



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 – Pré-estrutura do projeto	24
Figura 2 – Painel de Tarefas	26
Figura 3 – Diagrama de Integração	27
Figura 4 – Módulo eletrônico sensor de oxigênio.	36
Figura 5 – Módulo eletrônico sensor de Ph.	37
Figura 6 – Sensor de temperatura	39
Figura 7 – Módulo eletrônico sensor de turbidez.	40
Figura 8 – Sensor de proximidade	41
Figura 9 – Módulo eletrônico sensor de condutividade.	42
Figura 10 – GPS	43
Figura 11 – Circuito reversor de polaridade	44
Figura 12 – Módulo Drive Ponte H para acionamento dos dois motores	45
Figura 13 – Compilação do código de controle dos sensores do aquadata	47
Figura 14 – Conexão estabelecida via WiFi	48
Figura 15 – Simulação do envio de dados coletados	48
Figura 16 – Simulação do envio de dados coletados	48
Figura 17 – Base do sistema de controle	49
Figura 18 – Sistema de controle de desvio	50
Figura 19 – Gráfico do sistema de controle de desvio	51
Figura 20 – Sistema de controle de movimentação	51
Figura 21 – Gráfico do sistema de controle de movimentação	52
Figura 22 – Código feito para o controle	53
Figura 23 – Base do sistema de controle	53
Figura 24 – Fluxograma do funcionamento do sistema	55
Figura 25 – Diagrama de Conexão elétrica entre sensores, modulo de comunicação 3G e GPS, Drives dos motores com o microcontrolador.	56
Figura 26 – Cad 2D do circuito eletrônico	57
Figura 27 – Regras de projeto (DRC).	58
Figura 28 – <i>Diagrama de Casos de Uso</i> do usuário na sistema	60
Figura 29 – Diagrama de Contexto.	67
Figura 30 – Diagrama de Container.	68
Figura 31 – Diagrama de Componentes, API Principal.	69
Figura 32 – Diagrama de Componentes, Single Page Application.	70
Figura 33 – Diagrama de Componentes, Microsserviço Atena.	71
Figura 34 – Diagrama de Componentes, Microsserviço Poseidon.	72
Figura 35 – Mockup do sistema web.	73

Figura 36 – <i>Dashboard</i> de controle e visualização individual, V1.	76
Figura 37 – <i>Dashboard</i> de controle e visualização individual, V2.	77
Figura 38 – <i>Tela de Login</i> .	77
Figura 39 – <i>Histórico de dados</i> .	78
Figura 40 – <i>Paleta de Cores</i>	78
Figura 41 – <i>Diagrama de Atividades</i> do usuário na aplicação web.	81
Figura 42 – Memorial de Cálculo.	82
Figura 43 – Custos acumulados ao longo do tempo de uso de cada tecnologia.	83
Figura 44 – Diagrama de decisão até a escolha da tecnologia das baterias.	83
Figura 45 – Previsão de produção diária ao longo do ano.	85
Figura 46 – Potência máxima ideal.	85
Figura 47 – Esboço do cenário do sistema flutuante perante o sol nascente.	86
Figura 48 – Esboço do cenário do sistema flutuante perante o sol no começo da geração pelo lado voltado para o oeste.	86
Figura 49 – Esboço do cenário do sistema flutuante perante o sol nos últimos momentos de geração pelo lado voltado para o leste.	87
Figura 50 – Esboço do cenário do sistema flutuante como um todo perante o trajeto do sol por ele ao longo do dia.	87
Figura 51 – Tabela de potências com sombra.	88
Figura 52 – Gráfico de geração total por contribuição de cada painel solar.	88
Figura 53 – Tabela de potências teóricas considerando a disposição das placas.	89
Figura 54 – Gráfico de geração total por contribuição de cada painel solar considerando a reflexão.	89
Figura 55 – Estrutura emersa e submersa	90
Figura 56 – Cavidade para Preenchimento da Espuma de Poliuretano	91
Figura 57 – Metacentro Transversal	92
Figura 58 – Gráfico Comparativo do Módulo de Elasticidade	97
Figura 59 – Gráfico Comparativo da Resistência à Tração	97
Figura 60 – Gráfico Comparativo da Densidade	98
Figura 61 – Laminado Fibra E-glass	102
Figura 62 – Laminado Fibra S-glass	102
Figura 63 – Laminado Fibra de Carbono	103
Figura 64 – Deformação Total - Painel de Fibra E-glass	103
Figura 65 – Deformação Total - Painel de Fibra E-glass	104
Figura 66 – Deformação Total - Painel de Fibra E-glass	104
Figura 67 – Deformação Total - Painel de Fibra S-glass	105
Figura 68 – Deformação Total - Painel de Fibra S-glass	105
Figura 69 – Deformação Total - Painel de Fibra S-glass	106
Figura 70 – Deformação Total - Painel de Fibra de Carbono	106

Figura 71 – Deformação Total - Painel de Fibra de Carbono	107
Figura 72 – Deformação Total - Painel de Fibra de Carbono	107
Figura 73 – Critério de Falha - Fibra E-glass	108
Figura 74 – Critério de Falha - Fibra S-glass	108
Figura 75 – Critério de Falha - Fibra de Carbono	109
Figura 76 – Aço 316 - Tensão de Cisalhamento	110
Figura 77 – Aço 316 - Deformação de Cisalhamento	110
Figura 78 – Aço 316 - Deslocamento Total	111
Figura 79 – Nitronic 50 - Tensão de Cisalhamento	111
Figura 80 – Nitronic 50 - Deformação de Cisalhamento	112
Figura 81 – Nitronic 50 - Deslocamento Total	112
Figura 82 – Vista Isométrica da estrutura central	113
Figura 83 – Estrutura central com suportes laterais	114
Figura 84 – Malha refinada do conjunto principal	115
Figura 85 – Quantidade de Nós e Elementos na malha	115
Figura 86 – Dados de entrada do material	116
Figura 87 – Resultado 1 da Simulação	117
Figura 88 – Resultado 2 da Simulação	118
Figura 89 – Suporte do Mancal	119
Figura 90 – Resultado 1 da Simulação para o Suporte do Mancal	120
Figura 91 – Resultado 2 da Simulação para o Suporte do Mancal	121
Figura 92 – Carga Aplicada na Torre	122
Figura 93 – Malha na torre	122
Figura 94 – Quantidade de nós e elementos na malha da torre	123
Figura 95 – Resultado 1 da Simulação para a Torre - Tensões Principais	124
Figura 96 – Resultado 2 da Simulação para a Torre - Tensões de Von Mises	125
Figura 97 – Diagrama de funcionamento geral do sistema.	126
Figura 98 – Movimento Retilíneo sem Tração - Velocidade	130
Figura 99 – Movimento Retilíneo sem Tração - Deslocamento	130
Figura 100–Movimento Retilíneo com Tração - Velocidade	131
Figura 101–Movimento Retilíneo com Tração - Deslocamento	132
Figura 102–Movimento Retilíneo com Tração Contrária - Velocidade	133
Figura 103–Movimento Retilíneo com Tração Contrária - Deslocamento	133
Figura 104–Trajetória Rotacional de 90º - Velocidade Angular	135
Figura 105–Trajetória Rotacional de 90º - Deslocamento Angular	135
Figura 106–Quadro Hexagonal	136
Figura 107–Quadro Superior	137
Figura 108–Chapas de Fixação e Barras de Suporte	138
Figura 109–Barras e Placa Circular Inferior	139

Figura 110 – Suportes Metálicos	140
Figura 111 – Barras da Torre	141
Figura 112 – Chapeamento da Torre	141
Figura 113 – Carenagem Principal	142
Figura 114 – Tampas Superior e Inferior	143
Figura 115 – Pás	144
Figura 116 – Tubo Central	145
Figura 117 – Barras de Fixação	145
Figura 118 – Barras Laterais	146
Figura 119 – Esqueleto Central	149
Figura 120 – Desenho da montagem da placa de madeira no esqueleto central	149
Figura 121 – Vista isométrica da montagem da placa de madeira no esqueleto central	150
Figura 122 – Montagem da bateria no esqueleto central	150
Figura 123 – Vista isométrica da montagem da bateria	151
Figura 124 – Encaixe dos rolamentos	152
Figura 125 – Vista isométrica dos rolamentos já encaixados	153
Figura 126 – Montagem dos suportes laterais e da carenagem principal	154
Figura 127 – Suporte lateral	155
Figura 128 – Encaixe dos suportes laterais por dentro do AquaData	155
Figura 129 – Vista isométrica da montagem	156
Figura 130 – Sensores fixados na tampa inferior	156
Figura 131 – Vista isométrica da tampa inferior com os sensores	157
Figura 132 – Montagem da tampa inferior e da vedação da parte inferior	158
Figura 133 – Detalhe da fixação da vedação	158
Figura 134 – resultado da fixação	159
Figura 135 – Montagem da proteção inferior	159
Figura 136 – Proteção inferior	159
Figura 137 – Monatgem das pás	160
Figura 138 – Pás	161
Figura 139 – Detalhe da fixação das pás.	161
Figura 140 – Vista isométrica das pás montadas.	162
Figura 141 – Montagem do suporte das placas solares e fixação das placas solares laterais	163
Figura 142 – Detalhe da montagem dos suportes das placas laterais	163
Figura 143 – Vista isométrica dos suportes das placas laterais com as placas instaladas .	164
Figura 144 – Montagem da boia lateral	165
Figura 145 – Detalhes da montagem da boia lateral	165
Figura 146 – Vista isométrica das boias laterais	166
Figura 147 – Disposição dos motores	167
Figura 148 – Vista isométrica do motor e correia	168

Figura 149 – Montagem da tampa superior com o sistema de vedação	169
Figura 150 – Vista isométrica da montagem da tampa	169
Figura 151 – Vista isométrica da montagem das placas solares	170
Figura 152 – Furos para passagem dos fios das placas solares	170
Figura 153 – Montagem da torre	171
Figura 154 – Detalhe da fixação da torre	171
Figura 155 – Vista isométrica da torre instalada	172
Figura 156 – Montagem da sinalização	172
Figura 157 – Detalhes da montagem da sinalização	173
Figura 158 – Vista isométrica da sinalização montada	173
Figura 159 – Resultado final da montagem	174
Figura 160 – Diagrama de alimentação dos sensores, módulo de comunicação 3G e GPS e microcontrolador.	175
Figura 161 – Módulo Regulador de Tensão LM2596.	176
Figura 162 – Modulo Drive Ponte H para acionamento dos dois motores	176
Figura 163 – Cad 2D do circuito eletrônico	177
Figura 164 – Placa eletrônica do microcontrolador com as conexões dos sinais gerados pelos sensores	178
Figura 165 – CAD do circuito impresso	178
Figura 166 – Exemplo de Ensaio de Tração	182
Figura 167 – Exemplo de Ensaio de Corrosão	183
Figura 168 – Primeira parte do Cronograma	193
Figura 169 – Segunda parte do Cronograma	193
Figura 170 – Terceira parte do Cronograma	194
Figura 171 – Quarta parte do Cronograma	194
Figura 172 – EAP do Projeto	199
Figura 173 – Primeira parte do RoadMap	199
Figura 174 – Segunda parte do RoadMap	200
Figura 175 – Terceira parte do RoadMap	200
Figura 176 – Quarta parte do RoadMap	200
Figura 177 – Sistema de controle de movimentação	203
Figura 178 – Sistema de controle de parada e desvio	203
Figura 179 – Esquemático do circuito desconectado	204
Figura 180 – Esquemático do circuito conectado	204
Figura 181 – Placa de circuito impresso em 2D	205
Figura 182 – Placa de circuito impresso em 3D	205
Figura 183 – Visualização do verso da placa de circuito impresso em 3D	206
Figura 184 – Montagem Final	209
Figura 185 – Montagem Boia	210

Figura 186–Bateria	211
Figura 187–Carenagem Boia	212
Figura 188–Eixo	213
Figura 189–Estrutura Principal	214
Figura 190–Fixador de Boia	215
Figura 191–Espuma de poliuretano	216
Figura 192–Mancal	217
Figura 193–Montagem das Pás	218
Figura 194–Carenagem	219
Figura 195–Pás	220
Figura 196–Placa Solar	221
Figura 197–Proteção dos Sensores	222
Figura 198–Rolamento	223
Figura 199–Suporte das Baterias	224
Figura 200–Suporte das Pás	225
Figura 201–Suporte das Placas	226
Figura 202–Tampa Inferior	227
Figura 203–Tampa Superior	228
Figura 204–Vedaçāo de Alumínio	229
Figura 205–Vedaçāo de Borracha	230
Figura 206–Chapa de madeira	231
Figura 207–Esquemático da sonda de oxigênio dissolvido	242
Figura 208–Esquemático da sonda de ph	242
Figura 209–Esquemático do sensor de proximidade	243
Figura 210–Esquemático do sensor de turbidez	243
Figura 211–Esquemático do sensor de condutividade	244
Figura 212–Diagrama de blocos do sensor de temperatura	244
Figura 213–Diagrama Unifilar do Sistema de Alimentação.	246

Lista de tabelas

Tabela 1 – Explicação da tabela de integração	28
Tabela 2 – Requisitos de Software	29
Tabela 3 – Requisitos eletrônica	30
Tabela 4 – Requisitos Energia	31
Tabela 5 – Requisitos Estruturais	32
Tabela 6 – Lista É/Não É	32
Tabela 7 – Especificações circuito OD	36
Tabela 8 – Especificações circuito OD	37
Tabela 9 – Especificações	38
Tabela 10 – Características sensor de temperatura	39
Tabela 11 – Especificações Sensor de Turbidez	40
Tabela 12 – Especificações do sensor de proximidade	41
Tabela 13 – Especificações do sensor de condutividade	42
Tabela 14 – Tabela de potência	48
Tabela 15 – Tabela de conexão	57
Tabela 16 – Propriedades Mecânicas das Fibras de Reforço	96
Tabela 17 – Propriedades Comparativas para Fibras de Reforço	98
Tabela 18 – Legenda da Tabela Propriedades Comparativas para Fibras de Reforço	98
Tabela 19 – Propriedades Comparativas CFRP vs. GFRP	99
Tabela 20 – Propriedades Comparativas PVC vs.Poliuretano	100
Tabela 21 – Propriedades Comparativas para o Aço Inoxidável	100
Tabela 22 – Propriedades Mecânicas para o Aço	101
Tabela 23 – Carga Aplicada na Estrutura	116
Tabela 24 – Fabricação do Quadro Hexagonal	136
Tabela 25 – Fabricação do Quadro Superior	137
Tabela 26 – Fabricação das Chapas de Fixação e Barras de Suporte	137
Tabela 27 – Fabricação do Esqueleto Central	138
Tabela 28 – Fabricação dos Suportes Metálicos	139
Tabela 29 – Fabricação da Torre	140
Tabela 30 – Fabricação do Laminado	142
Tabela 31 – Fabricação dos Painéis Sanduíche	142
Tabela 32 – Fabricação das Tampas	143
Tabela 33 – Fabricação das Rodas de Pás	144
Tabela 34 – Número relativo para cada peça	148
Tabela 35 – Estimativa de Custo - Eletrônica	195
Tabela 36 – Estimativa de Custo - Estruturas	195

Tabela 37 – Estimativa de Custos - Energia	196
Tabela 38 – Estimativa de Custo - Software	196
Tabela 39 – Riscos eletrônicos	197
Tabela 40 – Riscos estruturais	197
Tabela 41 – Riscos energéticos	197
Tabela 42 – Riscos de Software	198
Tabela 43 – Descrição das categoriais	198
Tabela 44 – Matriz de Probabilidade x Impacto	198
Tabela 45 – Legenda da Matriz de Probabilidade X Impacto	198
Tabela 46 – Lista de Materiais	207
Tabela 47 – Lista de Materiais	208

Lista de abreviaturas e siglas

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

Lista de símbolos

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	18
1	INTRODUÇÃO	19
1.1	Proposta	19
1.2	Justificativa	20
1.3	Objetivo Geral	20
1.3.1	Objetivos Específicos	21
II	ESCOPO	22
2	ESCOPO	23
2.1	Escopo do projeto	23
2.1.1	Visão do produto	23
2.2	Descrição das Atividades e Responsabilidades	25
2.3	Integração	26
2.4	Requisitos	28
2.4.1	Software	28
2.4.2	Eletrônica	29
2.4.3	Energia	30
2.4.4	Estrutura	31
2.4.5	Lista É/ Não É	32
III	CONCEPÇÃO DO PROJETO	33
3	CONCEPCAO	34
3.1	Eletrônica	34
3.1.1	Dados a serem coletados	34
3.1.2	Mecanismos de coletas de dados	35
3.1.2.1	Sonda de oxigênio dissolvido	35
3.1.2.2	Sensor de potencial Hidrogeniônico (pH)	37
3.1.2.3	Sensor de temperatura	38
3.1.2.4	Sensor de turbidez	39
3.1.2.5	Sensor de proximidade	40
3.1.2.6	Sensor de condutividade	41
3.1.2.7	Sistemas de geolocalização e comunicação	43
3.1.2.8	Microcontrolador ESP32	43

3.1.3	Ponte H	44
3.1.4	Algoritmos	45
3.1.4.1	Códigos adaptados	45
3.1.4.1.1	Códigos DF Robot	45
3.1.4.1.2	Códigos de outros repositórios	46
3.1.4.2	Códigos autorais	46
3.1.4.3	Simulação	47
3.1.4.4	Potência do sistema	48
3.1.5	Controle	48
3.1.6	Sistema embarcado	53
3.1.7	Sistema de sinalização	53
3.1.8	Fluxograma de funcionamento do sistema	54
3.1.9	Circuitos	55
3.1.9.1	Design Rule Circuit (DRC)	58
3.2	Software	58
3.2.1	Especificações de Software	58
3.2.1.1	Escopo do Projeto	58
3.2.1.2	Funcionalidades	58
3.2.1.3	Casos de Uso	59
3.2.1.3.1	Diagrama de Casos de Uso	59
3.2.1.3.2	Especificação de Casos de Uso	60
3.2.1.4	Arquitetura de Software	66
3.2.1.4.1	Diagrama de Contexto	66
3.2.1.4.2	Diagrama de Container	68
3.2.1.4.3	Diagrama de Componentes - API Principal	69
3.2.1.4.4	Diagrama de Componentes - <i>Single Page Application</i>	70
3.2.1.4.5	Diagrama de Componentes - Microsserviço Atena	71
3.2.1.4.6	Diagrama de Componentes - Microsserviço Poseidon	72
3.2.1.5	Serviços	73
3.2.1.5.1	<i>Front-end (Single Page Application)</i>	73
3.2.1.5.2	API Principal	73
3.2.1.5.3	Microsserviço: Atena	74
3.2.1.5.4	Microsserviço: Poseidon	74
3.2.1.5.5	<i>Broker</i>	74
3.2.1.5.6	<i>FakeFloater</i>	74
3.2.1.5.7	Dispositivos Embarcados	75
3.2.1.6	Arquitetura da Informação	76
3.2.1.6.1	Protótipo	76
3.2.1.6.2	Paleta de Cores	78

3.2.1.7	Inovação no Software	79
3.2.1.7.1	<i>Internet Of Things (IoT)</i>	79
3.2.1.7.2	Arquitetura de Microsserviços	79
3.2.1.8	Comunicação entre os Servidores e Serviços	80
3.2.1.8.1	Comunicação entre o Embarcado e o Servidor	80
3.2.1.8.2	Comunicação entre a Single Page Application e Servidor	80
3.2.1.8.3	Comunicação entre os Microsserviços do Servidor	80
3.2.1.9	Outros Diagramas	80
3.2.1.9.1	Diagrama de Atividades	80
3.3	Energia	81
3.3.1	Demanda energética dos sistemas	81
3.3.2	Sistema de geração	82
3.3.2.1	Introdução ao sistema fotovoltaica off-grid	82
3.3.2.2	Justificativa da escolha das baterias	82
3.3.2.3	Dimensionamento do sistema	83
3.3.3	Disponibilidade de recursos energéticos e capacidade de geração	84
3.3.3.1	Efeito da geometria e distribuição na produção diária	85
3.3.3.2	Perdas por Reflexão	88
3.3.3.3	Uma nota sobre o aterramento dos equipamentos eletrônicos	90
3.4	Estruturas	90
3.4.1	Flutuabilidade e Estabilidade	90
3.4.1.1	Cálculos da flutuabilidade da estrutura	92
3.4.2	Definição de Materiais	95
3.4.2.1	Estrutura Flutuante	95
3.4.2.2	Eixos Propulsores e Pás	100
3.4.2.3	Estruturas Metálicas	100
3.4.3	Análise do Comportamento Mecânico	101
3.4.3.1	Painel Sanduíche	101
3.4.3.2	Eixos Propulsores	109
3.4.3.3	Estrutura de Suporte	112
3.4.3.4	Torre	121
3.4.4	Diagrama geral de funcionamento da estrutura	125
3.4.5	Resposta dinâmica do sistema	126
3.4.5.1	Dimensionamento de Desempenho	127
3.4.5.2	Resposta do Tempo de Parada	129
3.4.5.3	Resposta de aceleração	131
3.4.5.4	Resposta à frenagem	132
3.4.5.5	Resposta à Rotação	134
4	PLANO DE FABRICAÇÃO	136

4.0.1	Estruturas Metálicas	136
4.0.1.1	Esqueleto Central	136
4.0.1.2	Suporte das baterias, pás, placas solares	139
4.0.1.3	Torre	140
4.0.2	Estrutura Flutuante	141
4.0.2.1	Carenagem Principal	141
4.0.2.2	Tampas superior e inferior	143
4.0.3	Rodas de Pás	143
4.0.4	Eixos Propulsores	146
5	MANUAL DE MONTAGEM	147
5.1	Instalação do microcontrolador, dos sensores e do modulo de comunicação GPS e 3G	174
5.2	Regulador de tensão e alimentação do drive dos motores	175
5.3	Conexão entre o microcontrolador com os sensores e o modulo de comunicação GPS e 3G	176
5.4	Aterramento dos componentes eletrônicos	178
6	PLANOS DE MANUTENÇÃO	179
6.1	Manutenção preventiva	179
6.2	Manutenção corretiva	180
7	PLANO DE TESTES DE VALIDAÇÃO	181
7.1	Estruturas	181
7.1.1	Testes relativos aos Materiais e à Estrutura	181
7.1.2	Testes relativos ao Isolamento dos Componentes	182
7.1.3	Corrosão	182
7.1.4	Testes relativos à Flutuação	183
7.1.5	Testes relativos ao Grupo Motopropulsor	183
7.1.6	Testes relativos à Resposta dinâmica	183
	REFERÊNCIAS	184
	APÊNDICES	187
	APÊNDICE A – TERMO DE ABERTURA DO PROJETO	188
A.1	Gerenciamento	188
A.1.1	Justificativa	188
A.1.2	Proposta	189
A.1.3	Recursos humanos	189

A.1.4	Scrum	190
A.1.5	Ferramentas	191
A.1.6	Stakeholders	192
A.1.7	Premissas	192
A.1.8	Cronograma	193
A.1.9	Estimativa de custos	194
A.1.9.1	Eletrônica	195
A.1.9.2	Estruturas	195
A.1.9.3	Energia	196
A.1.9.4	Software	196
A.1.9.5	Viabilidade Financeira	196
A.1.10	Levantamento de Riscos	196
A.1.11	Estrutura Analítica de Projeto	198
A.1.12	Roadmap	199
APÊNDICE B – DECISÕES E APRENDIZADOS EM SOFTWARE .		201
APÊNDICE C – ÍNDICE DE CÓDIGO NO GITHUB .		202
APÊNDICE D – CÓDIGO DE CONTROLE MATLAB .		203
APÊNDICE E – ESQUEMÁTICOS DO CIRCUITO E PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO .		204
APÊNDICE F – LISTA DE MATERIAIS .		207
APÊNDICE G – DESENHOS TÉCNICOS .		209
APÊNDICE H – CÓDIGO .		232
ANEXOS		241
ANEXO A – ESQUEMÁTICOS DOS SENSORES .		242
ANEXO B – DIAGRAMA UNIFILAR .		246

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.

1.1 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 $8 < \text{pH} < 8.5$ e por fim 0.5 mg/L N, para $\text{pH} > 8.5$.

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.

1.2 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.

1.3 Objetivo Geral

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.

1.3.1 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do projeto são :

- 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
- Projeto e concepção de sistema embarcado integrado à uma série de sensores que permitem 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
- 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
- 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

Parte II

Escopo

2 Escopo

Neste capítulo serão esclarecidos 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.

2.1 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.

2.1.1 Visão do produto

Como citado anteriormente, a figura 1 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.

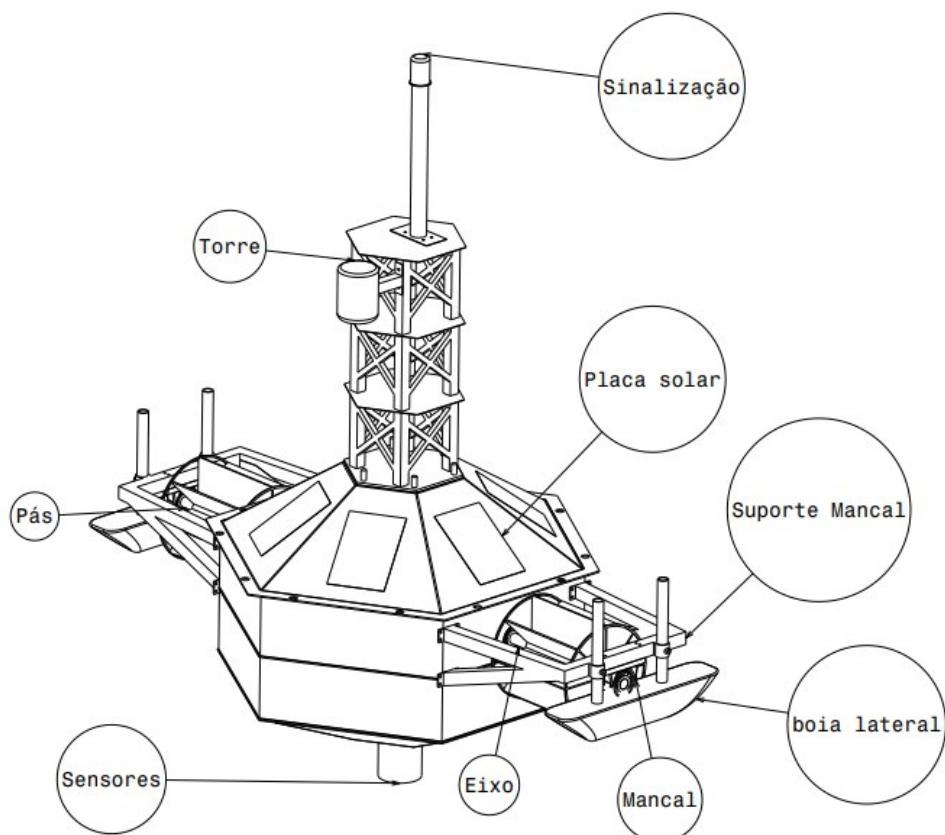


Figura 1 – Pré-estrutura do projeto

2.2 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

2.3 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 2 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.

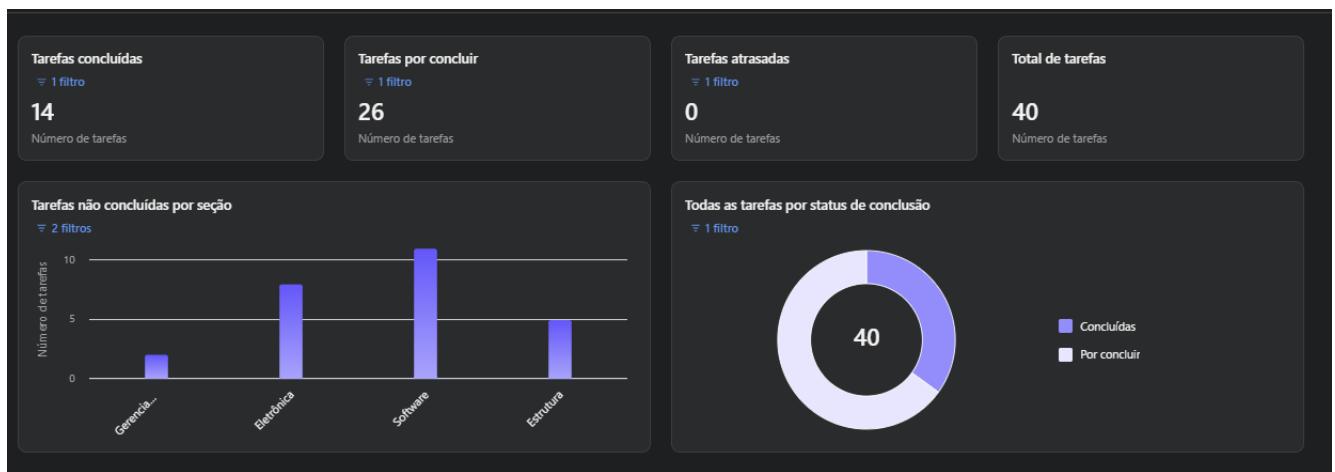


Figura 2 – Painel de Tarefas

Foi realizado um diagrama de integração a fim de explicitar como cada núcleo trabalhou junto. A Figura 3 mostra cada núcleo e as respectivas tarefas em que trabalharam em conjunto. Abaixo do diagrama há a Tabela 1, nela há a descrição de cada tópico mostrado no diagrama.



Figura 3 – Diagrama de Integração

Tabela 1 – Explicação da tabela de integração

Núcleo	Nome	Atividade	Descrição
Eletrônica - Software	Microcontrolador	Definição do microcontrolador	Conversas e alinhamentos sobre os pré-requisitos do microcontrolador e módulos necessários.
Eletrônica - Software	Comunicação	Definição do protocolo de comunicação	Conversas e resoluções acerca do protocolo de comunicação entre o Microcontrolador e o Servidor Central
Eletrônica - Software	Sensores	Definição dos parâmetros e sensores	Conversas e pesquisas para definir os parâmetros para aferir a qualidade d'água, assim como escolher os sensores necessários
Eletrônica - Software	Embarcados	Desenvolvimento e adaptação das bibliotecas dos sensores	Pareamento entre integrantes dos núcleos de software e de eletrônica para desenvolvimento e adaptação das bibliotecas utilizadas para funcionamento dos sensores
Eletrônica - Software	Embarcados	Desenvolvimento do código de controle da boia	
Eletrônica - Energia	Motor	Definição do motor	Conversas e alinhamentos sobre as características do motor escolhido.
Eletrônica - Energia	Diagrama Unifilar	Diagrama Unifilar	Coleta de dados de consumo dos componentes para a confecção do diagrama.
Eletrônica - Energia	Consumo	Levantamento do consumo	Levantamento dos valores de consumo dos drivers, sensores e microcontroladores.
Estruturas - Eletrônica	Posição	Definição da posição dos sensores	Decisão sobre a posição ideal para os sensores com base nas funcionalidades e dimensões
Estruturas - Eletrônica	Controle	Sistema de Controle da Dinâmica do Sistema	Disposição interativa de dados entre núcleos no que se refere as respostas dinâmicas da estrutura e às respostas de controle para projeção do sistema.
Estruturas - Eletrônica	Placa	Placas e Sensores	Apresentação dos requisitos necessários de funcionamento dos componentes eletrônicos para ajuste estrutural, no sentido de posicionar e proteger corretamente tais componentes.
Estruturas - Energia	Dimensionamento	Dimensionamento do Motor	Disposição interativa de dados afim de otimizar uma escolha precisa do sistema motopropulsor.
Estruturas - Energia	Dimensionamento	Dimensionamento do ângulo ótimo para disposição das placas fotovoltaicas	Categorização dos dados de ângulo produção de energia das placas para dimensionamento estrutural de suas colocações.
Estruturas - Energia	Dimensionamento	Dimensionamento de Tubulação e Cabos	Recebimento de dados por parte do núcleo de estruturas sobre as conexões e .
Estruturas - Energia	Dimensionamento	Definição do ângulo da tampa	Conversas e resoluções acerca do ângulo ideal para ótima produção do sistema.
Estruturas - Energia	Bateria	Baterias	Disposição de dados geométricos e físicos da bateria para dimensionamento de pesos da estrutura, considerando sua grande influência em tal solução.
Estruturas - Energia	Motor	Definição do motor	Conversas e alinhamentos sobre os pré-requisitos do motor.
Estruturas - Energia	Fios e posição	Definição dos fios e posição	Conversas e alinhamentos sobre as dimensões do dispositivo flutuante e sobre o que seria um bom ponto de equilíbrio para o sistema a ser dimensionado e a disposição e dimensão dos equipamentos.
Estruturas - Energia	Fios e posição	Definição das placas e posição	Conversas e alinhamentos sobre as dimensões do dispositivo flutuante e sobre o que seria um bom ponto de equilíbrio para o sistema a ser dimensionado e a disposição e dimensão dos equipamentos.

2.4 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.

2.4.1 Software

Primeiramente na tabela 2 é exposto os requisitos de software para o projeto.

Tabela 2 – 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

2.4.2 Eletrônica

Na tabela 3 é explorada as categorias e requisitos de eletrônica.

Tabela 3 – 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

2.4.3 Energia

Na tabela 4 se mostra os requisitos de energia do projeto.

Tabela 4 – 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;

2.4.4 Estrutura

E por último, na tabela 5 é evidenciado os requisitos para a parte estrutural do projeto.

Tabela 5 – 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	Sinalizaçāo	O objeto flutuante deve ser bem sinalizado a fim de evitar impactos;
A10	Resistência	A estrutura deve resistir ao possível impacto com uma embarcação;

2.4.5 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 6 é exposta abaixo.

Tabela 6 – 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 III

Concepção do Projeto

3 Concepção e Detalhamento do Projeto

3.1 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.

3.1.1 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.

3.1.2 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.

3.1.2.1 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 4).

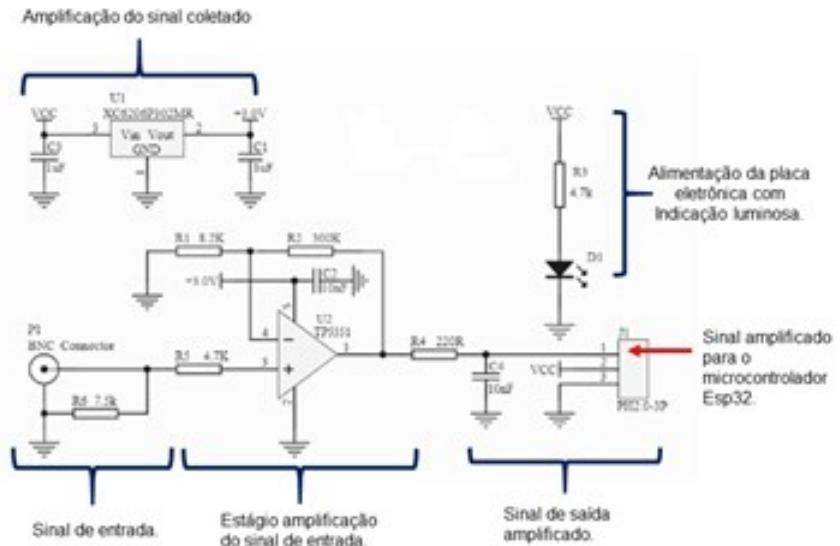


Figura 4 – Módulo eletrônico sensor de oxigênio.

Tabela 7 – 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 8 – 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

3.1.2.2 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 5 e as especificações do sensor na tabela 9.

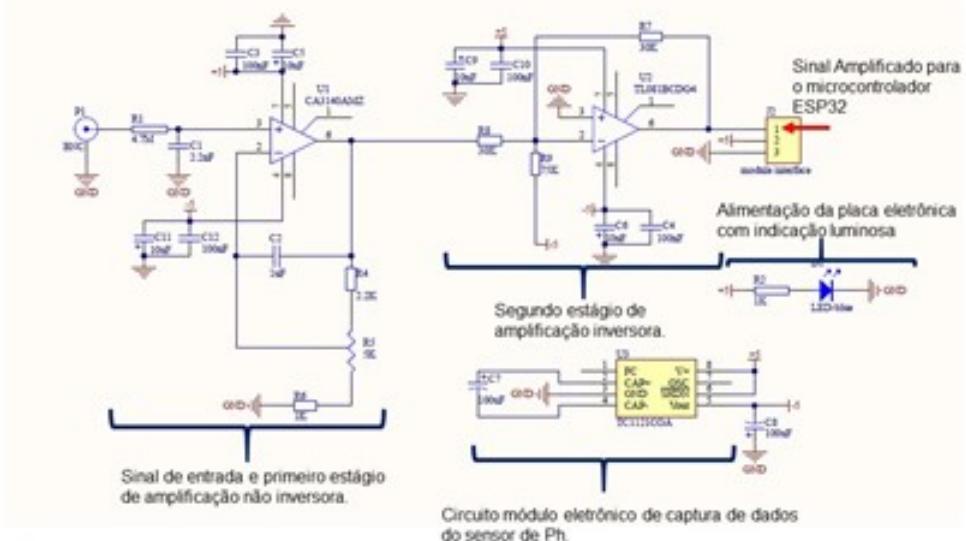


Tabela 9 – Especificações

Placa conversora de sinal (Transmitter) V2	
Tensão de alimentação	3.3~5.5V
Tensão de saída	0 ~3.0v
Conector de sonda	bnc
Conector de sinal	PH2.0-3P
Medida de Acurácia	$\pm 0.1 @ 25^\circ C$
Dimensão	42mm*32mm/1.66*1.26in
Sonda de PH	
Tipo de sonda	Nota de laboratório
Faixa de detecção	0~14
Faixa de Temperatura	5~60°C
Ponto zero	7 ± 0.5
Tempo de resposta	<2min
Resistência interna	<250M
Tempo de vida	>0.5 ano (depende da frequência de uso)
Comprimento do cabo	100cm

3.1.2.3 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 6 e suas especificações na 10).

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.

DS18B20 BLOCK DIAGRAM Figure 1

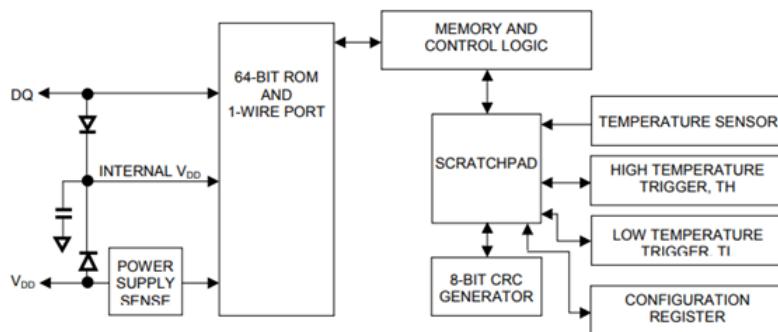


Figura 6 – Sensor de temperatura

Tabela 10 – 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

3.1.2.4 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 7 e especificações na tabela 11).

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

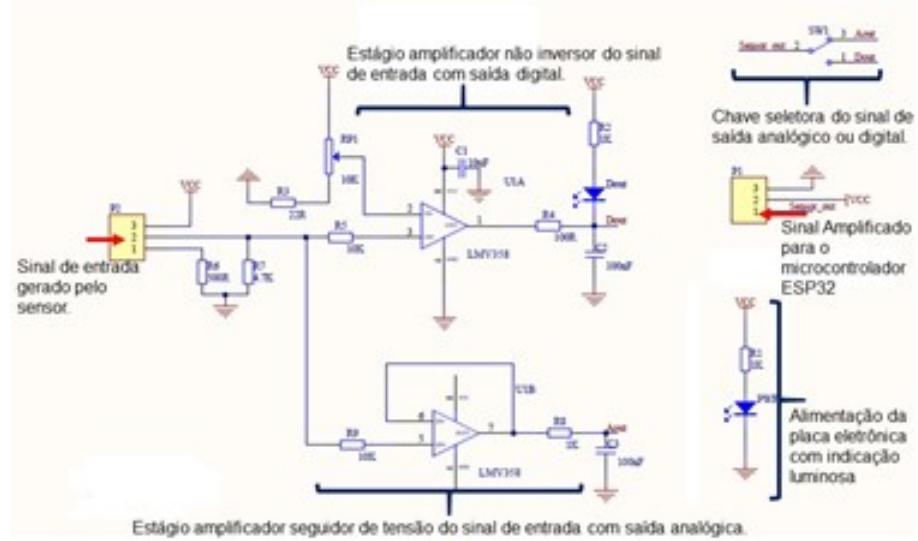


Figura 7 – Módulo eletrônico sensor de turbidez.

Tabela 11 – Especificações Sensor de Turbidez

Sensor de turbidez	
Tensão de operação	5V DC
Corrente de operação	40mA (MAX)
Tempo de resposta	<500ms
Resistência de isolamento	100M (Min)
Saída analógica	0-4.5V
Saída Digital	Nível de sinal Alto/baixo
Temperatura de Operação	5°C~90°C
Temperatura de armazenamento	-10°C~90°C
Peso	30g
Dimensão	38mm*28mm*10mm/1.5inches *1.1inches*0.4inches

3.1.2.5 Sensor de proximidade

O sensor de proximidade será utilizado para indicar a presença de algum corpo estranho que esteja presente na trajetória do AquaData, evitando assim possíveis colisões com objetos fixos ou em baixa velocidade como pedras, plantas aquáticas, detritos presentes na água, animais aquáticos ou embarcações. O sensor escolhido foi o sensor ultrassônico de distância Jsn-sr04t, pois ele é resistente à água e possui um alcance de detecção maior que o de um sensor infravermelho. Serão utilizados 4 sensores deste tipo, um na extremidade de cada direção cardeal, para

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 8 e especificações na tabela 12).

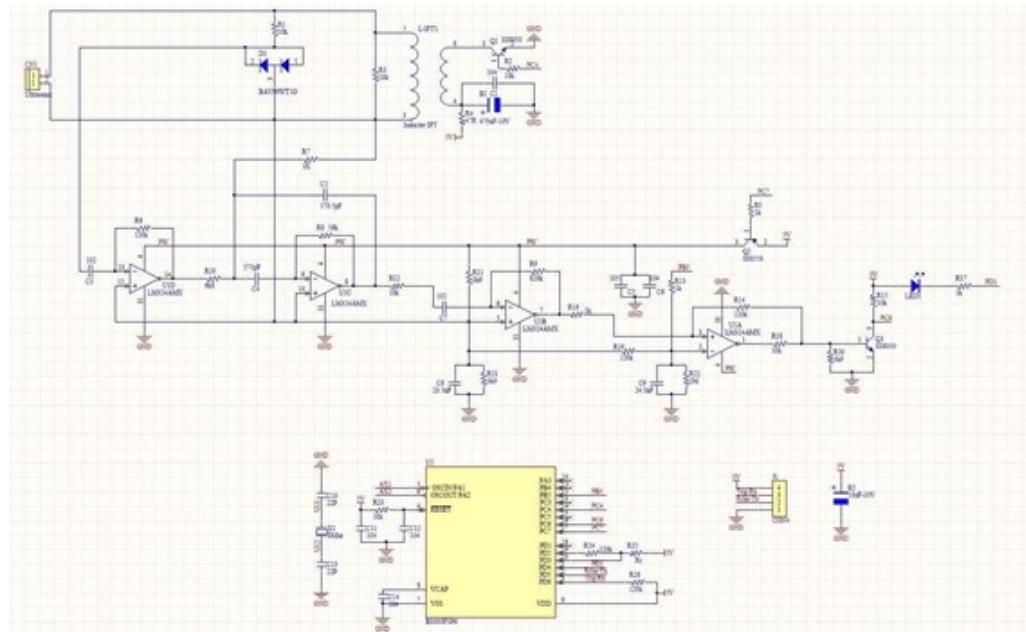


Figura 8 – Sensor de proximidade

Tabela 12 – 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

3.1.2.6 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 9 e as especificações na tabela 13). 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.

