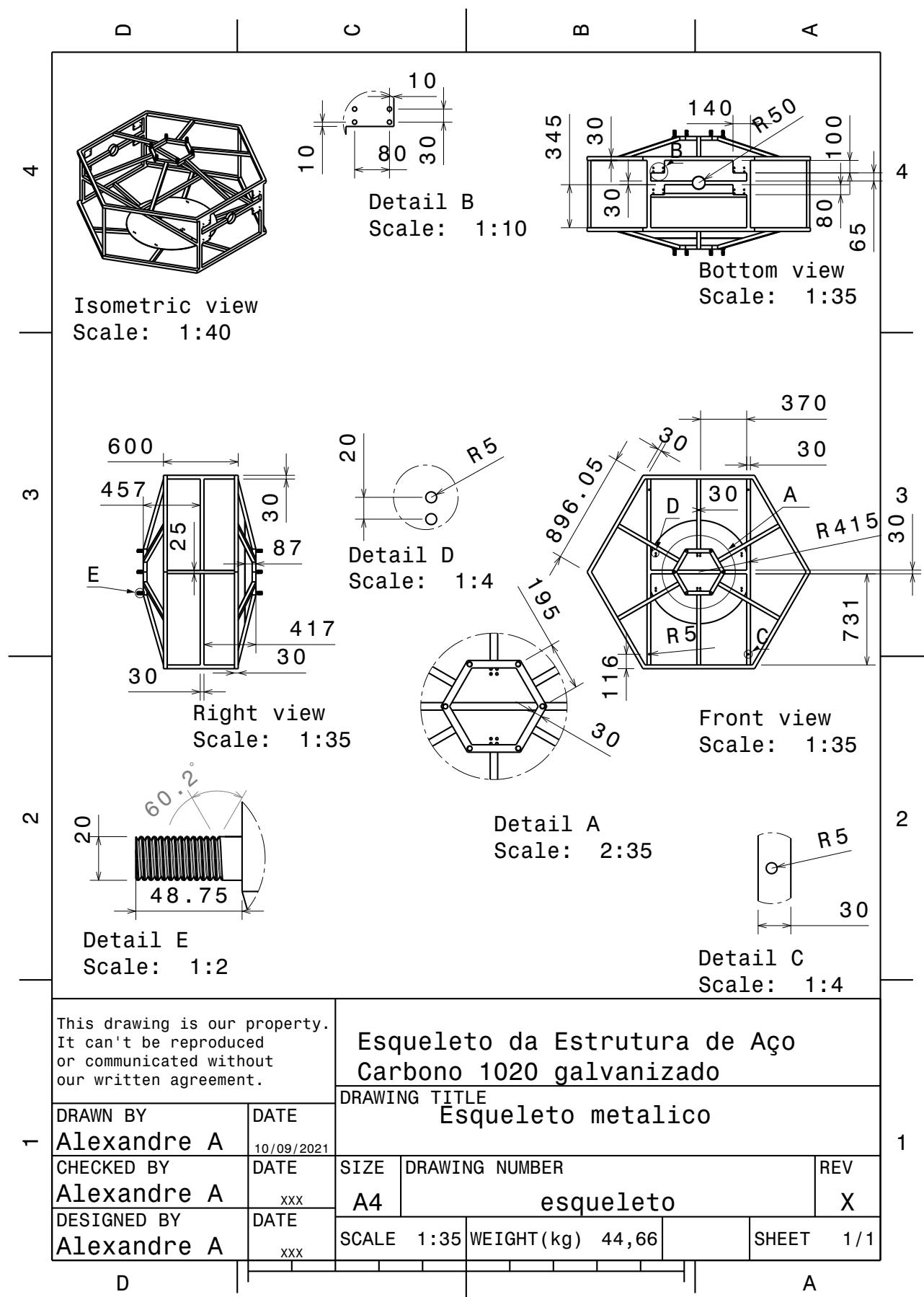


Figura 101 – Estrutura Principal

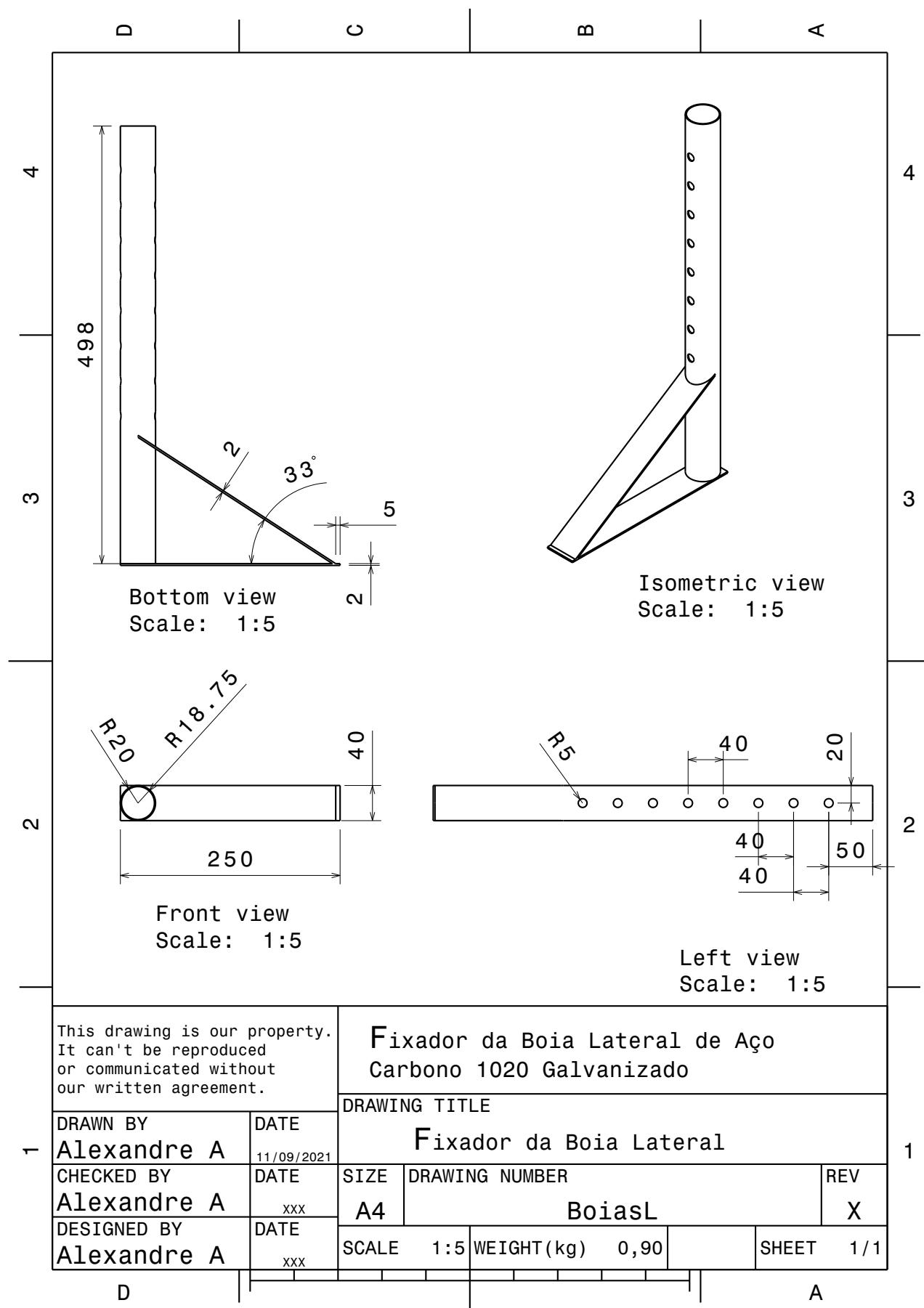


Figura 102 – Fixador de Boia

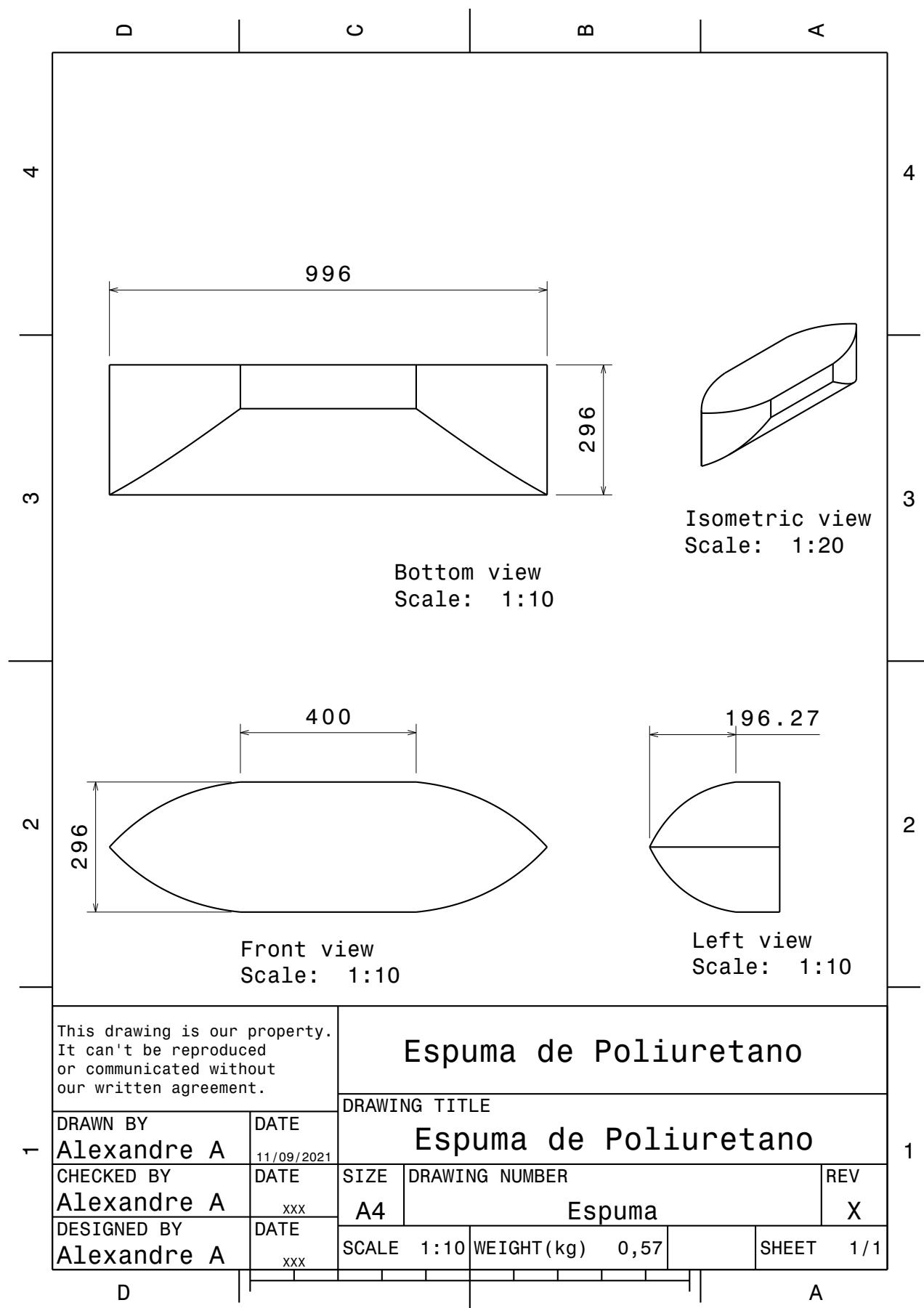


Figura 103 – Espuma de poliuretano

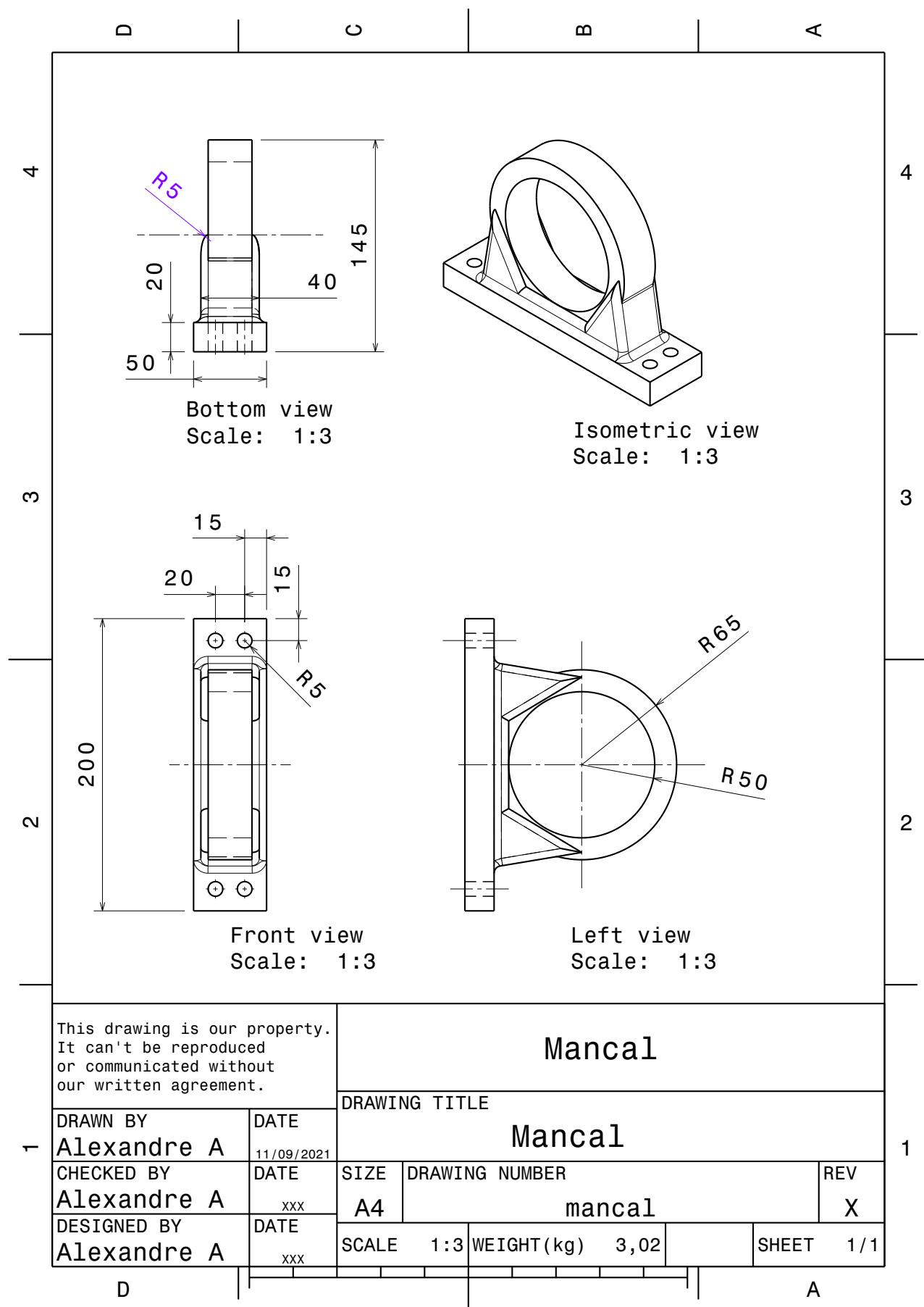


Figura 104 – Mancal