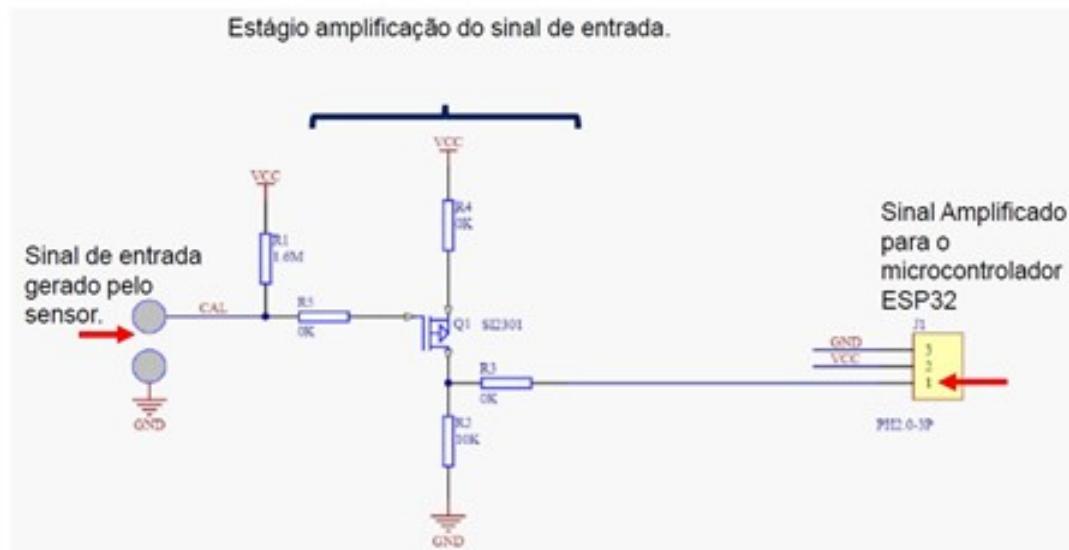


Figura 9 – Módulo eletrônico sensor de condutividade.

Tabela 13 – Especificações do sensor de condutividade

Placa de Conversão de Sinal (Transmitter) V2	
Tensão de alimentação	3.0~5.0V
Tensão de saída	0~3.4V
Conector de sonda	BNC
Conector de sinal	PH2.0-3Pin
Medida de acurácia	$\pm 5\%$ F.S.
Tamanho	42mm*32mm/1.65in*1.26in
Sonda de condutividade elétrica	
Tipo de Sonda	Grau de Laboratório
Constante de Célula	1.0
Faixa de detecção de suporte	0~20ms/cm
Faixa de detecção recomendada	1~15ms/cm
Faixa de temperatura	0~40°C
Tempo de vida	>0.5 ano
Comprimento do cabo	100cm

3.1.2.7 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(10), 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.

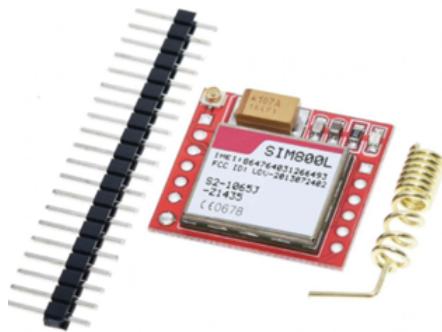


Figura 10 – GPS

3.1.2.8 Microcontrolador ESP32

O microcontrolador escolhido para realização do projeto foi a ESP32 DEVKIT V1 da empresa BOLTOM. 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 35); 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)

3.1.3 Ponte H

Para realizar a integração do motor com a ESP e para realizar o controle de velocidade, freio e reversão de sentido das pás será utilizado um driver ponte H L298N. Ele funciona através de um sistema semelhante ao presente na imagem 11, que representa uma simulação de um circuito inversor de polaridade desenvolvida pelos projetistas. Esta simulação foi realizada no software CADe SIMU 4.0 para representar o circuito da ponte H que será utilizado e validar seu funcionamento, feito com dois contatos normalmente abertos, dois contatos normalmente fechados e duas bobinas. A simulação também conta com 3 botões de FWD (gira no sentido horário), REV (gira no sentido anti-horário) e STOP (para o motor para alterar o sentido de rotação). No projeto, a função dos botões será substituída pelo sistema de controle.

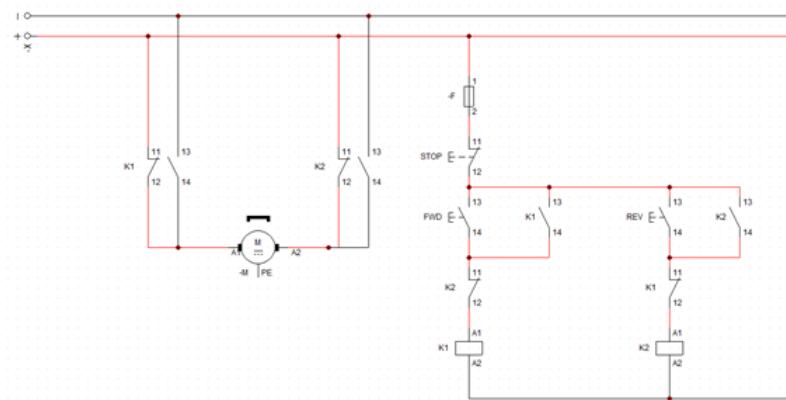


Figura 11 – Circuito reversor de polaridade

O módulo do Drive da ponte H(Figura 12) é alimentado através da tensão da bateria, o controle de rotação dos motores é realizado pelo microcontrolador, o sinal é enviado pelos pinos J13 controle do motor do lado direito e J14 controle do motor do lado esquerdo.



Figura 12 – Módulo Drive Ponte H para acionamento dos dois motores

3.1.4 Algoritmos

O código para controle dos sensores foi desenvolvido em conjunto com o núcleo de software, visto que ele será embarcado no microcontrolador ESP32, em linguagem 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.

3.1.4.1 Códigos adaptados

3.1.4.1.1 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 ($\text{pH} = 4$ e $\text{pH} = 7$), 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.

3.1.4.1.2 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.

3.1.4.2 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.

3.1.4.3 Simulação

Após a integração dos códigos supracitados, realizou-se a compilação deles através do framework ESP-IDF para verificar a possível presença de erros para serem corrigidos e realizar testes simulados. A compilação funcionou corretamente, o que pode ser visto na figura 13.

```
Scanning dependencies of target __idf_main
[ 99%] Building C object esp-idf/main/CMakeFiles/__idf_main.dir/main.c.obj
[ 99%] Linking C static library libmain.a
[100%] Built target __idf_main
[100%] Generating ld/esp32.project.ld
[100%] Built target __ldgen_output_esp32.project.ld
[100%] Linking CXX executable aqua-data.elf
[100%] Built target aqua-data.elf
[100%] Generating binary image from built executable
esptool.py v3.1-dev
Merged 2 ELF sections
Generated /home/lieverton/pi2/embarcados/build/aqua-data.bin
[100%] Built target gen_project_binary
[100%] Built target app

Project build complete. To flash, run this command:
```

Figura 13 – Compilação do código de controle dos sensores do aquadata

Após esta etapa, para realização dos testes, o programa foi carregado em uma ESP32 do mesmo modelo definido para o projeto, os sensores foram ficticiamente inicializados (as portas foram manualmente alteradas para o estado de ativo no código), e a placa micro controladora foi conectada ao terminal via WiFi para checar o envio dos dados coletados, que serão enviados através da utilização do protocolo MQTT. A mensagem de conexão estabelecida com sucesso via WiFi pode ser observada na figura 14, a de conexão bem-sucedida do protocolo na figura 15, e os dados enviados podem ser observados na figura 16. Vale ressaltar que, como os sensores foram iniciados ficticiamente, os valores enviados serão sempre 0, visto que não há dados

sendo realmente coletados. Porém, foi evidenciado o correto funcionamento do código, sendo necessário apenas acoplar os sensores ao microcontrolador para realizar a coleta dos dados.

```
I (931) wifi:connected with LINKWAP-MULTILASER, aid = 4, channel 2, BW20, bssid = c0:b1:01:e4:7e:10
I (931) wifi:security: WPA2-PSK, phy: bgn, rssi: -38
I (941) wifi:pm start, type: 1

W (941) wifi:<ba-add>idx:0 (ifx:0, c0:b1:01:e4:7e:10), tid:6, ssn:5, winSize:64
I (1021) wifi:AP's beacon interval = 102400 us, DTIM period = 1
W (2981) wifi:<ba-add>idx:1 (ifx:0, c0:b1:01:e4:7e:10), tid:0, ssn:0, winSize:64
```

Figura 14 – Conexão estabelecida via WiFi

```
I (4101) MQTT: Other event id:7
I (5801) MQTT: MQTT_EVENT_CONNECTED
AD/devices:{"new_device":"24:6f:28:b6:27:8c"}
I (6751) MQTT: MQTT_EVENT_SUBSCRIBED, msg_id=17812
I (7361) MQTT: MQTT_EVENT_PUBLISHED, msg_id=3645
I (190561) MQTT: MQTT_EVENT_DATA
{"success":true}
```

Figura 15 – Simulação do envio de dados coletados

```
initting sensors...
loading data...
AD/devices/data:[{"temperature":"0.0","conductivity":"0.0","ph":"0.0","oxygen":"0.0","turbidity":"0.0"}]
AD/devices/data:[{"temperature":"0.0","conductivity":"0.0","ph":"0.0","oxygen":"0.0","turbidity":"0.0"}]
```

Figura 16 – Simulação do envio de dados coletados

Os dados referentes às propriedades físico-químicas da água coletadas através dos sensores serão enviados ao terminal no intervalo de 30 em 30 minutos, já os dados de posicionamento geográfico serão enviados a cada segundo devido à solução de controle.

3.1.4.4 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 23.

Tabela 14 – 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

3.1.5 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.

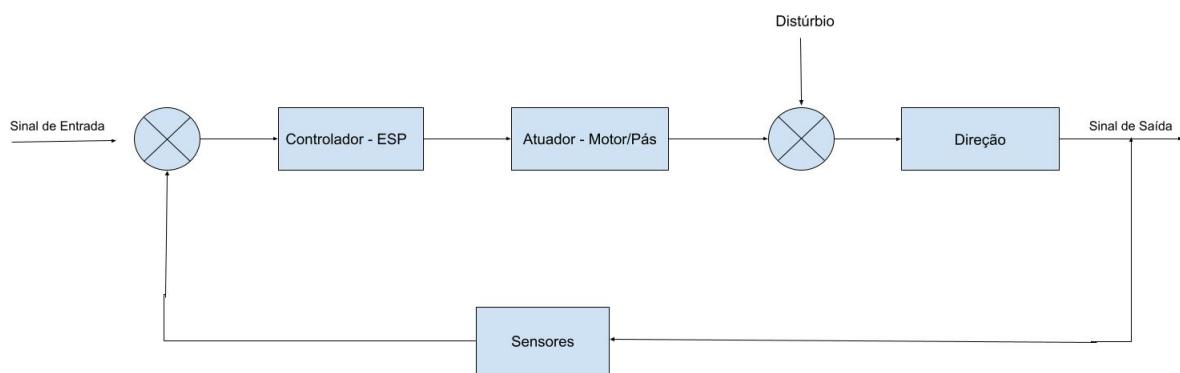


Figura 17 – Base do sistema de controle

Com todas as informações, foi montado a base do sistema de controle, mostrado na imagem 17, 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 18 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.

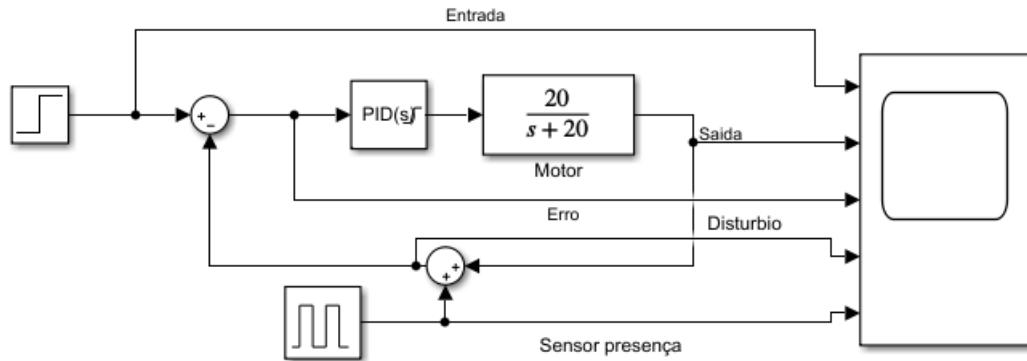


Figura 18 – Sistema de controle de desvio

O controlador PID foi calculado por simulações com tune no simulink, foi encontrada a equação 3.1 e os valores das incógnitas estão na equação 3.2.

$$P + I * \frac{1}{s} + D * \frac{N}{1 + N * \frac{1}{s}} \quad (3.1)$$

$$P = 3,22; I = 131,81; D = 73,74 * 10^{-5}; N = 8122,29 \quad (3.2)$$

A figura 19 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.

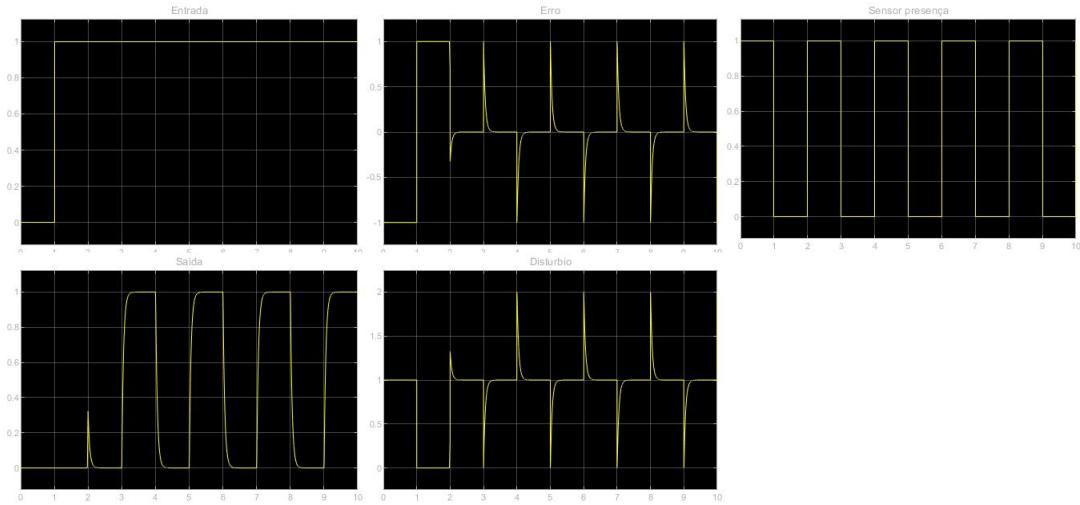


Figura 19 – Gráfico do sistema de controle de desvio

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 20 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.

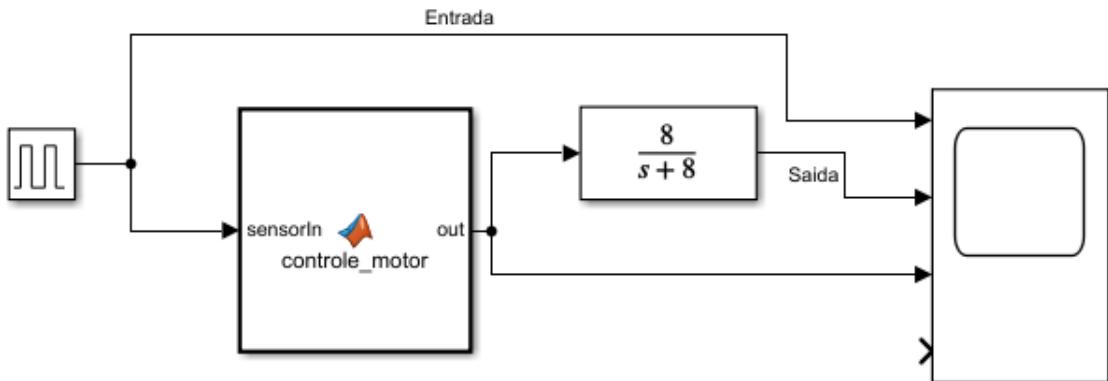


Figura 20 – Sistema de controle de movimentação

A simulação desse sistema pode ser vista na figura 21, 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.

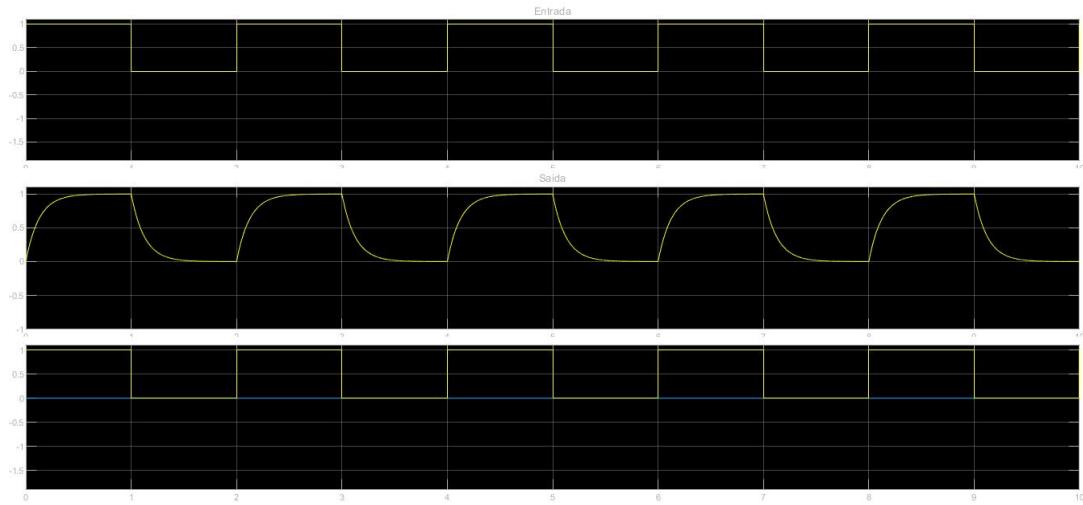


Figura 21 – Gráfico do sistema de controle de movimentação

Vale ressaltar que, para realizar a manobra de desvio, é necessário alterar o sentido de rotação de uma ou de ambas as pás. Considerando que o sistema de frenagem leva cerca de 1.6 segundos para atingir a parada total da pá, e que durante esse período ele pode se deslocar até 0.45 metros, essas variáveis foram acrescentadas ao cálculo realizado para o sistema de controle de desvio, e os sensores de detecção foram configurados de modo a detectar objetos a até 0.75 metros de distância, considerando o tempo máximo de parada e acrescentando uma pequena margem de erros. Já para a solução de movimentação, como o trajeto é uma variável já conhecida, basta que o sinal indicando a mudança de trajetória seja enviado considerando essa margem de resposta à frenagem, não sendo necessário então acrescentar essas variáveis ao sistema de controle de movimentação.

Ademais, ambos os sistemas de controle apresentam respostas apenas para pequenos eventos, como objetos se aproximando em baixa velocidade ou paradas na trajetória da boia, pequenas alterações no percurso programado devido à fatores externos como ventania, ondas e afins. Para eventos maiores, como o caso de tempestades, tornados, ou eventos onde haja colisão ou desvio de trajeto ocasionados intencionalmente por terceiros, a boia não é capaz de emitir uma resposta através de seu sistema de controle, sendo enviado um alerta ao terminal requerendo ação manual.

```

Kp = 5;
Ki = 700;
Kd = 0.01;
F = 1
T = 1.6
C = Kp + Ki + F/ T + s + Kd*s;
sys_cl = feedback(C*P_motor,1);
dist_cl = feedback(P_motor,C);
t = 0:0.001:0.1;
[yr,t] = step(sys_cl, t);
[yd,t] = step(dist_cl, t);
figure(5);
plot(t,yr+yd,'k')
axis([0 0.1 0 1.5])
ylabel('Position, \theta (radians)')
title('Response with different values of Kp, Ki, and Kd')
displayReq(0.040,0.16)

```

Figura 22 – Código feito para o controle

3.1.6 Sistema embarcado

Na figura 23, 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.

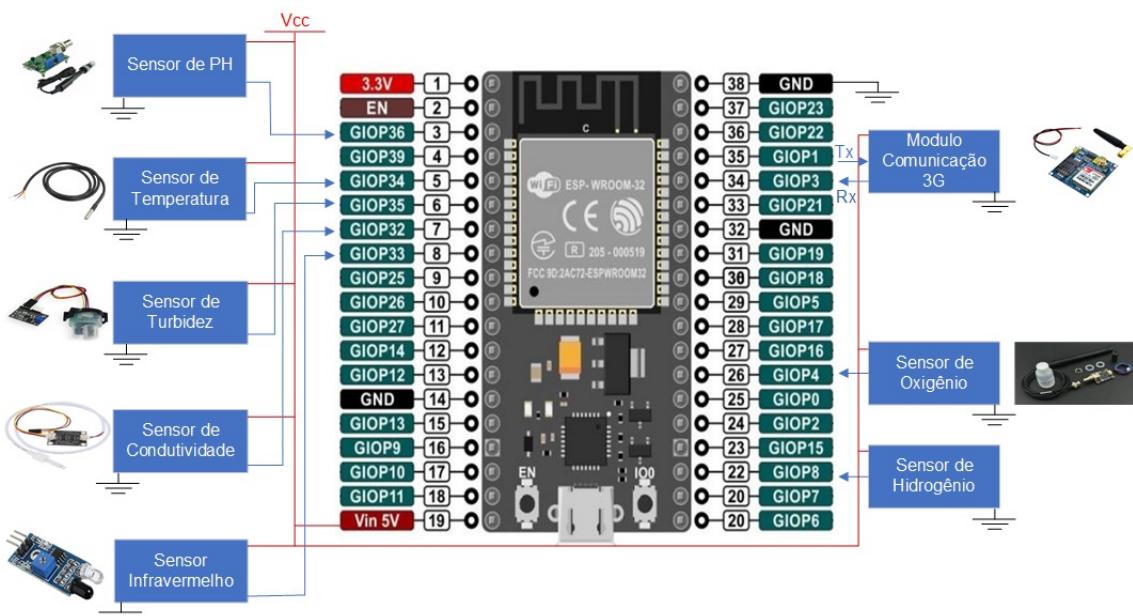


Figura 23 – Base do sistema de controle

3.1.7 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 1, 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

3.1.8 Fluxograma de funcionamento do sistema

O fluxograma 24 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.

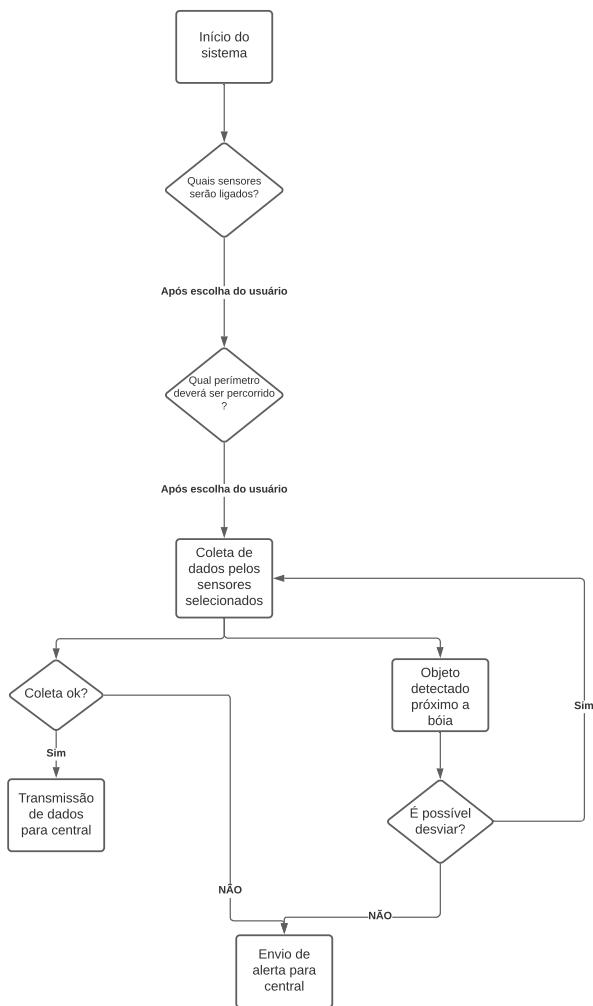


Figura 24 – Fluxograma do funcionamento do sistema

3.1.9 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 25 e 26. 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.

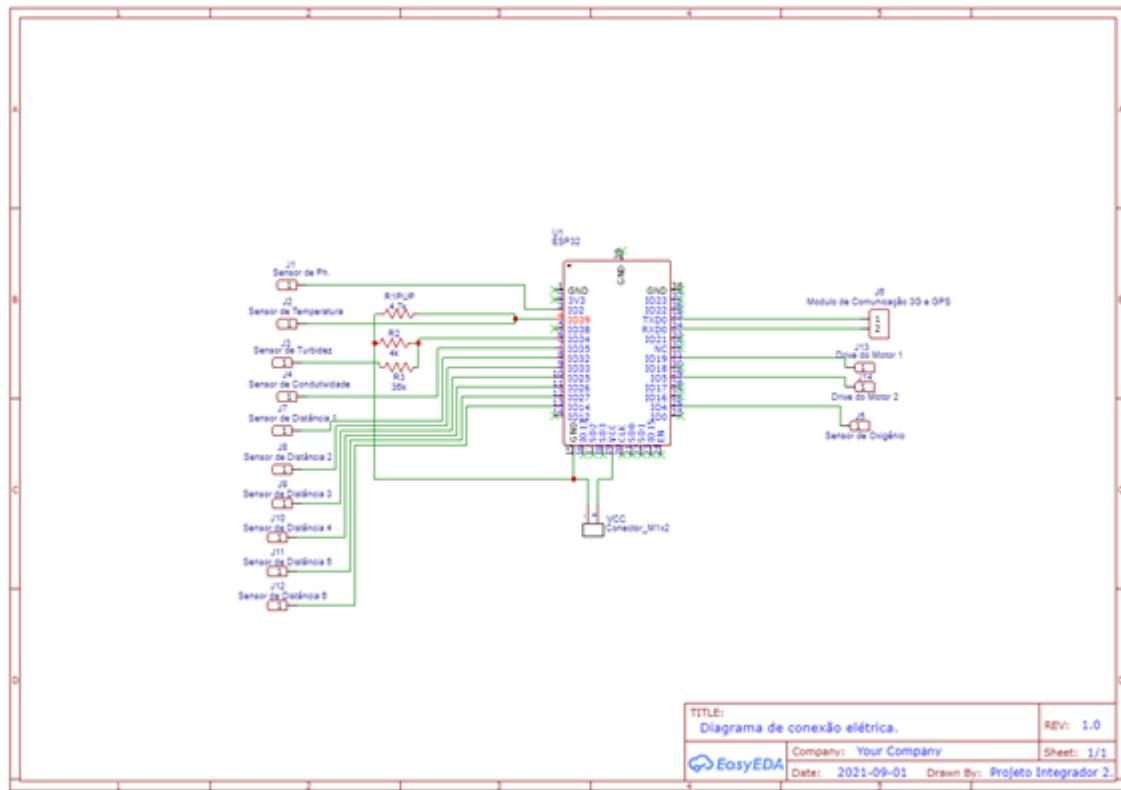
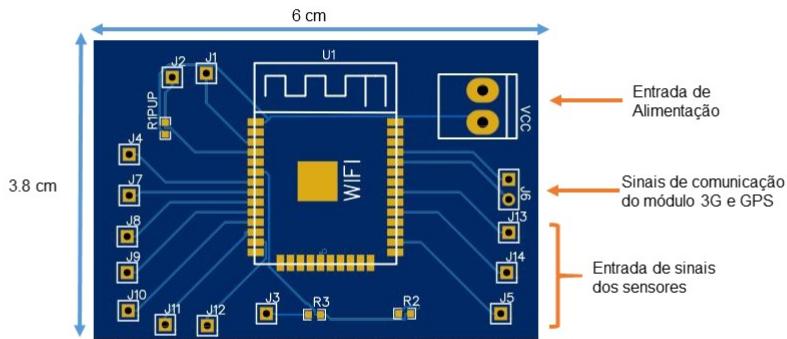


Figura 25 – Diagrama de Conexão elétrica entre sensores, modulo de comunicação 3G e GPS, Drives dos motores com o microcontrolador.



3.1.9.1 Design Rule Circuit (DRC)

É uma função do software EasyEAD para teste de verificação do projeto das placas de circuito impresso, afim de assegurar padrões de espaçamento entre as trilhas, componentes, diâmetro correto dos furos e especificações das camadas de metalização. O teste DRC não apresentou erros, figura 27.

Regra	Largura da trilha	Afastamento	Via Diâmetro	Diâmetro do furo da Via	Comprimento da faixa
Default	0.254	0.152	0.61	0.305	

Unidade mm

Add Deletar

Figura 27 – Regras de projeto (DRC).

3.2 Software

3.2.1 Especificações de Software

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.

3.2.1.1 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.

3.2.1.2 Funcionalidades

1. Acesso

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

2. 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.

3. 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.

4. Gerenciar Flutuadores

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

3.2.1.3 Casos de Uso

3.2.1.3.1 Diagrama de Casos de Uso

O Diagrama de casos de uso tem como função resumir as interações do usuário e os detalhes dos atores no sistema, para isso o diagrama possui algumas características como retratar de forma adequada o escopo do sistema, mostrar a interação do usuário com a aplicação e objetivos que a aplicação ajuda o usuário a alcançar.

O Diagrama de casos de uso pode ser visto na figura 28.

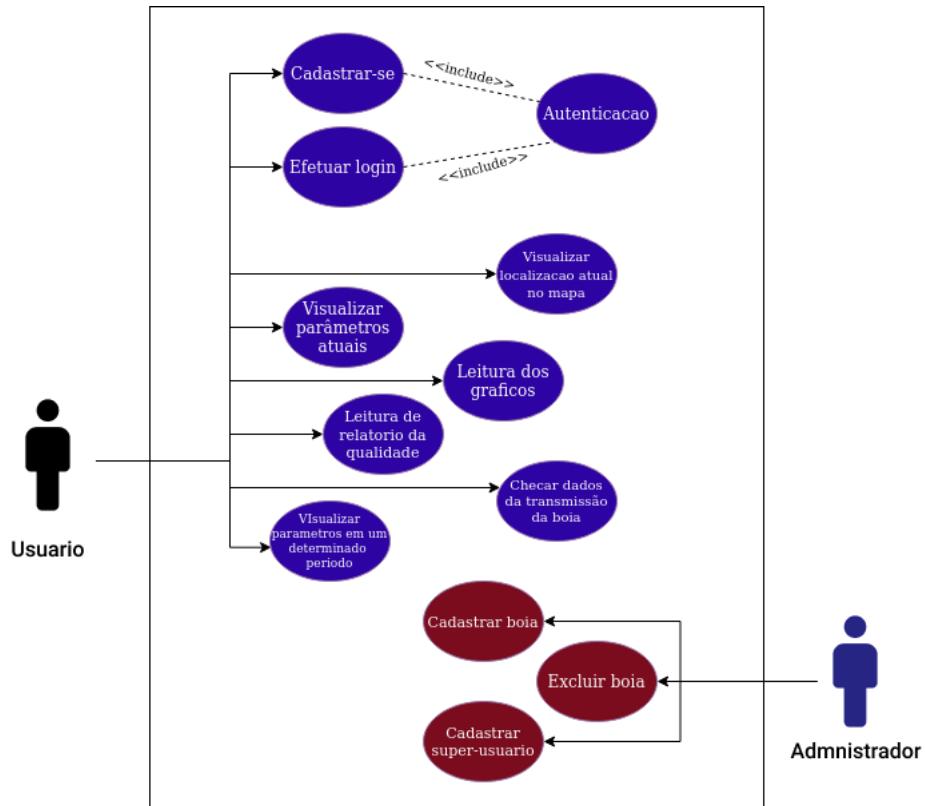


Figura 28 – Diagrama de Casos de Uso do usuário na sistema

3.2.1.3.2 Especificação de Casos de Uso

• Cadastrar-se

Descrição

Permite que um novo usuário seja cadastrado na plataforma.

Atores

Usuário

Pré-Condições

1. Deve ter acesso a plataforma em ambiente online.
2. Deve possuir endereço de e-mail válido.

Fluxo Principal

1. O usuário acessa a plataforma.
2. O usuário insere seu e-mail e define sua senha.
3. O usuário concorda com os termos de uso e privacidade.
4. O usuário confirma seu cadastro.
5. O caso de uso é encerrado.

Fluxo de Exceção

1. O e-mail utilizado pelo usuário é enviado ou já está em uso.
 - O usuário deve informar um outro e-mail válido.

Pós-Condições

1. A plataforma recebe as informações do usuário e as armazena no banco de dados.
2. A plataforma não deve permitir um novo cadastro para o e-mail utilizado.

- **Efetuar Login**

Descrição

Acesso a ambiente interno da plataforma.

Atores

Usuário

Pré-Condições

1. Deve ter acesso a plataforma em ambiente online.
2. Deve possuir cadastro na plataforma.

Fluxo Principal

1. O usuário acessa a plataforma.
2. O usuário insere seu e-mail e sua senha.
3. O usuário confirma sua entrada.
4. O caso de uso é encerrado.

Fluxo de Exceção

1. O e-mail e a senha utilizados pelo usuário são inválidos.
 - O usuário deve revisar e fornecer informações corretas para acessar sua conta.

- **Apresentar Localização da Boia**

Descrição

Mapa onde a localização da boia é apresentada.

Atores

Usuário

Pré-Condições

1. Deve ter acesso a plataforma em ambiente online.
2. Deve estar logado na plataforma.

Fluxo Principal

1. O usuário escolhe uma boia monitorada e acessa sua página.
2. Um mapa, no lado direito da página, deve apresentar a localização da boia, através de suas coordenadas geográficas.
3. O caso de uso é encerrado.

Fluxo de Exceção

1. A localização geográfica da boia se encontra indisponível.
 - A plataforma deve ser capaz de identificar a indisponibilidade e apresentar a última localização disponível, ou apresentar mensagem de localização indisponível, quando não houver nenhum registro recente.

- **Apresentar Parâmetros Atuais**

Descrição

Painéis onde os parâmetros coletados pela boia são apresentados.

Atores

Usuário

Pré-Condições

1. Deve ter acesso a plataforma em ambiente online.
2. Deve estar logado na plataforma.

Fluxo Principal

1. O usuário escolhe uma boia monitorada e acessa sua página.
2. Painéis devem apresentar as últimas informações aferidas sobre condutividade, temperatura, nitrogênio e oxigenação.
3. O caso de uso é encerrado.

Fluxo de Exceção

1. As informações aferidas se encontram indisponíveis.
 - A plataforma deve ser capaz de identificar e apresentar mensagem acerca da indisponibilidade das informações.

- **Apresentar Gráficos**

Descrição

Gráficos onde são apresentadas, de forma categorizada, alguns dos parâmetros coletados pela boia.

Atores

Usuário

Pré-Condições

1. Deve ter acesso a plataforma em ambiente online.
2. Deve estar logado na plataforma.

Fluxo Principal

1. O usuário escolhe uma boia monitorada e acessa sua página.
2. Gráficos devem apresentar informações aferidas de maneira categorizada ao longo do tempo.
3. O caso de uso é encerrado.

Fluxo de Exceção

1. As informações aferidas se encontram indisponíveis.
 - A plataforma deve ser capaz de identificar e apresentar mensagem acerca da indisponibilidade das informações.

- **Baixar Relatório de Qualidade**

Descrição

Compilado de informações onde são apresentados resultados referentes à qualidade das amostras monitoradas.

Atores

Usuário

Pré-Condições

1. Deve ter acesso a plataforma em ambiente online.
2. Deve estar logado na plataforma.

Fluxo Principal

1. O usuário acessa a página de relatórios e escolhe um dos relatórios gerados.
2. A plataforma apresenta a opção de baixar o relatório de qualidade.
3. O caso de uso é encerrado.

Fluxo de Exceção

1. Inexistência de relatórios de qualidade.
 - A plataforma deve apresentar mensagem acerca da indisponibilidade de relatórios de qualidade no momento solicitado.

Pós-Condições

1. O relatório de qualidade é baixado em formato PDF.

- **Monitoramento da Transmissão**

Descrição

Informações referentes à integridade e estabilidade da transmissão de dados da boia.

Atores

Usuário

Pré-Condições

1. Deve ter acesso a plataforma em ambiente online.
2. Deve estar logado na plataforma.

Fluxo Principal

1. O usuário escolhe uma boia monitorada e acessa sua página.
2. Informações sobre intensidade do sinal de transmissão, níveis de energia, estado da transmissão (transmitindo ou não transmitindo) deve ser apresentado.
3. O caso de uso é encerrado.

Fluxo de Exceção

1. A boia não está transmitindo as informações.
 - A plataforma deve ser capaz de identificar e simbolizar níveis críticos na qualidade da transmissão.

- **Filtro de Período da Transmissão**

Descrição

Seleção de datas que possibilita obter um conjunto de informações coletadas em um determinado período.

Atores

Usuário

Pré-Condições

1. Deve ter acesso a plataforma em ambiente online.
2. Deve estar logado na plataforma.

Fluxo Principal

1. O usuário escolhe uma boia monitorada e acessa sua página.
2. O usuário seleciona o período que deseja obter as informações, através da data de início ou fim, ou seleciona períodos pré-definidos como últimos 7 dias, último mês, etc.
3. Informações de toda a página são apresentadas para o período desejado.
4. O caso de uso é encerrado.

Fluxo de Exceção

1. Indisponibilidade de informações no período desejado.
 - A plataforma deve apresentar mensagem de indisponibilidade de informações para o período escolhido pelo usuário.

- **Cadastrar Boia**

Descrição

Novo dispositivo cadastrado para ser monitorado.

Atores

Administrador

Pré-Condições

1. Deve ter acesso a plataforma em ambiente online.
2. Deve estar logado na plataforma.
3. Deve ser usuário administrador.
4. A boia deve ser capaz de transmitir informações para a plataforma.

Fluxo Principal

1. A boia é ligada e posicionada no ambiente a ser monitorado.
2. O administrador identifica e cobra a boia na plataforma através do endereço da rede.
3. O caso de uso é encerrado.

Pós-Condições

1. As informações da boia devem estar sendo transmitidas para a plataforma.

- **Excluir Boia**

Descrição

Parar de monitorar e apagar informações de um dispositivo previamente monitorado.

Atores

Administrador

Pré-Condições

1. Deve ter acesso a plataforma em ambiente online.
2. Deve estar logado na plataforma.
3. Deve ser usuário administrador.

Fluxo Principal

1. O administrador escolhe uma boia monitorada e acessa sua página.

2. O administrador apaga as informações da boia da plataforma.
3. O caso de uso é encerrado.

Pós-Condições

1. A plataforma deve parar de receber as informações da boia excluída.

- **Cadastrar Administrador**

Descrição

Inclusão de novos administradores na plataforma.

Atores

Administrador

Pré-Condições

1. Deve ter acesso a plataforma em ambiente online.
2. Deve estar logado na plataforma.
3. Deve ser usuário administrador.

Fluxo Principal

1. O administrador insere e-mail do novo administrador a ser cadastrado.
2. A plataforma gera uma senha aleatória para o cadastro.
3. A plataforma envia os dados de acesso ao e-mail do administrador cadastrado.
4. O caso de uso é encerrado.

Pós-Condições

1. O administrador cadastrado passa a ter acesso a plataforma.

3.2.1.4 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).

3.2.1.4.1 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 29. Nesse diagrama é possível descrever bem o que faz parte do sistema AquaData, e o que não faz parte, no caso, o módulo MQTT Mosquitto. É possível identificar também a divisão entre o serviço WEB e o sistema embarcado.

Diagrama de Contexto -
Sistema AquaData

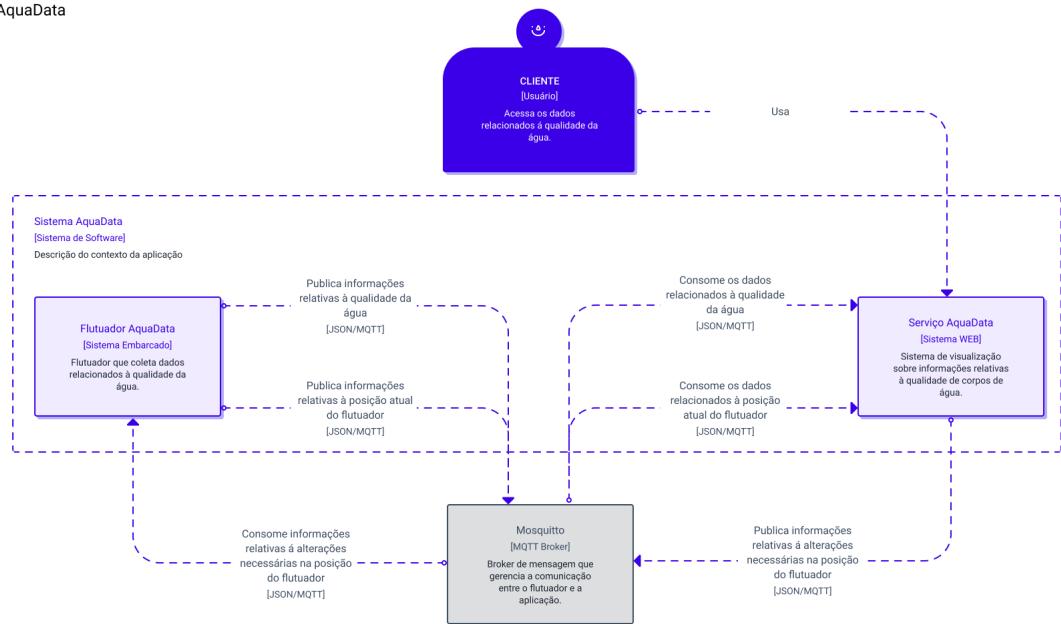


Figura 29 – Diagrama de Contexto.

3.2.1.4.2 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 30. Nesse diagrama é possível identificar a utilização da arquitetura de microsserviços, que foi utilizada no lado do servidor WEB. Essa arquitetura foi escolhida para um maior desacoplamento entre as funções específicas do sistema, de gerenciamento de dados relacionados aos sensores e ao posicionamento do flutuador.

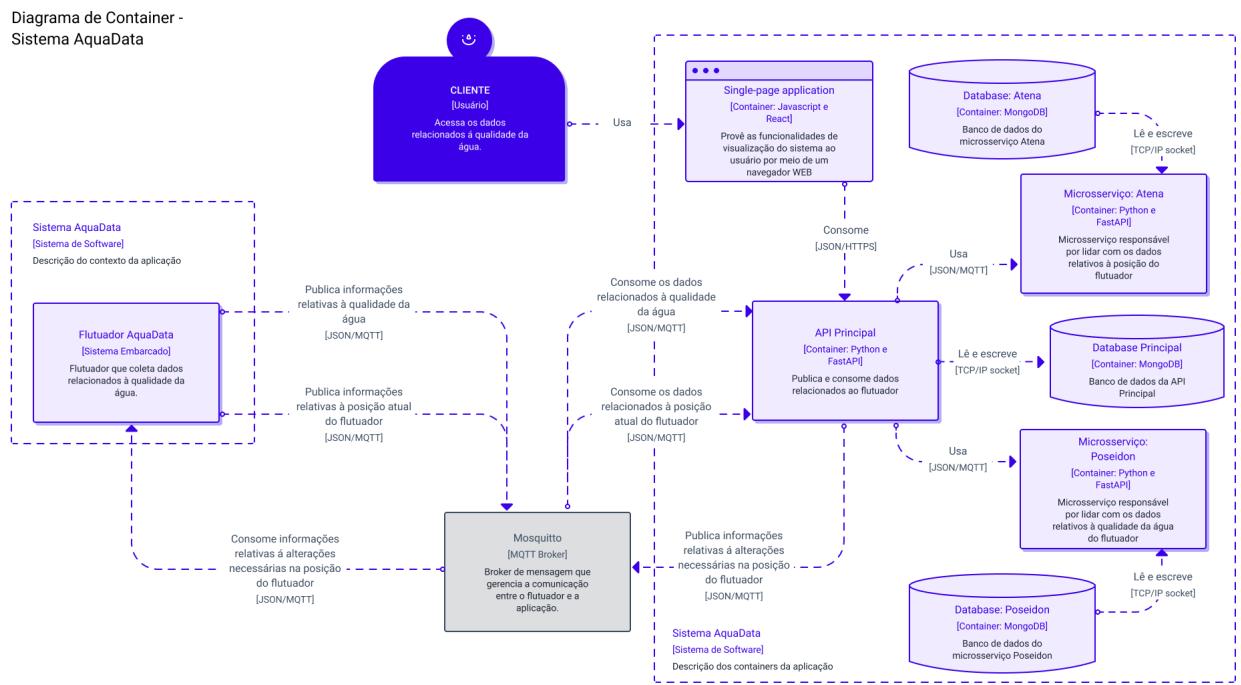


Figura 30 – Diagrama de Container.

3.2.1.4.3 Diagrama de Componentes - API Principal

O Diagrama de Componentes, que descreve os componentes da API Principal, pode ser visto na figura 31. Além de um banco de dados próprio, ele possui APIs independentes de comunicação com os outros microsserviços, dessa forma, a comunicação referente a cada tipo de dado, seja de posicionamento ou sensores, é separada com sua própria responsabilidade bem definida.

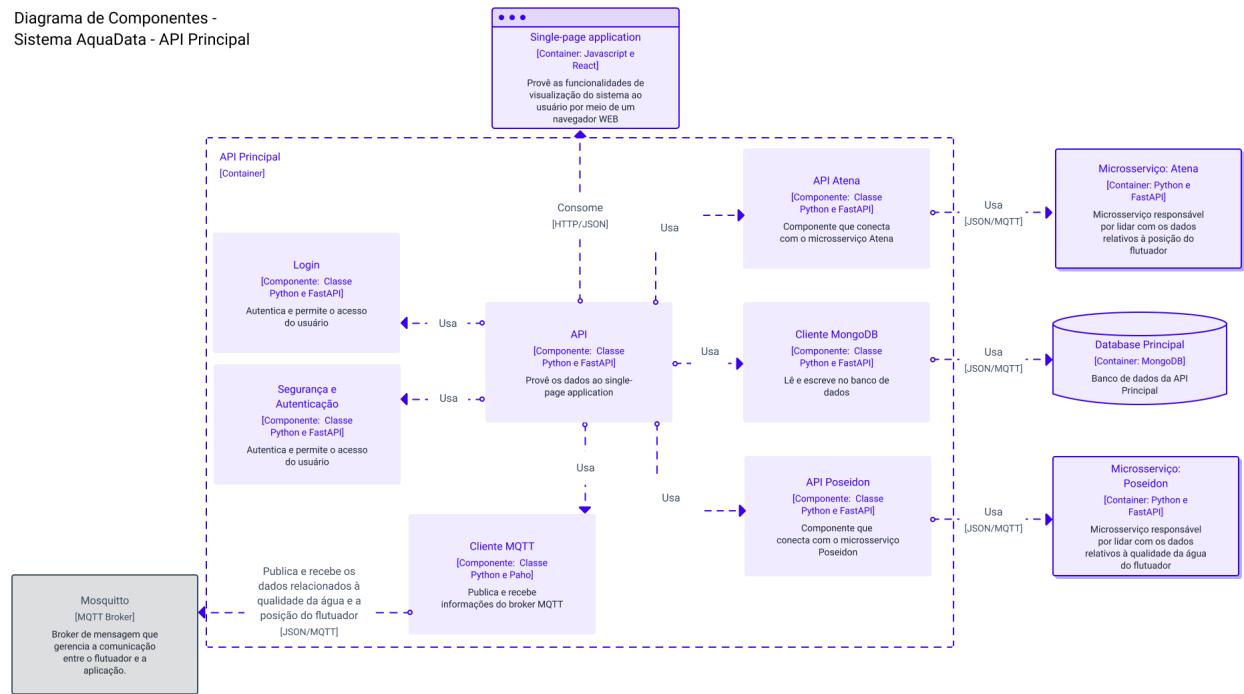


Figura 31 – Diagrama de Componentes, API Principal.

3.2.1.4.4 Diagrama de Componentes - *Single Page Application*

O Diagrama de Componentes, que descreve os componentes da Single Page Application, pode ser visto na figura 32. A reutilização de componentes é a característica principal da SPA, por utilizar como base o framework React, é possível perceber como os componentes são combinados para a apresentação da informação.

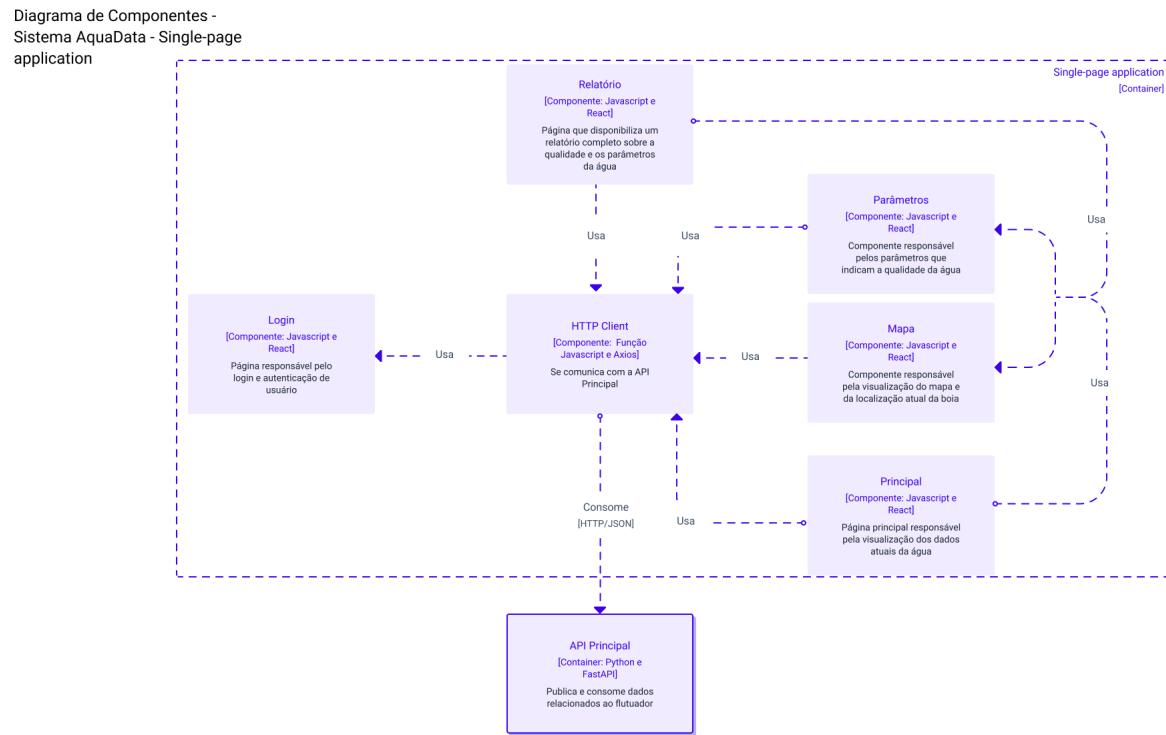


Figura 32 – Diagrama de Componentes, Single Page Application.

3.2.1.4.5 Diagrama de Componentes - Microsserviço Atena

O Diagrama de Componentes, que descreve os componentes do Microsserviço Atena, pode ser visto na figura 33. O microsserviço Atena possui uma arquitetura simples, pois o contexto de atuação do microsserviço é bem definido: a manipulação dos dados referentes ao posicionamento do flutuador.

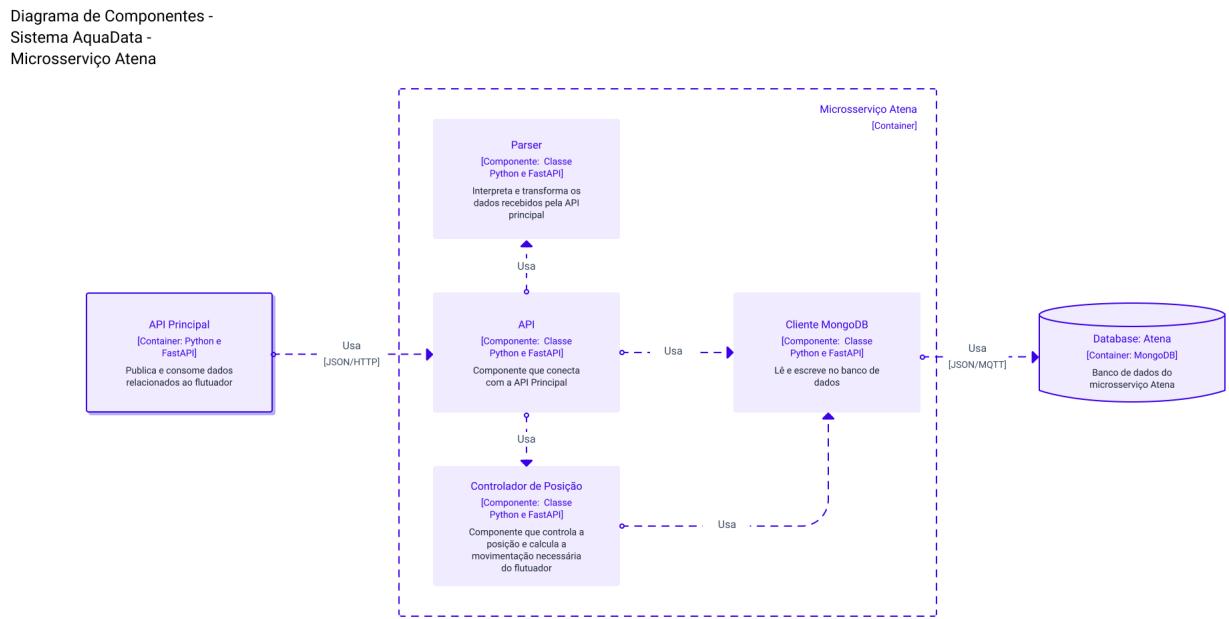


Figura 33 – Diagrama de Componentes, Microsserviço Atena.

3.2.1.4.6 Diagrama de Componentes - Microsserviço Poseidon

O Diagrama de Componentes, que descreve os componentes do Microsserviço Poseidon, pode ser visto na figura 35. O microsserviço Poseidon também possui uma arquitetura simples, pois o contexto de atuação do microsserviço é bem definido: a manipulação dos dados referentes aos sinais enviados pelos sensores.

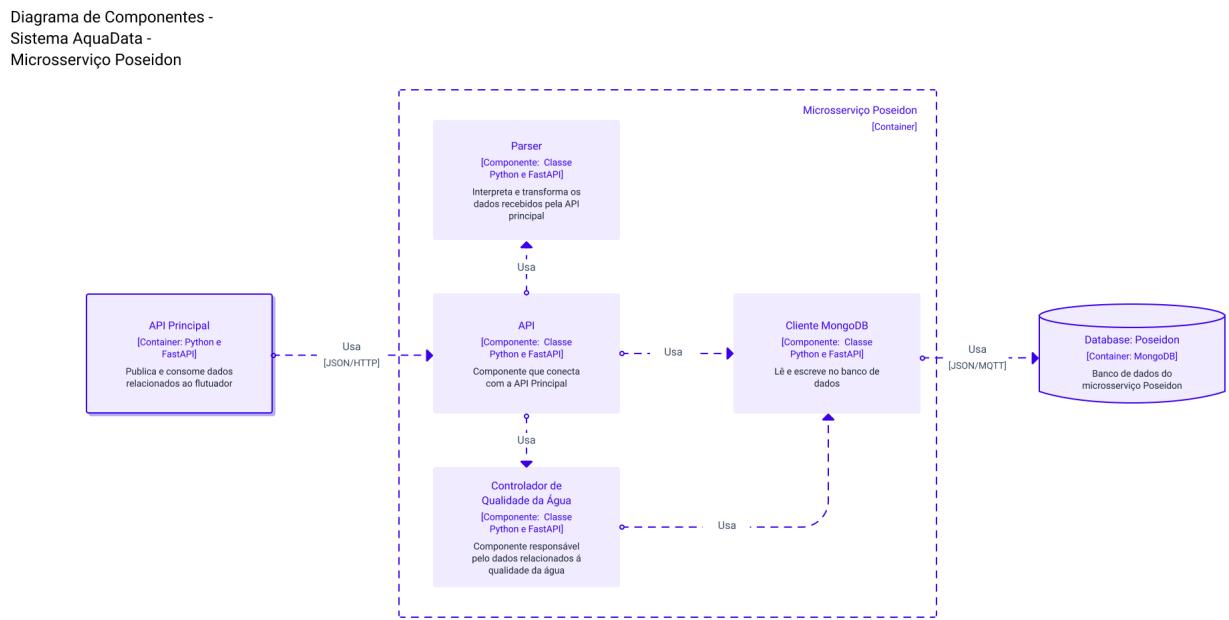


Figura 34 – Diagrama de Componentes, Microsserviço Poseidon.

3.2.1.5 Serviços

3.2.1.5.1 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, framework esta desenvolvida inicialmente pelo Facebook para desenvolvimento de aplicações web, além disso também foi usado para facilitar o desenvolvimento responsivo e a padronização do design o *Material-UI* que é uma biblioteca de componentes baseada no *Material Design* da Google.



Figura 35 – Mockup do sistema web.

3.2.1.5.2 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.

3.2.1.5.3 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.

3.2.1.5.4 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.

3.2.1.5.5 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.

3.2.1.5.6 FakeFloater

O *FakeFloater* é o módulo desenvolvido para simular o comportamento de um flutuador. O módulo funciona de forma a imitar o funcionamento esperado de um flutuador, gerando dados, publicando dados que serão consumidos na API Principal e consumindo os comandos enviados pelo servidor. O principal objetivo desse módulo é de simplificar o desenvolvimento do sistema, tendo em vista que é possível prever o funcionamento perfeito do sistema e também simular possíveis falhas.

Para a construção do *FakeFloater* é utilizado o *framework FastAPI* que utiliza a linguagem *Python* para o desenvolvimento de APIS, e a biblioteca *Paho* a publicação e consumo de mensagens, utilizando o protocolo MQTT.

3.2.1.5.7 Dispositivos Embarcados

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

3.2.1.6 Arquitetura da Informação

3.2.1.6.1 Protótipo

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

Na figura 36 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, na figura 39 é possível ver a tela utilizada para visualização dos dados históricos da boia e na figura 38 se encontra a tela utilizada para o login na plataforma.

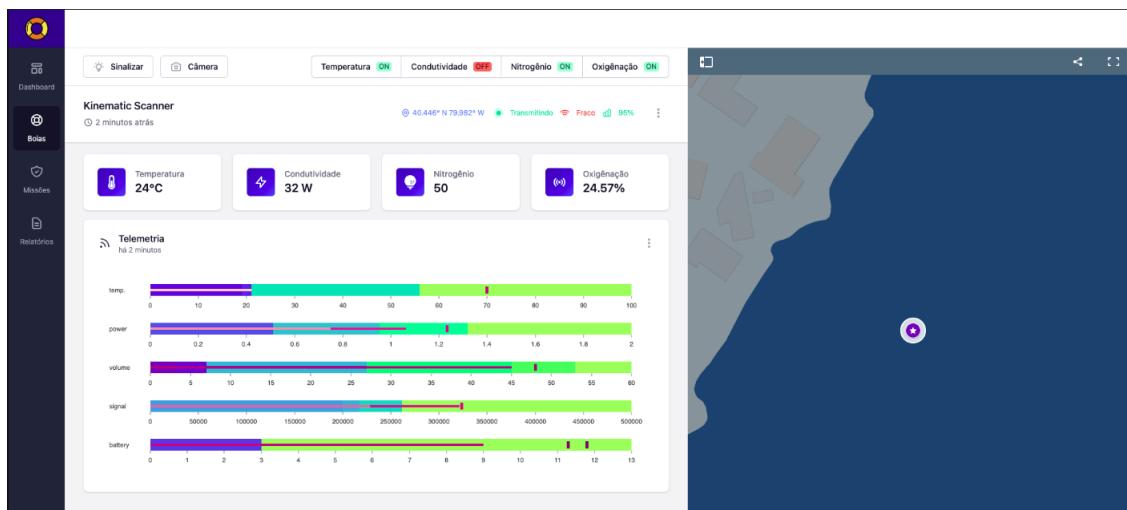


Figura 36 – *Dashboard* de controle e visualização individual, V1.

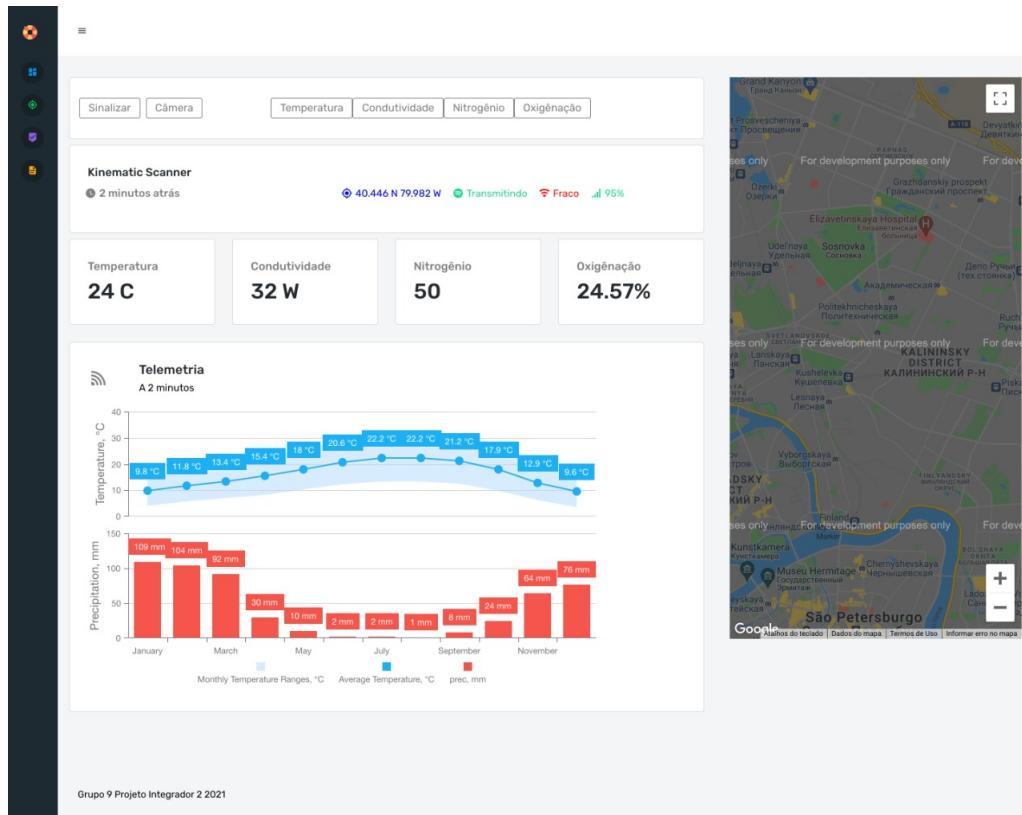


Figura 37 – Dashboard de controle e visualização individual, V2.

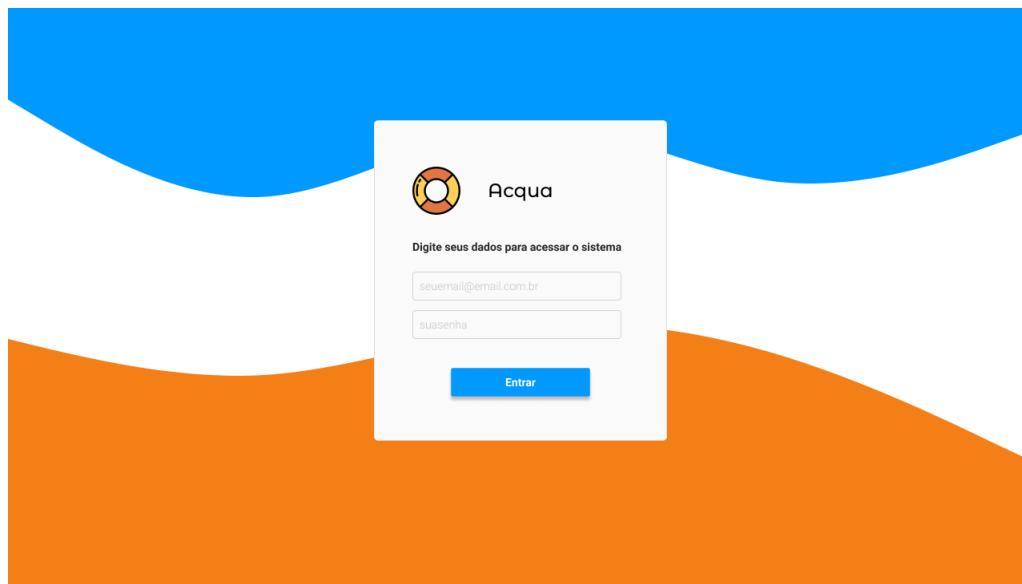


Figura 38 – Tela de Login.

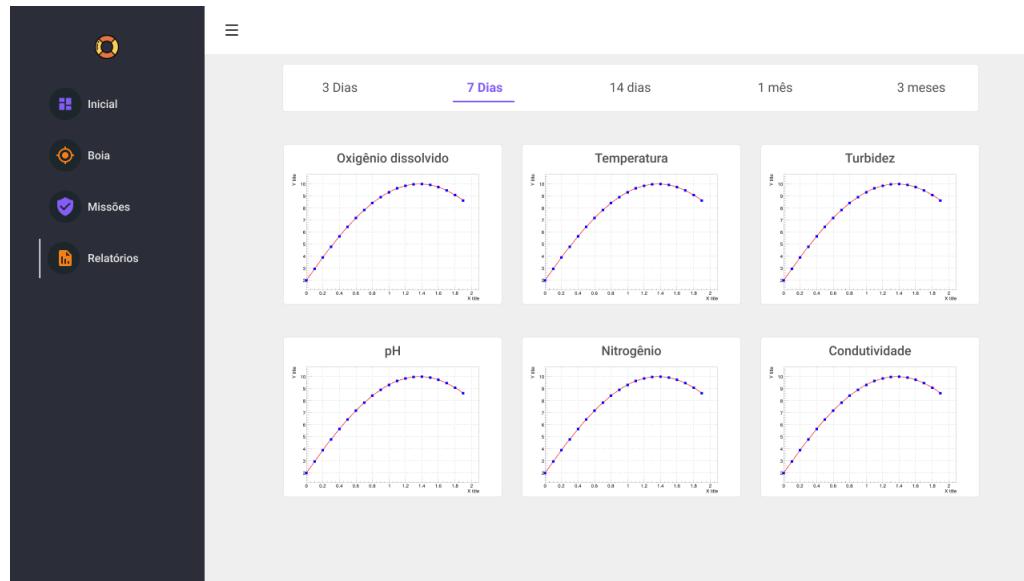


Figura 39 – Histórico de dados.

3.2.1.6.2 Paleta de Cores

As cores foram definidas a partir do tema do projeto. De modo que representasse os principais envolvidos neste projeto, a boia e a água.

Foram definidas duas cores principais, o azul por ser uma cor que representa a água, além de transmitir ideias como tranquilidade e movimento, o laranja além de ser a cor padrão utilizada pelas boias aquáticas, também é a cor oposta ao azul dando um contraste ao sistema, o que facilita o uso por pessoas com baixa visão. Além disso foram utilizadas tonalidades de preto e branco para completar o desenvolvimento do sistema.

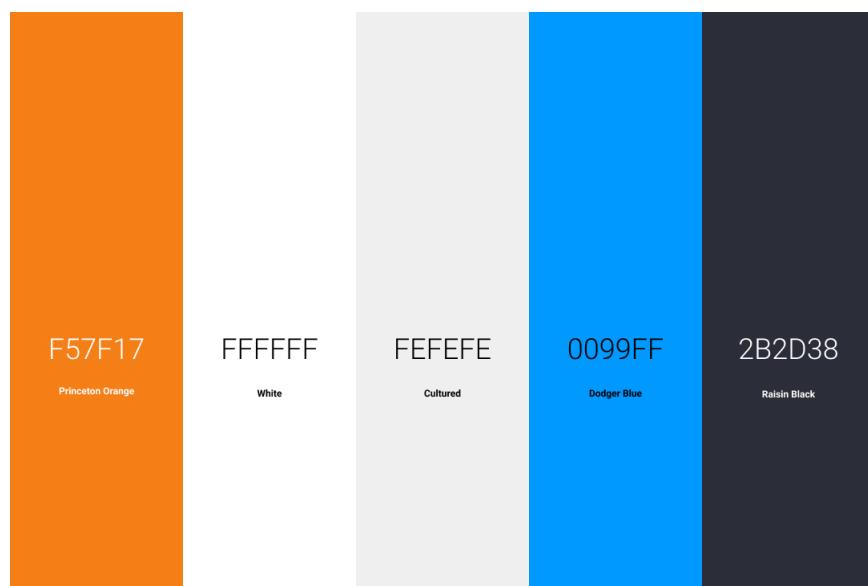


Figura 40 – Paleta de Cores

3.2.1.7 Inovação no Software

O AquaData é um projeto que busca disponibilizar dados de forma simples e dinâmica ao usuário a respeito da qualidade da água.

O projeto conta com uma aplicação web que oferece ao usuário uma interface amigável que possibilita a visualização das informações através de um *Dashboard* atualizado constantemente pelo sistema de boias. Além disso é oferecido ao usuário a opção de visualizar relatórios constituídos por gráficos gerados a partir do histórico dos dados.

3.2.1.7.1 *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.

3.2.1.7.2 Arquitetura de Microsserviços

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.

3.2.1.8 Comunicação entre os Servidores e Serviços

3.2.1.8.1 Comunicação entre o Embarcado e o Servidor

Foi escolhido o protocolo MQTT para a comunicação entre o Sistema Embarcado e o servidor, tendo em vista os benefícios que o protocolo possui, como a baixa utilização de banda, segurança e ampla documentação. rede.

Os dados são enviados no formato JSON, através de três tópicos:

- cadastro: este tópico é usado para estabelecer a comunicação inicial entre o dispositivo embarcado e o servidor, é através dele que é possível cadastrar uma nova boia ao sistema, e para isto, o embarcado envia o próprio endereço MAC ao servidor.
- controle: cada dispositivo possui o próprio tópico de controle, que é identificado pelo endereço MAC. Neste tópico o servidor pode indicar se o cadastro foi bem sucedido para liberar o embarcado pra efetuar a transmissão dos dados para alimentar o sistema. Além disso, é nesse tópico que o servidor vai mandar as informações para o controle dos atuadores do embarcado.
- dados: este tópico é usado para a transmissão dos dados do embarcado para o servidor. Os dados são formados pelas leituras dos sensores e o estado do sistema.

3.2.1.8.2 Comunicação entre a Single Page Application e Servidor

A comunicação entre a SPA e a API Principal se dá pela utilização do protocolo HTTP. O protocolo HTTP é o mais utilizado e testado em APIs, possuindo um enorme grau de confiabilidade, dessa forma, foi escolhido por ser a melhor alternativa.

3.2.1.8.3 Comunicação entre os Microsserviços do Servidor

Os microsserviços do servidor se comunicam utilizando APIs HTTP, seguindo o padrão da API principal com a Single Page Application.

3.2.1.9 Outros Diagramas

3.2.1.9.1 Diagrama de Atividades

O Diagrama de atividades mostra o fluxo de atividades do 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.

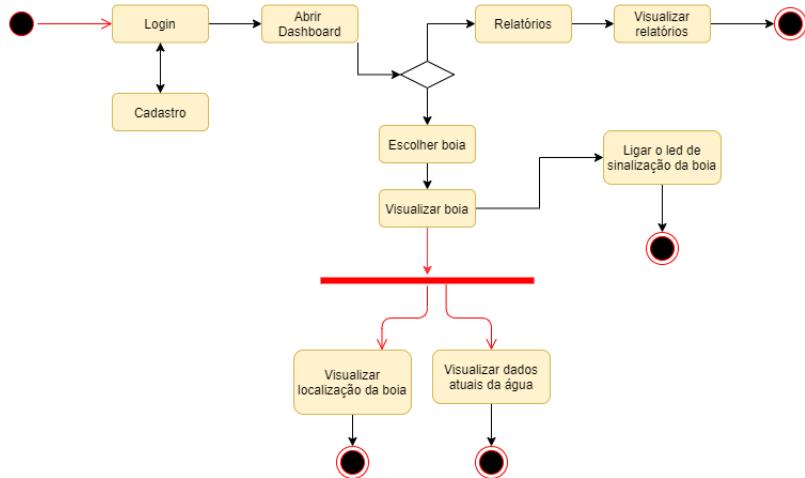


Figura 41 – Diagrama de Atividades do usuário na aplicação web.

3.3 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.

3.3.1 Demanda energética dos sistemas

A demanda energética do sistema pode ser obtida por meio da aplicação da geração do memorial de cálculo que nada mais é que o conjunto de demandas individuais do sistema. Assim, podemos obter os requisitos do dimensionamento off-grid a ser confeccionado e a consequente autonomia do sistema projetado.

Para o projeto, obteve-se o seguinte memorial de cálculos dos componentes eletrônicos:

Componente	Quantidade	Consumo de corrente (A)	Consumo de potência (W)	Consumo Total de Potência (W)	Consumo total de Corrente (A)
Oxigênio dissolvido	1	500 µA	0,0025	0,0025	0,00 A
pH	1	500 µA	0,0025	0,0025	0,00 A
Temperatura	1	1,5 mA	0,0075	0,0075	0,00 A
Turbidez	1	40 mA	0,2	0,2	0,04 A
Distância	4	8 mA (por sensor)	0,04 (por sensor)	0,16	0,03 A
Comunicação	1	1,5 mA	0,0075	0,0075	0,00 A
Driver	2	Até 15 A	Até 40	80	30,00 A
Esp32	1	30-68 mA	0,15-0,34	0,34	0,07 A
Motor	2	98 mA	20	40	0,10 A
Controlador PWM	1	30 mA	0,36	0,36	0,03 A
Total consumida				121,08 W	30,27 A

Figura 42 – Memorial de Cálculo.

Fonte: autores.

3.3.2 Sistema de geração

3.3.2.1 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.

3.3.2.2 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, que resultariam em um aumento no custo do projeto que, infelizmente, poderiam tornar esse sistema inviável para aplicação em baixa escala.

Em um comparativo, teríamos os seguintes cenários para a implementação das tecnologias de sistemas de armazenamento de energia, como demonstrado na figura 53, onde é evi-

denciado as vantagens competitivas de se implementar a tecnologia chumbo-ácido, pelo menos em um momento inicial, aonde não se há uma adesão do mercado aos serviços que poderíamos oferecer, minimizando os riscos atribuídos a este projeto piloto.

	Custos acumulados				
	aquisição	5 anos	20 anos	60 anos	
Lítio-íon	Bateria DYNESS - A58240-4O	R\$ 77.873,86	R\$ 77.873,86	R\$ 77.873,86	R\$ 77.873,86
Chumbo-ácido	Bateria Moura - 12MS234	R\$ 6.578,22	R\$ 13.156,44	R\$ 32.891,10	R\$ 105.251,52

Figura 43 – Custos acumulados ao longo do tempo de uso de cada tecnologia.

Fonte: autores.

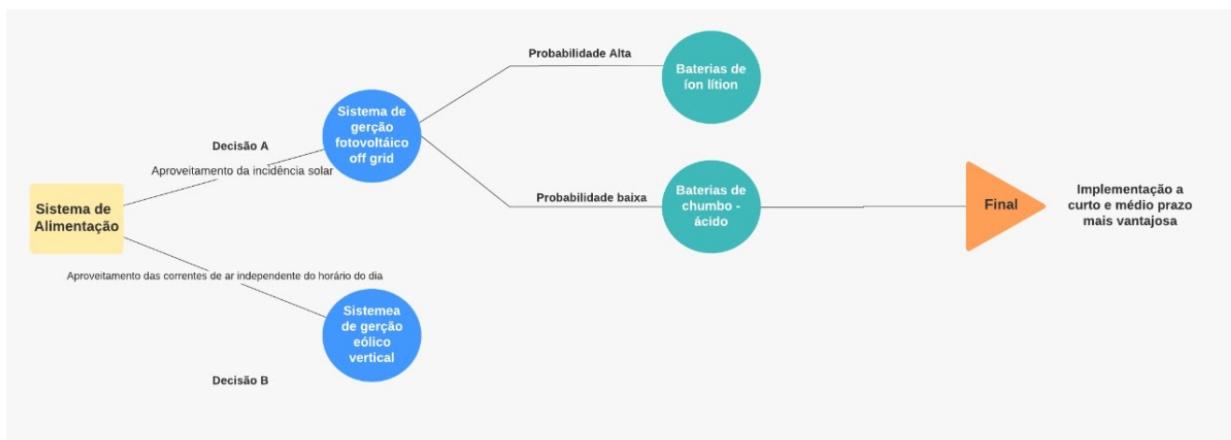


Figura 44 – Diagrama de decisão até a escolha da tecnologia das baterias.

Fonte: autores.

3.3.2.3 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: um com 3 painéis de 100 W com dimensões de 45cm x 35cm, um com 3 painéis de 150 W e dimensões 56,3cm x 86,4cm, outro com 6 painéis de 50 W e dimensões 28cm x 54cm e, por fim, um último cenário, no qual utilizaríamos 8 painéis de 50 W de dimensões 28cm x 54cm espalhados ao longo da estrutura do AquaData.

Além das normas, outra grande referência para este dimensionamento foi o trabalho de conclusão de curso do André Luiz Canela (CANELA et al., 2019), no qual ele abordou os prin-

cipais tópicos e parâmetros para a determinação da eficiência e geração de um sistema autônomo para desenvolver seu modelo de controlador de carga.

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.

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, muito embora isso implique em provável diminuição dos períodos de manutenção e em um consequente aumento no 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.

3.3.3 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 45 – Previsão de produção diária ao longo do ano.

Fonte: 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.

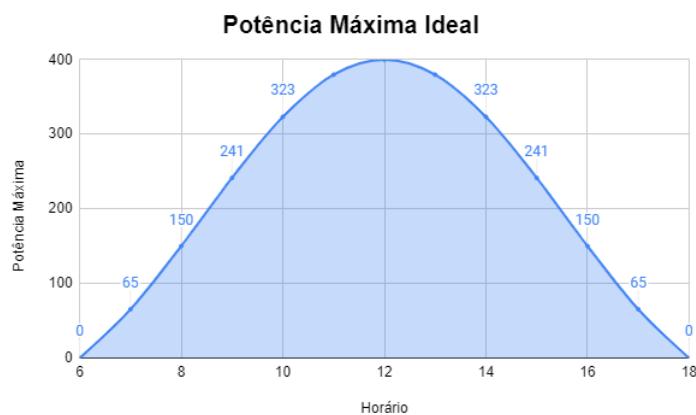


Figura 46 – Potência máxima ideal.

Fonte: autores.

3.3.3.1 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:

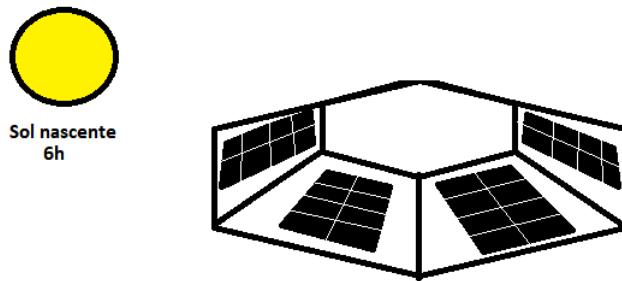


Figura 47 – Esboço do cenário do sistema flutuante perante o sol nascente.

Fonte: 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.

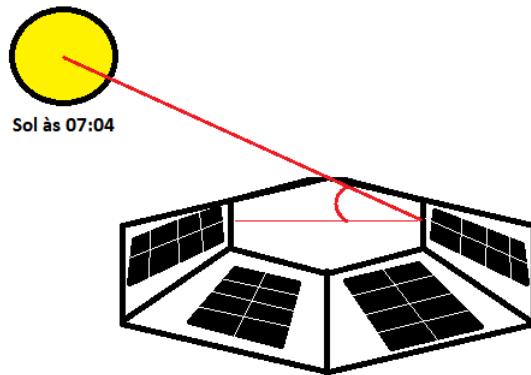


Figura 48 – Esboço do cenário do sistema flutuante perante o sol no começo da geração pelo lado voltado para o oeste.

Fonte: 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.

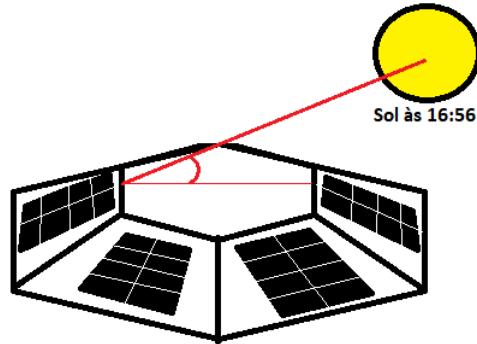


Figura 49 – Esboço do cenário do sistema flutuante perante o sol nos últimos momentos de geração pelo lado voltado para o leste.

Fonte: 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.

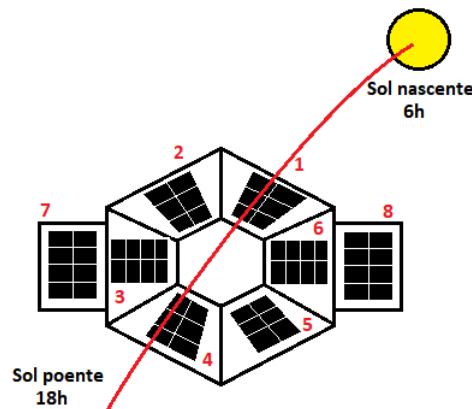


Figura 50 – Esboço do cenário do sistema flutuante como um todo perante o trajeto do sol por ele ao longo do dia.

Fonte: 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 51 – Tabela de potências com sombra.

Fonte: autores.

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

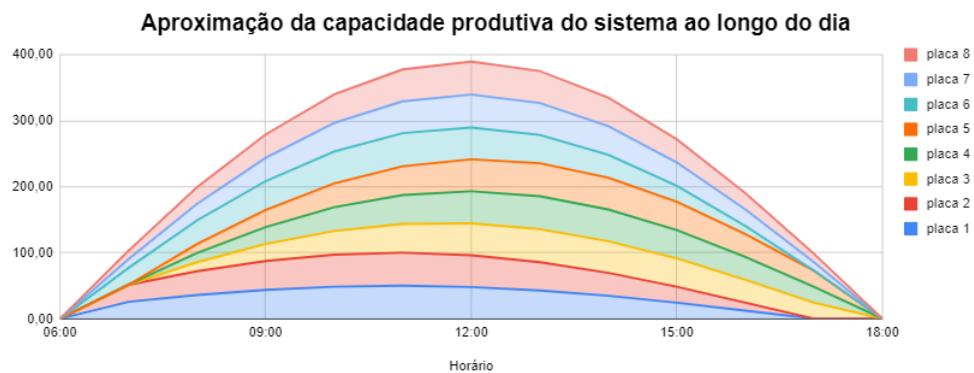


Figura 52 – Gráfico de geração total por contribuição de cada painel solar.

Fonte: autores.

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

3.3.3.2 Perdas por Reflexão

Considerando também a mesma distribuição para as placas, é possível se obter o ângulo de chegada da radiação solar com relação à direção normal de cada placa e, com isso, calcular

a intensidade da radiação incidente perpendicular à superfície das placas por meio da equação (CANELA et al., 2019):

$$I_y = I \cdot \text{sen}(\alpha) \quad (3.3)$$

Calculando-se o ângulo entre a normal das placas e a direção dos raios solares, conseguimos obter a seguinte tabela:

Direção	Ângulos
Norte	0,00º
Sul	90,00º
Leste	74,63º
Oeste	74,63º
Sudeste	82,32º
Sudoeste	82,32º
Nordeste	37,32º
Noroeste	37,32º

Figura 53 – Tabela de potências teóricas considerando a disposição das placas.

Fonte: autores.

A partir desses ângulos e da equação apresentada, é possível determinar as seguintes aproximações das potências teóricas para os painéis.

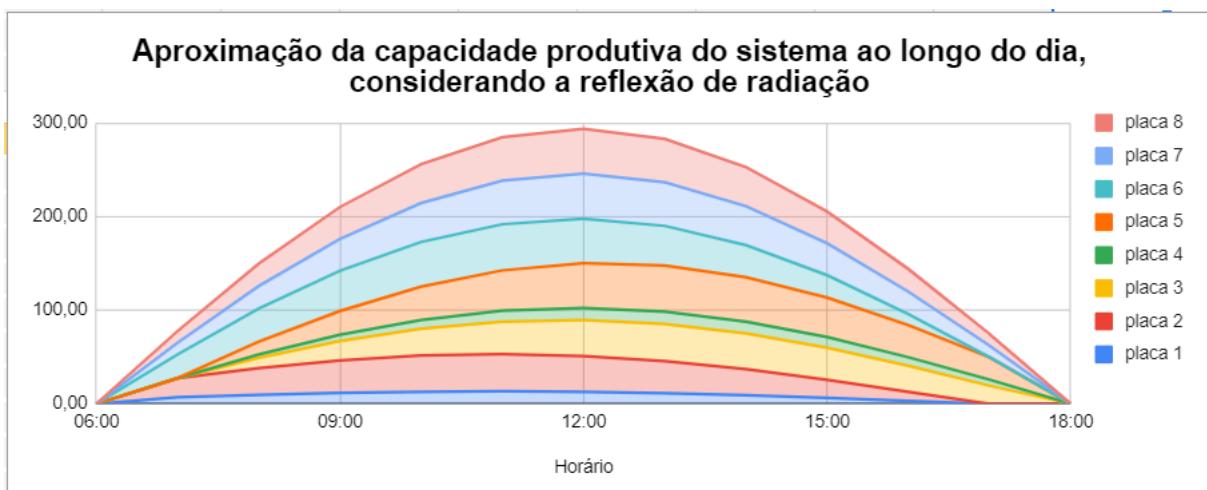


Figura 54 – Gráfico de geração total por contribuição de cada painel solar considerando a reflexão.

Fonte: autores.

E, considerando ainda o efeito de perdas de eficiência com a temperatura (YANG et al., 2019), cerca de 10%, teríamos uma aproximada capacidade real 260 W de potência, aproximadamente.

Com a capacidade das baterias de 440 Ah e considerando o consumo médio de 15 A por hora, teríamos uma autonomia de 8 horas, considerando uma descarga das baterias de, no máximo, 30% das baterias.