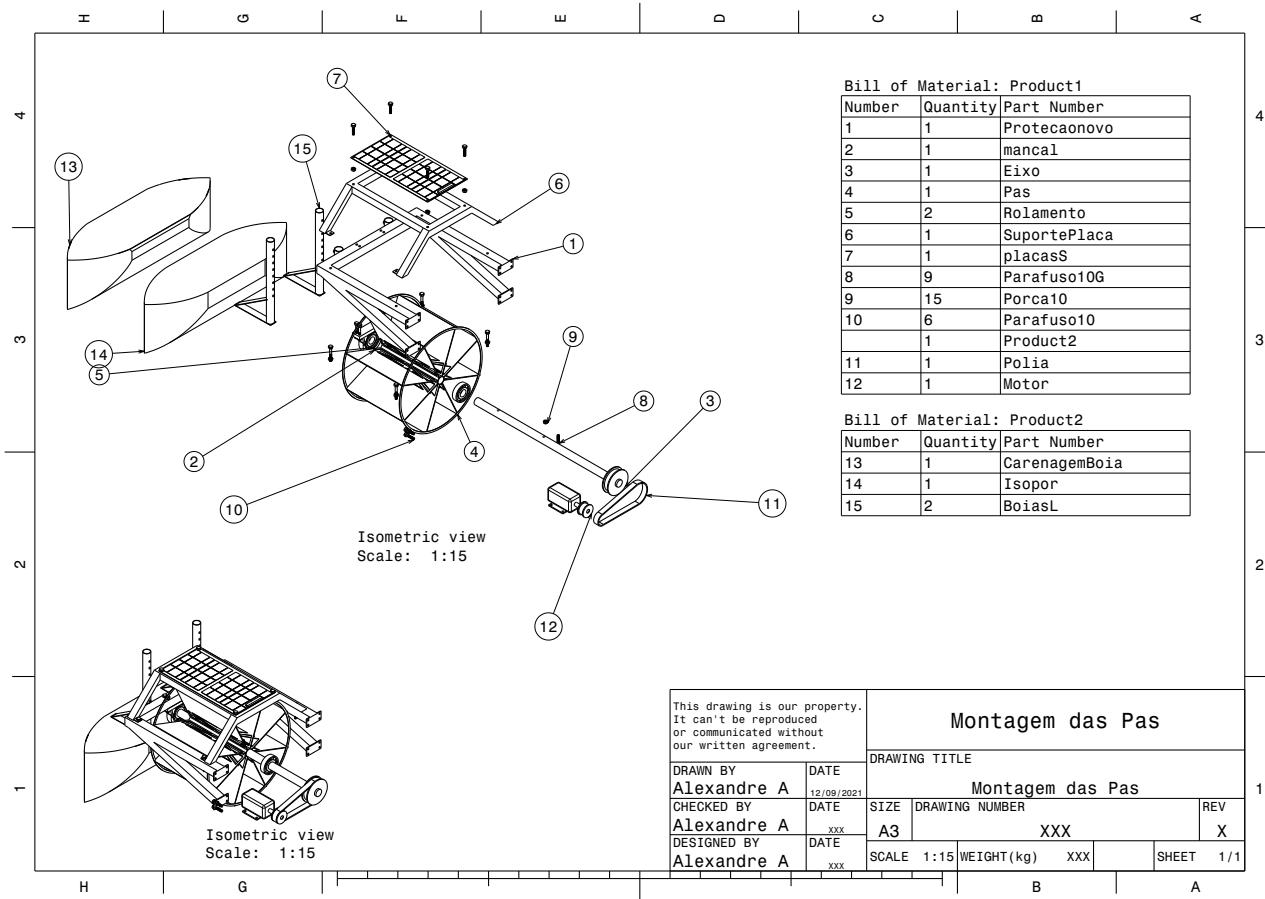


Figura 105 – Montagem das Pás

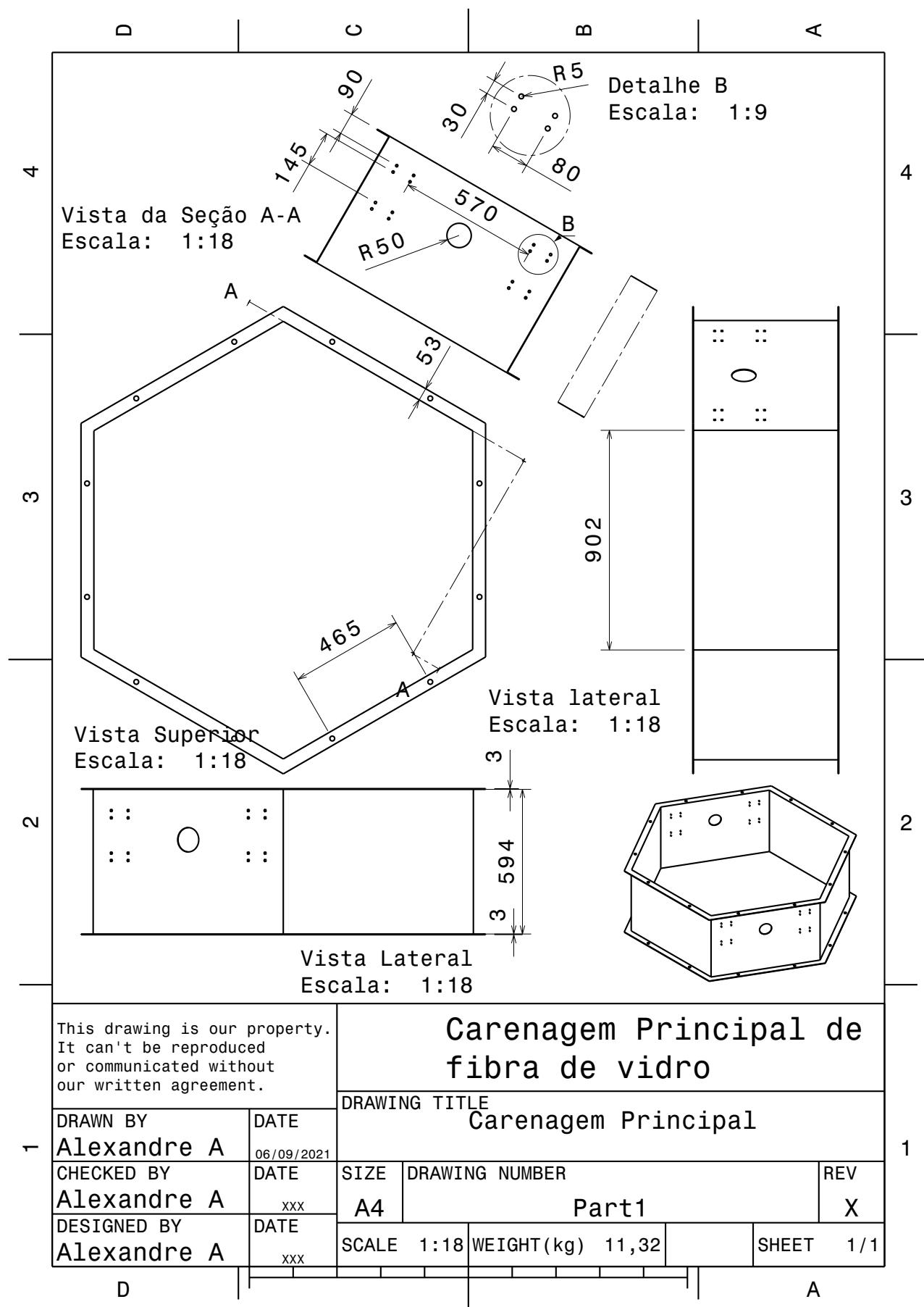


Figura 106 – Carenagem

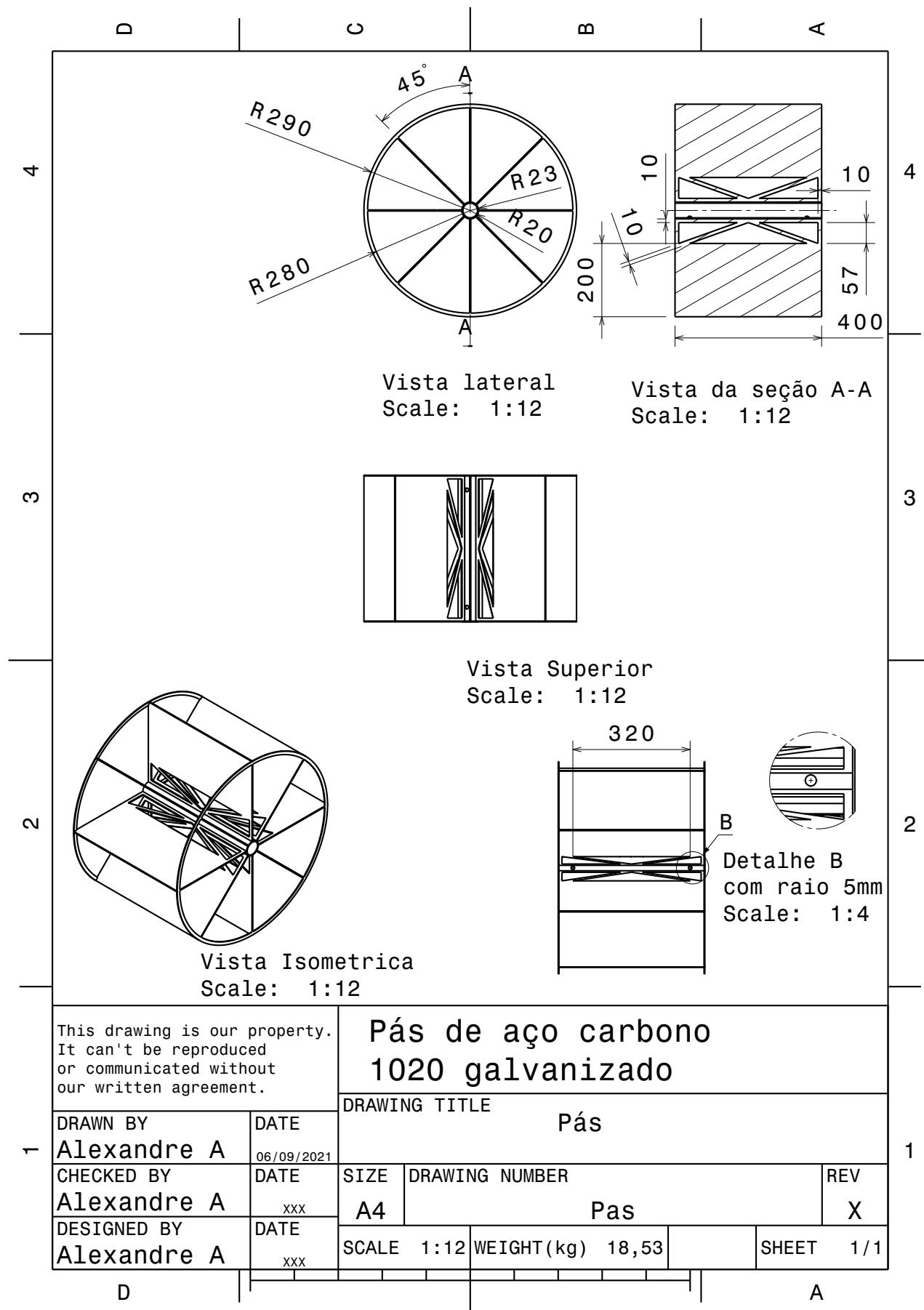


Figura 107 – Pás

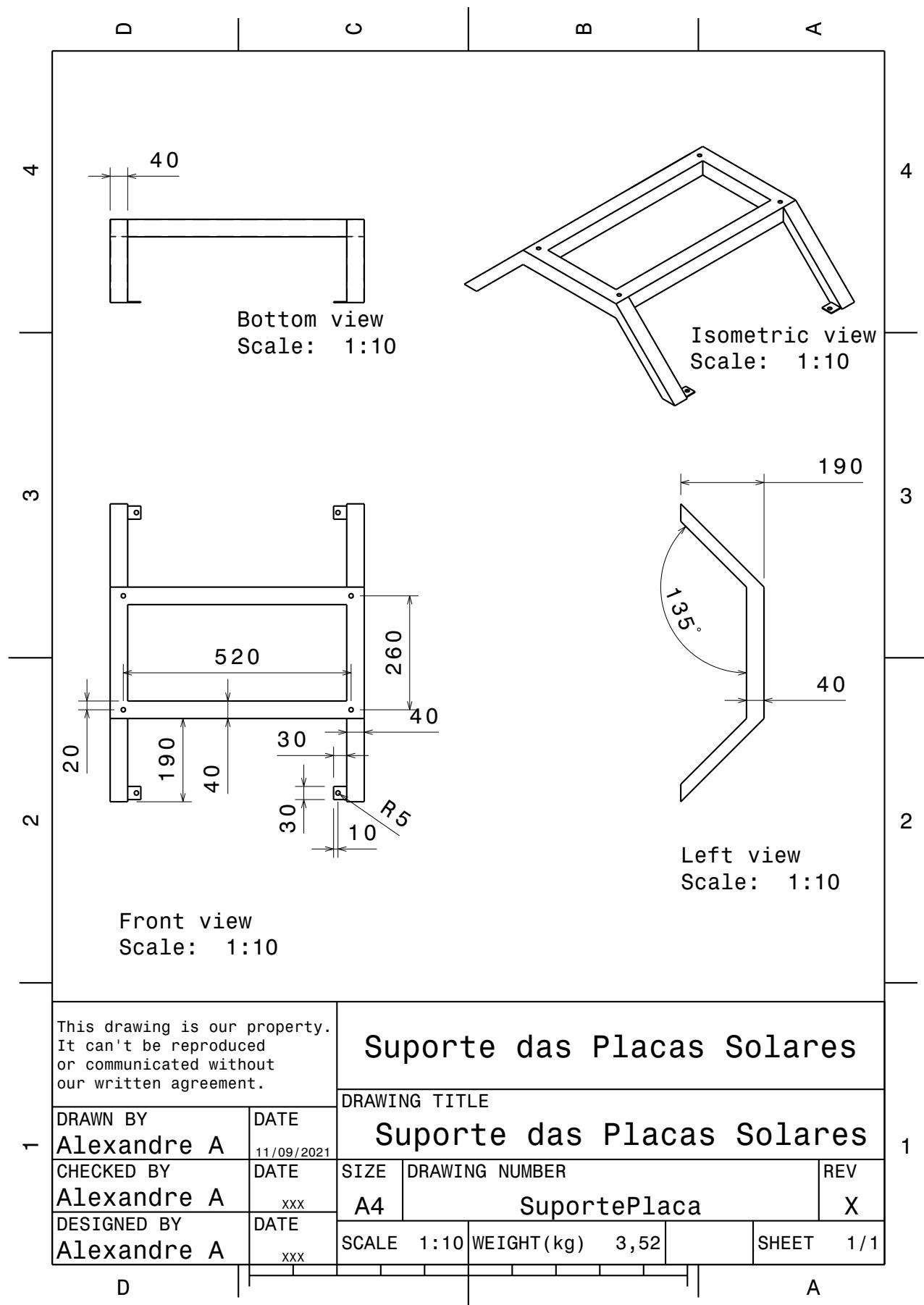


Figura 108 – Placa Solar

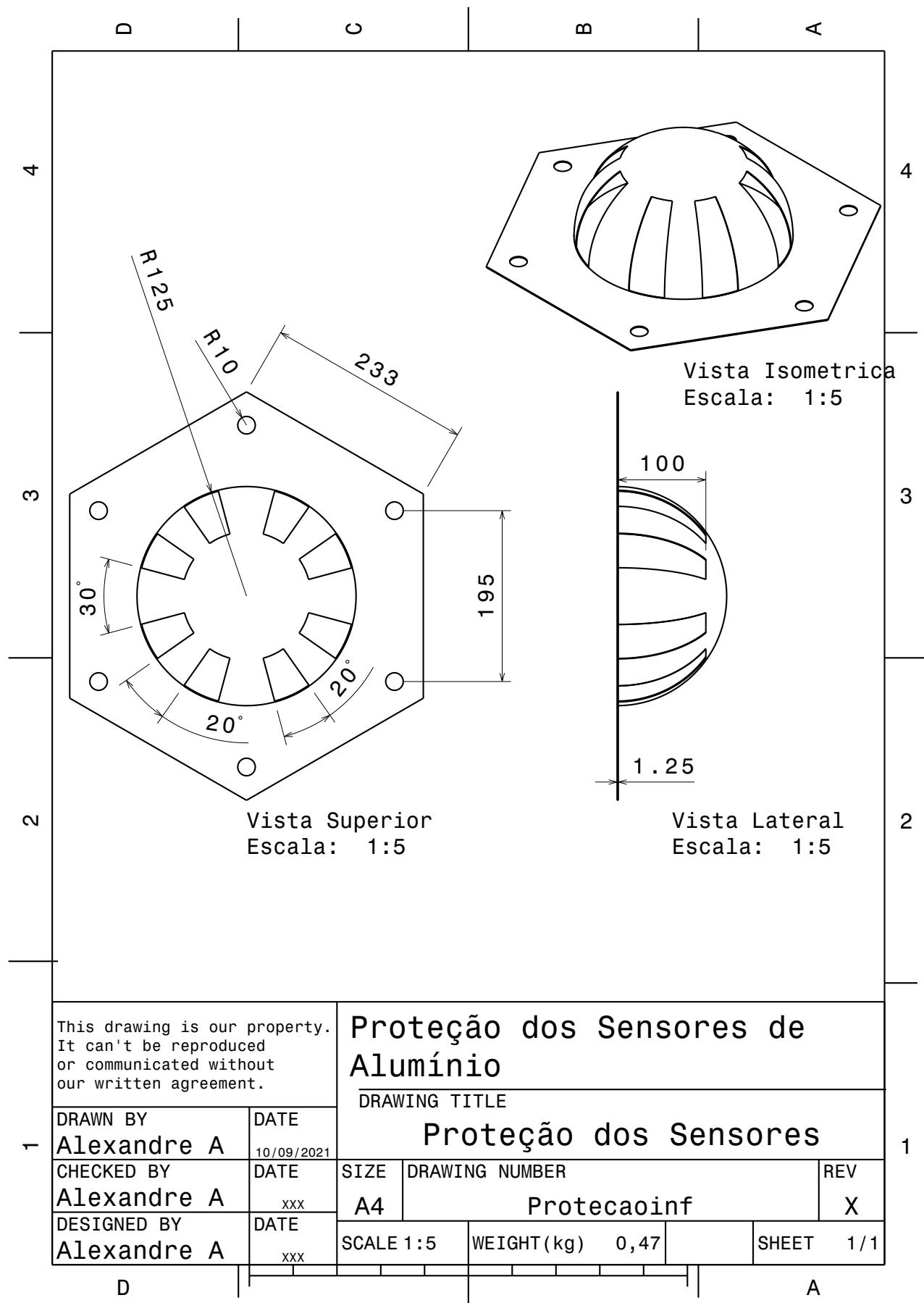