3.3.3.3 Uma nota sobre o aterramento dos equipamentos eletrônicos

Foi definido, em conjunto, que a melhor forma de se aterrarr os dispositivos eletrônicos seria conectar os seus negativos à lataria da boia, como uma medida de segurança a mais para o projeto, como sugere a norma ABNT:NBR 5410:2004 acerca de aterramentos IT - B.3, no qual os equipamentos elétricos são coletivamente aterradas no mesmo eletrodo da alimentação.

3.4 Estruturas

3.4.1 Flutuabilidade e Estabilidade

Afim 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 55).

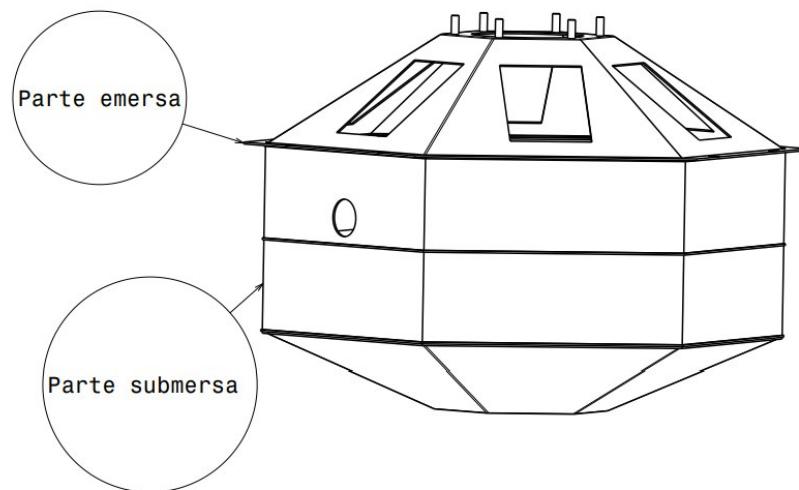


Figura 55 – Estrutura emersa e submersa

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.

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.

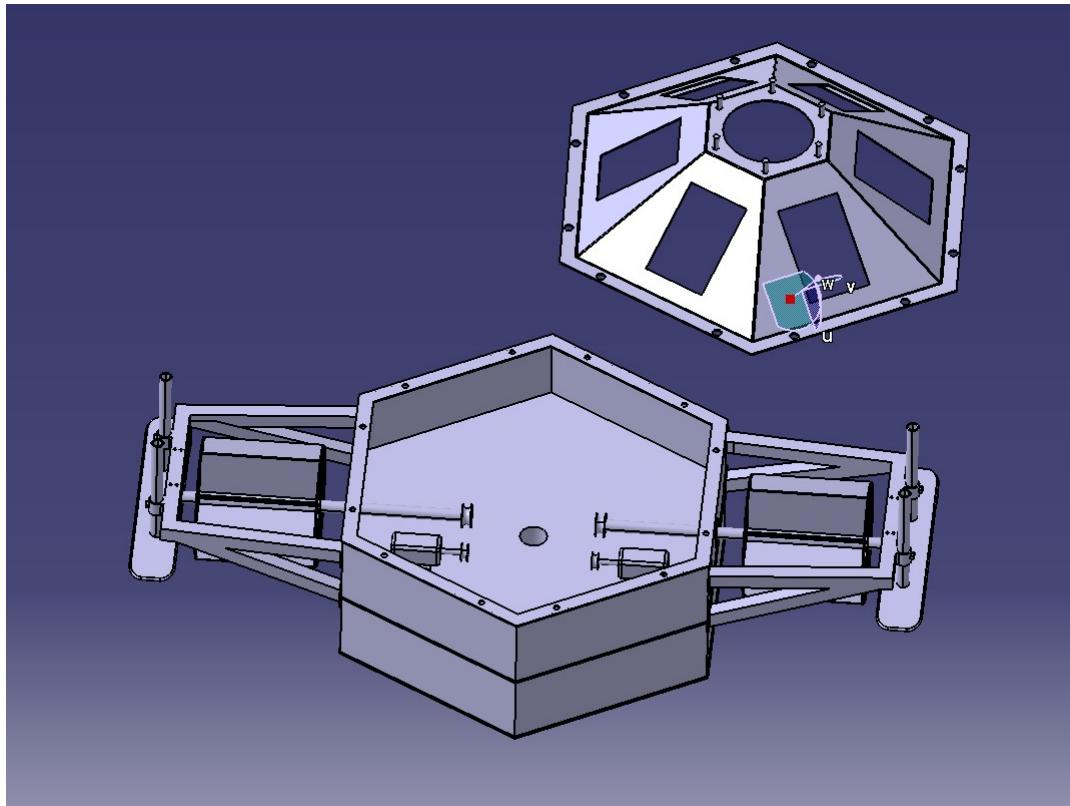


Figura 56 – Cavidade para Preenchimento da Espuma de Poliuretano

A figura 56 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 m³.

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.

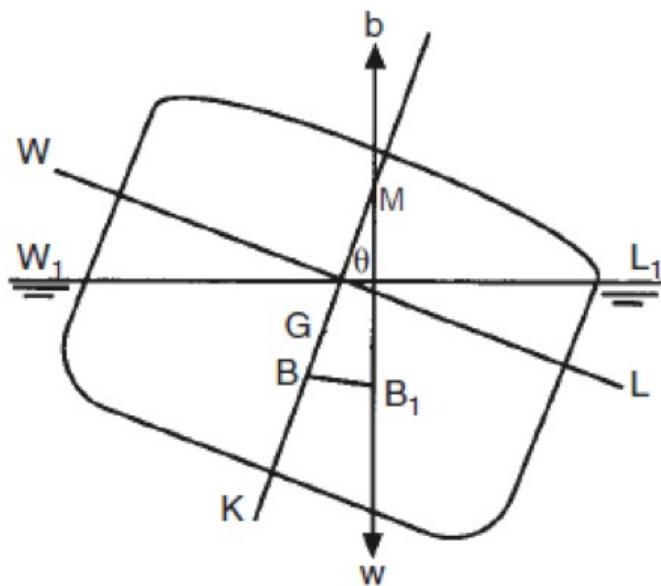


Figura 57 – Metacentro Transversal

Da figura 57 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.

3.4.1.1 Cálculos da flutuabilidade da estrutura

Como foi definido que a estrutura ficará 50% submersa, gerando uma flutuabilidade positiva, em que a boia não afunda e sim flutua, os cálculos serão feitos a partir dessa premissa. Essa proporção foi escolhida devido ao fato das pás que movem a estrutura terem que ficar na superfície da água.

A seguir será calculado o volume da estrutura.

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

Pode-se calcular a área do hexágono regular, formato do corpo da estrutura, utilizando a

seguinte fórmula:

$$A(hex) = (3L^2\sqrt{3})/2 \quad (3.4)$$

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

A lateral da estrutura possui uma altura h=594mm.

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

$$V(hex) = A(hex) * h \quad (3.5)$$

Utilizando a fórmula supracitada e os valores já obtidos e indicados, chega-se ao volume de 1,2555m³ para a parte central da estrutura.

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

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

$$V(tampas) = (A(hex) * h(tampas))/3 - Volume.recortado \quad (3.6)$$

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 será utilizada a seguinte fórmula:

$$h(tampas) = L * \text{sen}(16) \quad (3.7)$$

Com isso obtém-se 0,26m como valor de h(tampas). Será utilizado 16 graus pois este é o valor da inclinação da tampa, angulo esse escolhido com base na melhor posição das placas solares.

Agora será calculado o volume recortado por meio da seguinte fórmula:

$$Volume.recortado = [L(hex.menor) * \text{sen}(16) * L(hex.menor) * 2]/3 \quad (3.8)$$

Para $L(\text{hex.menor})$ será utilizado o valor de 0,233m, 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 obtém-se o valor de 0,10m³ para o volume recortado.

Agora é possível calcular o volume das tampas, chegando ao valor de 0,408m³.

Agora pode-se, por fim, calcular o volume total da estrutura utilizando a seguinte fórmula:

$$V(\text{total}) = [2 * V(\text{tampas})] + V(\text{hex}) \quad (3.9)$$

Com isso obtém-se 2,072m³ 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.

Será calculado, 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 0,5g/cm³. Para isso utilizaremos a fórmula da densidade:

$$\rho = \text{massa}/\text{volume} \quad (3.10)$$

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

Para calcular o volume deslocado será utilizada a fórmula a seguir:

$$V(\text{deslocado}) = V(\text{total}) * \rho \quad (3.11)$$

Com os resultados já apresentados, obtém-se o valor de 0,453m³ para o volume deslocado.

Por fim, será calculado o empuxo atuante na estrutura utilizando a seguinte fórmula:

$$\text{Empuxo} = \rho(\text{água}) * V(\text{deslocado}) * g \quad (3.12)$$

Nessa equação obtém-se o valor da força de empuxo de 444N. Esse valor mostra que a estrutura é capaz de manter-se submersa na altura proposta, equivalente à 50% de seu volume total.

Como a estrutura possui 50% de seu volume submerso, ainda que flutue, como demonstrado anteriormente, foram adicionadas boias laterais para melhor estabilidade, garantindo que

a estrutura permaneça em condições de operação, e anulando forças laterais que atuariam na estrutura afetando sua estabilidade.

3.4.2 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.

3.4.2.1 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 (NASSEH, 2007).

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 (COSTA, 2012).

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 (COSTA, 2012; BUNSELL, 2018).

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 (MINUS; KUMAR, 2005).

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 16 – 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

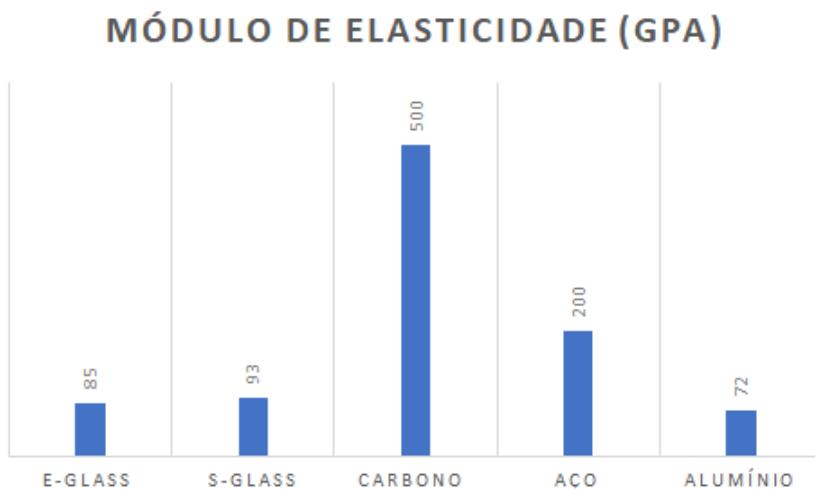


Figura 58 – Gráfico Comparativo do Módulo de Elasticidade



Figura 59 – Gráfico Comparativo da Resistência à Tração

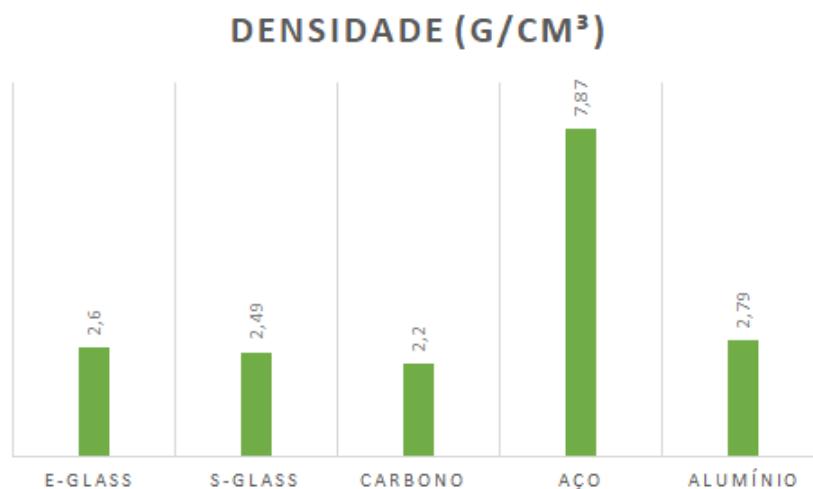


Figura 60 – Gráfico Comparativo da Densidade

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 17 – 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 Fogó	A	C
Isolamento Térmico	B	C
Expansão Térmica	A	A
Custo	A	C

Fonte: NASSEH, Jorge

Tabela 18 – 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 (COSTA, 2012; NASSEH, 2007).

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 (COSTA, 2012; NASSEH, 2007).

- 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 (ABBOOD et al., 2020). Uma comparação entre estes materiais pode ser feita a partir de suas propriedades mecânicas:

Tabela 19 – 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 (GAGLIARDO; MASCIA, 2010). Suas propriedades mecânicas podem ser comparadas na tabela abaixo:

Tabela 20 – Propriedades Comparativas PVC vs.Poliuretano

	PVC	Poliuretano
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

3.4.2.2 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 à 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:

Tabela 21 – 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

3.4.2.3 Estruturas Metálicas

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, o material considerados foi o metalon galvanizado proveniente do 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.

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 22 – 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	1,17x 10 ⁻⁵ K ⁻¹
Força de Rendimento	2,5x10 ⁸ N/m ²

3.4.3 Análise do Comportamento Mecânico

Para análise do comportamento mecânico das estruturas da boia e seleção final dos materiais a serem utilizados, foram realizadas simulações com auxílio do softwares 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.

3.4.3.1 Painel Sanduíche

A verificação do material mais adequado e do comportamento mecânico ideal da estrutura flutuante se deu por meio da análise dos painéis sanduíches que a compõe. Para isso, foram utilizados os 3 tipos de fibra de reforço, citadas anteriormente, laminadas em resina Epóxi para a simulação estrutural.

A fim de se obter os melhores resultados, o laminado foi modelado como a sobreposição de 5 camadas de fibra orientadas em uma única direção (unidirecional) moldadas na matriz polimérica de resina Epóxi.

A orientação das fibras e a sobreposição de camadas podem ser observadas nas figuras abaixo, de acordo com o tipo de fibra utilizado. As variáveis a e t correspondem à orientação em graus das fibras e à espessura da camada respectivamente:

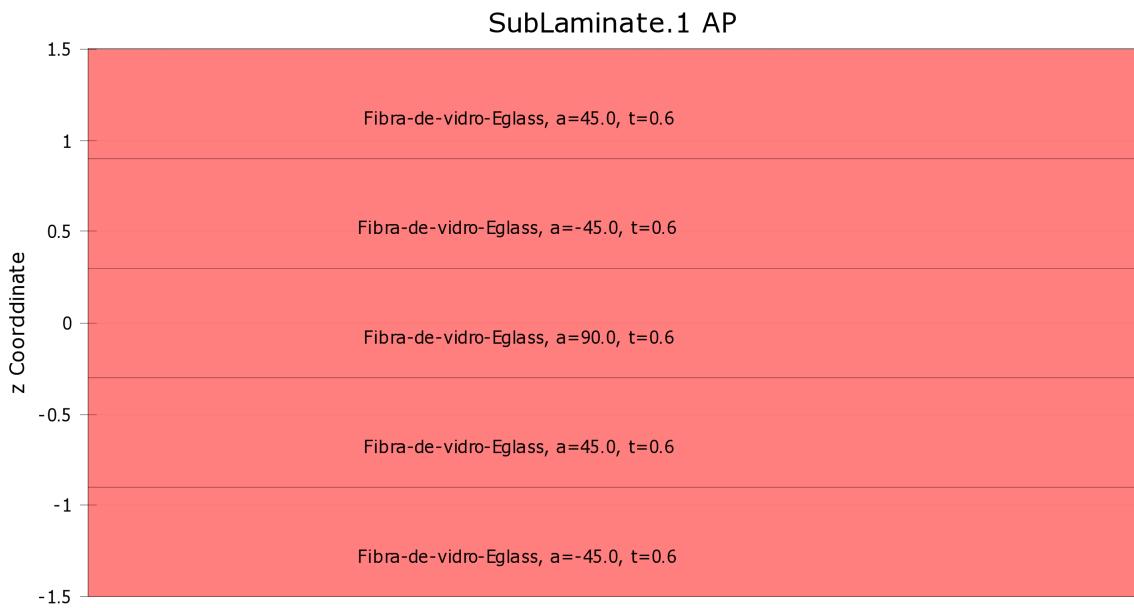


Figura 61 – Laminado Fibra E-glass

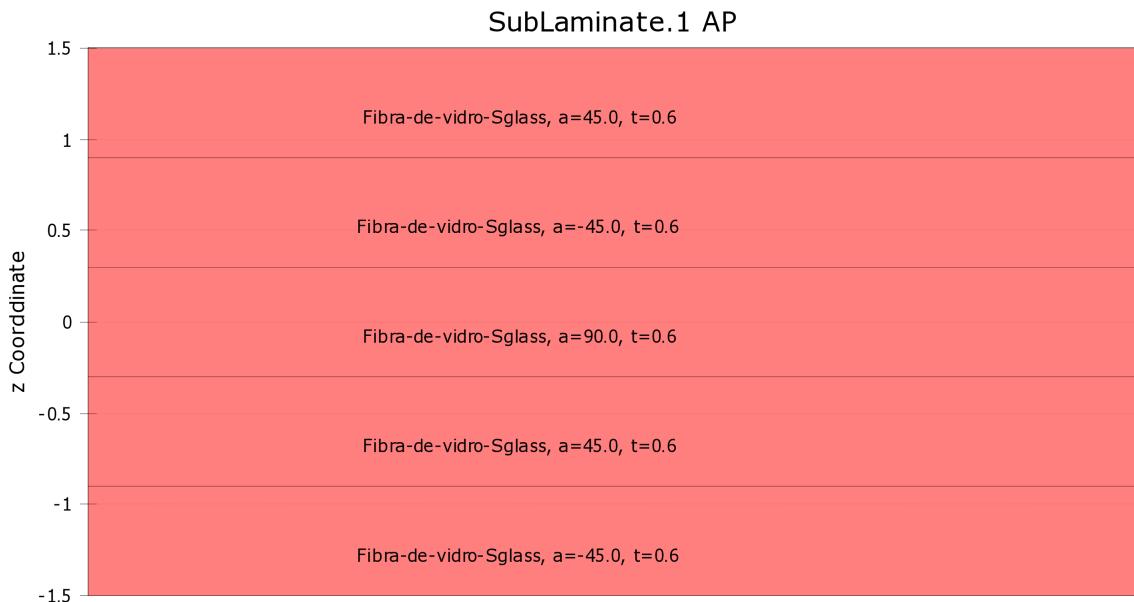


Figura 62 – Laminado Fibra S-glass

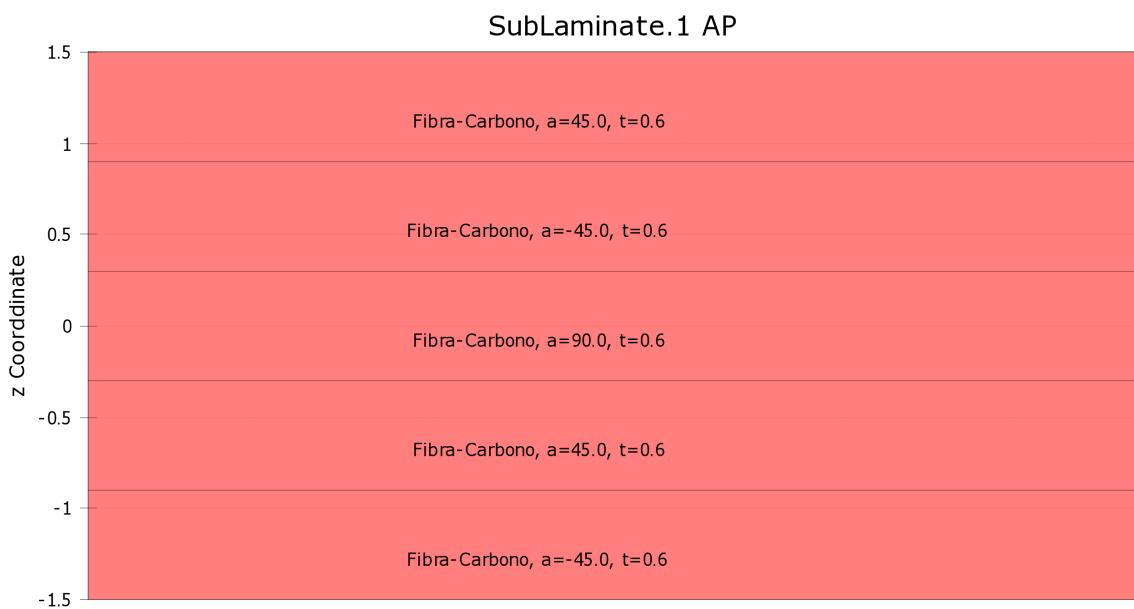


Figura 63 – Laminado Fibra de Carbono

A partir dos laminados obtidos anteriormente, os painéis sanduíche foram modelados como a união de duas camadas, uma interna e outra externa, com espuma de PVC compondo o núcleo da estrutura.

Para a análise estrutural estática, foi aplicada uma carga correspondente a 0,1 MPa em cada um dos painéis. Os resultados obtidos podem ser observados nas figuras abaixo, que apresentam a deformação total sofrida pelos painéis.

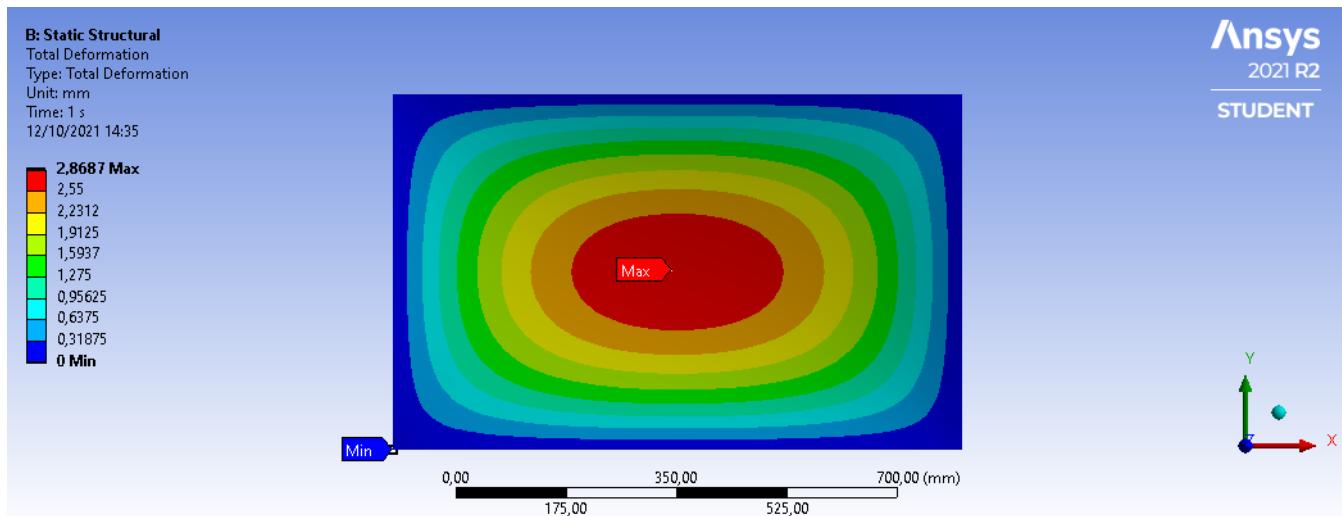


Figura 64 – Deformação Total - Painel de Fibra E-glass

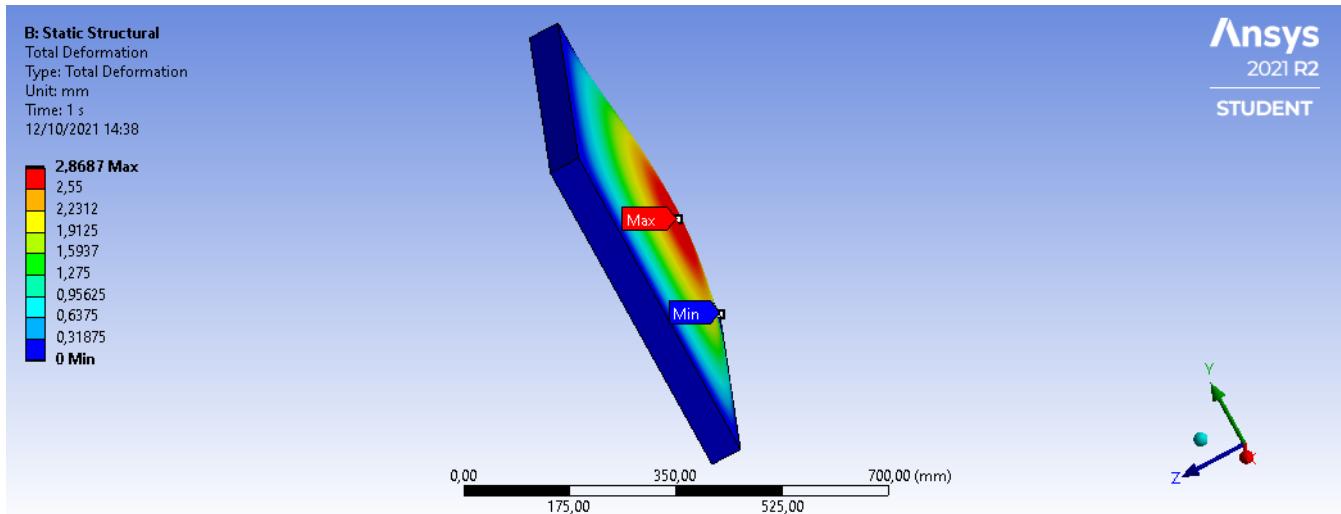


Figura 65 – Deformação Total - Painel de Fibra E-glass

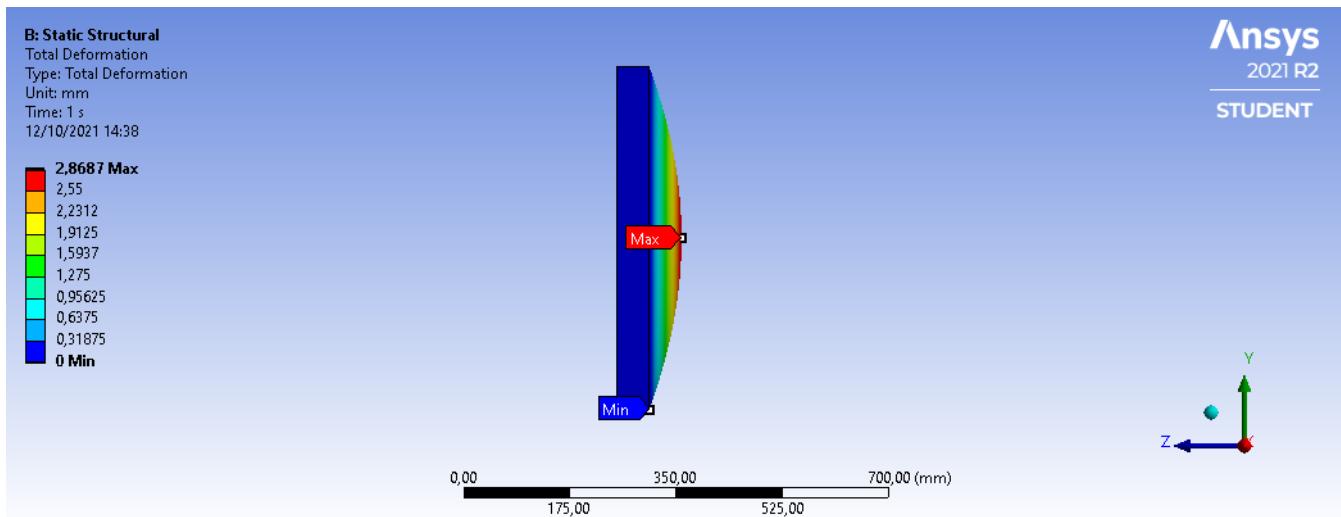


Figura 66 – Deformação Total - Painel de Fibra E-glass

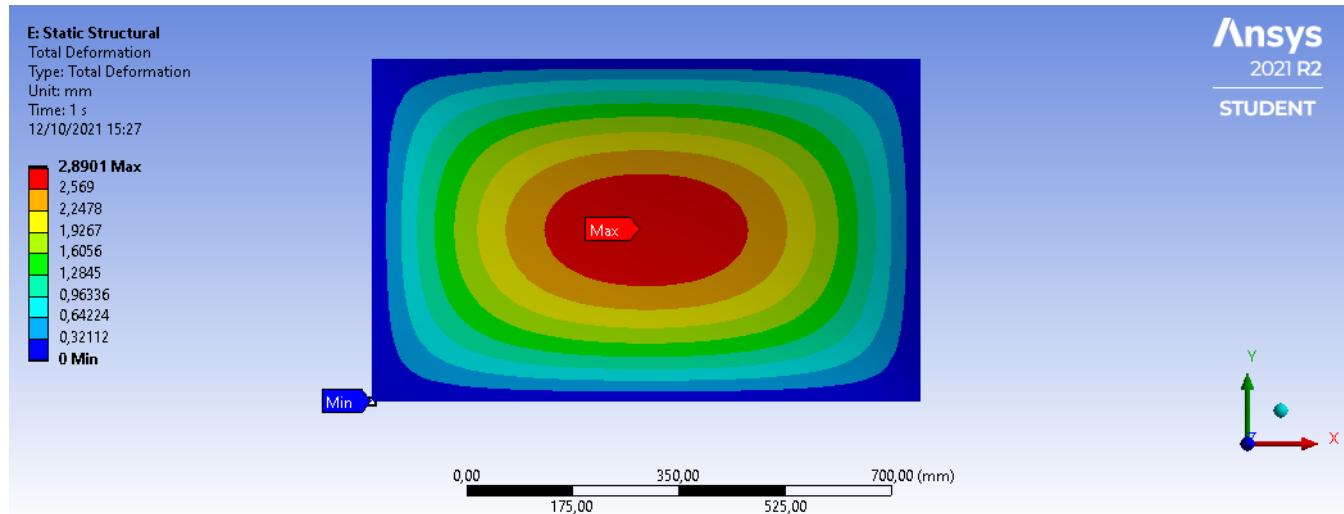


Figura 67 – Deformação Total - Painel de Fibra S-glass

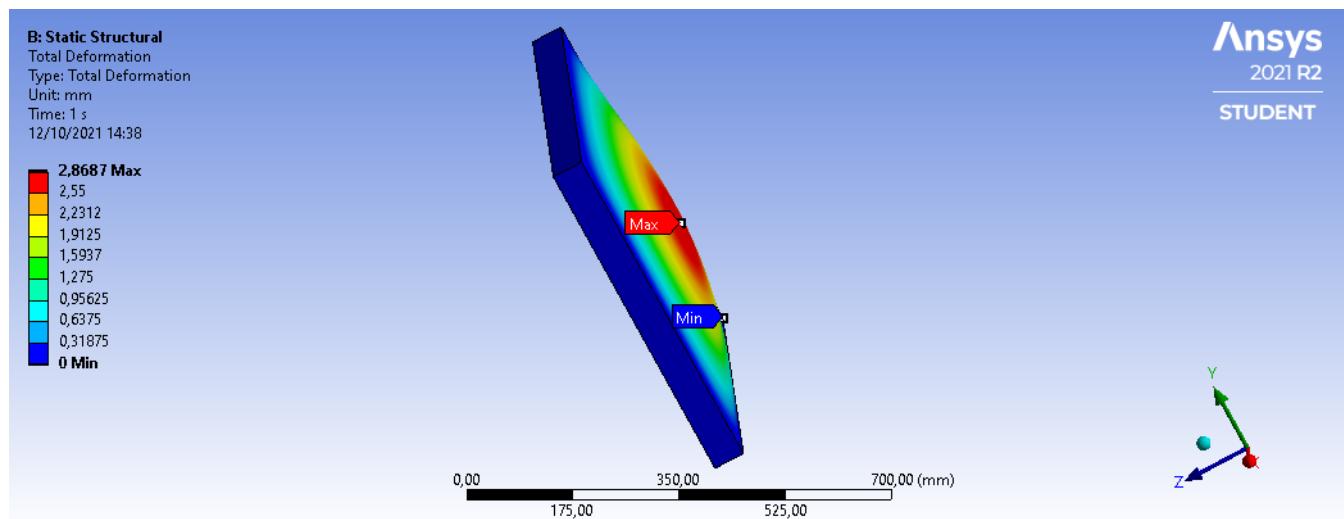


Figura 68 – Deformação Total - Painel de Fibra S-glass

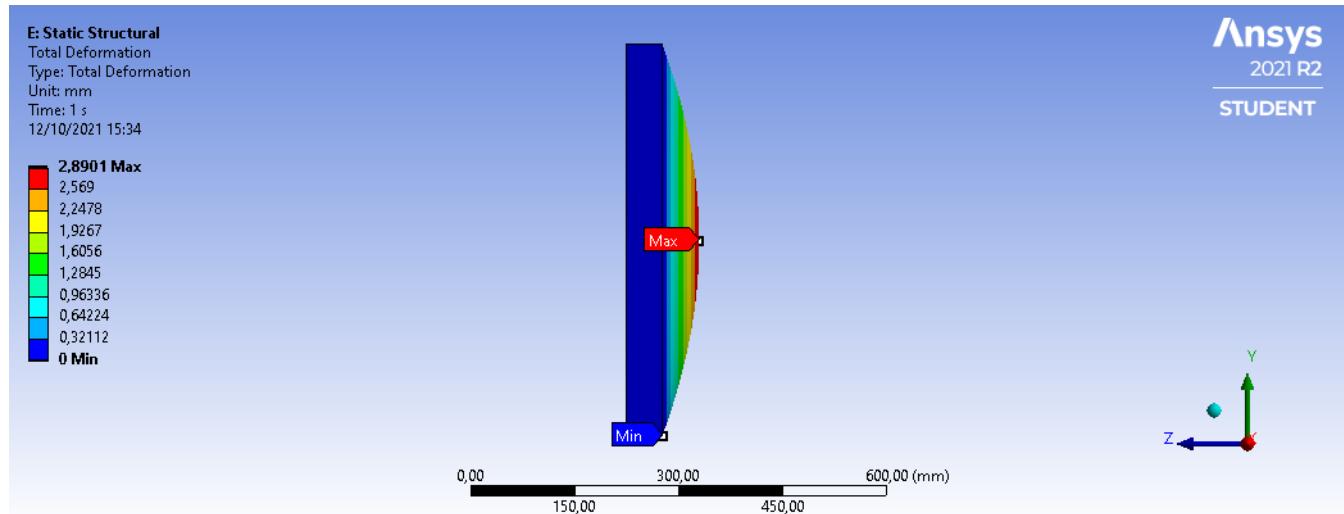


Figura 69 – Deformação Total - Painel de Fibra S-glass

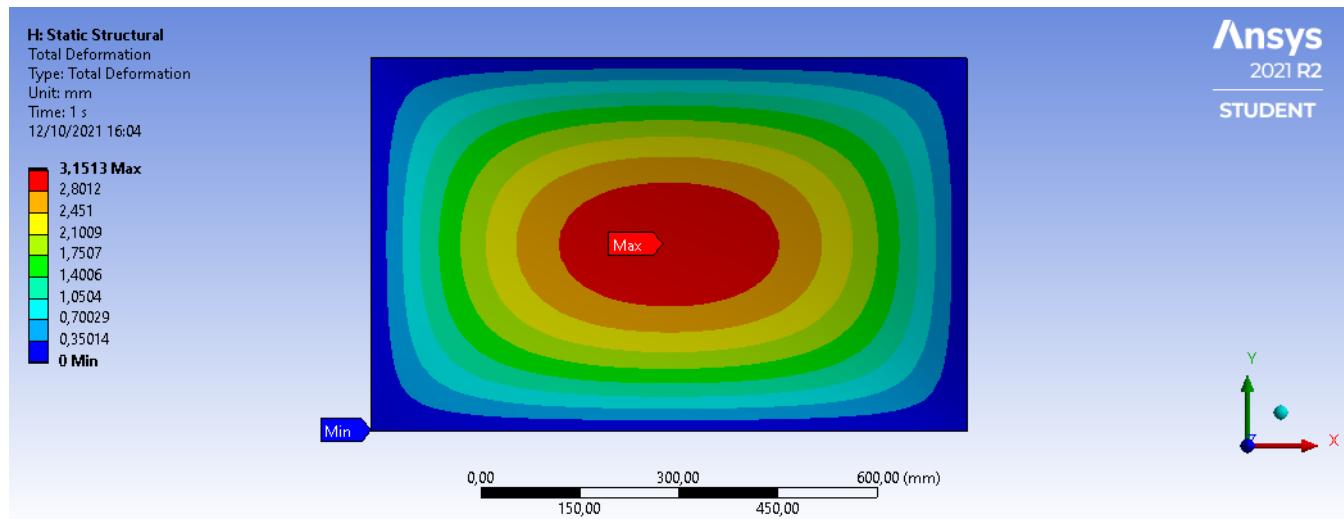


Figura 70 – Deformação Total - Painel de Fibra de Carbono

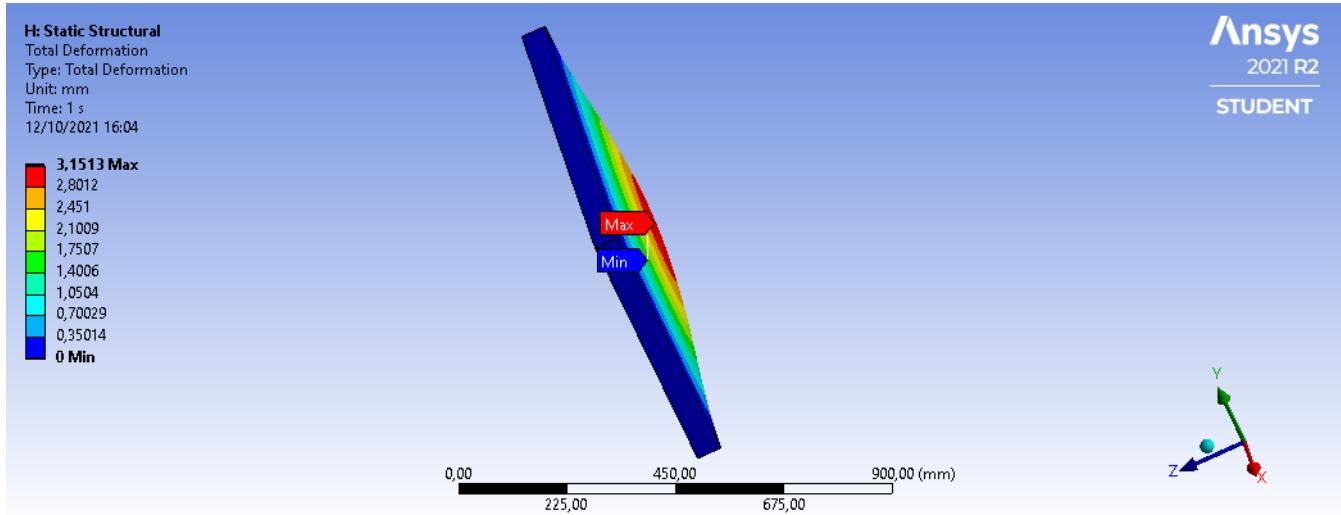


Figura 71 – Deformação Total - Painel de Fibra de Carbono

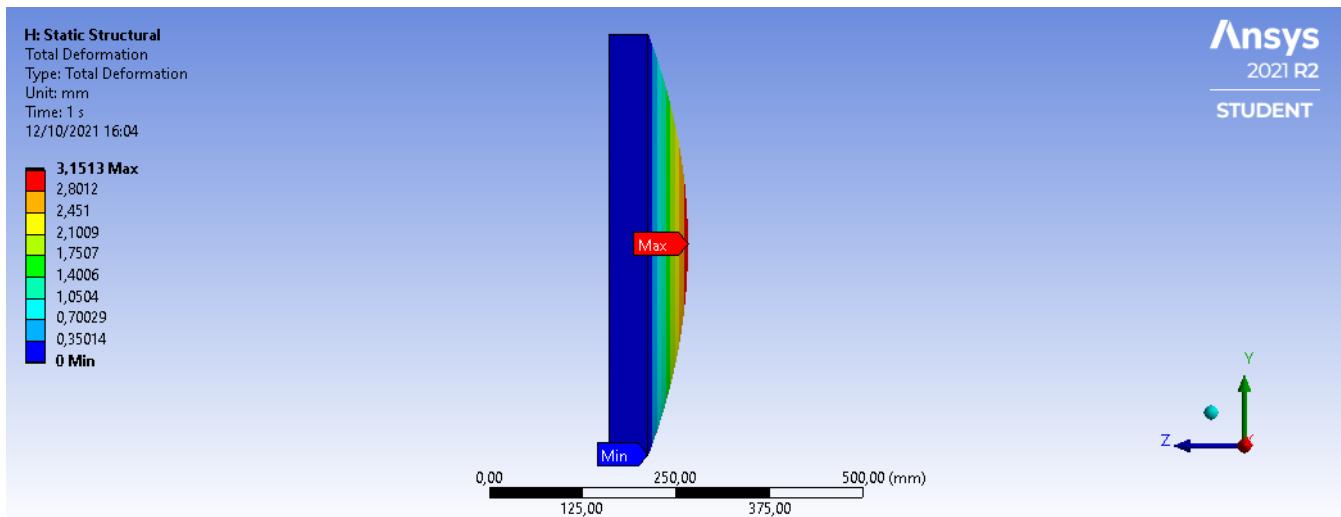


Figura 72 – Deformação Total - Painel de Fibra de Carbono

Além da deformação total, a simulação apresentou os resultados referentes a ocorrência de falhas nos painéis, mostrados nas figuras abaixo:

ACP Model
10/12/21 14:41
Failure - Ifr
Element-Wise
Set: 1 - Time/Freq: 1.0 (Last)
Max: 0.5522
Min: 0.069720

Ansys
2021 R2
TEACHING

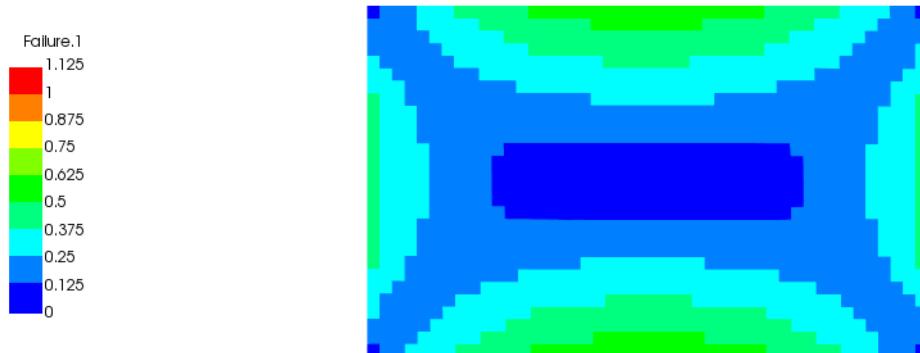


Figura 73 – Critério de Falha - Fibra E-glass

ACP Model
10/12/21 15:30
Failure - Ifr
Element-Wise
Set: 1 - Time/Freq: 1.0 (Last)
Max: 0.55682
Min: 0.05603

Ansys
2021 R2
TEACHING

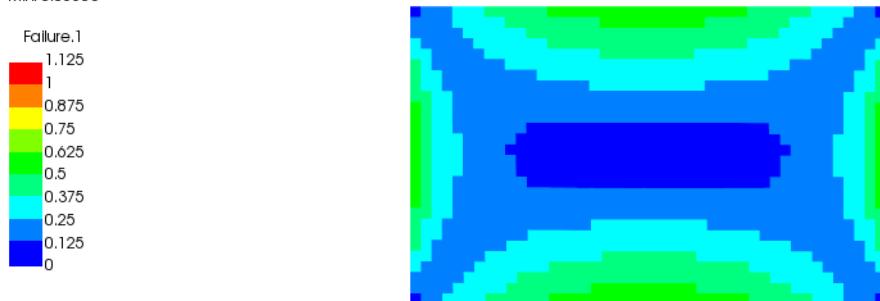
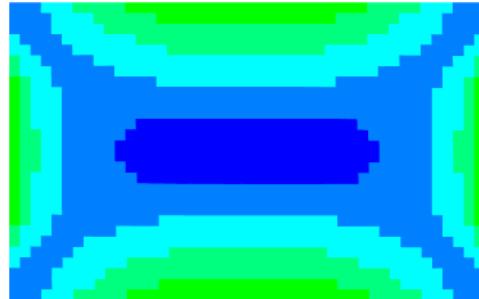
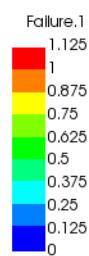


Figura 74 – Critério de Falha - Fibra S-glass

ACP Model
10/12/21 16:11
Failure - Ifr
Element-Wise
Set: 1 - Time/Freq: 1.0 (Last)
Max: 0.61428
Min: 0.051463



Ansys
2021 R2
TEACHING

Figura 75 – Critério de Falha - Fibra de Carbono

Com isso é possível observar que todos os painéis não sofrem nenhum tipo de falha, estando dentro do limite de segurança. Além disso, eles não sofrem grandes deformações, sendo possível observar que a menor deformação ocorre no painel de fibra de vidro E-glass, e a maior no painel de fibra de carbono. Portanto, a fibra de vidro do tipo E mostrou-se uma excelente opção para o projeto, sendo ela a escolha final.

3.4.3.2 Eixos Propulsores

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 foi aplicado um torque de 30 N.m 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 81 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 76 a 81.

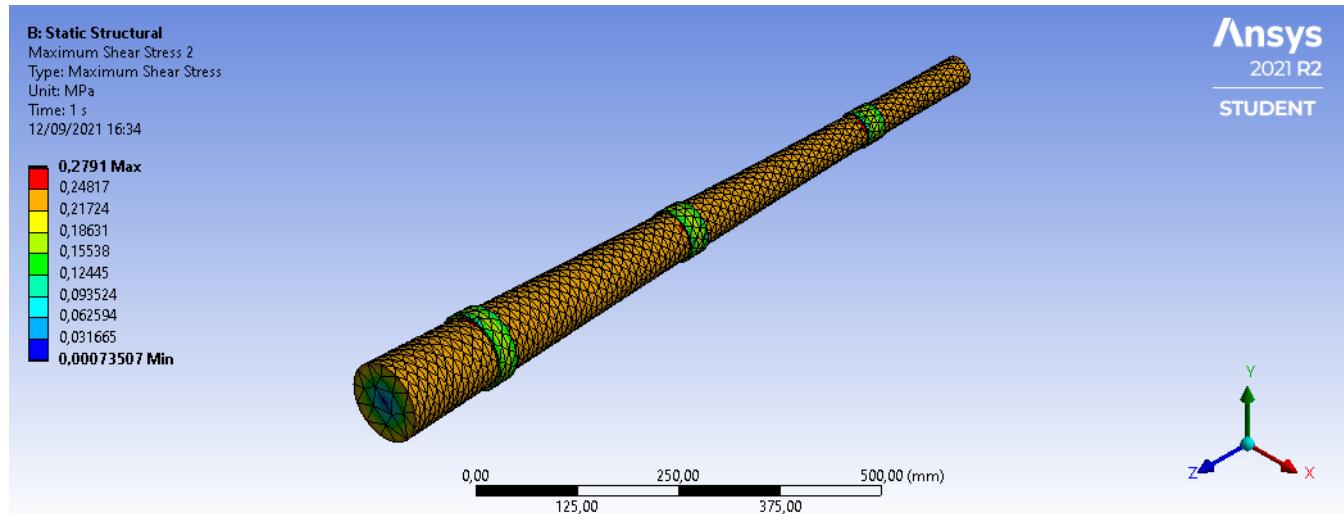


Figura 76 – Aço 316 - Tensão de Cisalhamento

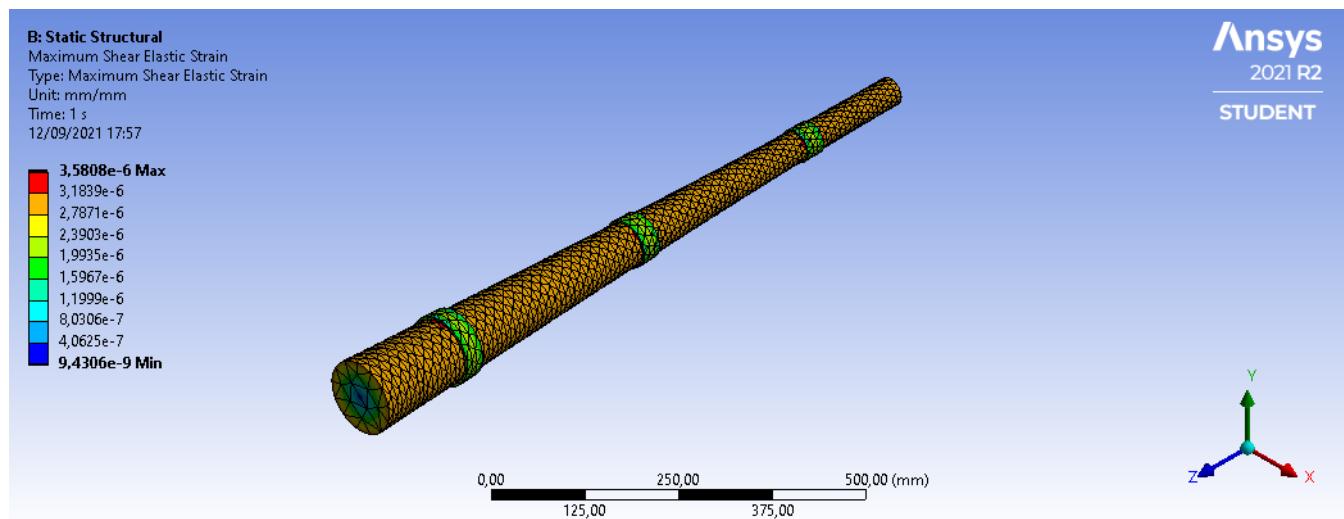


Figura 77 – Aço 316 - Deformação de Cisalhamento

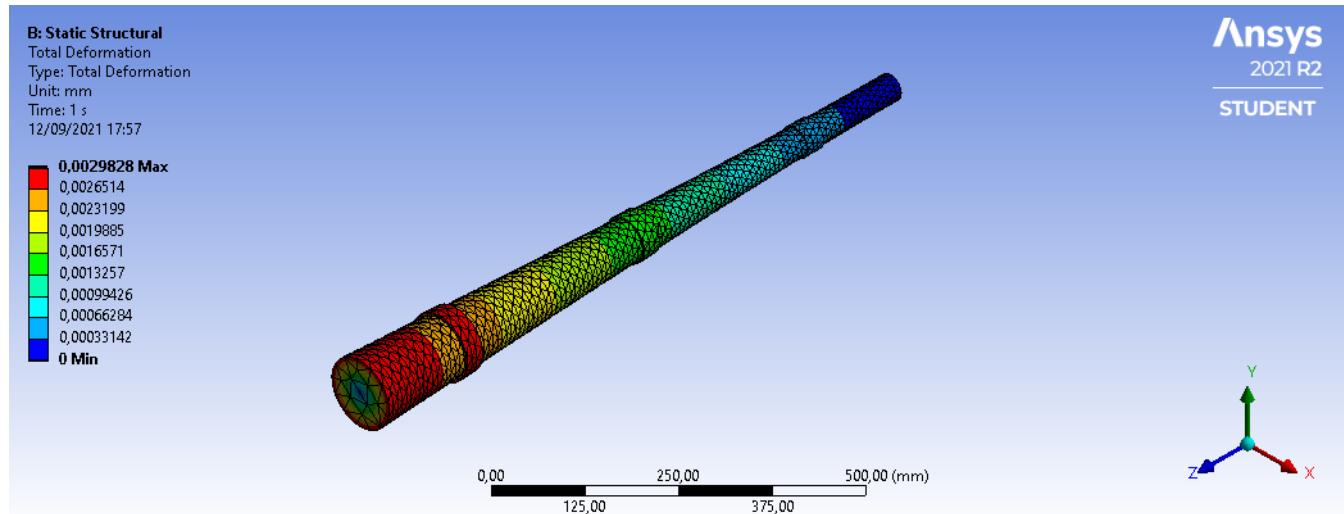


Figura 78 – Aço 316 - Deslocamento Total

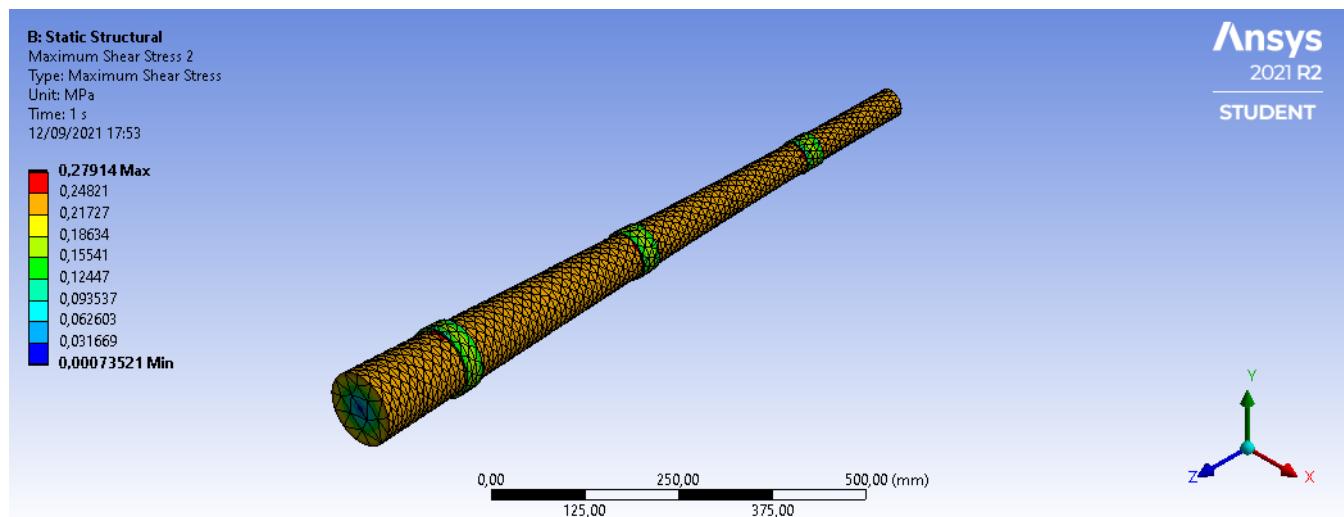


Figura 79 – Nitronic 50 - Tensão de Cisalhamento

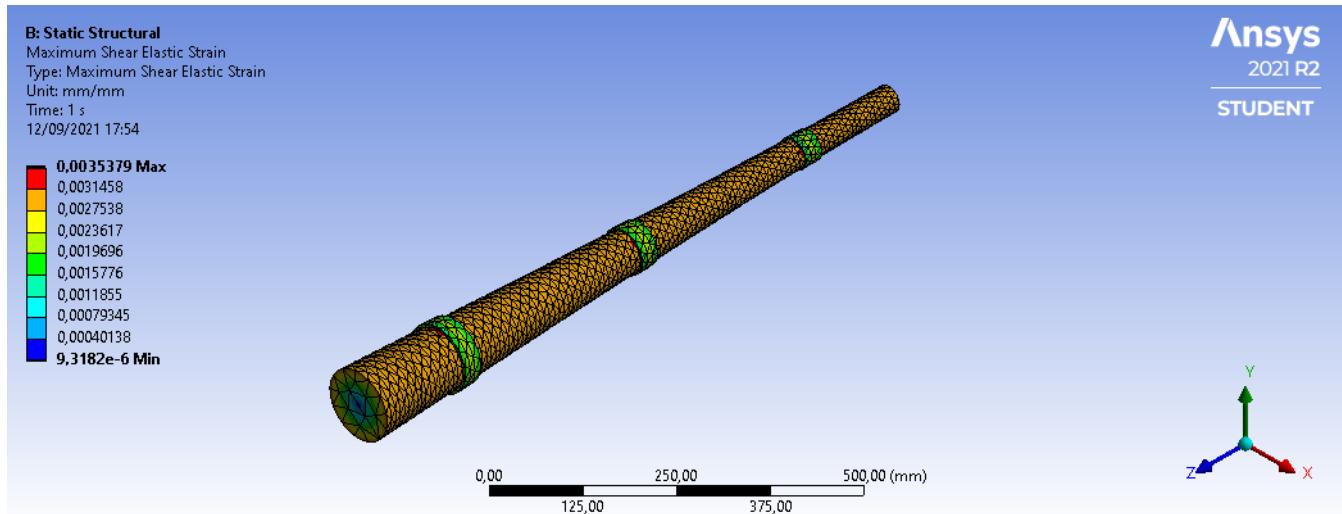


Figura 80 – Nitronic 50 - Deformação de Cisalhamento

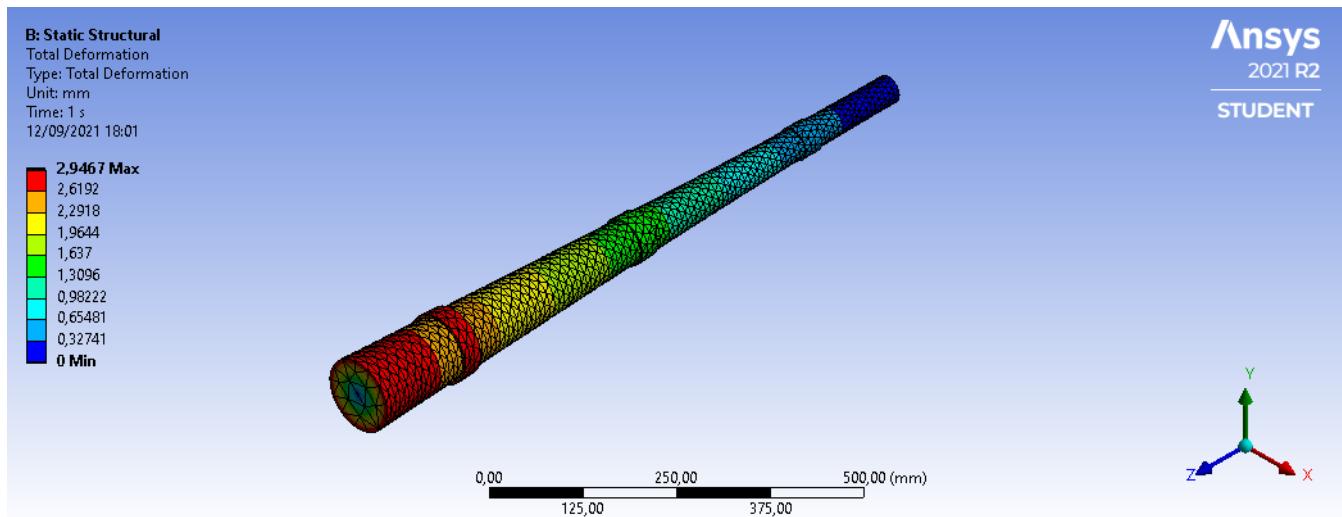


Figura 81 – Nitronic 50 - Deslocamento Total

3.4.3.3 Estrutura de Suporte

Para a seleção final do material a ser utilizado na estrutura de suporte, 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.

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.

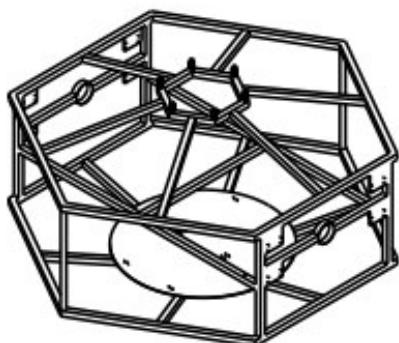


Figura 82 – Vista Isométrica da estrutura central

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.

Com isso, a geometria da estrutura de suporte e sua respectiva malha são mostradas nas figuras abaixo, e a carga a qual ela foi submetida é mostrada na tabela em seguida:

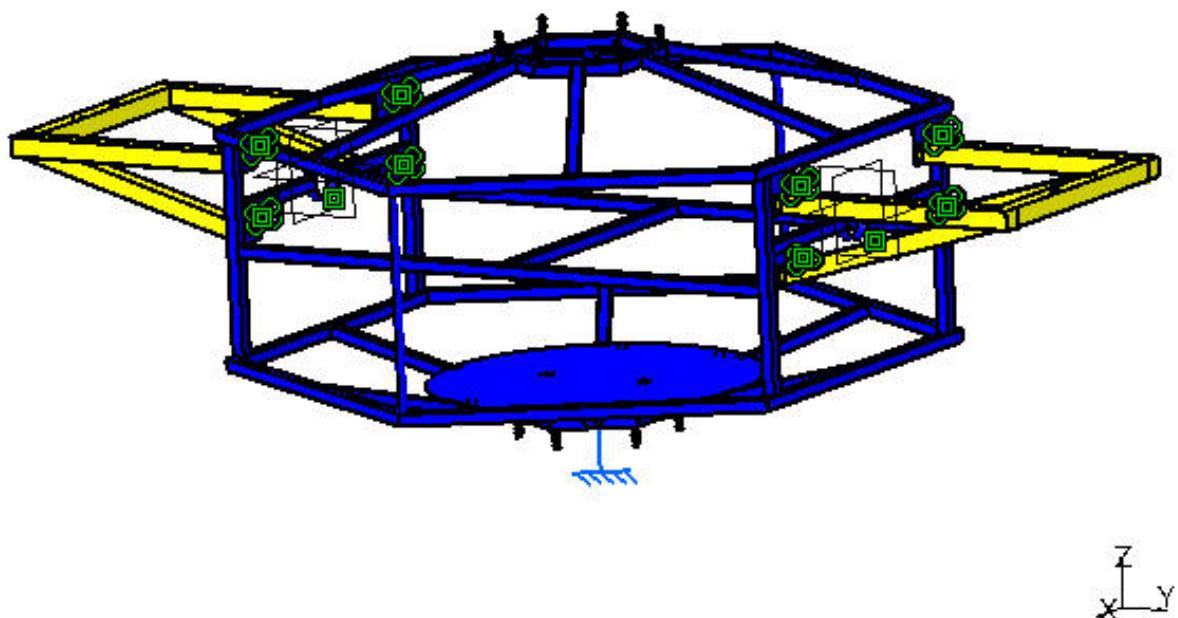


Figura 83 – Estrutura central com suportes laterais

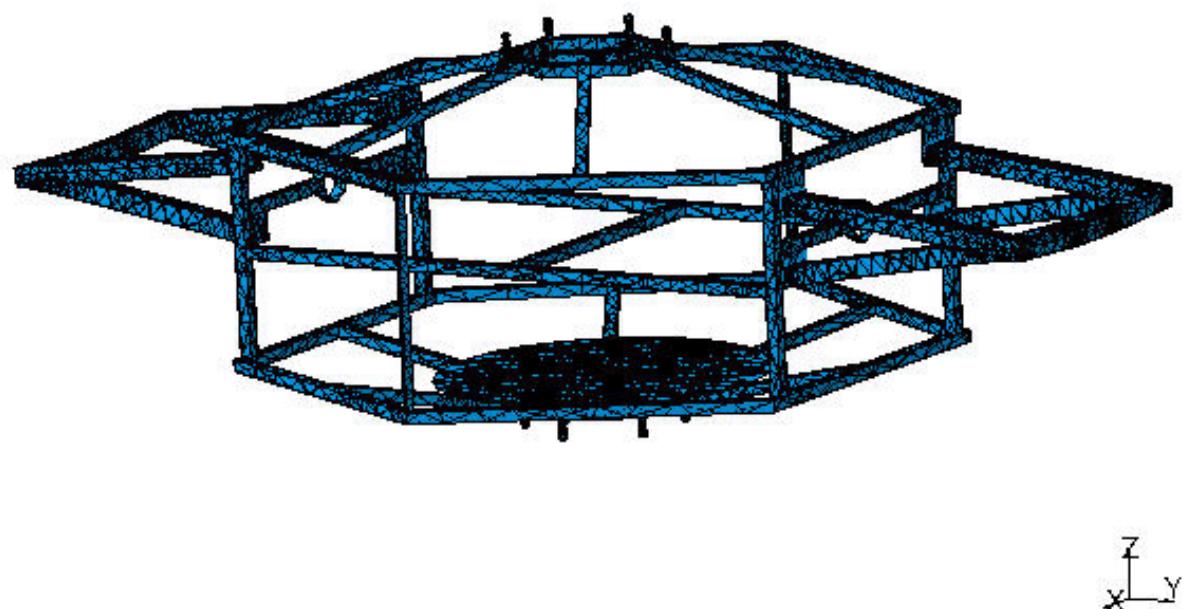


Figura 84 – Malha refinada do conjunto principal

Entidade	Tamanho
Nós	10654
Elementos	31498

Figura 85 – 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 86 – Dados de entrada do material

Tabela 23 – 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:

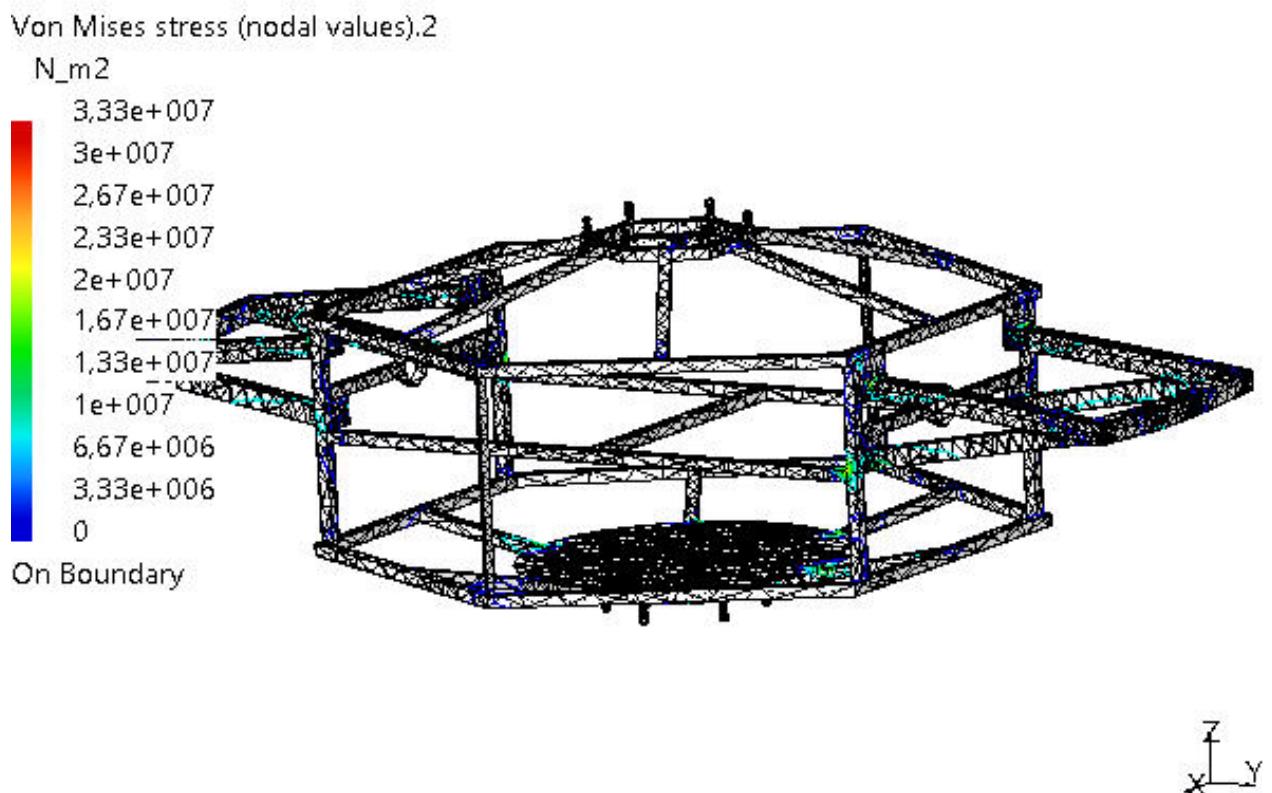


Figura 87 – Resultado 1 da Simulação

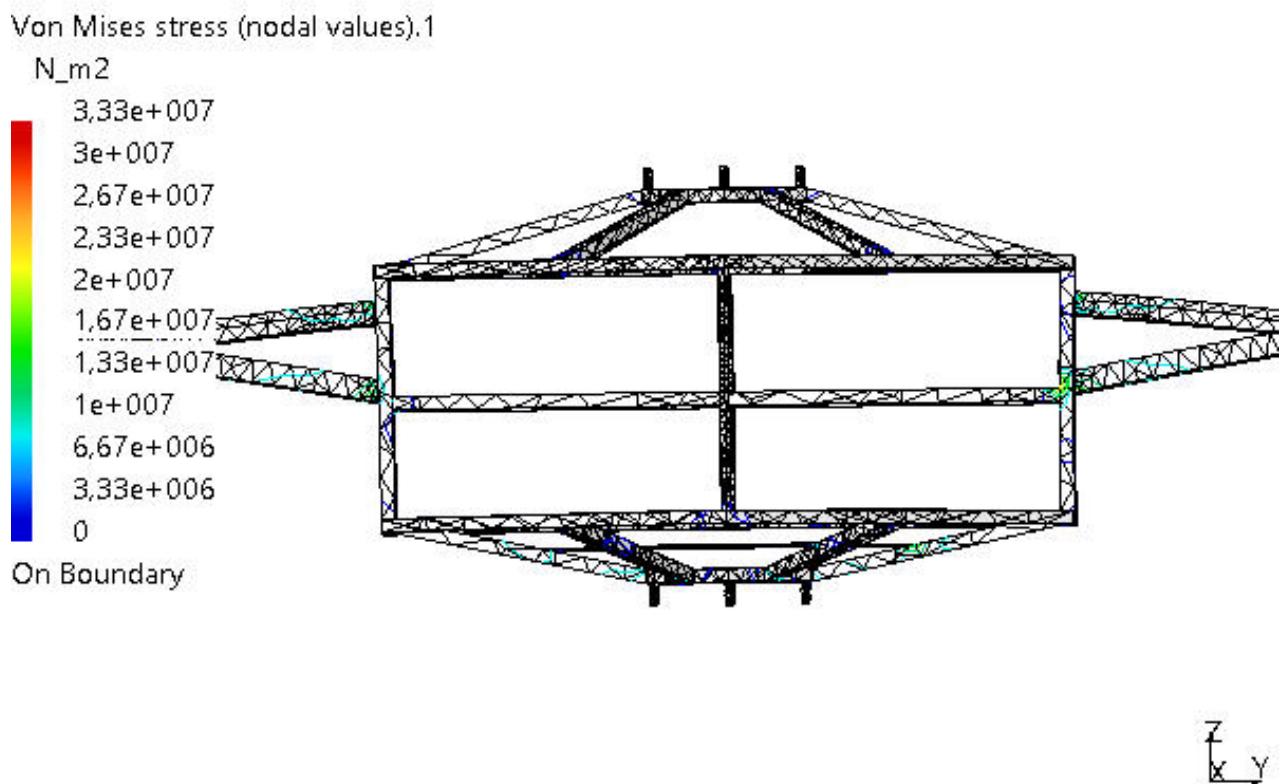


Figura 88 – Resultado 2 da Simulação

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.

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. 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 suportes dos mancais. Na figura abaixo é possível observar a geometria desses elementos estruturais, e os resultados da simulação podem ser observados nas figuras seguintes:

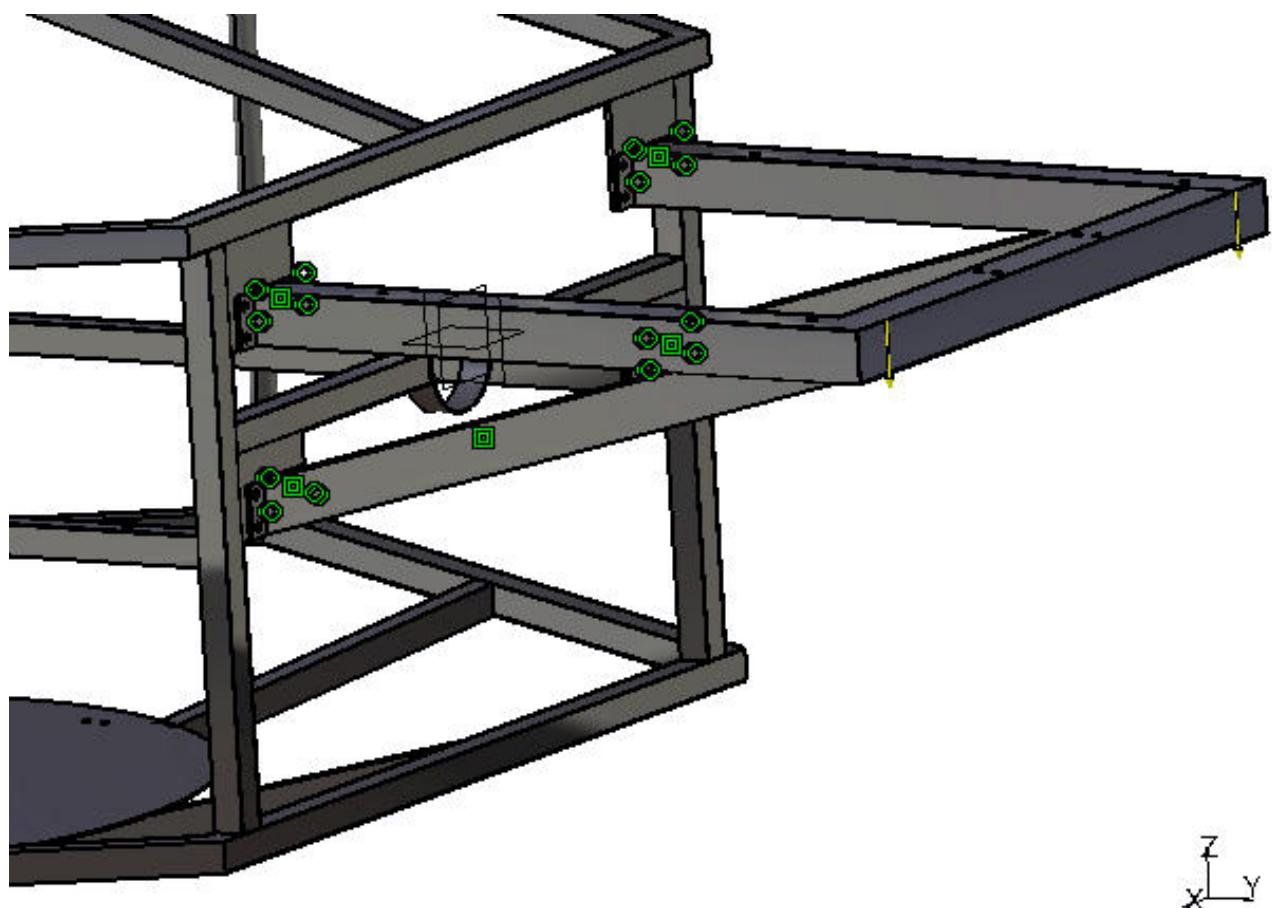


Figura 89 – Suporte do Mancal

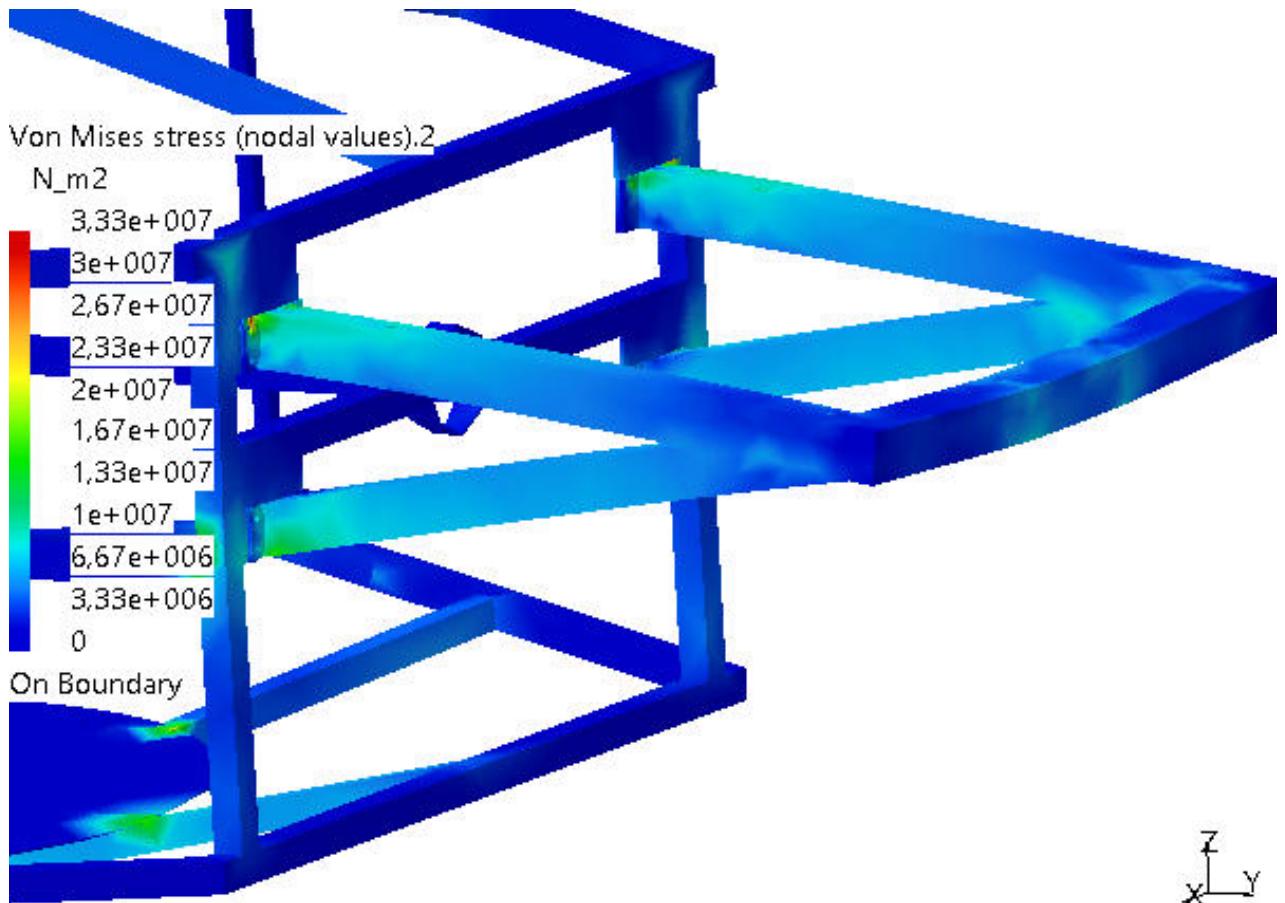


Figura 90 – Resultado 1 da Simulação para o Suporte do Mancal

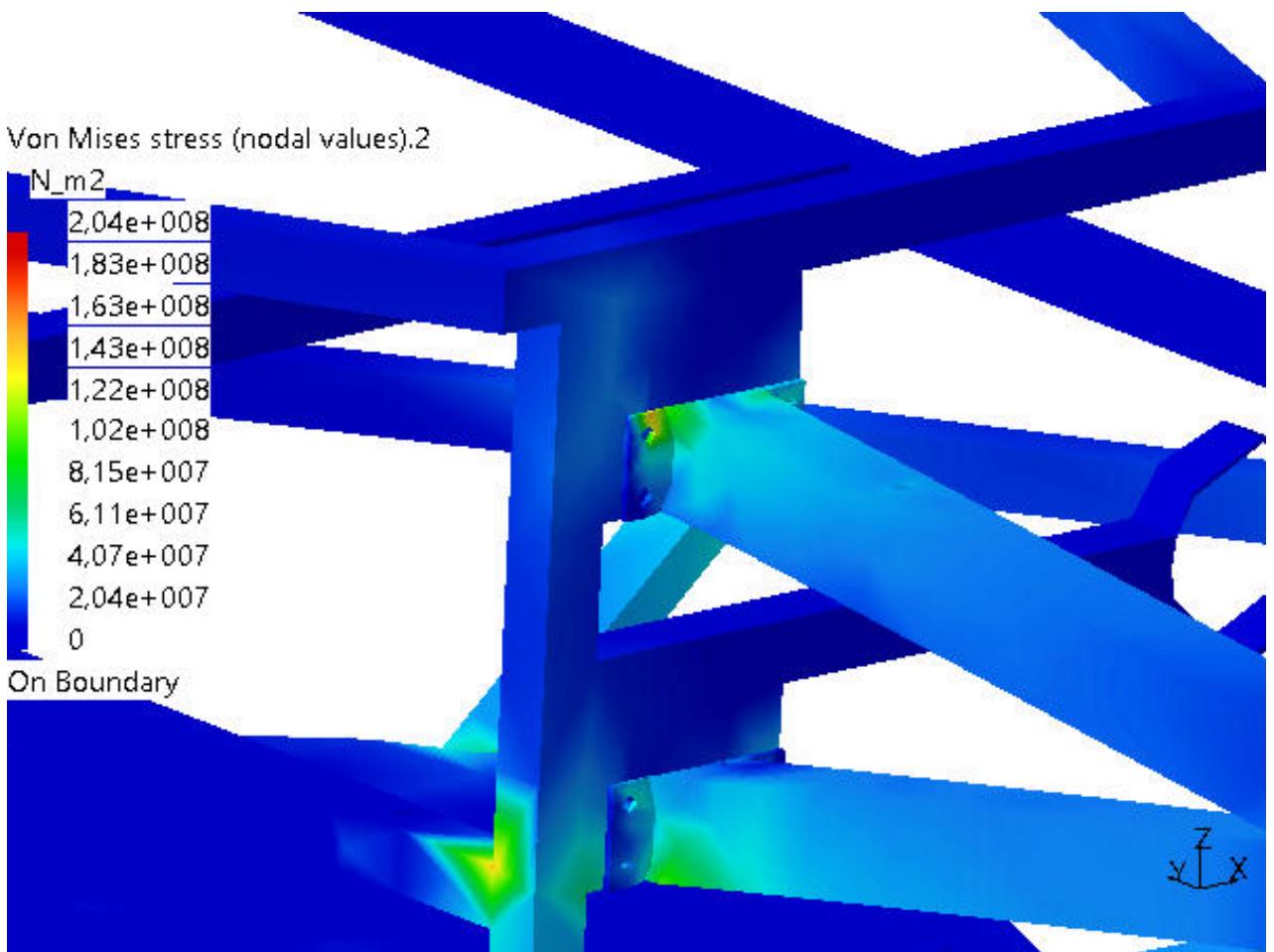


Figura 91 – Resultado 2 da Simulação para o Suporte do Mancal

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 e proteger os eixos das pás.