Figura 109 – Proteção dos Sensores

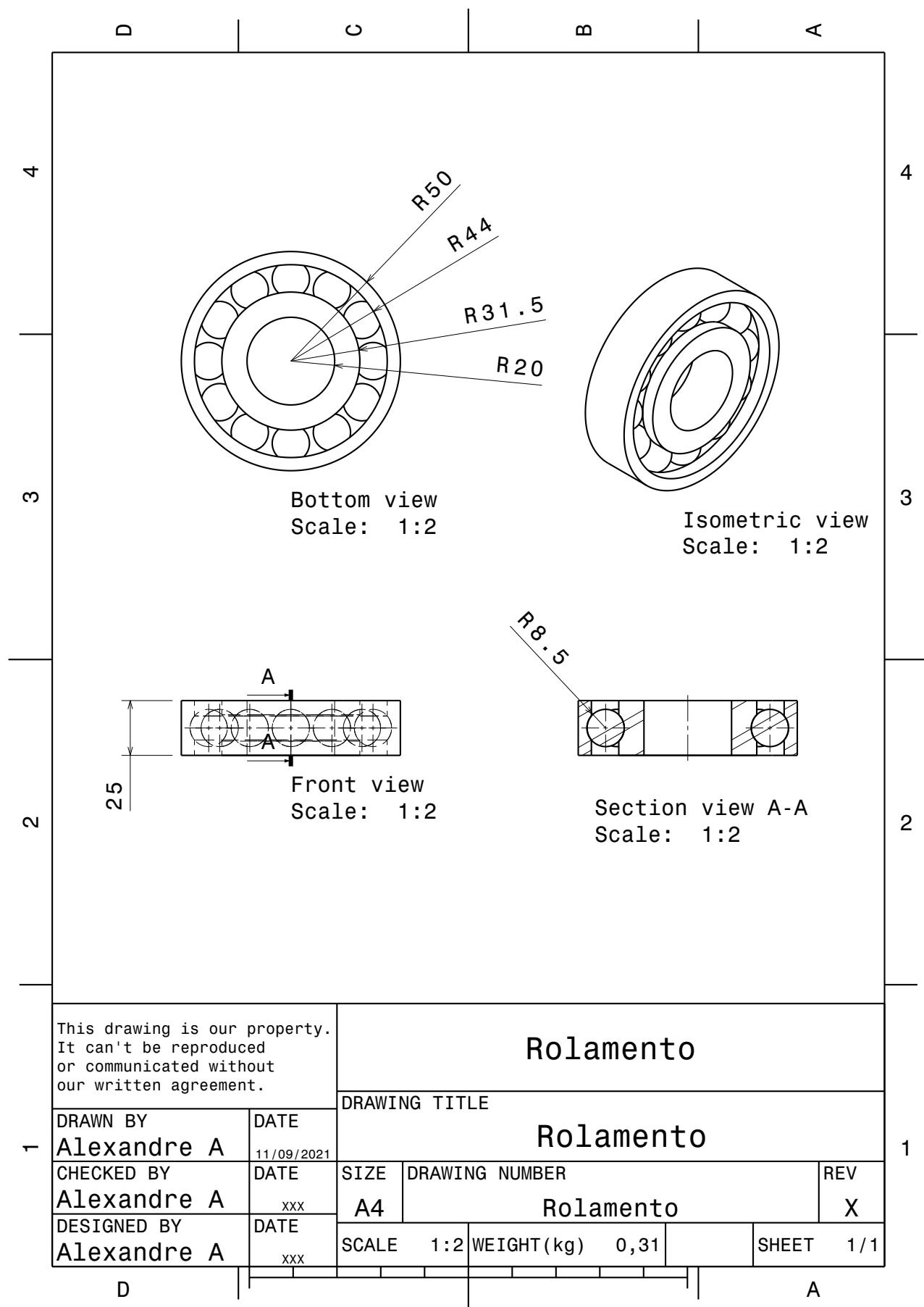


Figura 110 – Rolamento

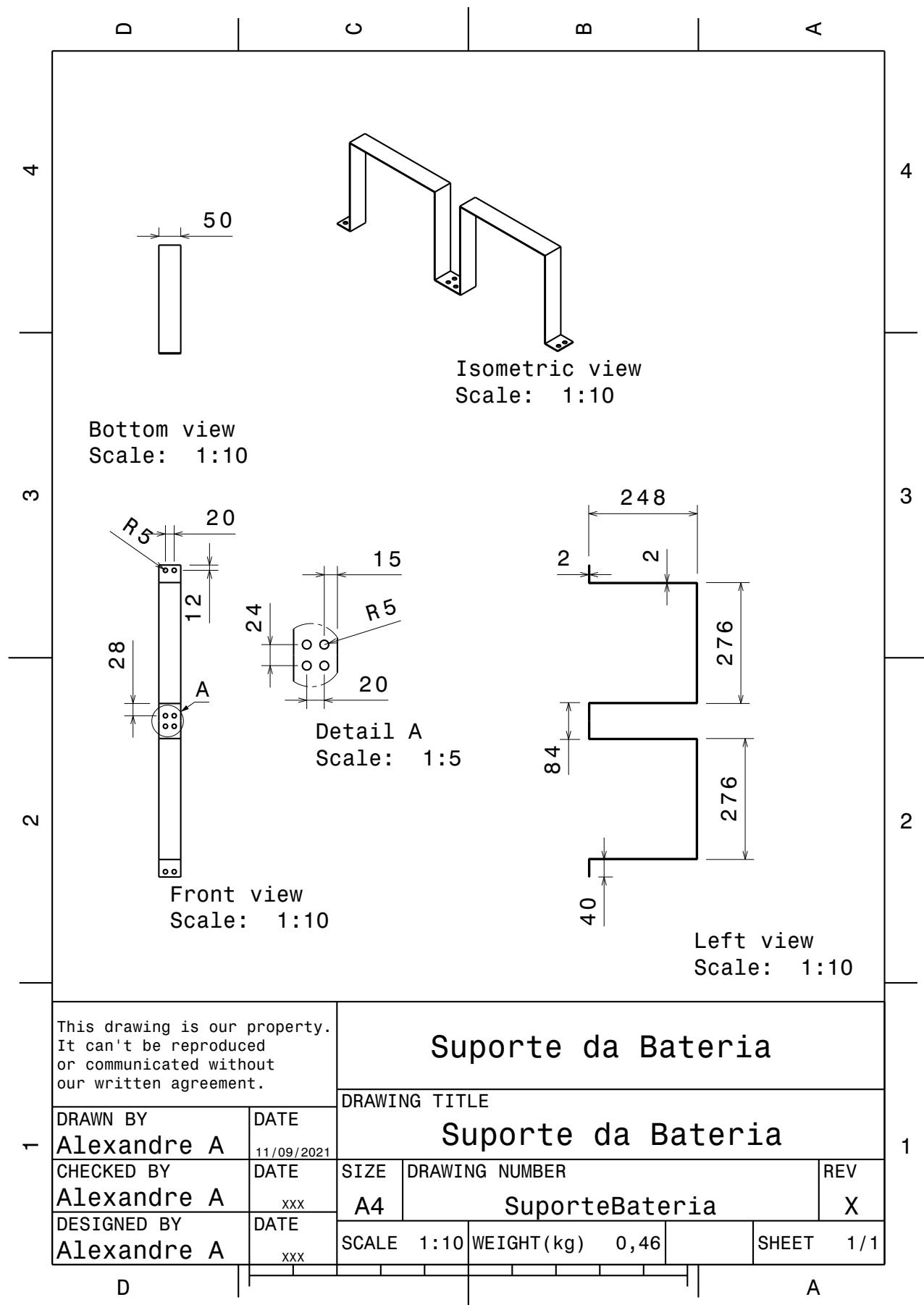


Figura 111 – Suporte das Baterias

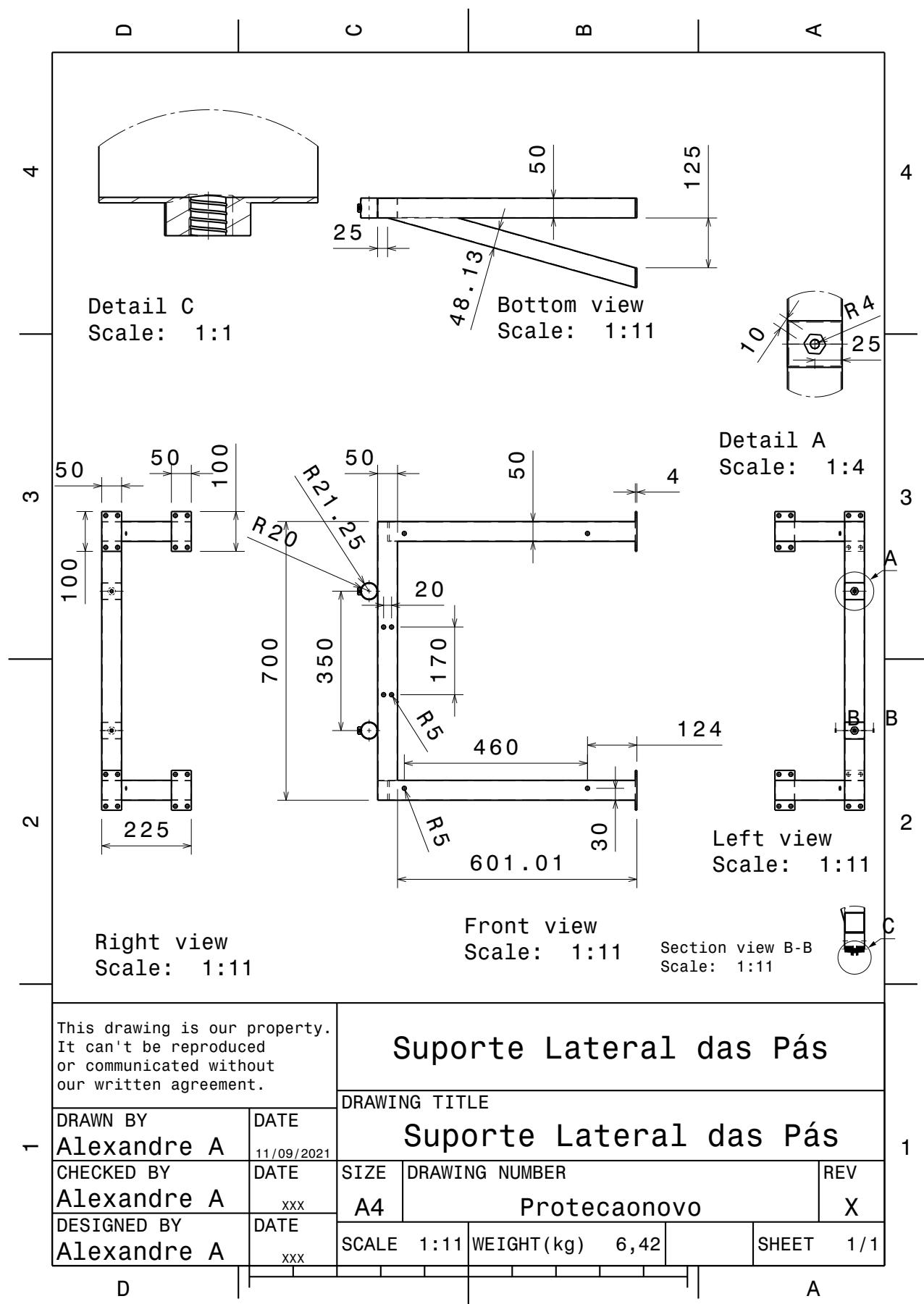


Figura 112 – Suporte das Pás

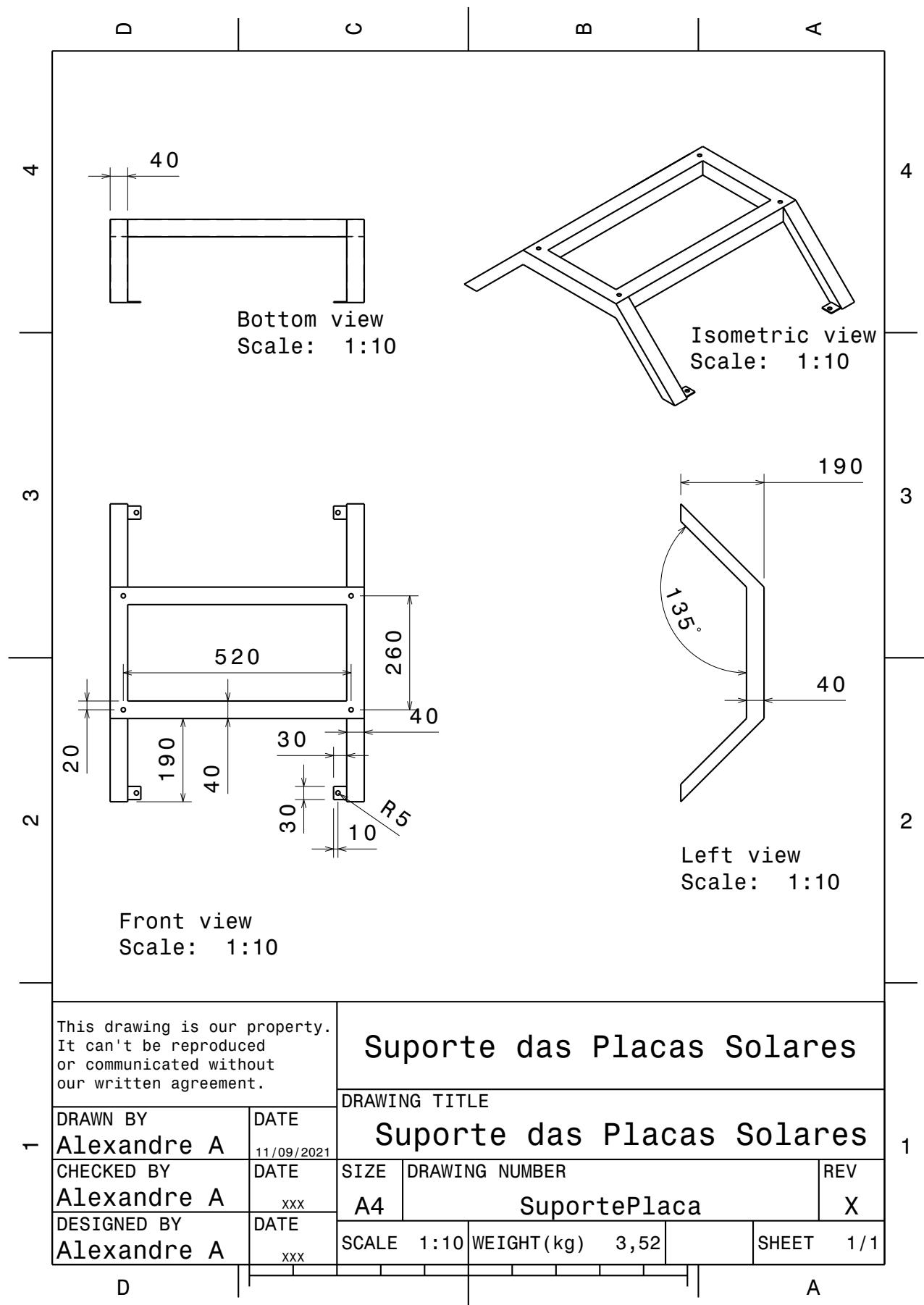


Figura 113 – Suporte das Placas

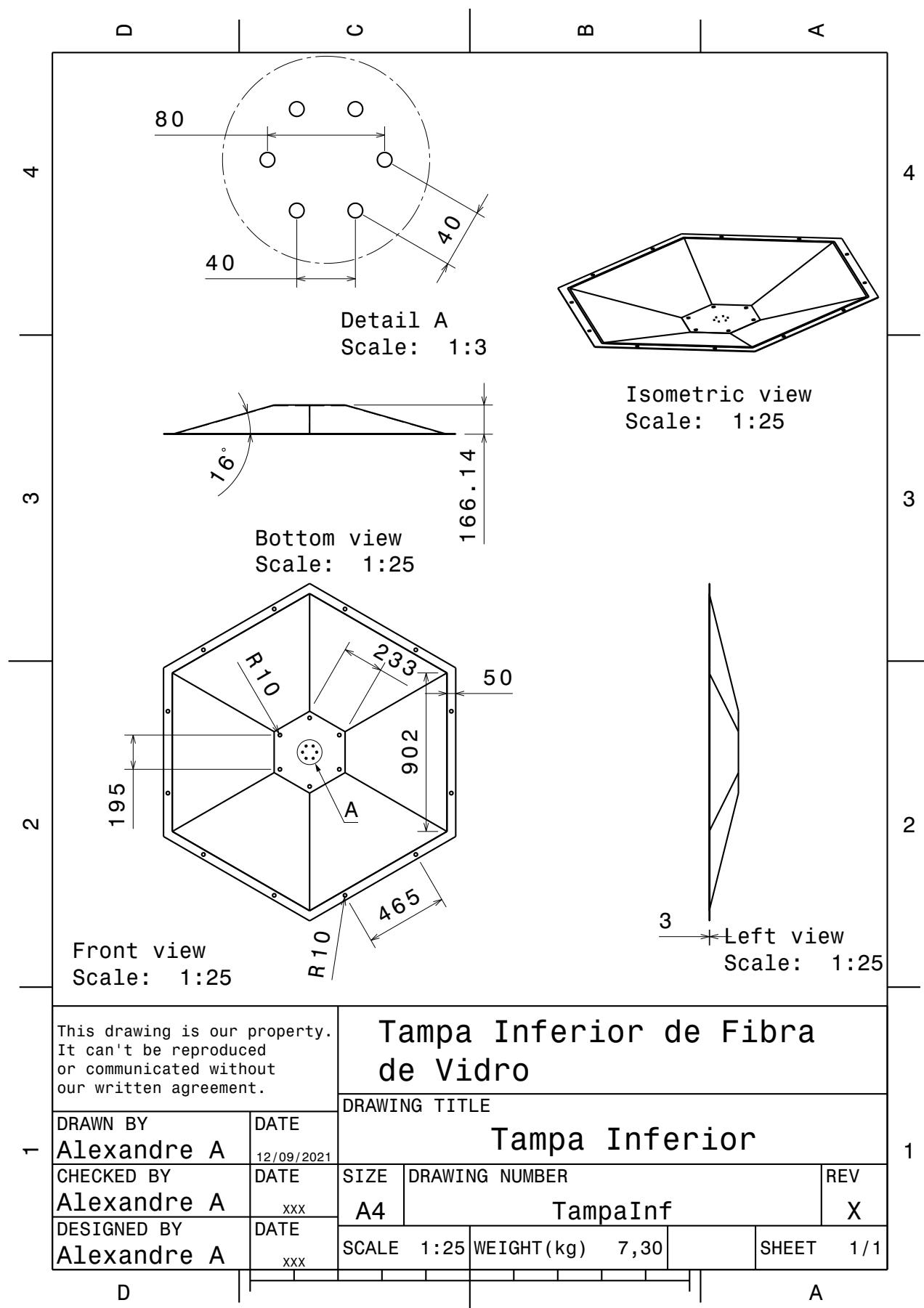


Figura 114 – Tampa Inferior

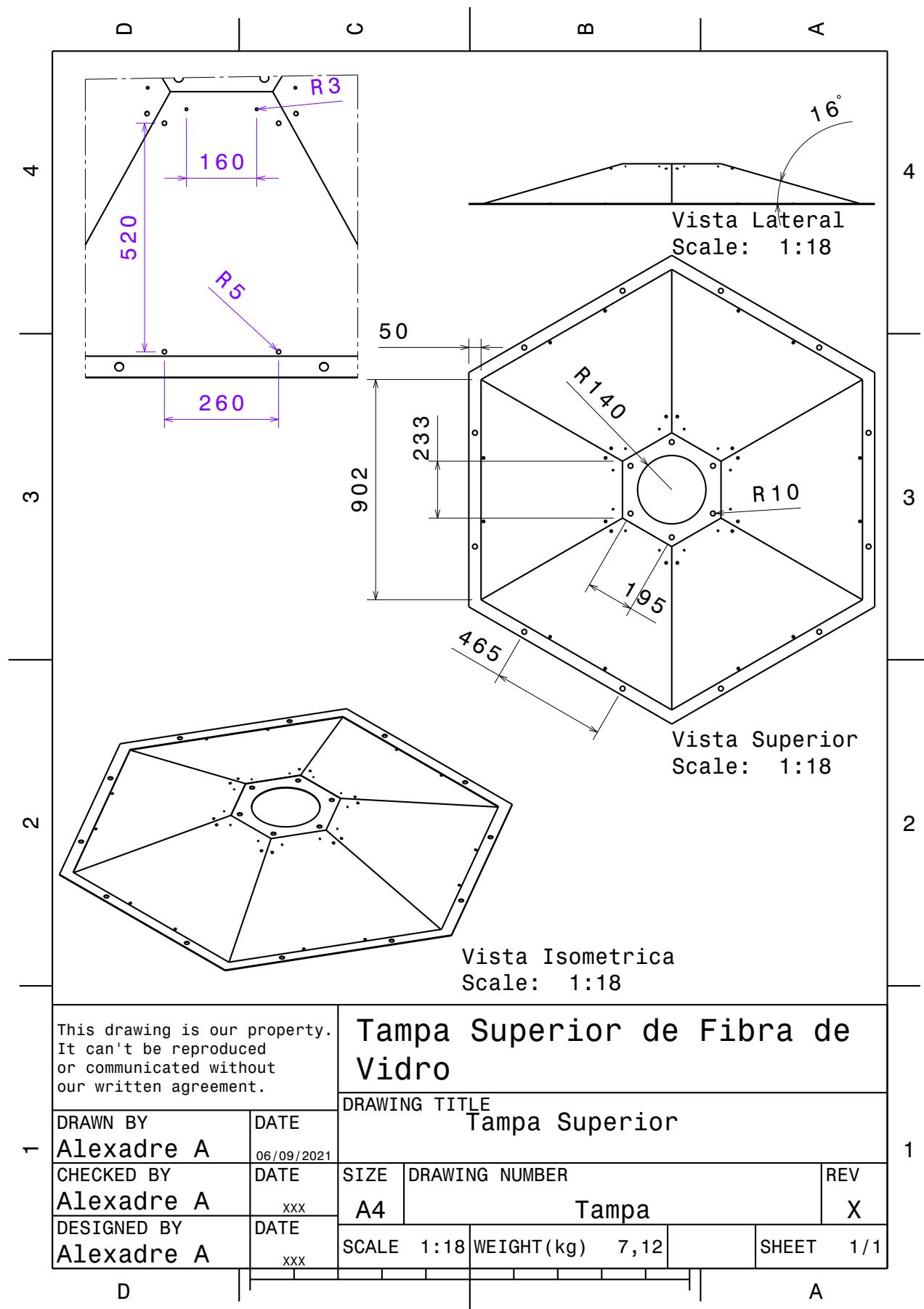


Figura 115 – Tampa Superior

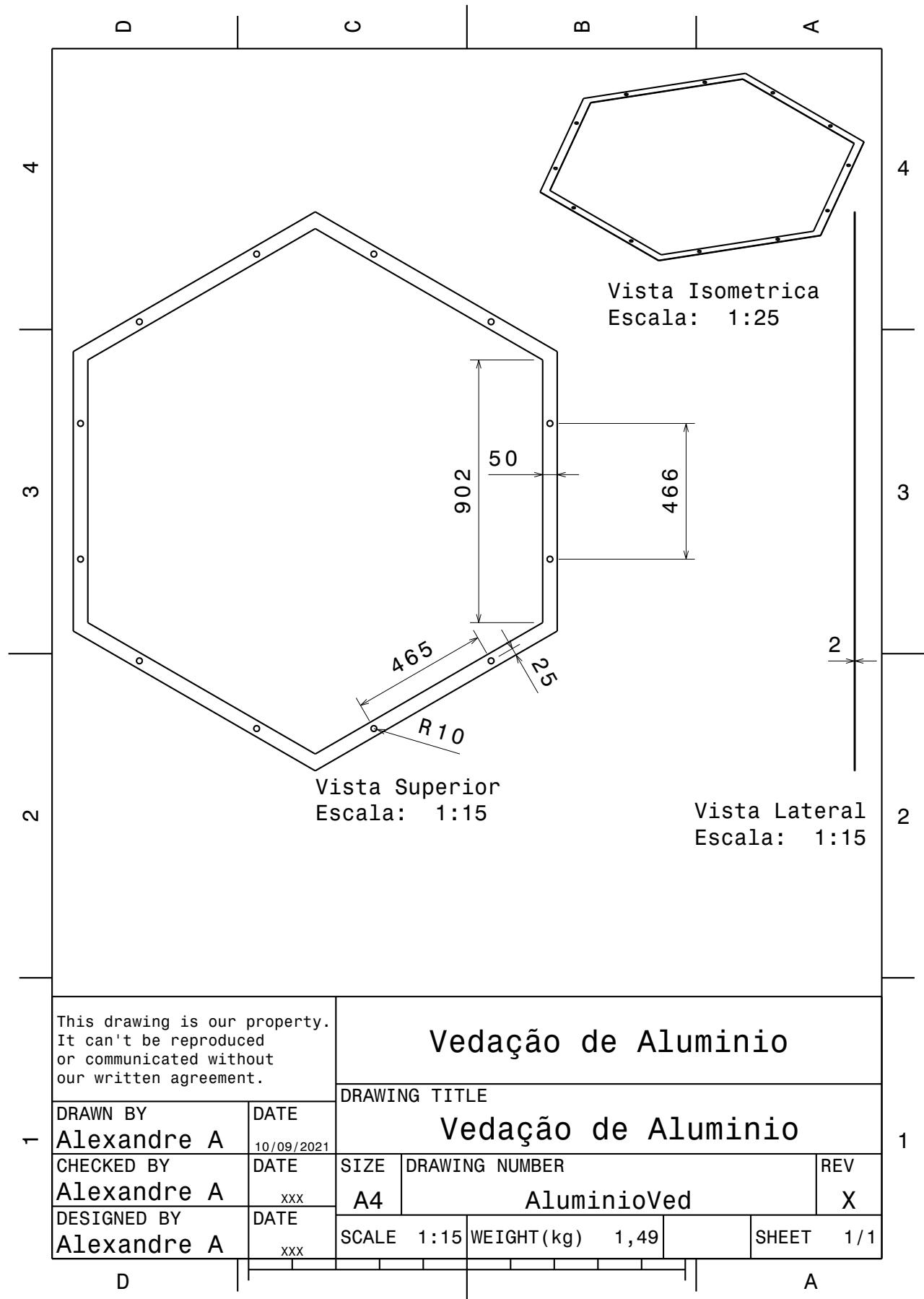


Figura 116 – Vedaçao de Aluminio

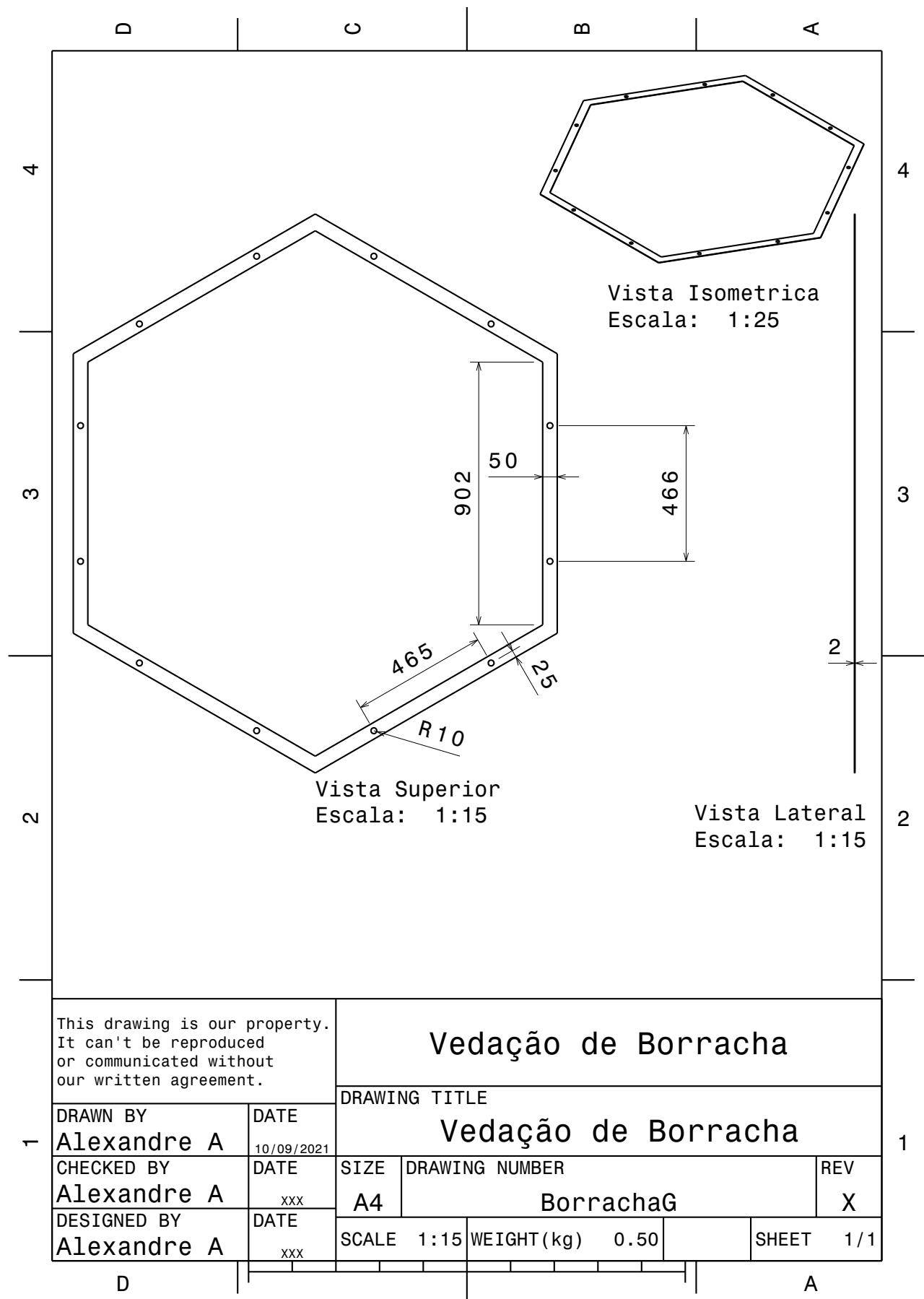


Figura 117 – Vedaçao de Borracha

APÊNDICE F – Código

```

clc
clear all
close all

% Propulsão Retilínea
massa = 500;%355.169;
Ct_vamx = 0.8;
S = 2.12;
rho = 999.13;
%V = linspace(0,1.4,500);
Vmax = 0.5;
rw = 0.1155; %0.1155;
rpm = 60;
Vc = 2*pi*rw*rpm/60;

Rt_vamx = 0.5*Ct_vamx*rho*S*Vmax^2;

T = Rt_vamx;

Sr = (Vc-Vmax)/Vc;

sh = T/(2*rho*Vc*(Vc-Vmax));

K = 212.5-375*Sr;
Ps = (1.94384*Vmax)^3*(2*sh*10.7639)/K;
%Ps = massa*2.20462*(0.971922*Vmax)^3*0.61/(1.4*3.28084)/9.5;
Ps = Ps*745.7;
Torque = Ps/(rpm*2*pi/60);

% Tempo de parada

t = linspace(0,100,10000);
tp = 100/10000;