3.4.3.4 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
My (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 92 – Carga Aplicada na Torre

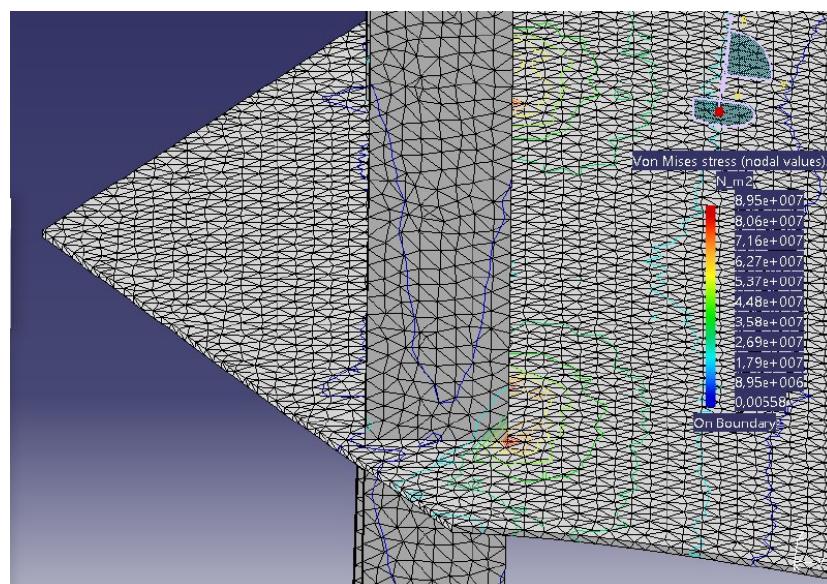


Figura 93 – Malha na torre

MALHA:

Entidade	Tamanho
Nós	97764
Elementos	295076

Figura 94 – Quantidade de nós e elementos na malha da torre

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

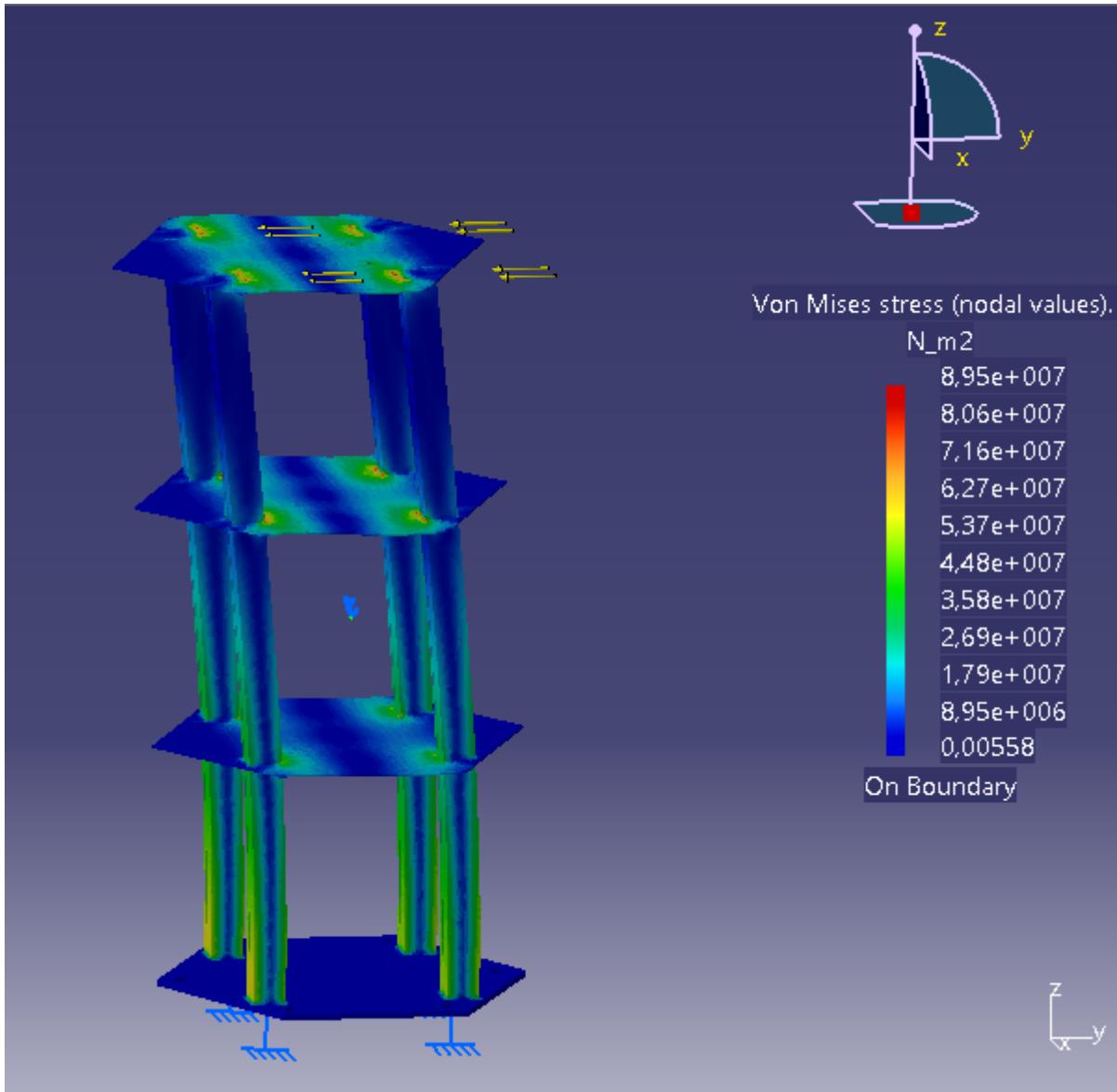


Figura 95 – Resultado 1 da Simulação para a Torre - Tensões Principais

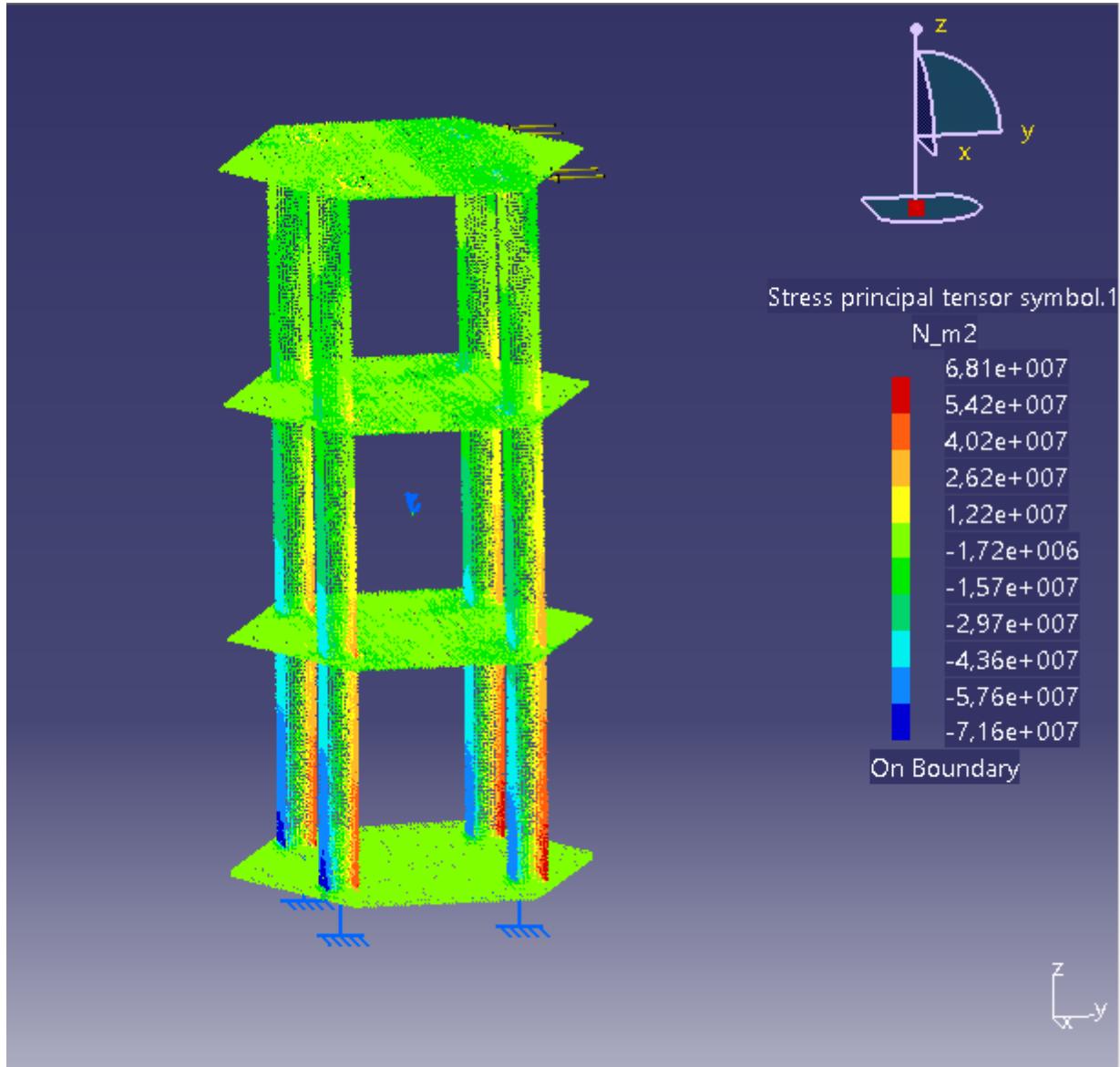


Figura 96 – Resultado 2 da Simulação para a Torre - Tensões de Von Mises

Com os resultados obtidos na simulação, é possível observar que os valores de maiores tensões são nas soldas das chapas com os metalons. Assim, 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.

3.4.4 Diagrama geral de funcionamento da estrutura

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

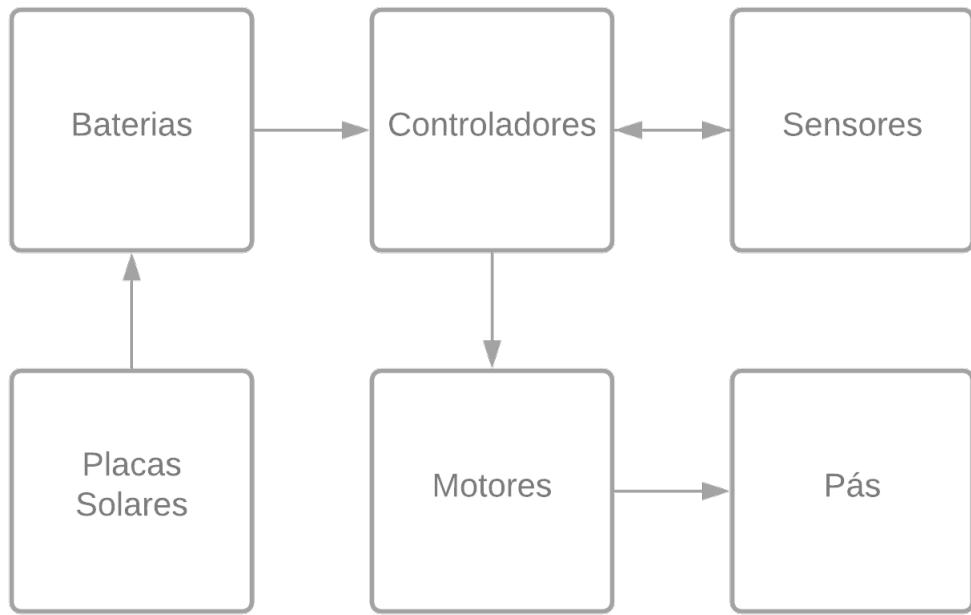


Figura 97 – Diagrama de funcionamento geral do sistema.

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.

3.4.5 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).

$$T(per-effective-blade) = \rho(s)hV_o(V_o - V) \quad (3.13)$$

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.

3.4.5.1 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:

$$R_T = R_W + R_V + R_A \quad (3.14)$$

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:

$$R_T = 0,5 C_T \rho S V^2 \quad (3.15)$$

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 3.13. Da equação citada, temos que encontrar o valor de V_o que pode ser definido como:

$$V_o = 2\pi r_w * RPM / 60; \quad (3.16)$$

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 3.13, 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:

$$\delta_a = \frac{(V_o - V)}{V_o}; \delta_a = 0,3110 \quad (3.17)$$

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:

$$K = 212,5 - 375\delta_a; P_s = \frac{(1.94384 * V)^3 (2 * sh * 10.7639)}{K} 745,7 \quad (3.18)$$

$$P_s = 99,4895W \quad (3.19)$$

$$Torque_s = \frac{60Ps}{(rpm * 2 * pi)} = 15,8342 N.m \quad (3.20)$$

3.4.5.2 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.

$$V(i) = V(i - 1) - R_T(i - 1)t_p/m \quad (3.21)$$

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:

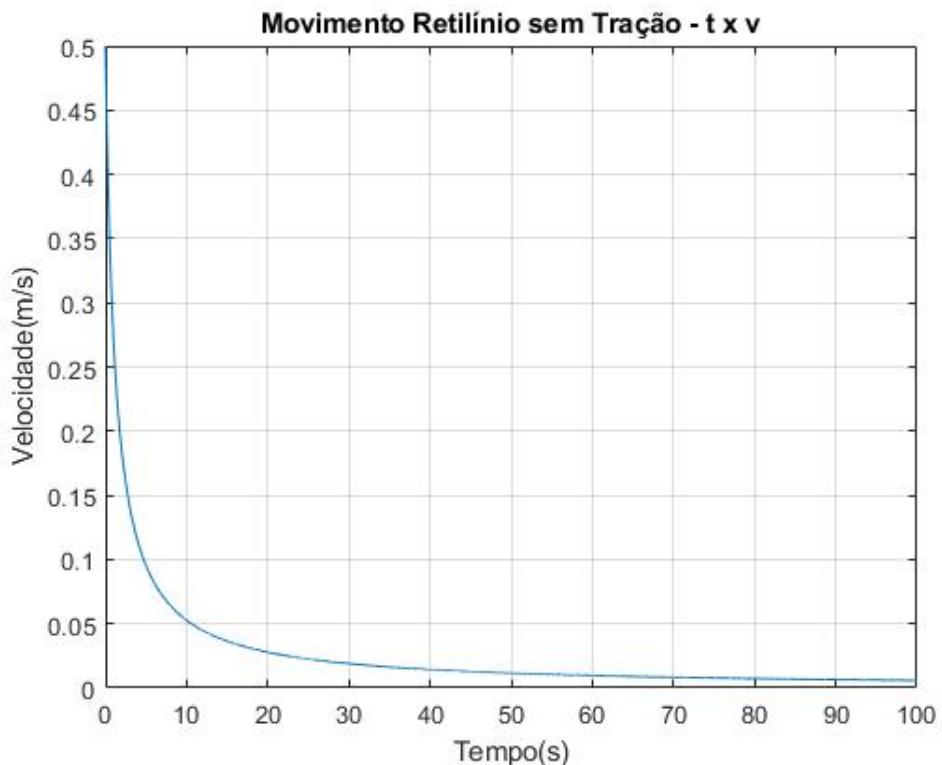


Figura 98 – Movimento Retilíneo sem Tração - Velocidade

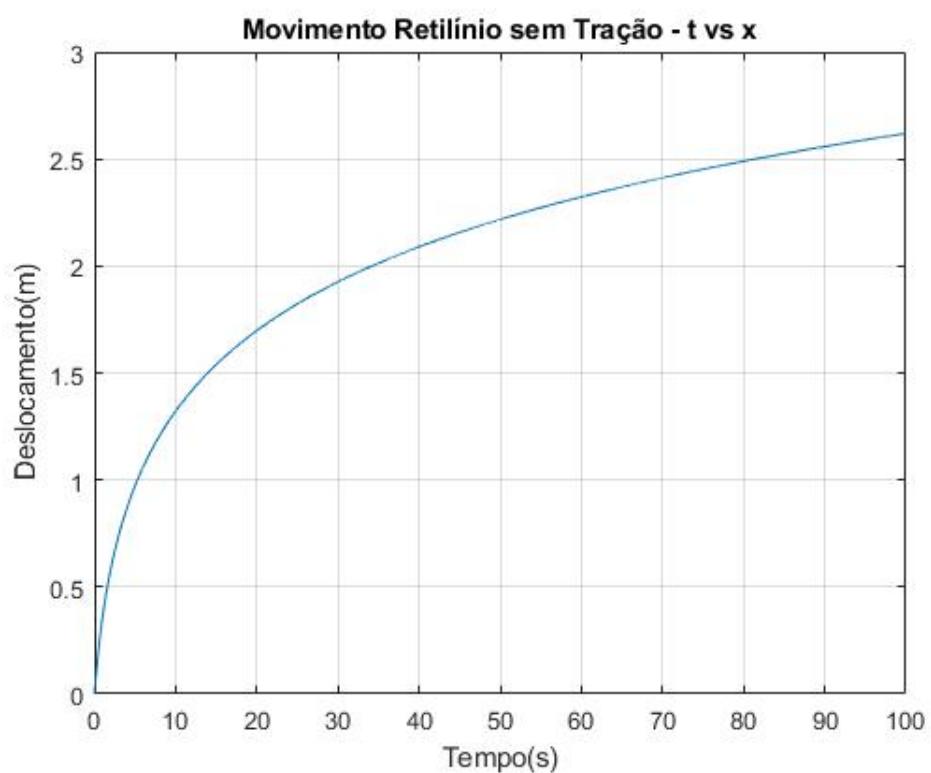


Figura 99 – Movimento Retilíneo sem Tração - Deslocamento

3.4.5.3 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:

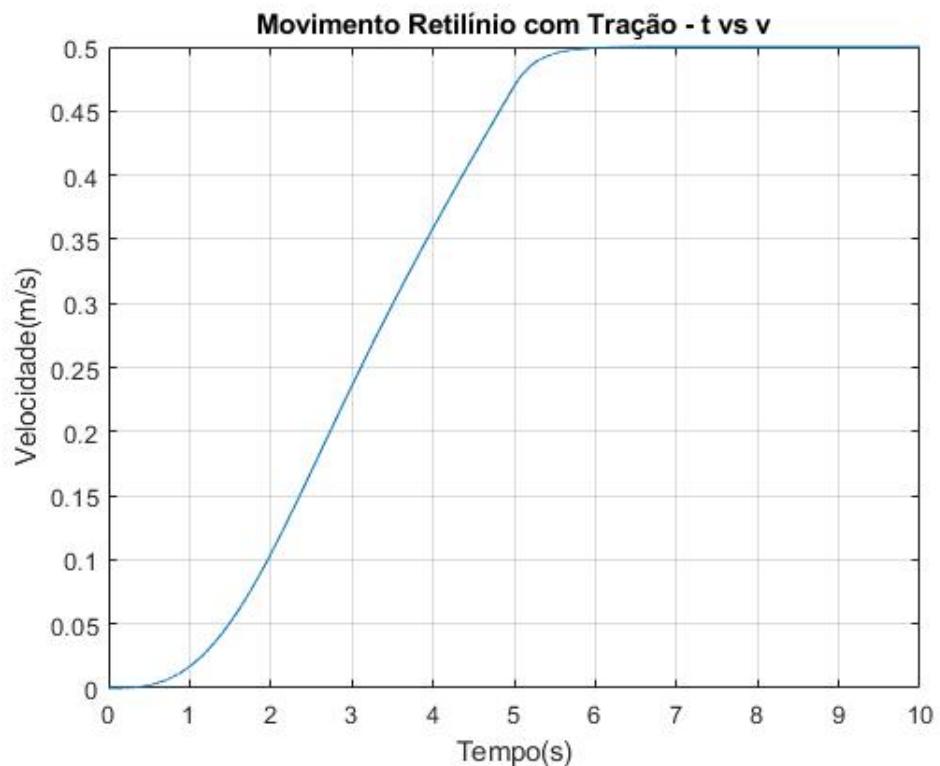


Figura 100 – Movimento Retilíneo com Tração - Velocidade

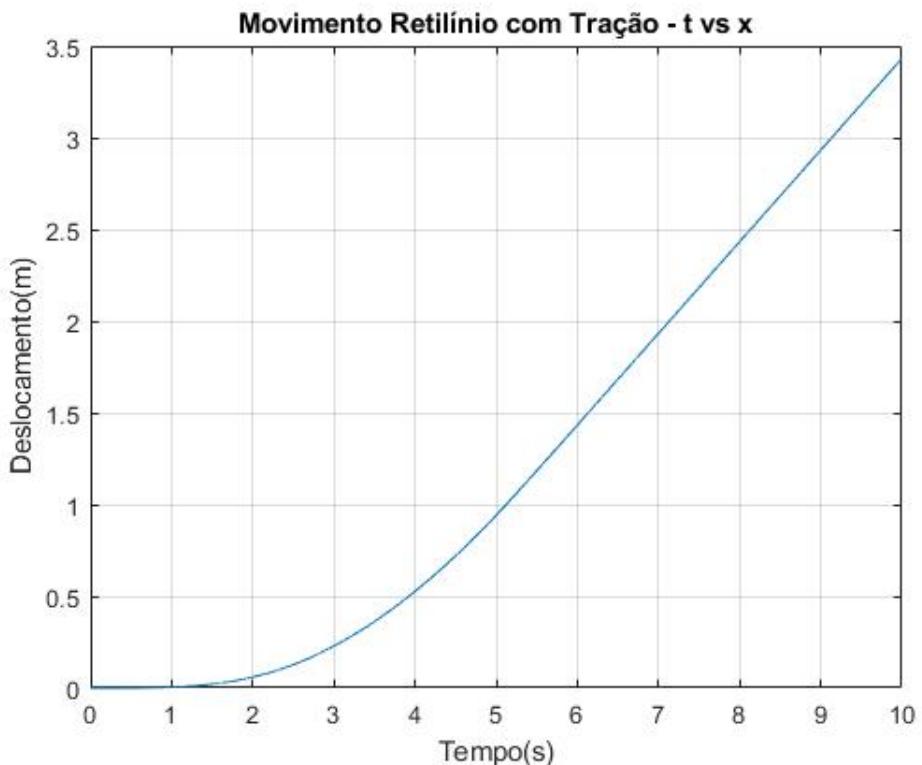


Figura 101 – Movimento Retilíneo com Tração - Deslocamento

3.4.5.4 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:

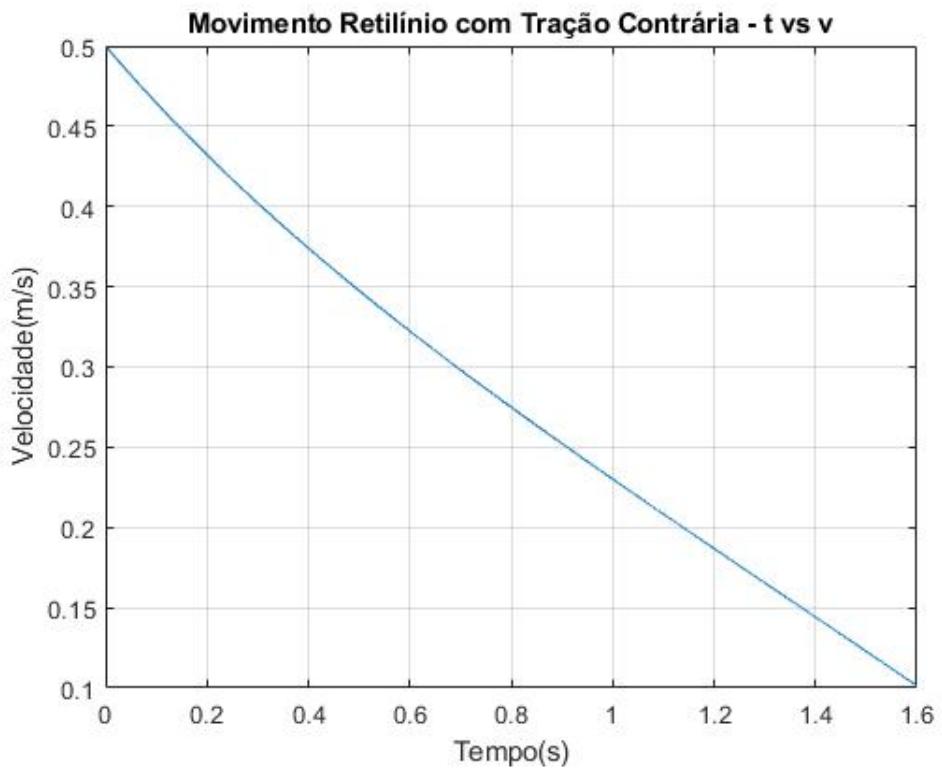


Figura 102 – Movimento Retilíneo com Tração Contrária - Velocidade

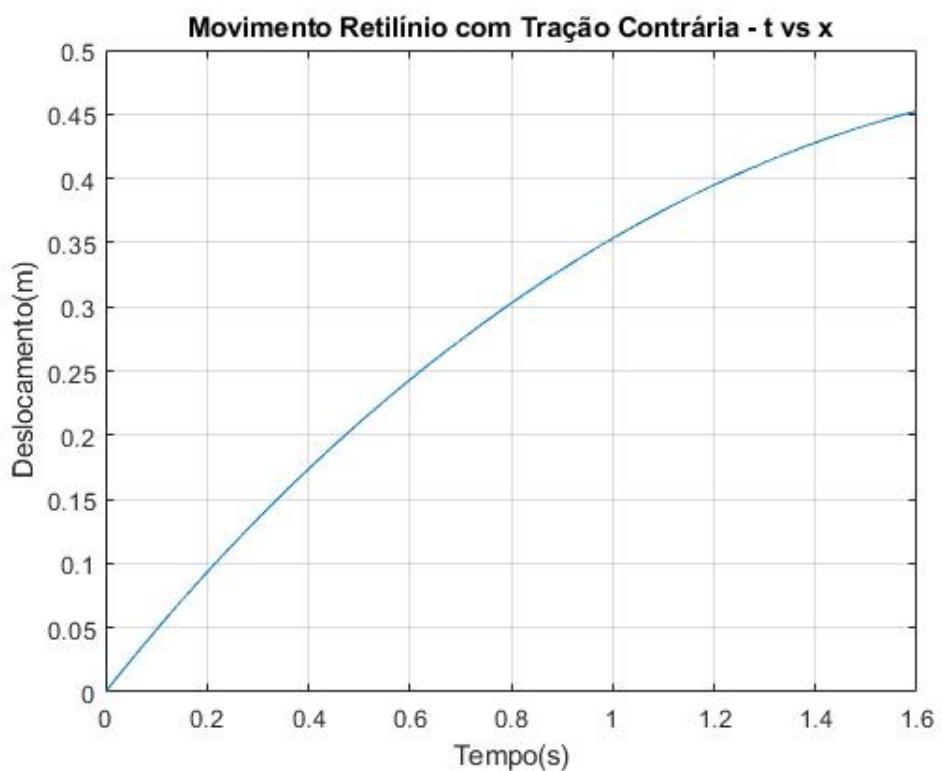


Figura 103 – Movimento Retilíneo com Tração Contrária - Deslocamento

3.4.5.5 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:

$$M = r_r(T - R_T); \quad (3.22)$$

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

$$a_\alpha = \frac{M}{I}; \quad (3.23)$$

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.

$$w(i) = w(i - 1) + a_\alpha(i - 1)tp \quad (3.24)$$

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

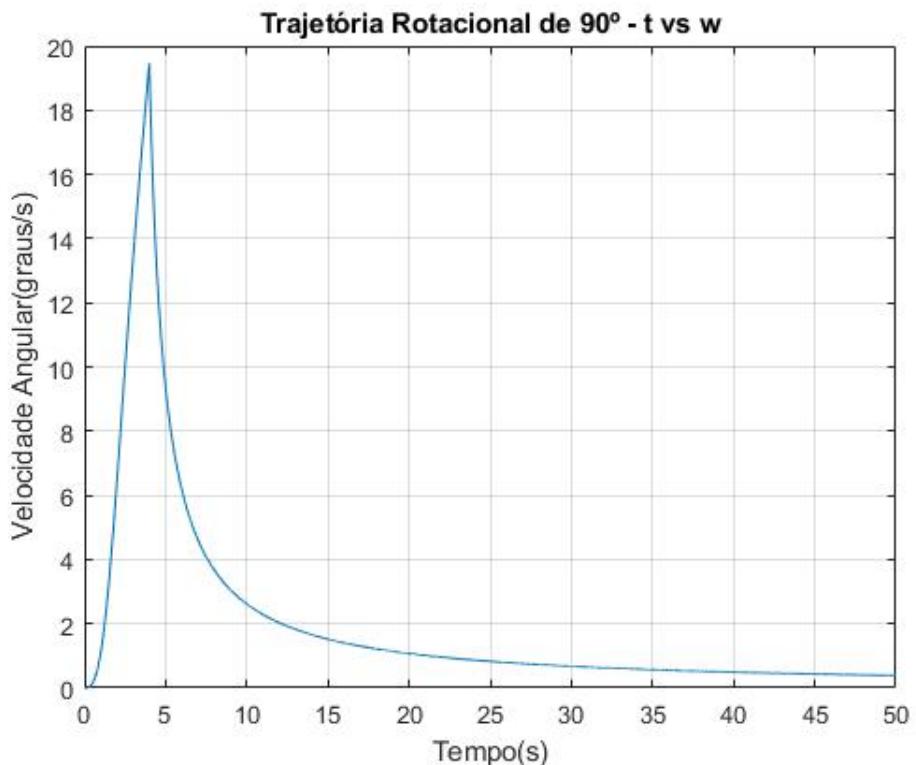


Figura 104 – Trajetória Rotacional de 90º - Velocidade Angular

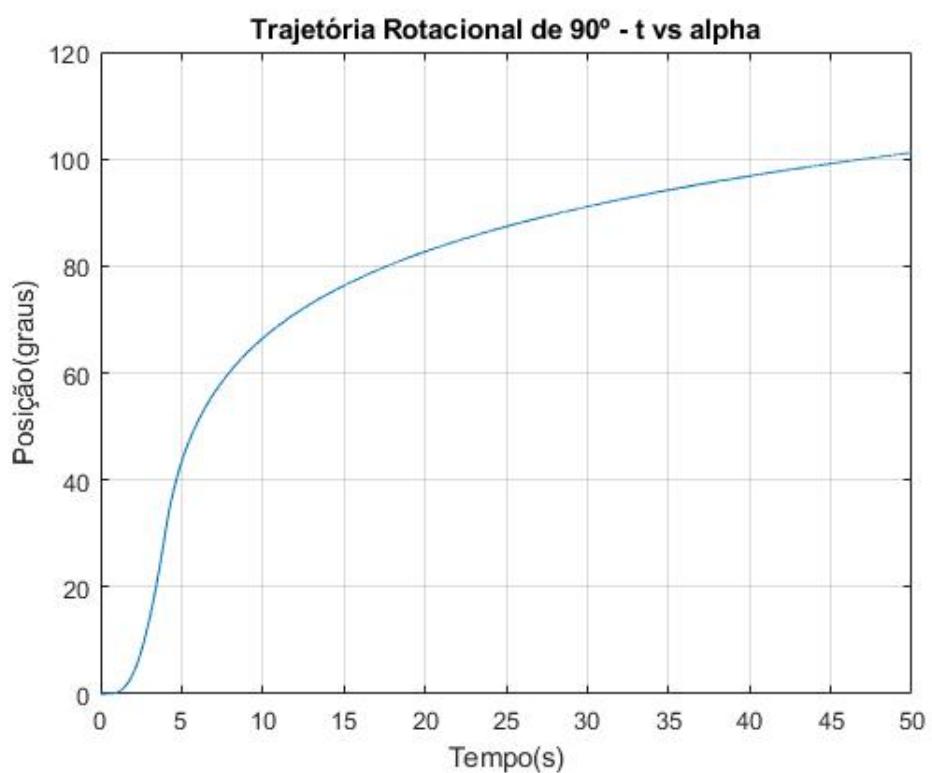


Figura 105 – Trajetória Rotacional de 90º - Deslocamento Angular

4 Plano de Fabricação

4.0.1 Estruturas Metálicas

4.0.1.1 Esqueleto Central

ETAPA 1

Leitura e interpretação dos desenhos técnicos para determinação das dimensões e espessuras de cada peça estrutural, especificação do material selecionado, e escolha das chapas e tubos metálicos a serem utilizados.

ETAPA 2

Fabricação do quadro hexagonal do esqueleto central de acordo com as seguintes operações:

Tabela 24 – Fabricação do Quadro Hexagonal

Sequência	Operação	Máquina/Ferramenta
1	Corte dos tubos de aço 1020 galvanizado	Serra policorte e/ou esmerilhadeira angular
2	Furação dos tubos indicados nos desenhos técnicos para parafusos M10X100	Furadeira convencional com broca HSS
3	Soldagem dos tubos de aço 1020 galvanizado com angulação de 120° entre as peças superiores e inferiores	Máquina de Solda TIG

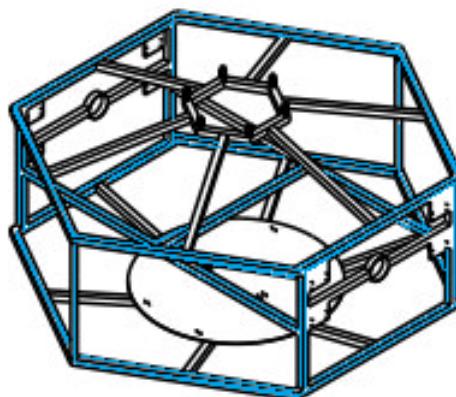


Figura 106 – Quadro Hexagonal

ETAPA 3

Fabricação do quadro superior do esqueleto central de acordo com as seguintes operações:

Tabela 25 – Fabricação do Quadro Superior

Sequência	Operação	Máquina/Ferramenta
1	Corte dos tubos de aço 1020 galvanizado	Serra policorte e/ou esmerilhadeira angular
2	Soldagem dos tubos de aço 1020 galvanizado com angulação de 120°	Máquina de Solda TIG
3	Furação dos tubos para parafusos M20X100 de acordo com indicação nos desenhos técnicos	Furadeira convencional com broca HSS

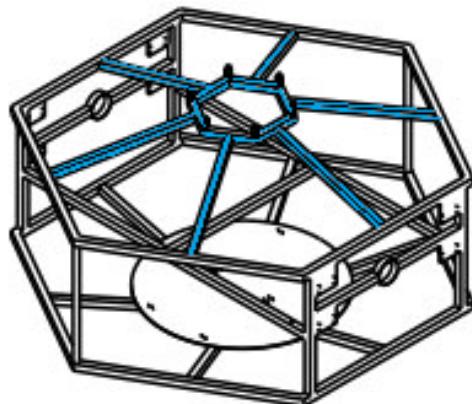


Figura 107 – Quadro Superior

ETAPA 4

Fabricação das chapas de fixação e barras de suporte para o eixo de acordo com as seguintes operações:

Tabela 26 – Fabricação das Chapas de Fixação e Barras de Suporte

Sequência	Operação	Máquina/Ferramenta
1	Corte das chapas de aço conforme dimensionamento nos desenhos técnicos	Máquina de corte a plasma
2	Furação das chapas para parafusos M10x100 de acordo com indicação nos desenhos técnicos	Furadeira convencional com broca HSS
3	Corte dos tubos de aço 1020 galvanizado	Serra policorte e/ou esmerilhadeira angular
4	Conformação dos círculos centrais a serem fixados nas barras	Curvador de tubos tipo Calandra
5	Soldagem das barras e chapas de fixação	Máquina de Solda TIG

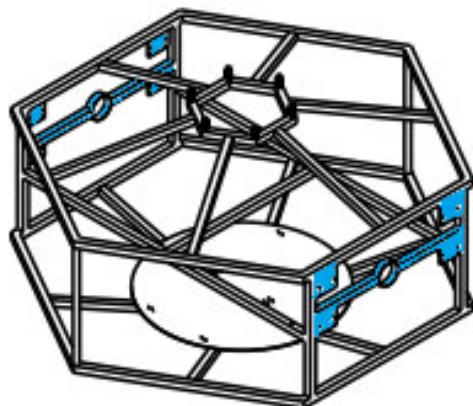


Figura 108 – Chapas de Fixação e Barras de Suporte

ETAPA 5

Montagem do esqueleto central a partir da união dos quadros fabricados anteriormente de acordo com as seguintes operações:

Tabela 27 – Fabricação do Esqueleto Central

Sequência	Operação	Máquina/Ferramenta
1	Soldagem do quadro superior com o quadro hexagonal	Máquina de Solda TIG
2	Soldagem das barras de suporte para eixo e chapas de fixação no quadro hexagonal	Máquina de Solda TIG
3	Soldagem das barras inferiores no quadro hexagonal	Máquina de Solda TIG
	Furação da placa circular para parafusos M10x50 de acordo com indicação nos desenhos técnicos	Furadeira convencional com broca HSS
4	Soldagem da placa circular inferior nas barras inferiores	Máquina de Solda TIG

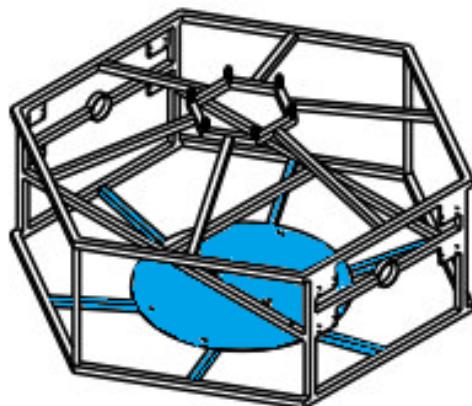


Figura 109 – Barras e Placa Circular Inferior

4.0.1.2 Suporte das baterias, pás, placas solares

ETAPA 6

Leitura e interpretação dos desenhos técnicos para determinação das dimensões e espessuras de cada peça estrutural, especificação do material selecionado, e escolha dos tubos metálicos a serem utilizados.

ETAPA 7

Fabricação dos suportes metálicos para as baterias, pás e placas solares, de acordo com as seguintes operações:

Tabela 28 – Fabricação dos Suportes Metálicos

Sequência	Operação	Máquina/Ferramenta
1	Corte dos tubos de aço 1020 galvanizado	Serra policorte e/ou esmerilhadeira angular
2	Soldagem dos tubos de aço 1020 galvanizado de acordo com indicação nos desenhos técnicos	Máquina de Solda TIG
3	Furação dos tubos para parafusos M10x50, M10x100 e M20X100	Furadeira convencional com broca HSS

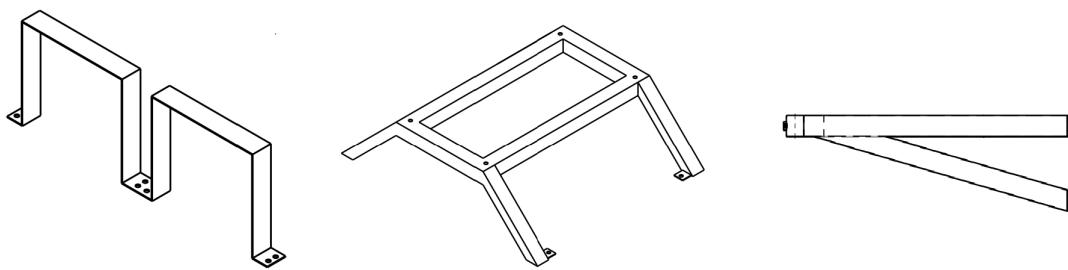


Figura 110 – Suportes Metálicos

4.0.1.3 Torre

ETAPA 8

Leitura e interpretação dos desenhos técnicos para determinação das dimensões e espessuras de cada peça estrutural, especificação do material selecionado, e escolha das chapas e tubos metálicos a serem utilizados.

ETAPA 9

Fabricação das barras e chapas da torre de acordo com as seguintes operações:

Tabela 29 – Fabricação da Torre

Sequência	Operação	Máquina/Ferramenta
1	Corte dos tubos de aço 1020 galvanizado	Serra policorte e/ou esmerilhadeira angular
2	Corte das chapas de aço conforme dimensionamento nos desenhos técnicos	Máquina de corte a plasma
3	Soldagem dos tubos com as chapas de aço 1020 galvanizado	Máquina de Solda TIG
4	Furação das chapas de aço para parafusos M10x30 e M20X100	Furadeira convencional com broca HSS

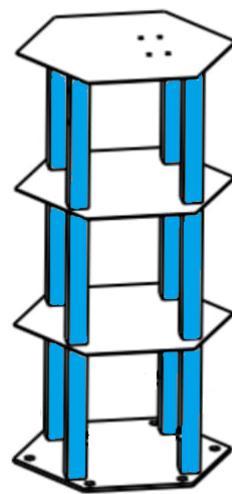


Figura 111 – Barras da Torre

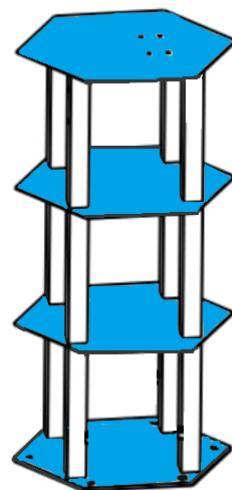


Figura 112 – Chapeamento da Torre

4.0.2 Estrutura Flutuante

4.0.2.1 Carenagem Principal

ETAPA 1

Leitura e interpretação dos desenhos técnicos para determinação das dimensões e espessuras de cada peça estrutural, especificação dos materiais selecionados, e escolha das chapas de madeiras para moldes, resinas e fibra de vidro.

ETAPA 2

Fabricação dos laminados de fibra de vidro de acordo com as seguintes operações:

Tabela 30 – Fabricação do Laminado

Sequência	Operação	Máquina/Ferramenta
1	Corte das placas de madeira que serão utilizadas como molde para laminação da fibra de vidro	Serra de bancada
2	Aparafusamento das placas de madeira com angulação de 120° entre elas	Furadeira convencional
3	Aplicação de camadas de Cera de Carnaúba no molde de madeira	-
4	Aplicação de Desmoldante RDL 40 sobre o molde	-
5	Laminação das mantas de fibra de vidro sobre o molde com a aplicação de resina Epóxi em sequência de camadas	-
6	Cura do laminado	-
7	Desmoldagem do laminado	-

ETAPA 3

Fabricação dos painéis em sanduíche com as camadas externas e internas de laminado de fibra de vidro e núcleo de espuma de PVC, de acordo com as seguintes operações:

Tabela 31 – Fabricação dos Painéis Sanduíche

Sequência	Operação
1	Aplicação de material adesivo para fixação sobre ambas superfícies a serem unidas
2	Secagem adequada dos adesivos
3	Prensagem em conjunto dos materiais

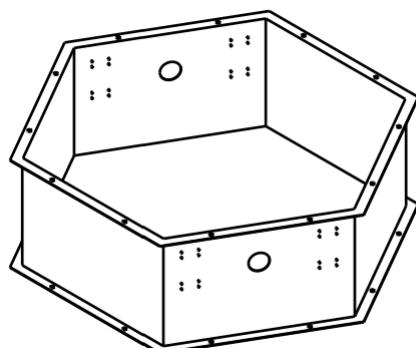


Figura 113 – Carenagem Principal

4.0.2.2 Tampas superior e inferior

ETAPA 4

Fabricação das tampas superior e inferior seguindo procedimento semelhante a fabricação da carenagem principal:

Tabela 32 – Fabricação das Tampas

Sequência	Operação	Máquina/Ferramenta
1	Corte das placas de madeira que serão utilizadas como molde para laminação da fibra de vidro	Serra de bancada
2	Aparafusamento das placas de madeira conforme indicação nos desenhos técnicos	Furadeira convencional
3	Aplicação de camadas de Cera de Carnaúba no molde de madeira	-
4	Aplicação de Desmoldante RDL 40 sobre o molde	-
5	Laminação das mantas de fibra de vidro sobre o molde com a aplicação de resina Epóxi em sequência de camadas	-
6	Cura do laminado	-
7	Desmoldagem do laminado	-

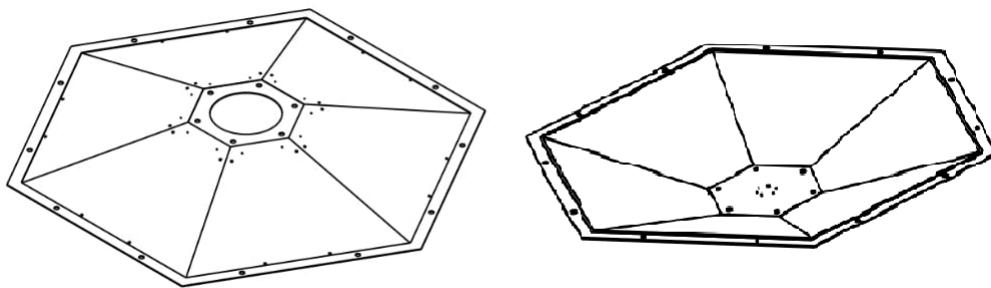


Figura 114 – Tampas Superior e Inferior

4.0.3 Rodas de Pás

ETAPA 1

Leitura e interpretação dos desenhos técnicos para determinação das dimensões e espessuras das pás, especificação do material selecionado, e escolha das chapas e tubos metálicos a serem utilizados.

ETAPA 2

Fabricação das rodas de pás de acordo com as seguintes operações:

Tabela 33 – Fabricação das Rodas de Pás

Sequência	Operação	Máquina/Ferramenta
1	Fabricação das pás por meio de corte das chapas de aço conforme dimensionamento nos desenhos técnicos	Máquina de corte a plasma
2	Corte do tubo central de aço	Serra policorte
3	Corte das barras de aço para fixação no tubo central	Serra policorte
4	Corte das barras de aço laterais	Serra policorte
5	Conformação das barras laterais a serem fixados nas pás	Curvador de tubos tipo Calandra
6	Soldagem das pás e barras de fixação no tubo central	Máquina de Solda TIG
7	Soldagem das barras laterais conformadas conforme indicação nos desenhos técnicos	Máquina de Solda TIG

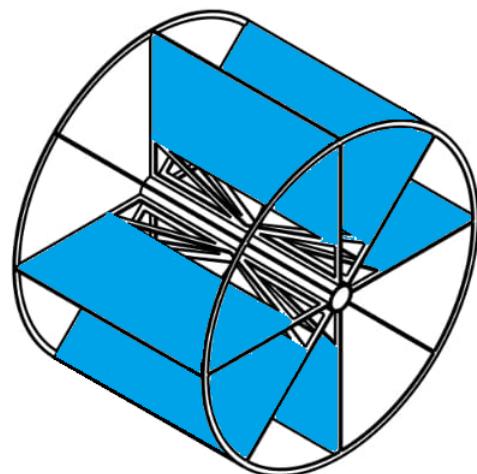


Figura 115 – Pás

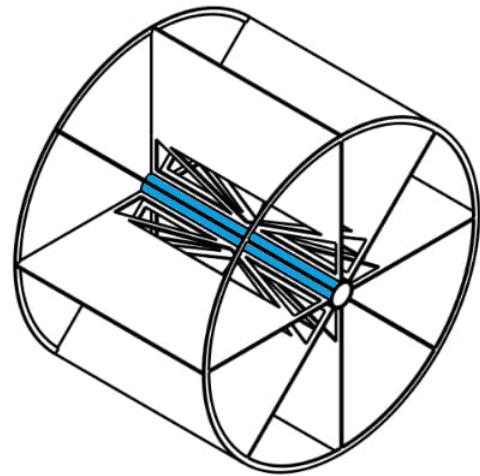


Figura 116 – Tubo Central

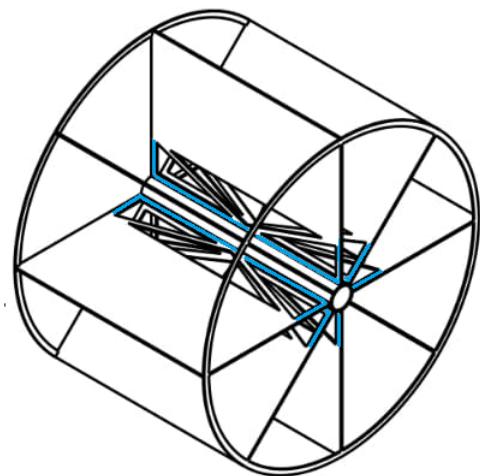


Figura 117 – Barras de Fixação

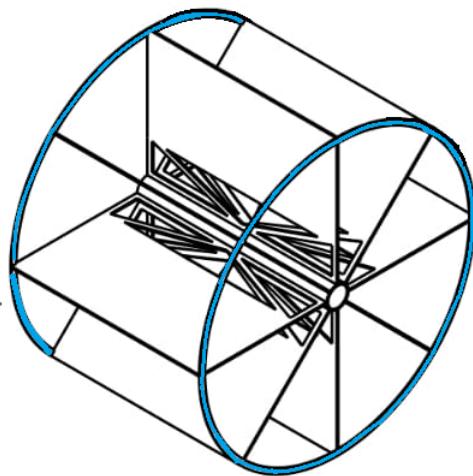


Figura 118 – Barras Laterais

4.0.4 Eixos Propulsores

ETAPA 1

Leitura e interpretação dos desenhos técnicos para determinação das dimensões e espessuras do eixo propulsor e especificação do material selecionado.