```

```
V = zeros(1,10000);
x = zeros(1,10000);
Rt = zeros(1,10000);
Ct = zeros(1,10000);

for i = 1:10000

if i == 1
    V(i)=Vmax;
    Ct(i) = 0.8;
    Rt(i) = 0.5.*Ct(i).*rho.*S.*V(i).^2;
    x(i) = 0;

else
    V(i) = V(i-1)-Rt(i-1)*tp/massa;
    Ct(i) = 0.8;
    Rt(i) = 0.5.*Ct(i).*rho.*S.*V(i).^2;
    x(i) = x(i-1) + V(i)*tp;
end

end

figure(1)
plot(t,V)
grid on
title('Movimento Retilíneo sem Tração - t x v')
xlabel('Tempo(s)')
ylabel('Velocidade(m/s)')

figure(2)
plot(t,x)
grid on
title('Movimento Retilíneo sem Tração - t vs x')
xlabel('Tempo(s)')
ylabel('Deslocamento(m)')

% Tempo até a velocidade max

t = linspace(0,10,10000);
```

```
tp = 10/10000;
V = zeros(1,10000);
x = zeros(1,10000);
Rt = zeros(1,10000);
Ct = zeros(1,10000);
rpm_i = ones(1,10000);
t_rpmax = 5;
Vc_i = ones(1,10000);

for i = 1:10000

if i == 1
    V(i)=0;
    rpm_i(i) = rpm/(t_rpmax/tp);
    Vc_i(i) = 2*pi*rw*rpm_i(i)/60;
    T(i) = rho*sh*Vc_i(i)*(Vc_i(i)-V(i));
    Pe(i) = T(i)*V(i);
    torque(i) = Pe(i)/0.5/(2*rpm*pi/60);
    Ct(i) = 0.8;
    Rt(i) = 0.5.*Ct(i).*rho.*S.*V(i).^2;
    x(i) = 0;

else

    if i < t_rpmax/tp

        V(i) = V(i-1)+(2*T(i-1)-Rt(i-1))*tp/massa;
        rpm_i(i) = rpm_i(i-1)+rpm/(t_rpmax/tp);
        Vc_i(i) = 2*pi*rw*rpm_i(i)/60;
        T(i) = rho*sh*Vc_i(i)*(Vc_i(i)-V(i));
        Pe(i) = T(i)*V(i);
        torque(i) = Pe(i)/0.5/(2*rpm*pi/60);
        Ct(i) = 0.8;
        Rt(i) = 0.5.*Ct(i).*rho.*S.*V(i).^2;
        x(i) = x(i-1) + V(i)*tp;

    else
```

```
V(i) = V(i-1)+(2*T(i-1)-Rt(i-1))*tp/massa;
rpm_i(i) = rpm;
Vc_i(i) = 2*pi*rw*rpm_i(i)/60;
T(i) = rho*sh*Vc_i(i)*(Vc_i(i)-V(i));
Pe(i) = T(i)*V(i);%2*pi*rw*rpm_i(i)/60;
torque(i) = Pe(i)/0.5/(2*rpm*pi/60);
Ct(i) = 0.8;
Rt(i) = 0.5.*Ct(i).*rho.*S.*V(i).^2;
x(i) = x(i-1) + V(i)*tp;

end

end

figure(3)
plot(t,V)
grid on
title('Movimento Retilíneo com Tração - t vs v')
xlabel('Tempo(s)')
ylabel('Velocidade(m/s)')

figure(4)
plot(t,x)
grid on
title('Movimento Retilíneo com Tração - t vs x')
xlabel('Tempo(s)')
ylabel('Deslocamento(m)')

% Tempo de Frenagem

t = linspace(0,1.6,10000);
tp = 1.6/10000;
V = zeros(1,10000);
x = zeros(1,10000);
Rt = zeros(1,10000);
Ct = zeros(1,10000);
```

```
rpm_i = ones(1,10000);
t_rpmax = 5;
Vc_i = ones(1,10000);

for i = 1:10000

if i == 1
    V(i)=Vmax;
    rpm_i(i) = rpm/(t_rpmax/tp);
    Vc_i(i) = 2*pi*rw*rpm_i(i)/60;
    T(i) = rho*sh*Vc_i(i)*(Vc_i(i)+V(i));
    Ct(i) = 0.8;
    Rt(i) = 0.5.*Ct(i).*rho.*S.*V(i).^2;
    x(i) = 0;

else

    if i < t_rpmax/tp

        V(i) = V(i-1)-(2*T(i-1)+Rt(i-1))*tp/massa;
        rpm_i(i) = rpm_i(i-1)+rpm/(t_rpmax/tp);
        Vc_i(i) = 2*pi*rw*rpm_i(i)/60;
        T(i) = rho*sh*Vc_i(i)*(Vc_i(i)+V(i));
        Ct(i) = 0.7;
        Rt(i) = 0.5.*Ct(i).*rho.*S.*V(i).^2;
        x(i) = x(i-1) + V(i)*tp;

    else

        V(i) = V(i-1)-(2*T(i-1)+Rt(i-1))*tp/massa;
        rpm_i(i) = rpm;
        Vc_i(i) = 2*pi*rw*rpm_i(i)/60;
        T(i) = rho*sh*Vc_i(i)*(Vc_i(i)+V(i));
        Ct(i) = 0.8;
        Rt(i) = 0.5.*Ct(i).*rho.*S.*V(i).^2;
        x(i) = x(i-1) + V(i)*tp;
```

```
end

end

end

figure(5)
plot(t,V)
grid on
title('Movimento Retilíneo com Tração Contrária - t vs v')
xlabel('Tempo(s)')
ylabel('Velocidade(m/s)')

figure(6)
plot(t,x)
grid on
title('Movimento Retilíneo com Tração Contrária - t vs x')
xlabel('Tempo(s)')
ylabel('Deslocamento(m)')

% Giro 90º

t = linspace(0,50,10000);
tp = 50/10000;
w = zeros(1,10000);
alpha = zeros(1,10000);
Rt = zeros(1,10000);
Ct = zeros(1,10000);
rpm_i = ones(1,10000);
t_rpmax = 5;
Vc_i = ones(1,10000);
r_r = 0.906;
I = 199.757;
t_desligamento = 4;

for i = 1:10000

if i == 1
w(i)=0;
```

```
rpm_i(i) = rpm/(t_rpmax/tp);
Vc_i(i) = 2*pi*rw*rpm_i(i)/60;
T(i) = rho*sh*Vc_i(i)*(Vc_i(i)-(w(i)*r_r));
Pe(i) = T(i)*(w(i)*r_r);
torque(i) = Pe(i)/0.5/(2*rpm*pi/60);
Ct(i) = 0.8;
Rt(i) = 0.5.*Ct(i).*rho.*S.*(w(i)*r_r).^2;
M(i) = r_r*(T(i)-Rt(i));
a_angular(i) = M(i)/I;
alpha(i) = 0;

else

if i < t_rpmax/tp

    if i < t_desligamento/tp
        w(i) = w(i-1)+a_angular(i-1)*tp;
        rpm_i(i) = rpm_i(i-1)+rpm/(t_rpmax/tp);
        Vc_i(i) = 2*pi*rw*rpm_i(i)/60;
        T(i) = rho*sh*Vc_i(i)*(Vc_i(i)-(w(i)*r_r));
        Pe(i) = T(i)*(w(i)*r_r);
        torque(i) = Pe(i)/0.5/(2*rpm*pi/60);
        Ct(i) = 0.8;
        Rt(i) = 0.5.*Ct(i).*rho.*S.*(w(i)*r_r).^2;
        M(i) = r_r*(T(i)-Rt(i));
        a_angular(i) = M(i)/I;
        alpha(i) = alpha(i-1) + w(i)*tp*180/pi;
    else
        w(i) = w(i-1)+a_angular(i-1)*tp;
        rpm_i(i) = rpm_i(i-1)+rpm/(t_rpmax/tp);
        Vc_i(i) = 2*pi*rw*rpm_i(i)/60;
        T(i) = 0;
        Pe(i) = T(i)*(w(i)*r_r);
        torque(i) = Pe(i)/0.5/(2*rpm*pi/60);
        Ct(i) = 0.8;
        Rt(i) = 0.5.*Ct(i).*rho.*S.*(w(i)*r_r).^2;
        M(i) = r_r*(T(i)-Rt(i));
        a_angular(i) = M(i)/I;
```

```
alpha(i) = alpha(i-1) + w(i)*tp*180/pi;
end

else

if i < t_desligamento/tp

w(i) = w(i-1)+a_angular(i-1)*tp;
rpm_i(i) = rpm;
Vc_i(i) = 2*pi*rw*rpm_i(i)/60;
T(i) = rho*sh*Vc_i(i)*(Vc_i(i)-(w(i)*r_r));
Pe(i) = T(i)*(w(i)*r_r);
torque(i) = Pe(i)/0.5/(2*rpm*pi/60);
Ct(i) = 0.8;
Rt(i) = 0.5.*Ct(i).*rho.*S.*(w(i)*r_r).^2;
M(i) = r_r*(T(i)-Rt(i));
a_angular(i) = M(i)/I;
alpha(i) = alpha(i-1) + w(i)*tp*180/pi;

else

w(i) = w(i-1)+a_angular(i-1)*tp;
rpm_i(i) = rpm;
Vc_i(i) = 2*pi*rw*rpm_i(i)/60;
T(i) = 0;
Pe(i) = T(i)*(w(i)*r_r);
torque(i) = Pe(i)/0.5/(2*rpm*pi/60);
Ct(i) = 0.8;
Rt(i) = 0.5.*Ct(i).*rho.*S.*(w(i)*r_r).^2;
M(i) = r_r*(T(i)-Rt(i));
a_angular(i) = M(i)/I;
alpha(i) = alpha(i-1) + w(i)*tp*180/pi;

end

end

end
```

```
figure(7)
plot(t,w*180/pi)
grid on
title('Trajetória Rotacional de 90º - t vs w')
xlabel('Tempo(s)')
ylabel('Velocidade Angular(graus/s)')
figure(8)
plot(t,alpha)
grid on
title('Trajetória Rotacional de 90º - t vs alpha')
xlabel('Tempo(s)')
ylabel('Posição(graus)')

]
```