ETAPA 2

Usinagem do eixo propulsor em torno mecânico.

5 Manual de Montagem

O AquaData é composto por diversos subsistemas que são integrados através de uma estrutura central, suportes laterais, torre, pás e carenagem. A principal função é o monitoramento da qualidade da água de um ecossistema aquático de uma determinada região. A AquaData conta com design simples e de fácil montagem. Recomenda-se que toda montagem, instalação e manutenção contida neste manual do usuário seja realizada por um profissional técnico qualificado do fabricante.

Para a montagem, certifique-se que todos os componentes abaixo estejam presentes:

Tabela 34 – Número relativo para cada peça

Nº	Nome	Quantidade
1	Esqueleto Central	1
2	Carenagem Principal	1
3	Tampa Superior	1
4	Tampa Inferior	1
5	Suporte das pás	2
6	Pás	2
7	Placa Solar	8
8	Torre	1
9	Placa de madeira	1
10	Vedaçāo Borracha G	2
11	Vedaçāo Alumínio G	4
12	Vedaçāo Borracha P	
13	Eixo	2
14	Mancal	2
15	Rolamento	4
16	Polia	2
17	Correia	2
18	Suporte das Baterias	2
19	Baterias	2
20	Sinalizador	1
21	Parafuso M20x100 de passo 1.5mm	24
22	Porca M20 de passo 1.5mm	36
23	Parafuso M10x100 de passo 1mm	44
24	Porca M10 de passo 1mm	100
25	Parafuso M10x50 de passo 1mm	24
26	Parafuso M10x30 de passo 1mm	24
27	Parafuso M10x150 de passo 1mm	8
28	Proteção dos Sensores	1
29	Sensores	6
30	Suporte da placa solar	2
31	Boia lateral	2

Procedimento de Montagem:

É importante ressaltar a necessidade de seguir os comandos na mesma ordem descrita abaixo para não haver problemas de montagem ou afins. Para o passo a passo de montagem, identificaremos os itens referentes a cada etapa com a tabela acima através do uso de () e o número identificado.

No início da montagem, utiliza-se o esqueleto central (1) como base para o encaixe dos componentes estruturais, figura 119 .

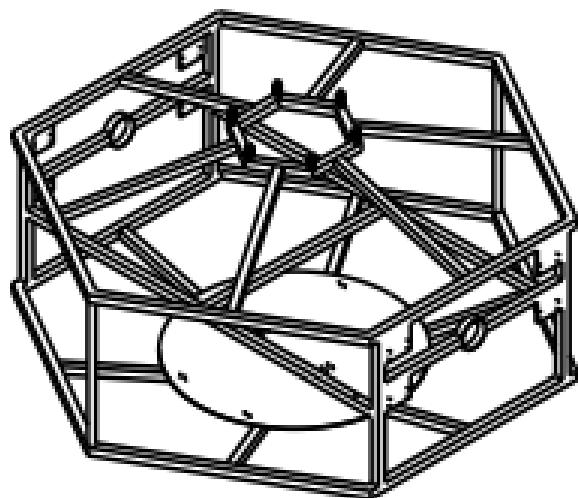


Figura 119 – Esqueleto Central

A montagem se inicia montando os componentes internos. A partir do esqueleto central (1), deve-se fixar a placa de madeira no seu interior com o auxílio de 4 parafusos M10x100 (23) e 4 porcas M10 (24), a placa de madeira deve ser posicionada no centro do esqueleto central, deve se alinhar os 4 furos das extremidades da placa de madeira com os furos contidos nas barras de metalon no interior do esqueleto central, figura 120.

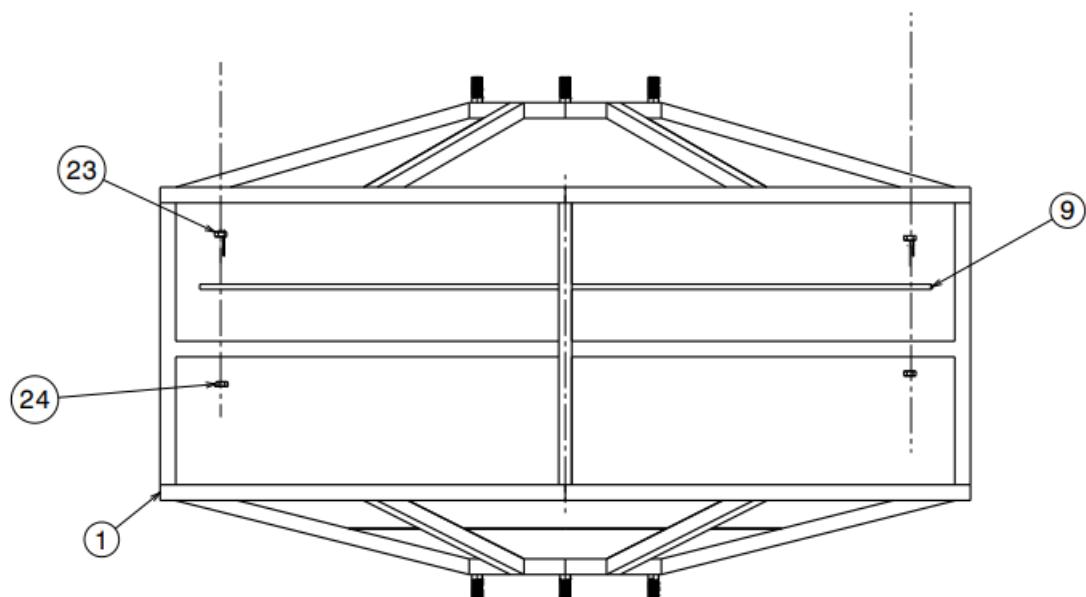


Figura 120 – Desenho da montagem da placa de madeira no esqueleto central

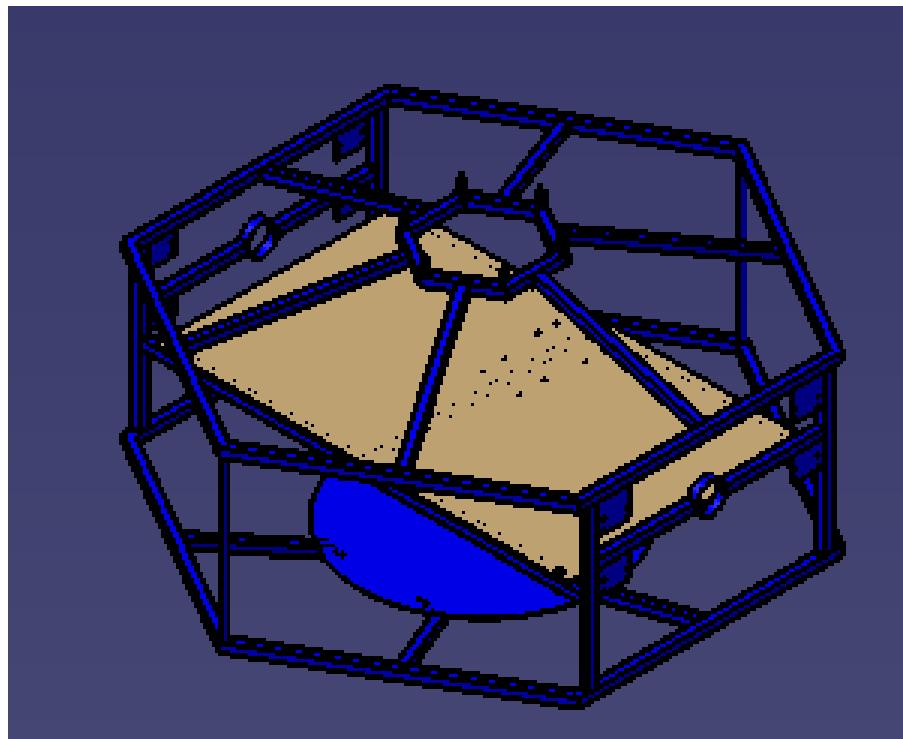


Figura 121 – Vista isométrica da montagem da placa de madeira no esqueleto central

Nesta placa de madeira será fixado o controlador de carga, a placa controladora e os motores como será mostrado ao longo do manual.

O próximo passo é adicionar as baterias (19) e os suportes das baterias (18), eles serão fixados na plataforma circular na parte inferior interna do esqueleto central (1) com o auxílio dos parafusos M10x50 e das porcas M10, figura 122 e 123 .

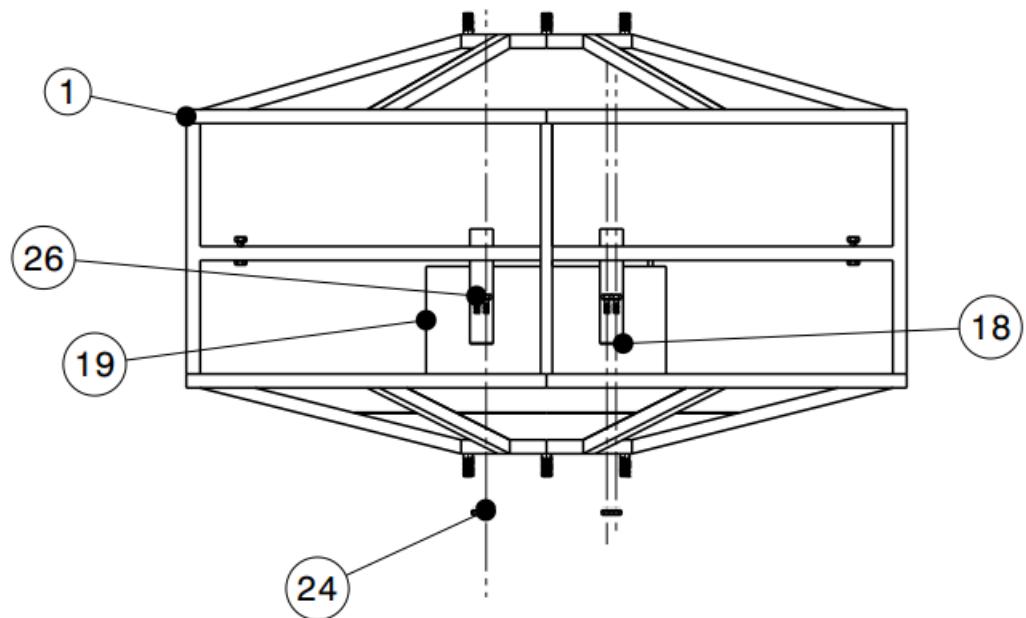


Figura 122 – Montagem da bateria no esqueleto central

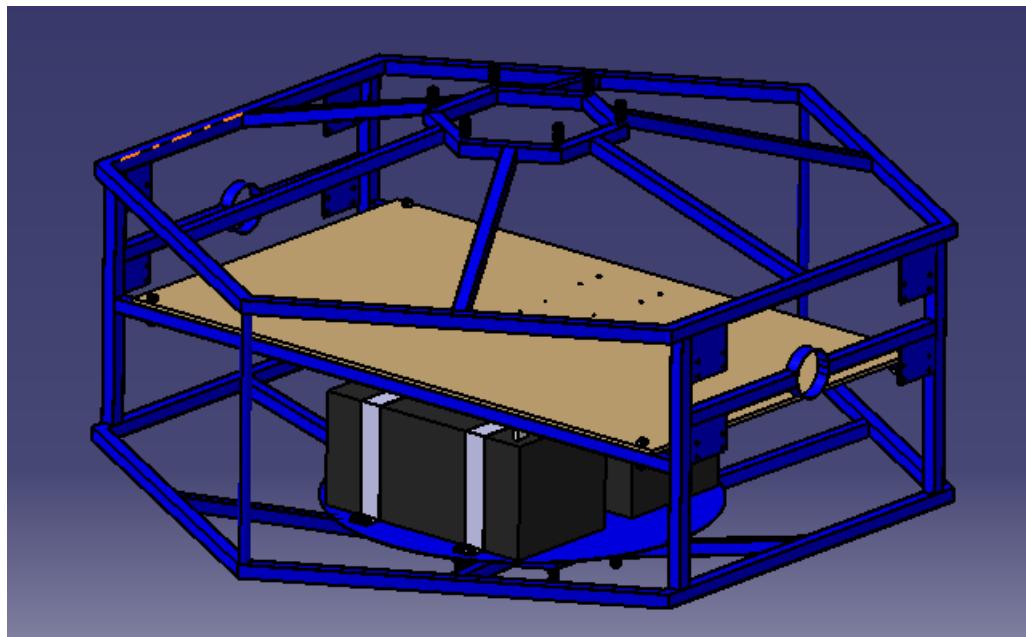


Figura 123 – Vista isométrica da montagem da bateria

Nessa etapa é necessário encaixar os rolamentos (15) nas laterais do esqueleto central (1) que possui os círculos para fixação, figura 124 e 125. Para uma melhor fixação é necessário aquecer com maçarico os círculos no esqueleto onde vai ser encaixado os rolamentos mas antes coloque os rolamentos em um congelador, com os círculos bem quentes e os rolamentos bem gelados, encaixe eles e deixe entrar em equilíbrio térmico. Espere esfriar para seguir para próxima etapa.

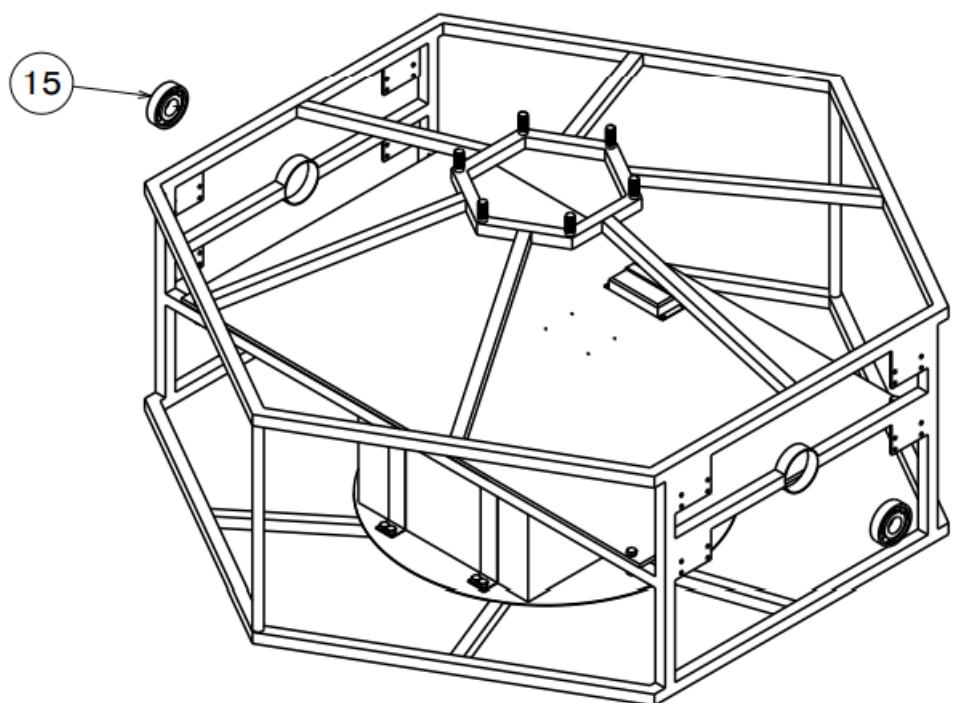


Figura 124 – Encaixe dos rolamentos

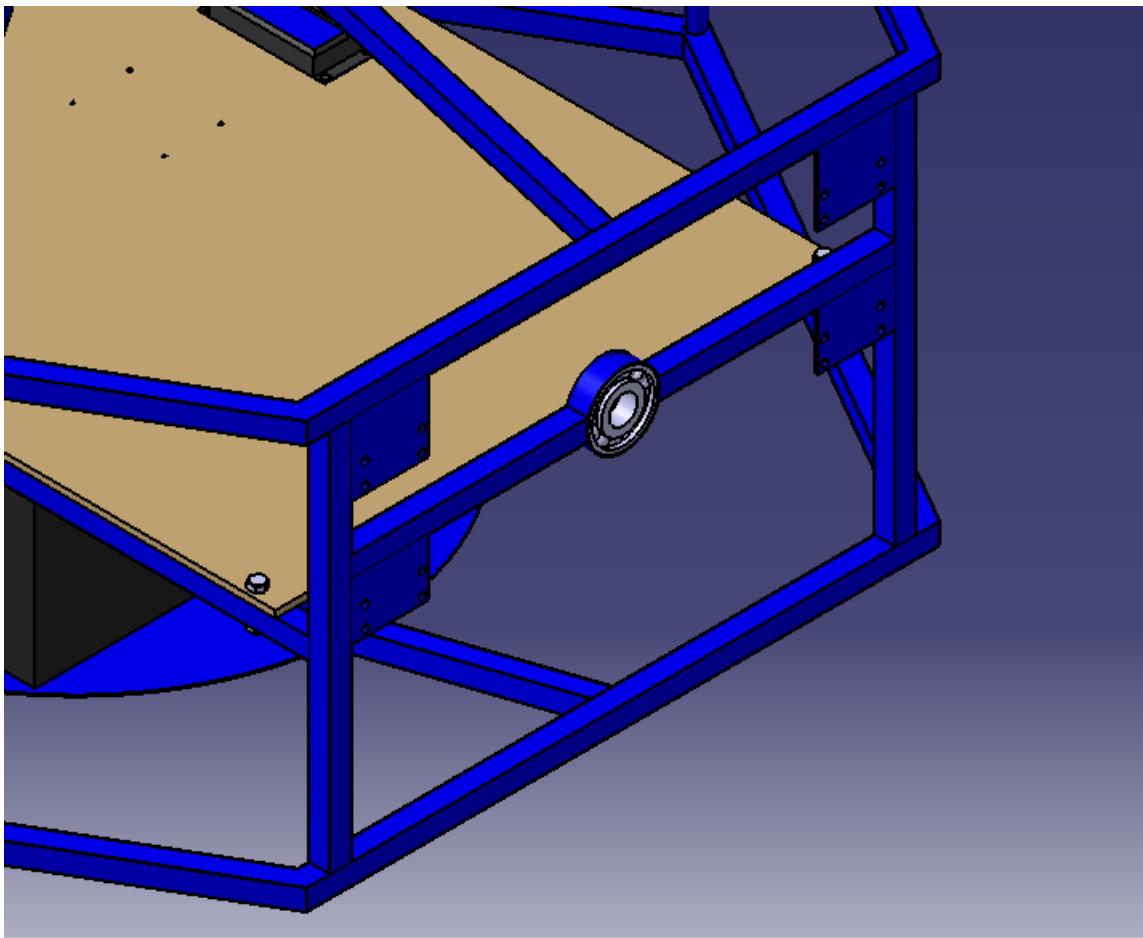


Figura 125 – Vista isométrica dos rolamentos já encaixados

A partir daqui, deve-se encaixar a carenagem principal (2). É necessário verificar se os furos laterais estão alinhados com o do esqueleto central (1). Logo após, os suportes das pás (4) devem ser fixados no esqueleto central (1) utilizando os parafusos M10x100 e as porcas M10, como mostrado na figura 126 . A carenagem principal (2) será fixada quando os suportes das pás (5) forem parafusados, os parafusos M10x100 (23) irão fixar as três estruturas, esqueleto central (1), carenagem principal (2) e suporte das pás (5), figura 127, 128 e 129.

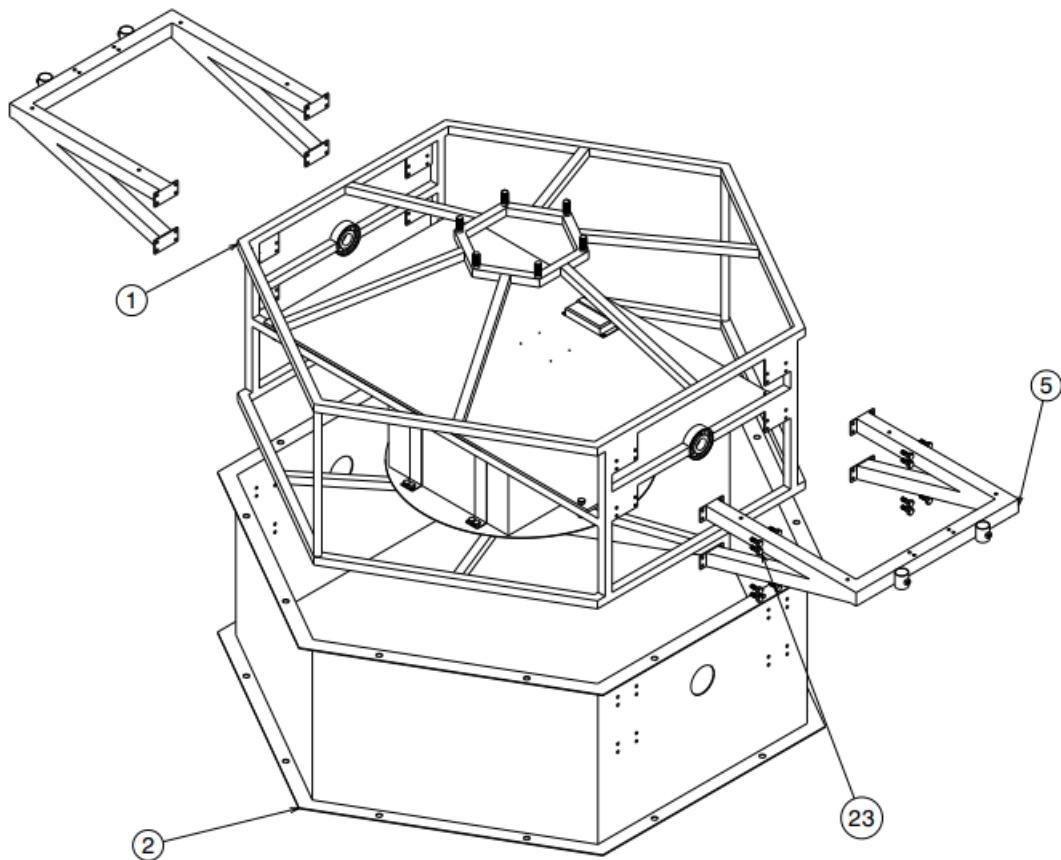


Figura 126 – Montagem dos suportes laterais e da carenagem principal

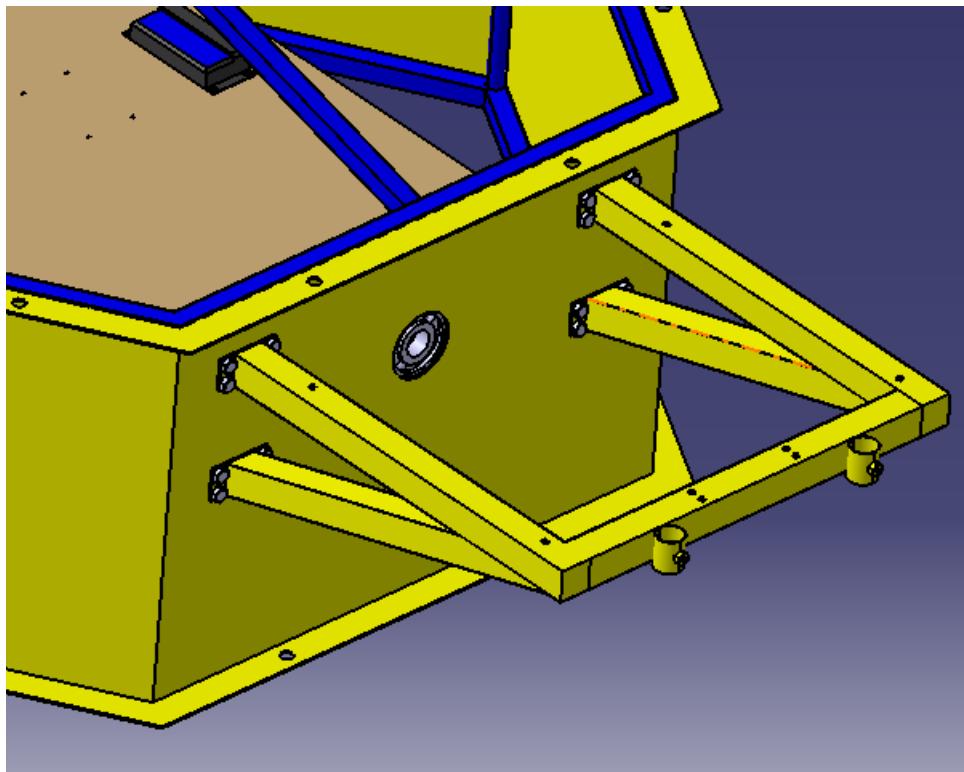


Figura 127 – Suporte lateral

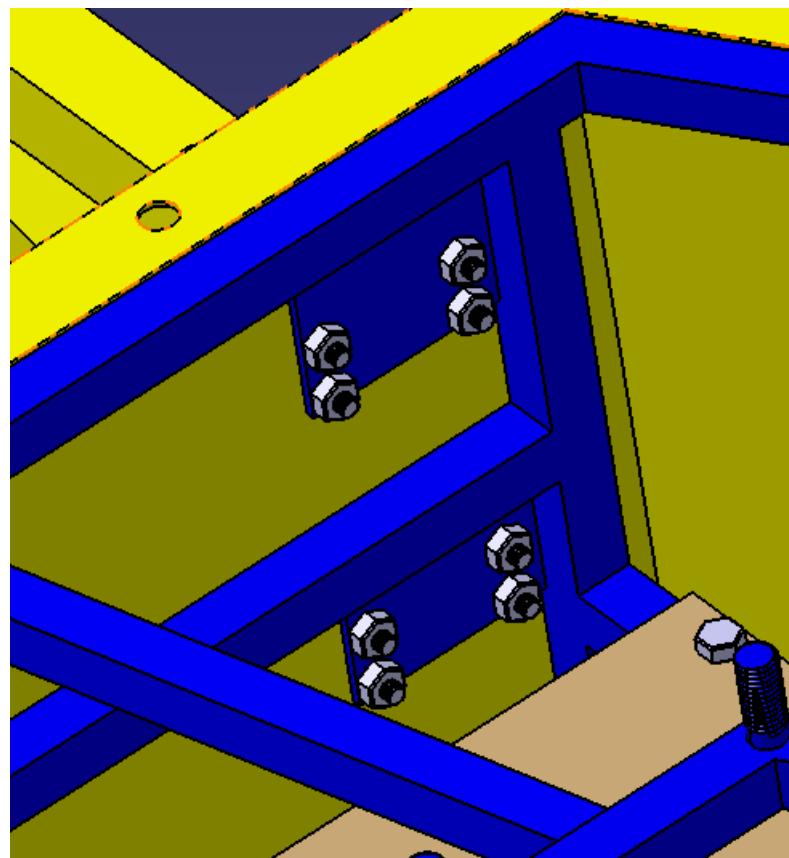


Figura 128 – Encaixe dos suportes laterais por dentro do AquaData

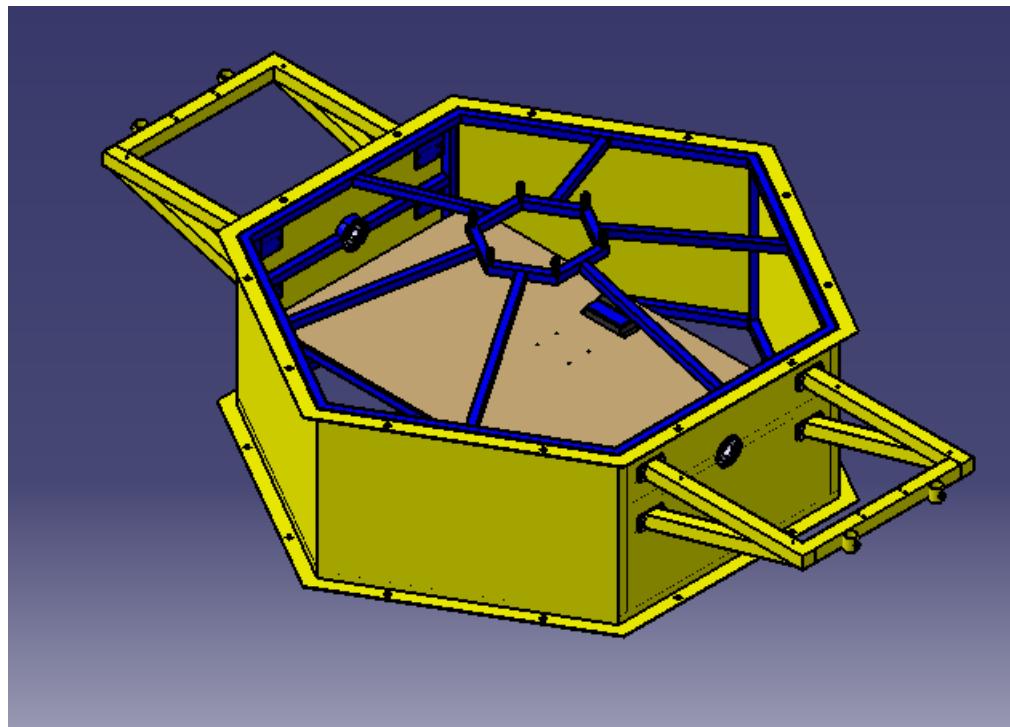


Figura 129 – Vista isométrica da montagem

Feito isto, agora é hora de encaixar os sensores que irão ficar em contato com a água na tampa inferior (4) (verifique na parte de eletrônica do manual quais são os sensores, também verifique se estão presentes todos os componentes de eletrônica na hora da montagem do Aqua-Data), para isso é necessário inseri-los nos orifícios presentes na parte inferior da peça como mostra a figura 130 e 131. Os sensores serão colocados de fora para dentro, eles possuem rosca na parte inferior, onde deve ser fixado através dessa rosca.

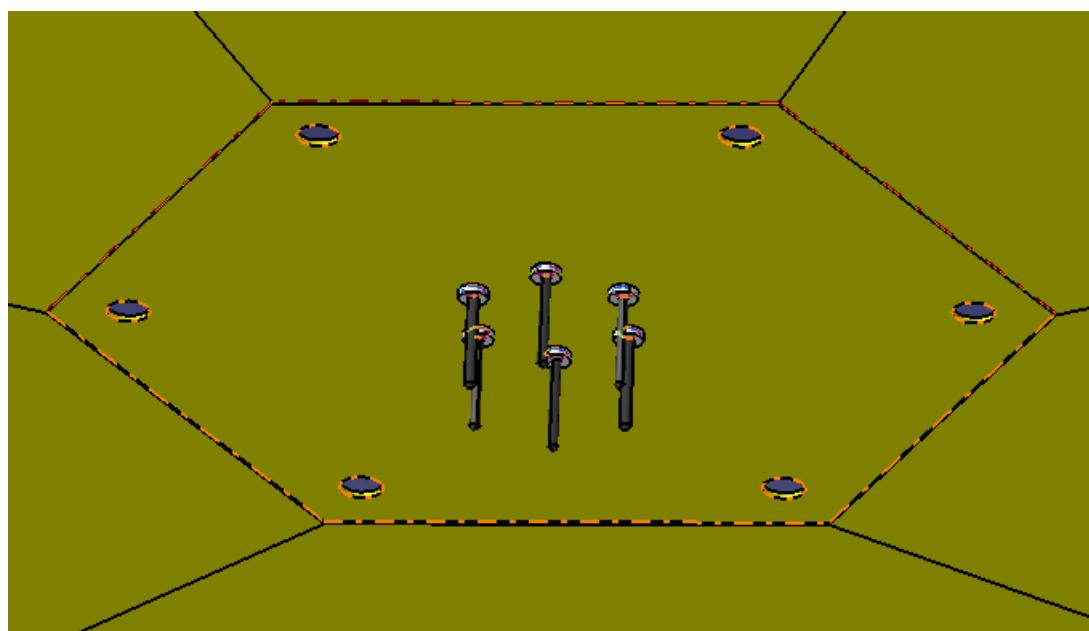


Figura 130 – Sensores fixados na tampa inferior

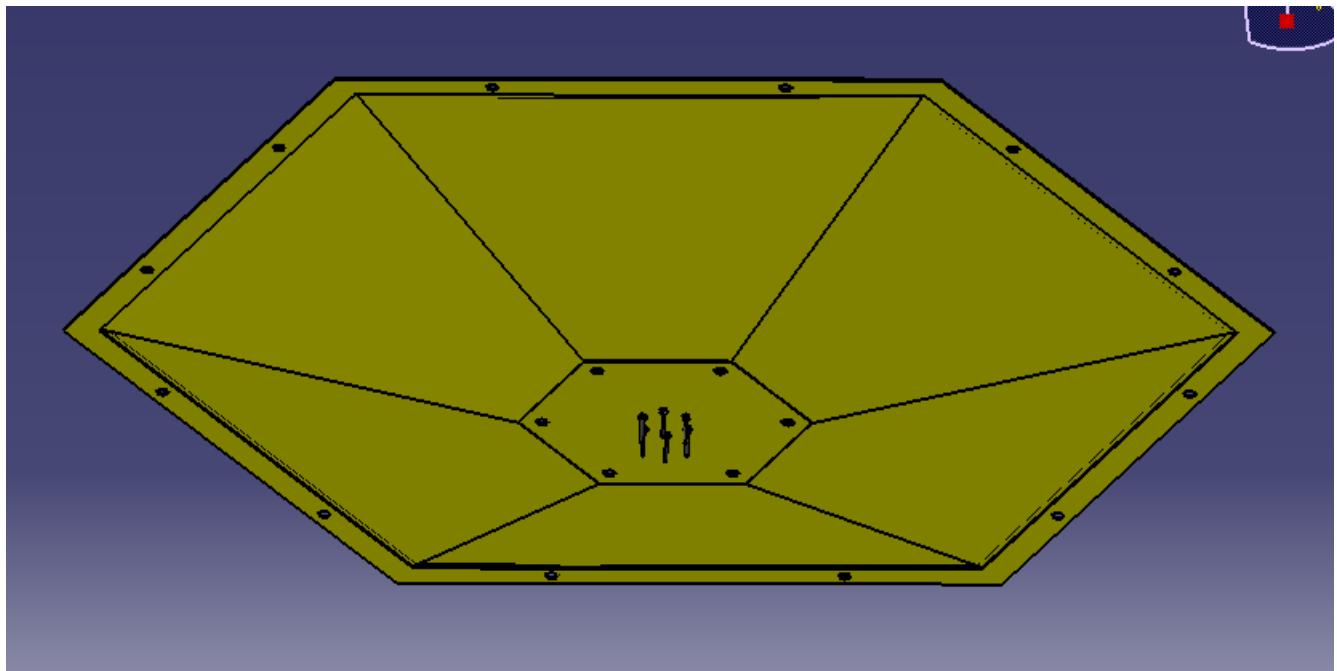


Figura 131 – Vista isométrica da tampa inferior com os sensores

Finalizado isso, fixe a tampa inferior (4), já com os sensores, na parte inferior do Aquadata utilizando os 12 parafusos M20x50 (25) com 12 porca M20. É necessário nessa parte colocar a vedação de borracha G (10) entre a tampa inferior (4) e a carenagem principal (2), para fixar melhor essas duas partes é necessário colocar duas vedações de alumínio (11) como mostra a figura 132.

Atenção: A vedação de alumínio (11) que será colocado na parte acima da superfície de fixação da carenagem principal terá que ser cortada ao meio com o auxilio de uma serra elétrica, pois ela inteira não entraria nessa região devido as superfícies de fixação da carenagem principal.

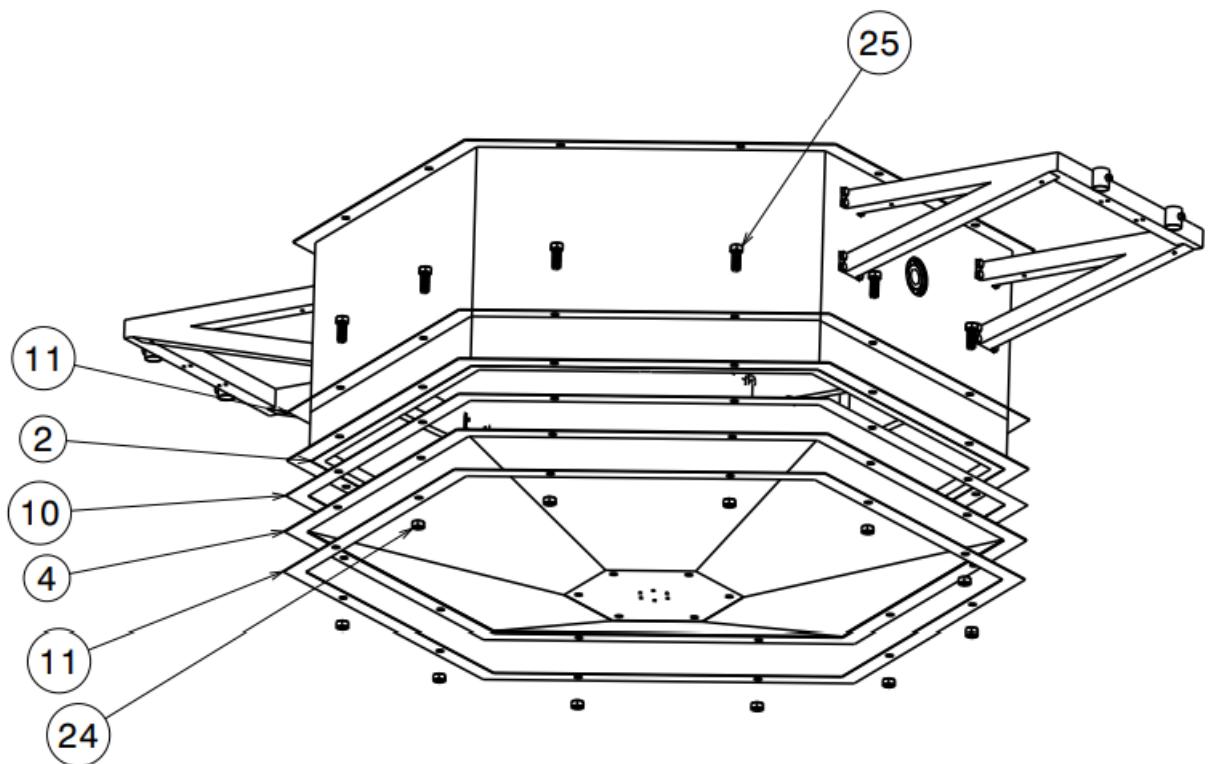


Figura 132 – Montagem da tampa inferior e da vedação da parte inferior

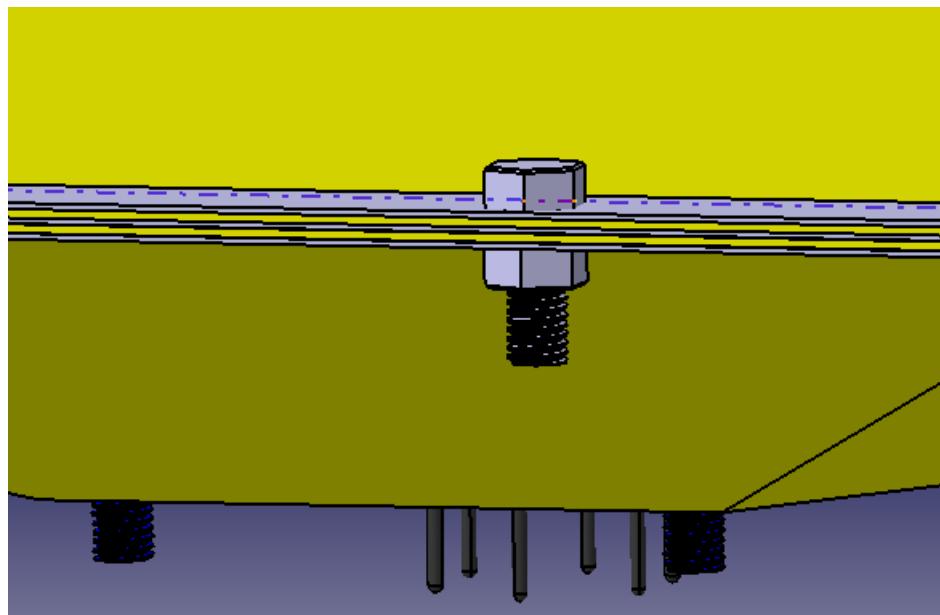


Figura 133 – Detalhe da fixação da vedação

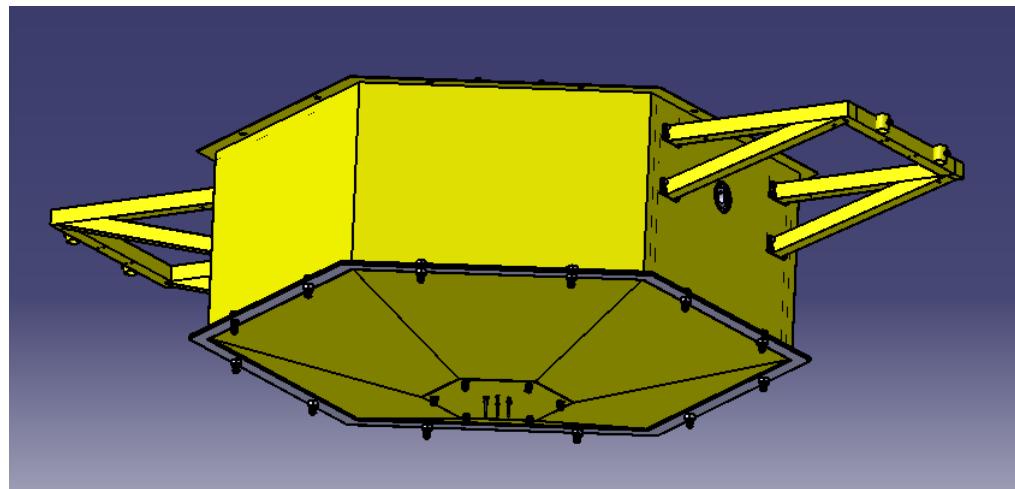


Figura 134 – resultado da fixação

O próximo passo é fixar a proteção dos sensores (28) na parte inferior do AquaData. Para isso irá utilizar 6 porcas M20. O processo é muito simples, basta alinhar os parafusos da parte inferior do esqueleto central (1) com os furos da proteção dos sensores (28), figura 135 e 136.