Anexos

ANEXO A – Esquemáticos dos sensores

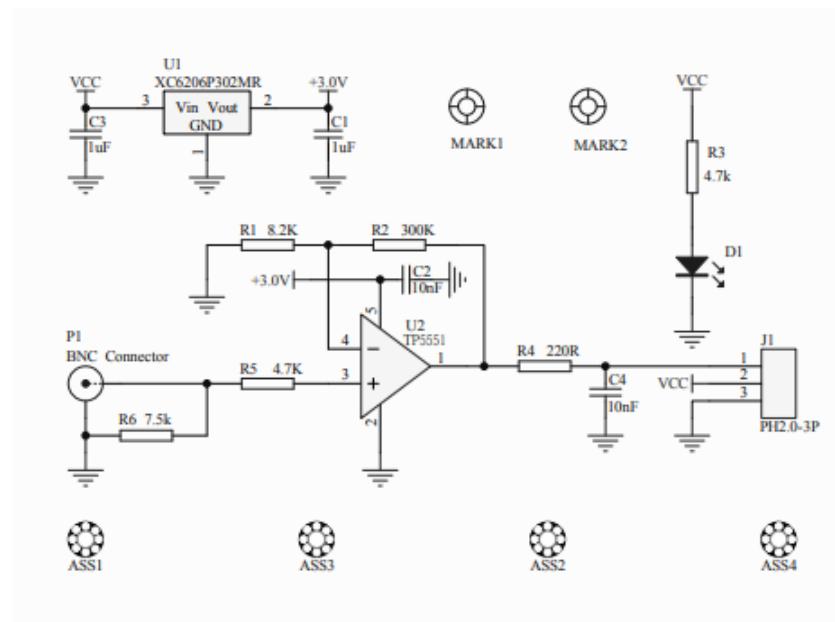


Figura 118 – Esquemático da sonda de oxigênio dissolvido

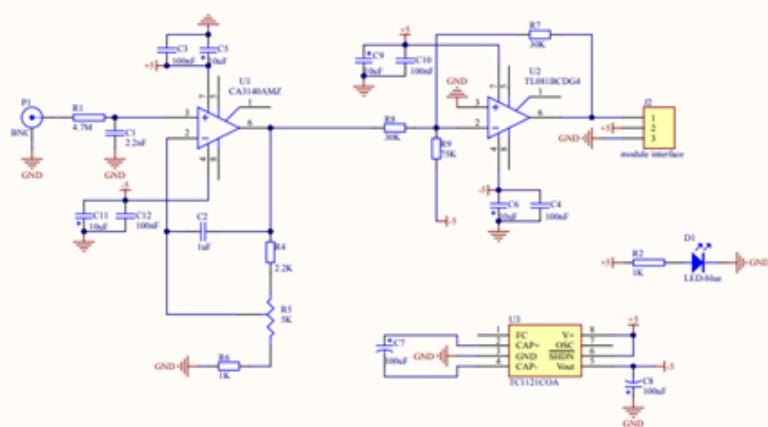


Figura 119 – Esquemático da sonda de ph

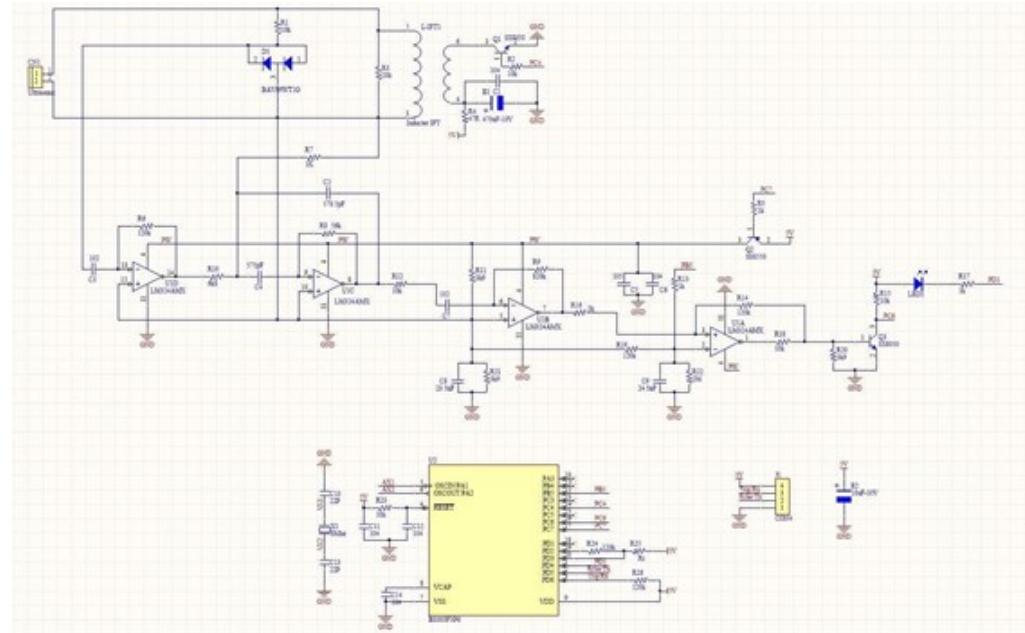


Figura 120 – Esquemático do sensor de proximidade

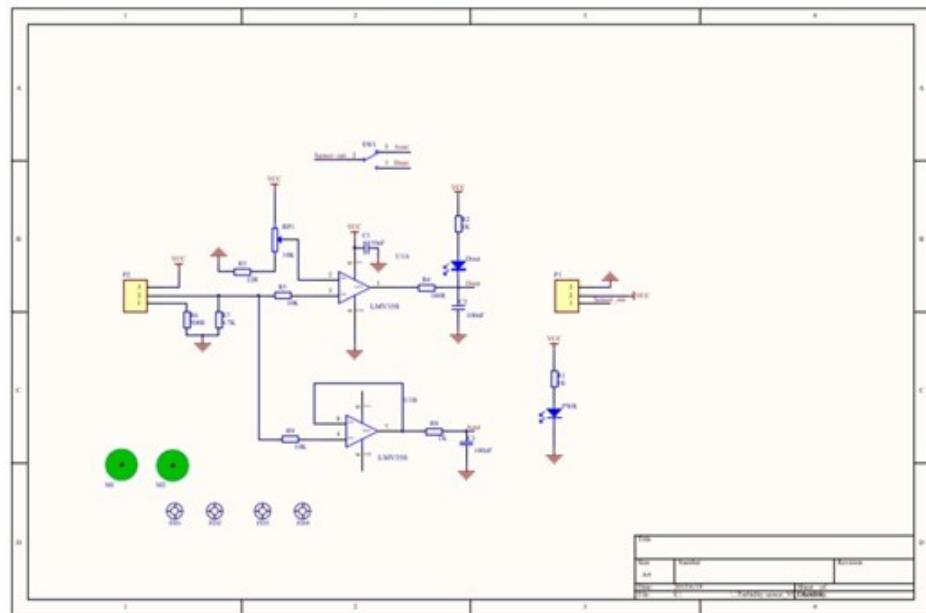


Figura 121 – Esquemático do sensor de turbidez

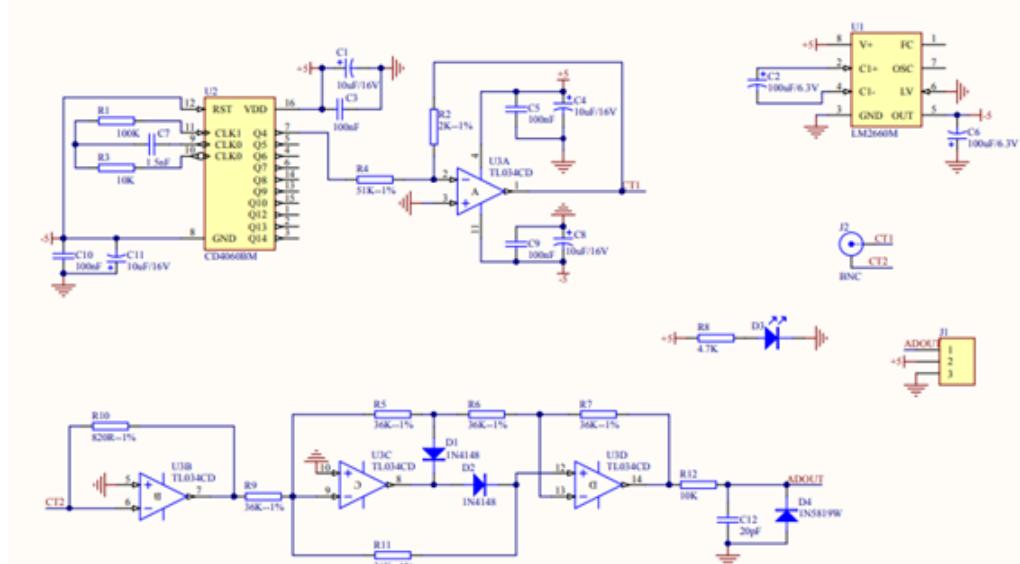


Figura 122 – Esquemático do sensor de condutividade

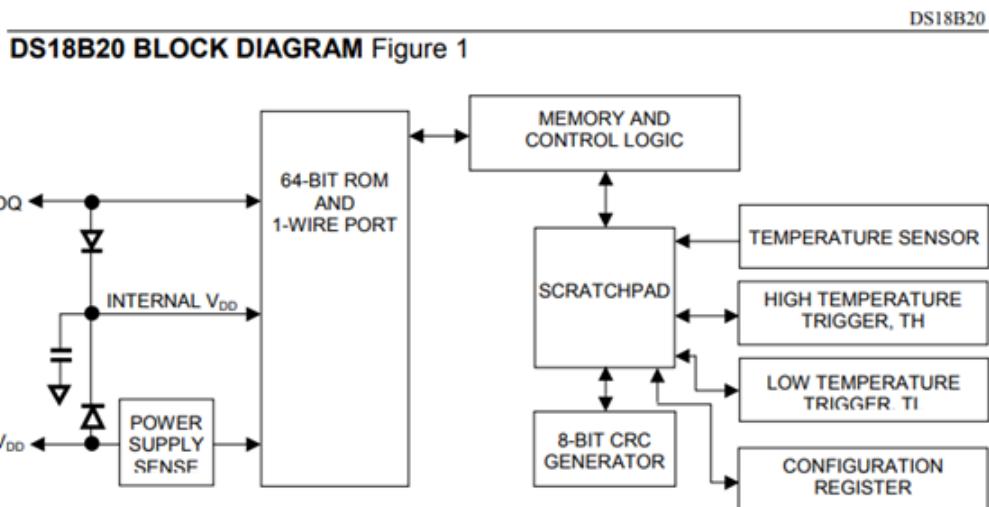


Figura 123 – Diagrama de blocos do sensor de temperatura