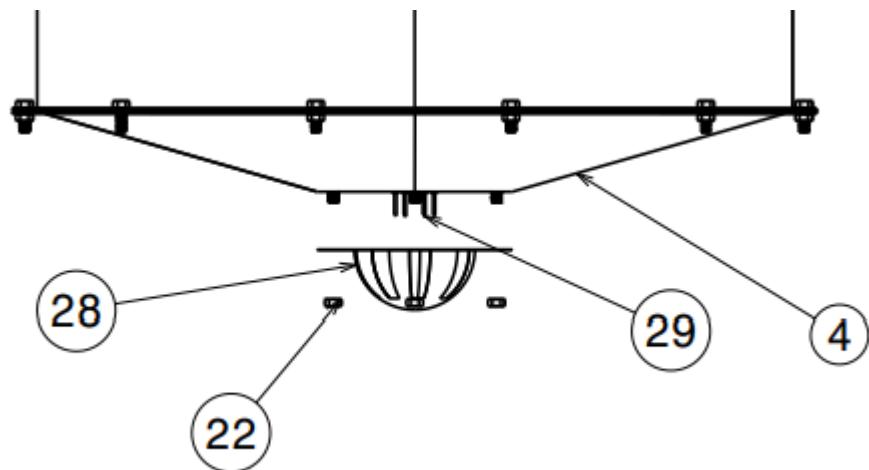


Figura 135 – Montagem da proteção inferior

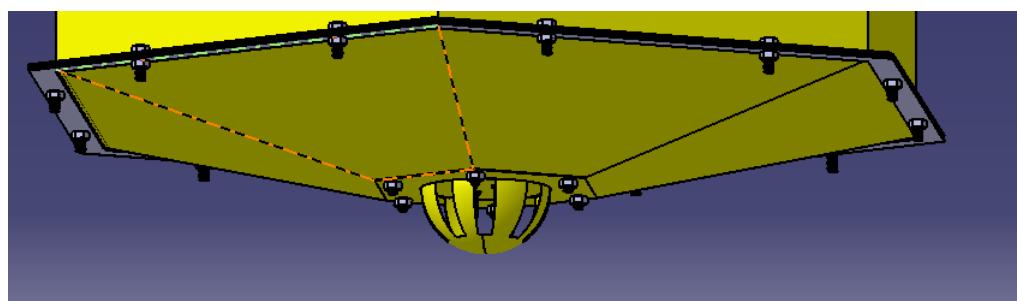


Figura 136 – Proteção inferior

Terminando a parte inferior, agora é hora de montar o sistema propulsivo do AquaData. Como mostra no manual de fabricação a polia será soldada no eixo de inox (13), com isso deve-se colocar o eixo de dentro para fora do AquaData passando pelo rolamento das laterais como mostra a figura 137. Nesse momento deve-se inserir as pás, onde o eixo passa por dentro do eixo central das pás (6), as pás serão fixadas no eixo através de dois parafusos de aço, figura 139. Depois é necessário fixar o mancal junto com o rolamento na ponta do eixo, o mancal é fixado no suporte das pás (24) através de 4 parafusos de aço M10x100 e 4 porcas M10, figura 138. Depois basta repetir todo o passo a passo para o outro lado do AquaData, figura 140.

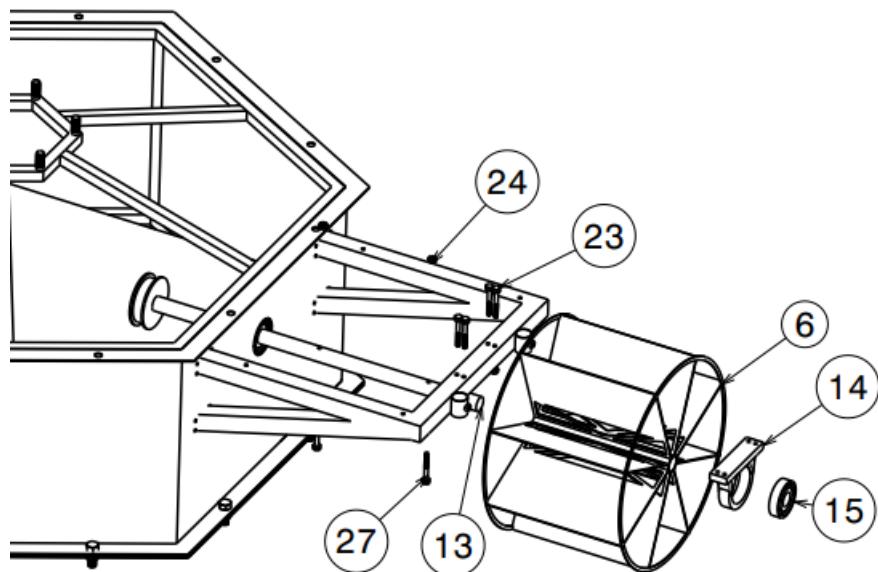


Figura 137 – Montagem das pás

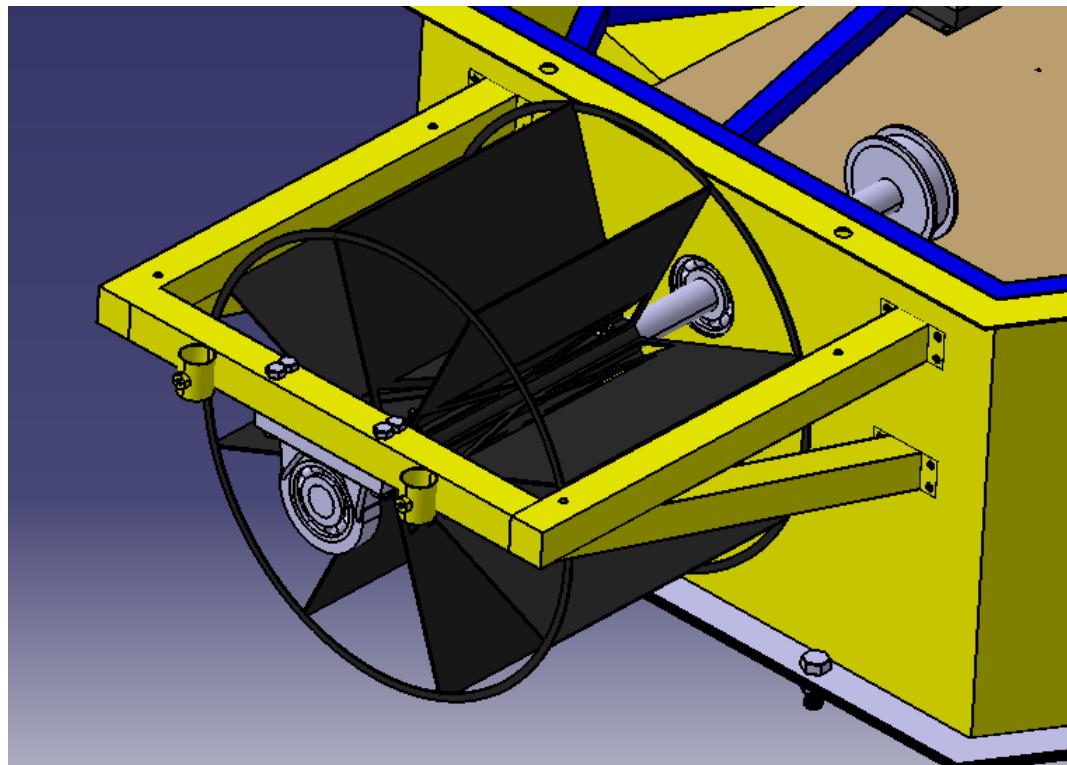


Figura 138 – Pás

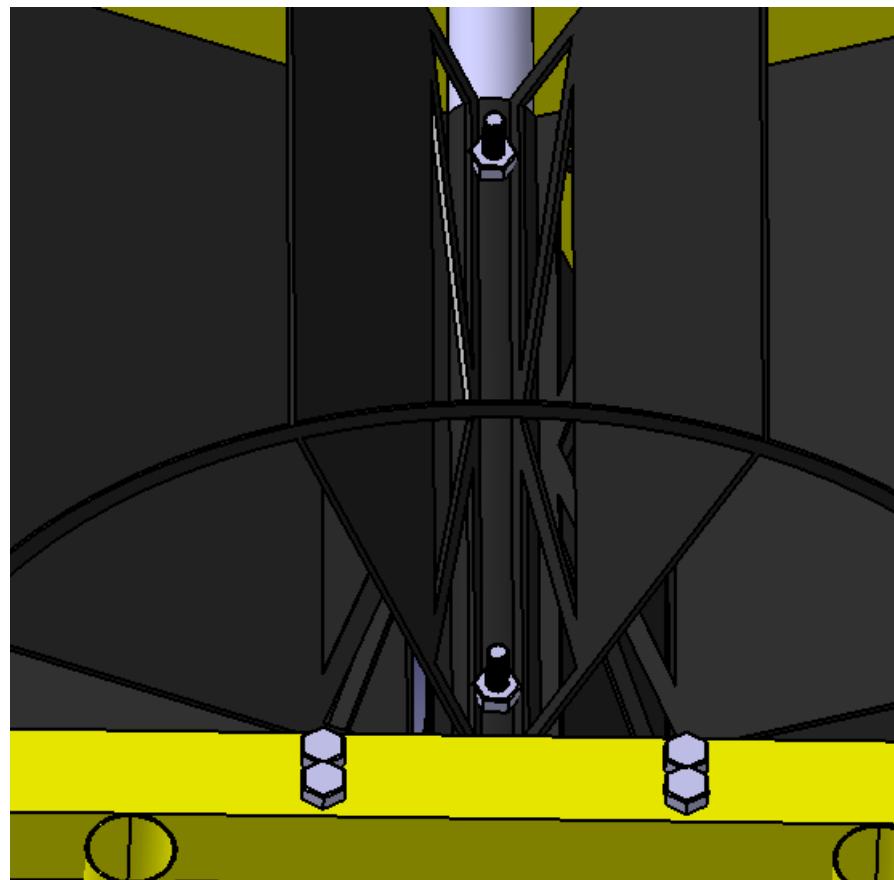


Figura 139 – Detalhe da fixação das pás.

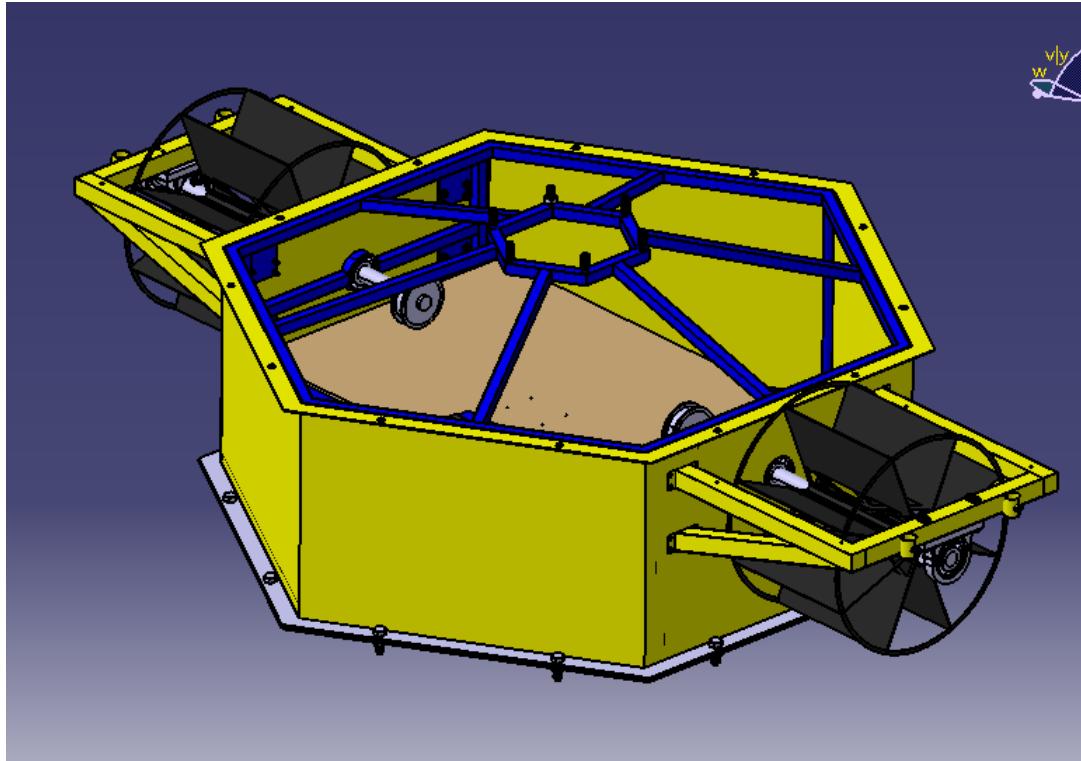


Figura 140 – Vista isométrica das pás montadas.

O próximo passo é parafusar as placas solares (7) no suporte das placas laterais (30) e parafusar o suporte das placas laterais (30) no suporte das pás (5). Para fixar o suporte das placas (30) no suporte das pás (5) iremos utilizar 4 parafusos de aço M10x100 (27) e 4 porcas M10 (24). Feito isso, basta fixar a placa solar no local tomando cuidado para deixar a parte das células fotovoltaicas voltadas para cima e a entrada dos fios voltadas para o centro do AquaData como mostra as imagens 141, 142 e 143. As placas serão fixadas através de 4 parafusos M10x50 (25) e quatro porcas M10 (24).

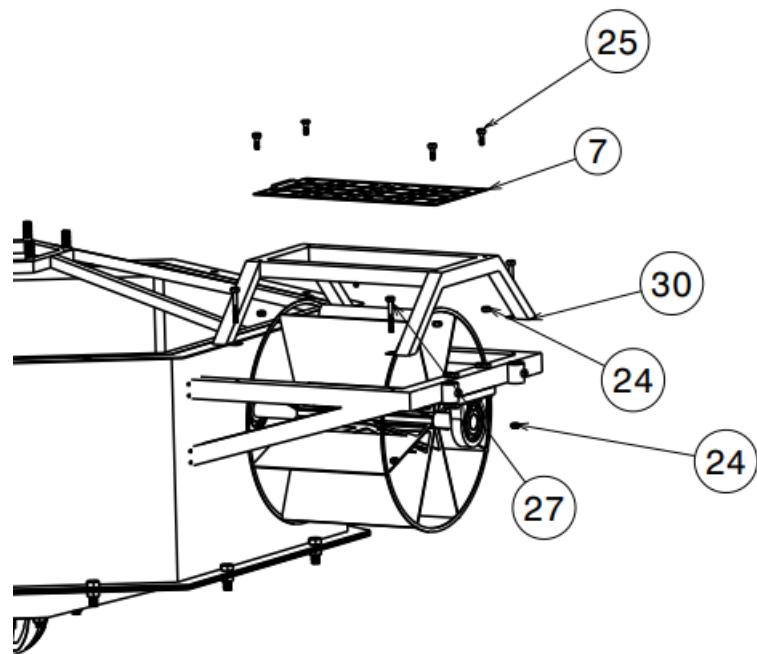


Figura 141 – Montagem do suporte das placas solares e fixação das placas solares laterais

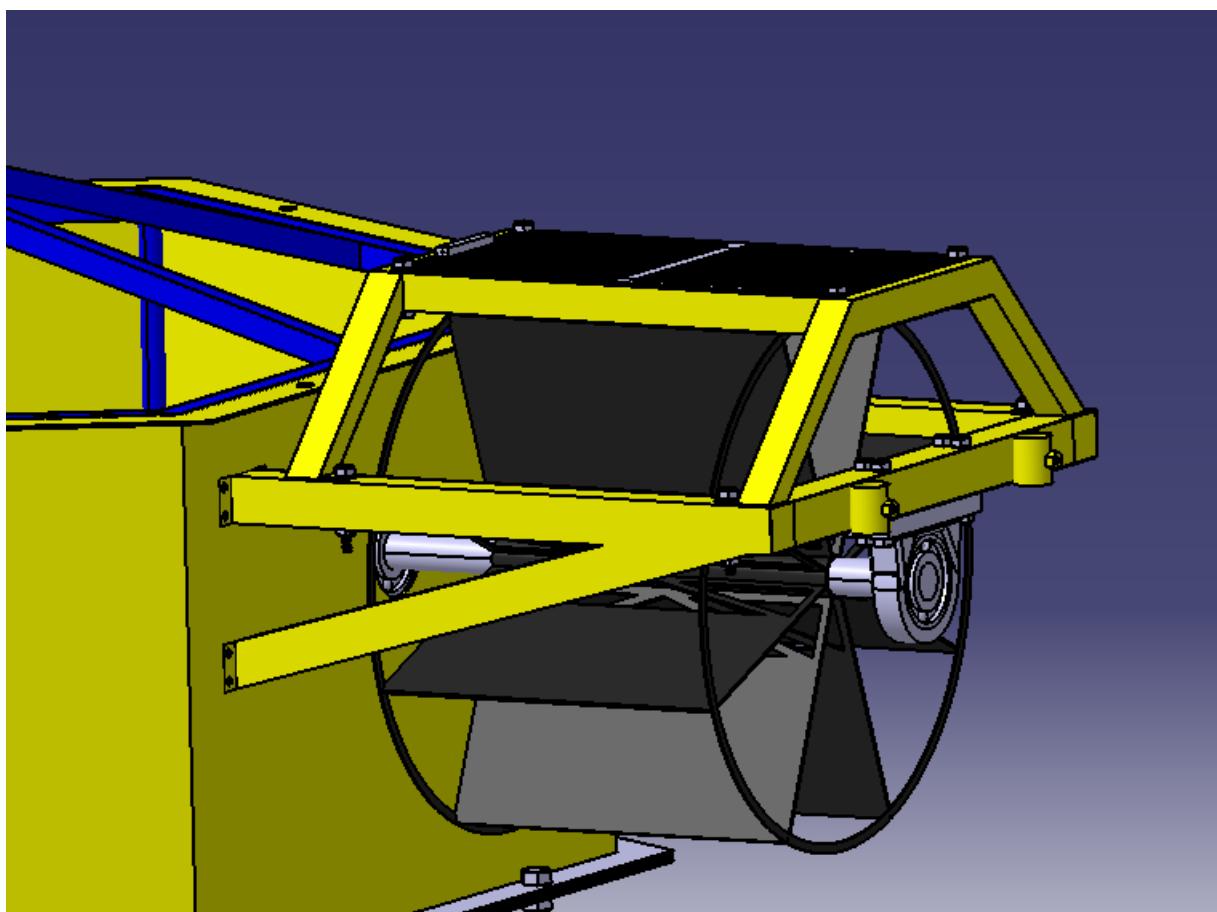


Figura 142 – Detalhe da montagem dos suportes das placas laterais

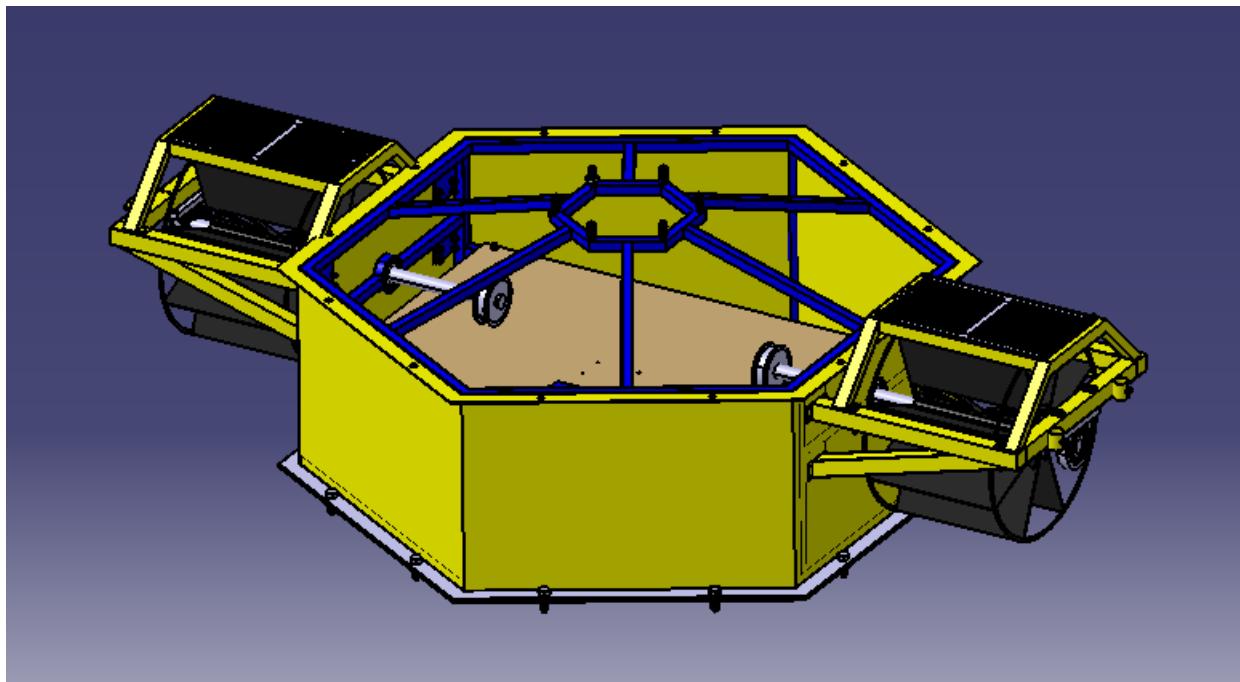


Figura 143 – Vista isométrica dos suportes das placas laterais com as placas instaladas

A proxima etapa é colocar as boias laterais (31). A boia possui duas barras de metal circular que serão usadas para fixar no suporte das pás. O técnico deve passar as duas barras de metal circular pelas alças no suporte das pás (5), o técnico é responsável por ajustar as boias laterais na altura certa na hora de colocar na água. Deve ser fixada com dois parafusos de aço M10x50 (25) como mostra a figura 144.

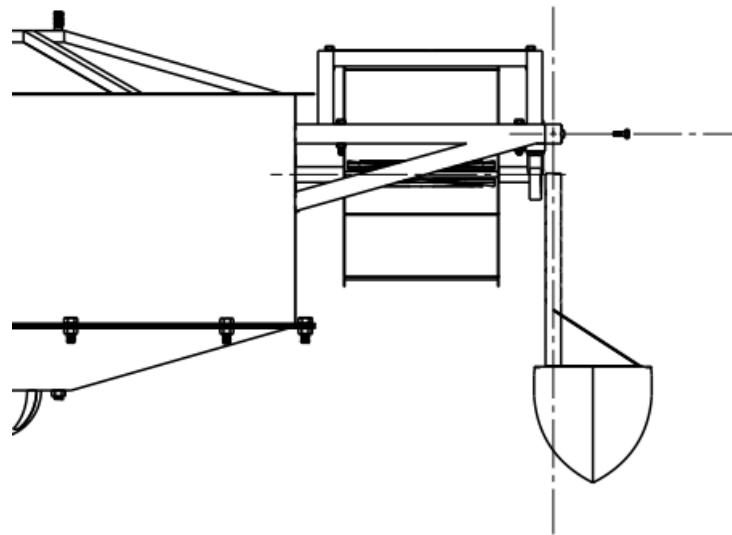


Figura 144 – Montagem da boia lateral

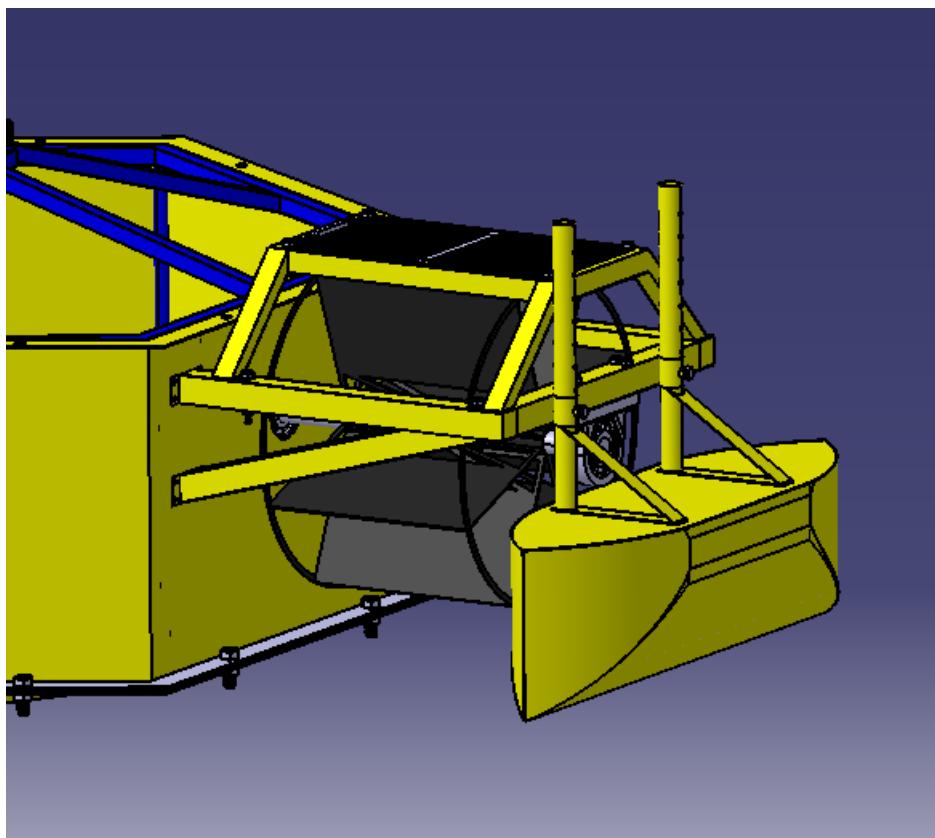


Figura 145 – Detalhes da montagem da boia lateral

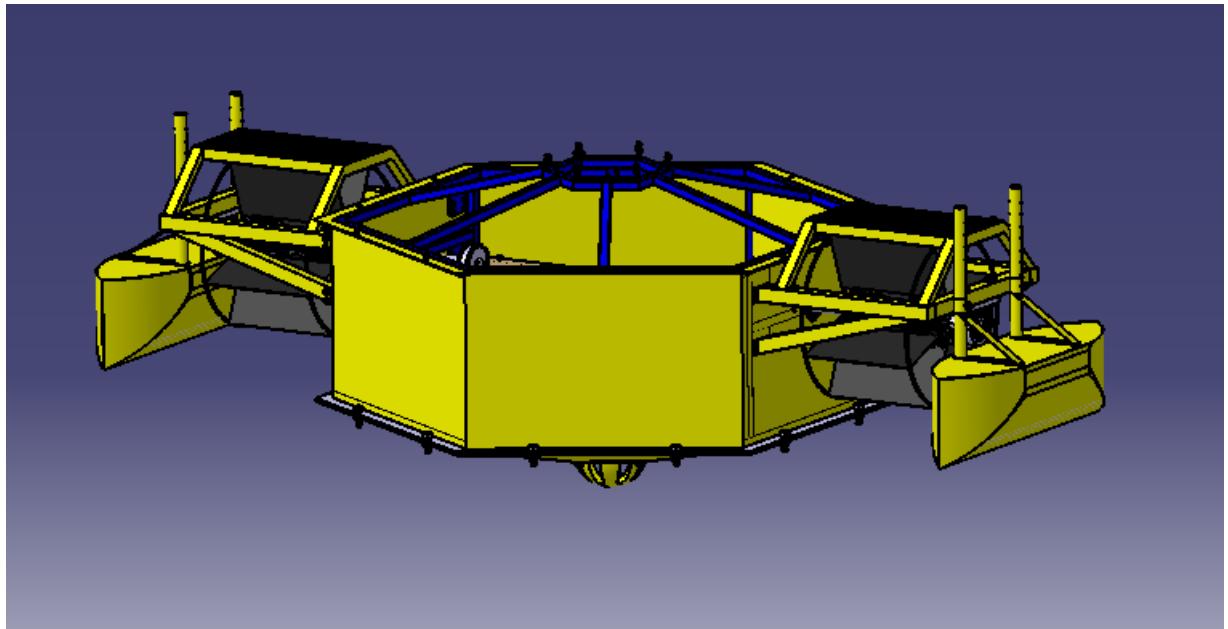


Figura 146 – Vista isométrica das boias laterais

Feito isso, é hora de colocar os motores e a correia. Os motores não tem lugar pré-determinado, ele deve ser fixado na melhor posição que deixe a correia tensionada, para isso o técnico deve usar 4 parafusos autobrocantes para fixar o motor na madeira com o auxílio de uma parafusadeira. A disposição dos motores deve seguir a figura 147.

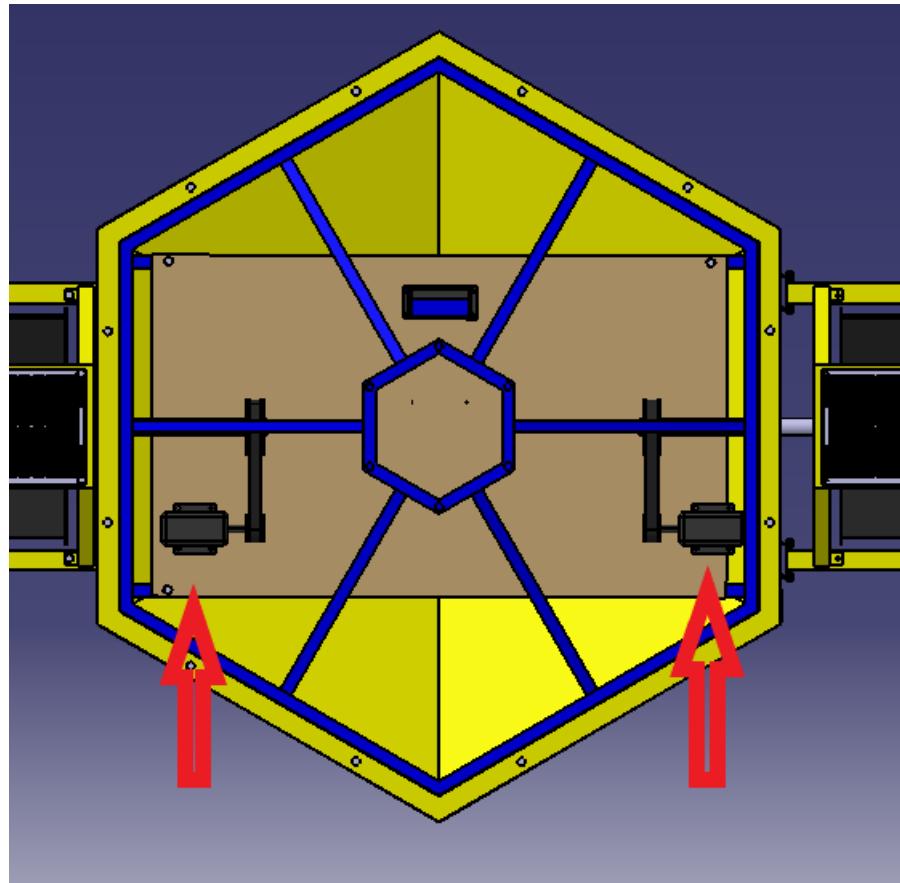


Figura 147 – Disposição dos motores

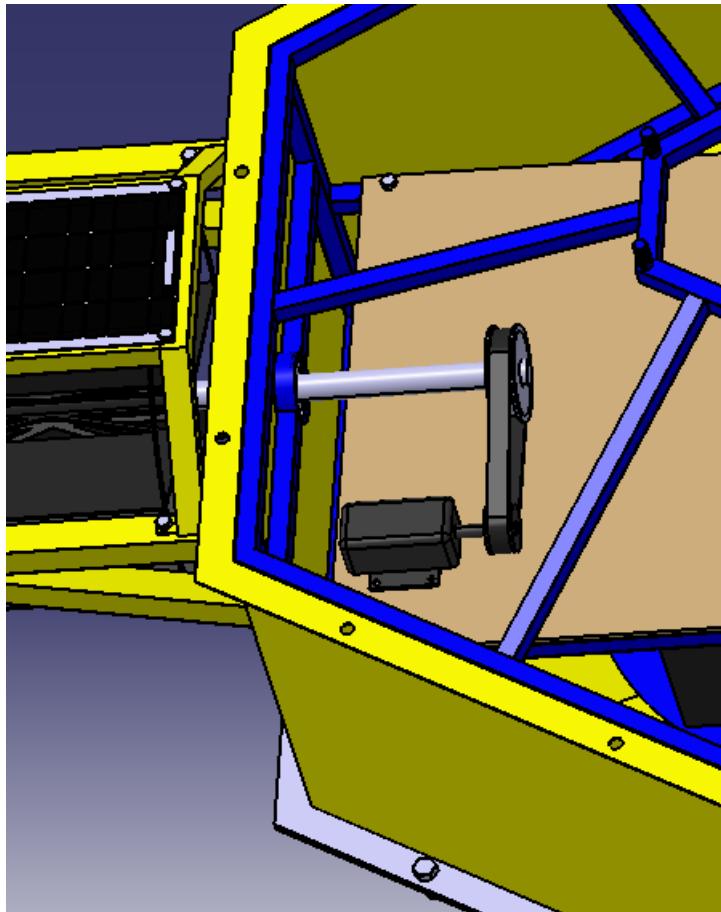


Figura 148 – Vista isométrica do motor e correia

Antes de seguir para próxima etapa é necessário nesse momento seguir todo passo a passo dos manuais de energia e de eletrônica.

Concluído a etapa anterior, deve-se fechar o AquaData. Para isso irá utilizar a tampa superior (3), duas vedações de alumínio (11), uma vedação de borracha (10), doze parafusos M20x50 e 12 porcas M20. A vedação de borracha (10) é colocada entre a tampa superior (3) e a carenagem principal (2), a vedação de alumínio vai uma em cima da tampa superior e uma abaixo da superfície de vedação da carenagem principal (2), todo esse arranjo é fixado pelos parafusos e porcas M20, figura 149. Na hora da montagem é necessário garantir que todos os furos estejam alinhados.

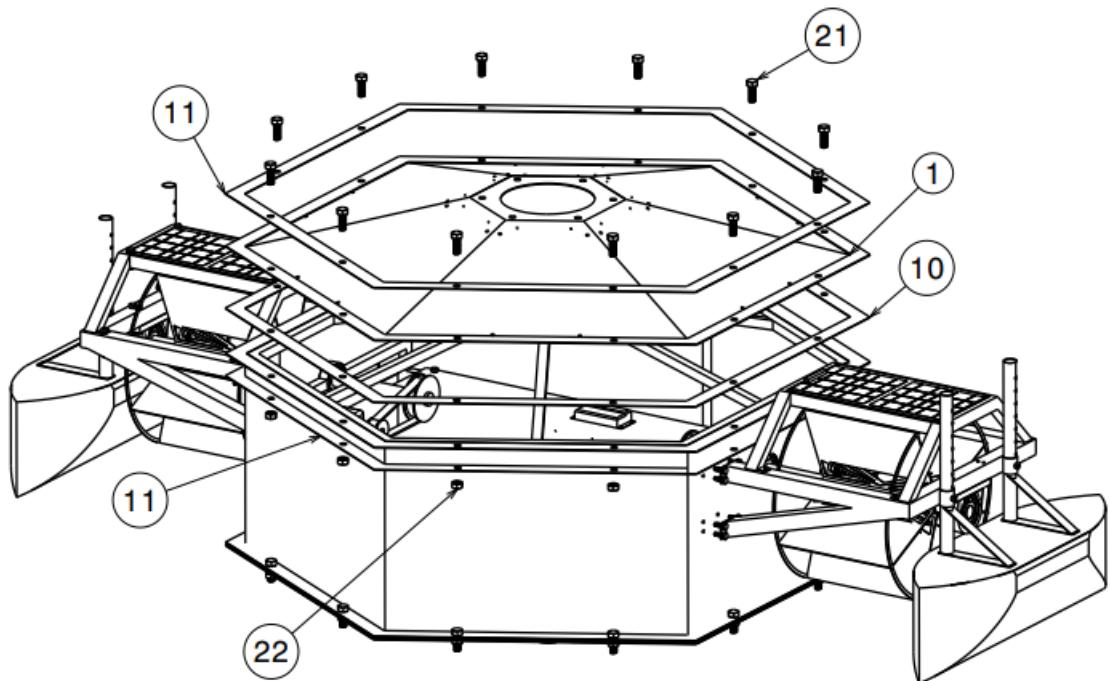


Figura 149 – Montagem da tampa superior com o sistema de vedação

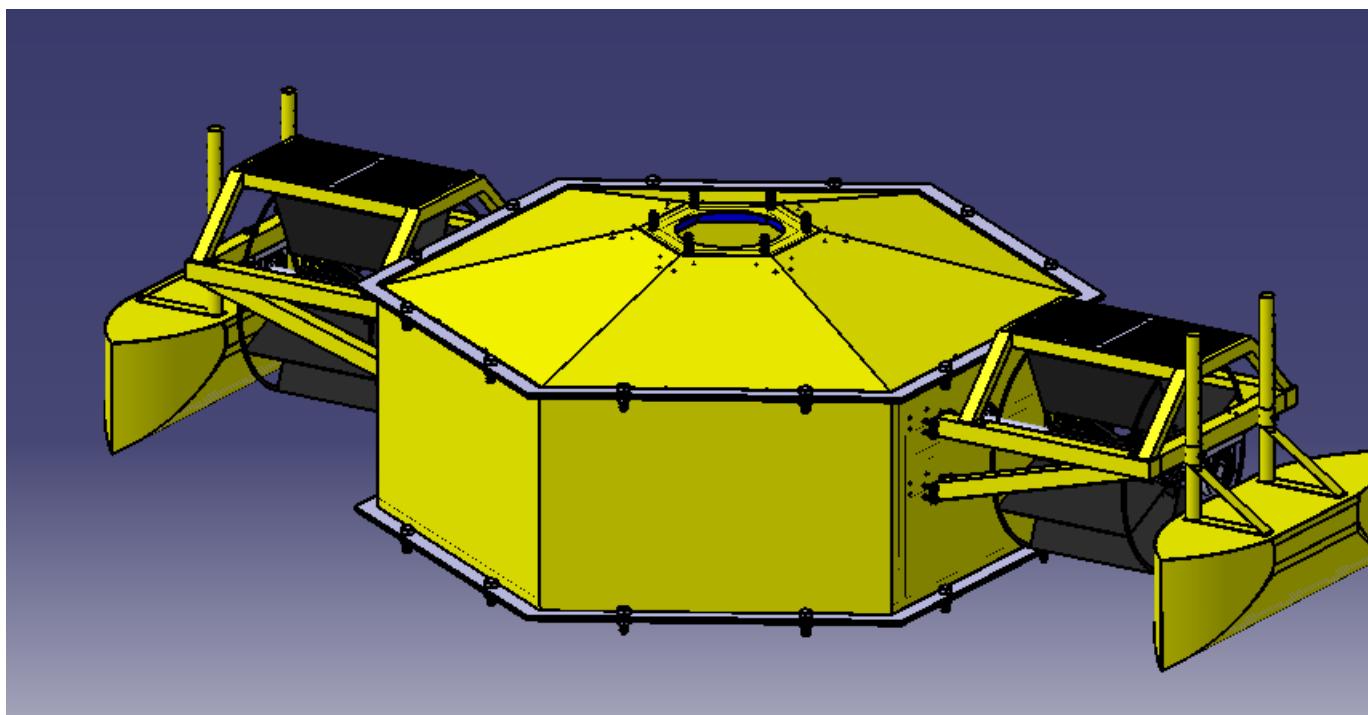


Figura 150 – Vista isométrica da montagem da tampa

O próximo passo é colocar as placas solares (7) na tampa superior (3). As placas solares possuem furos das suas extremidades que devem ser alinhados com os furos da tampa superior, usaremos os quatro parafusos M10x30 de aço (26), quatro porcas e quatro arruelas para fixa-

las. Antes de colocar os parafusos é necessário colocar silicone nos furos e depois colocar os parafusos para evitar vazamento. As saídas de energia das placas devem ser colocadas para cima como mostra a figura 151. A afiação será passada pelos furos que estão acima das placas, figura 152. É preciso colocar silicone nos buracos depois de passada a afiação para garantir a vedação.

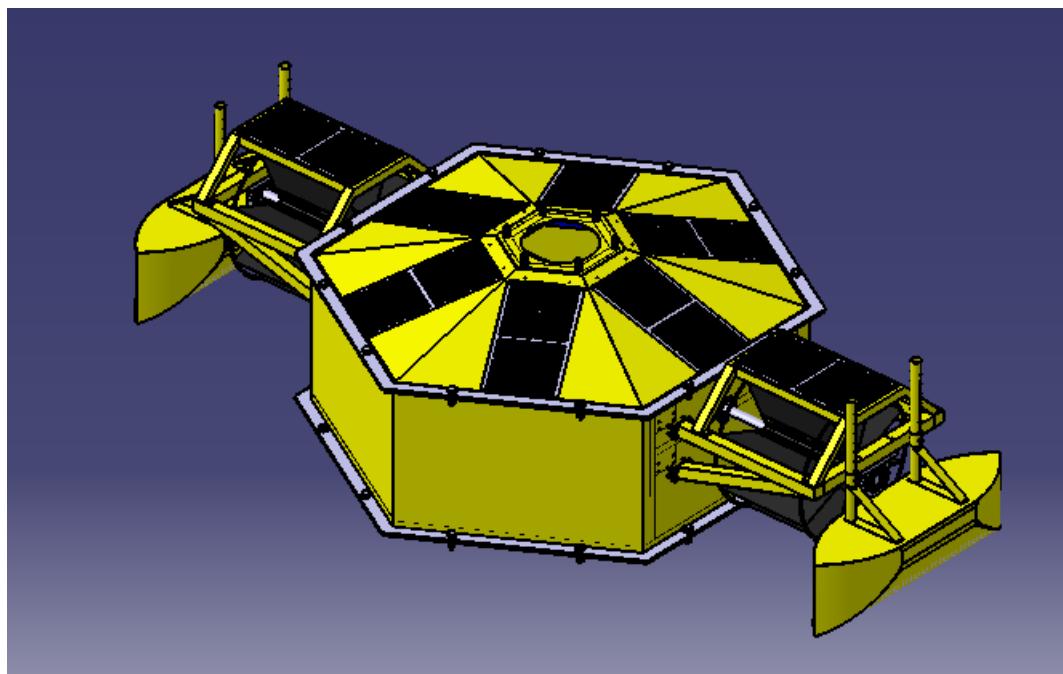


Figura 151 – Vista isométrica da montagem das placas solares

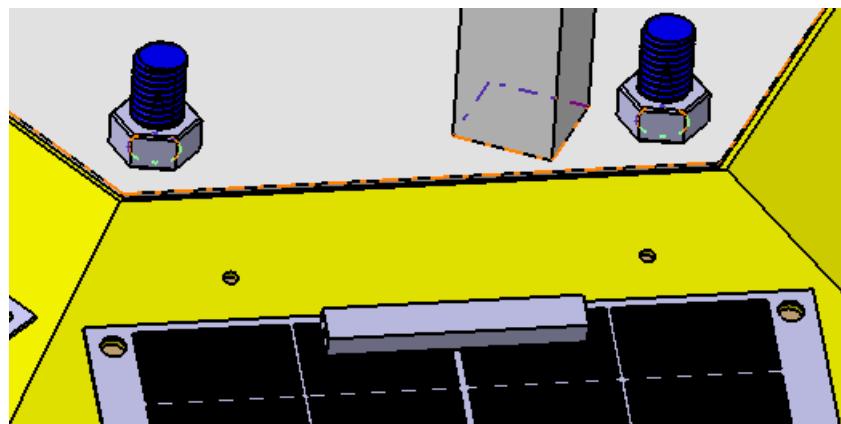


Figura 152 – Furos para passagem dos fios das placas solares

O próximo passo é colocar a torre (8). Vamos utilizar a torre(8), seis porcas M20 e silicone. Passe silicone em torno de toda entrada da tampa superior (3), alinhe os furos da torre (8) com os parafusos que estão soldados no esqueleto central (1) na parte superior(é papel do técnico que está montando avaliar se a quantidade de silicone é suficiente para a vedação). Feito isso, agora é só colocar as porcas nos parafusos e apertar até a torre ficar bem fixa. A figura 153 exemplifica a montagem e as figuras 154 e 155 mostra o resultado final.

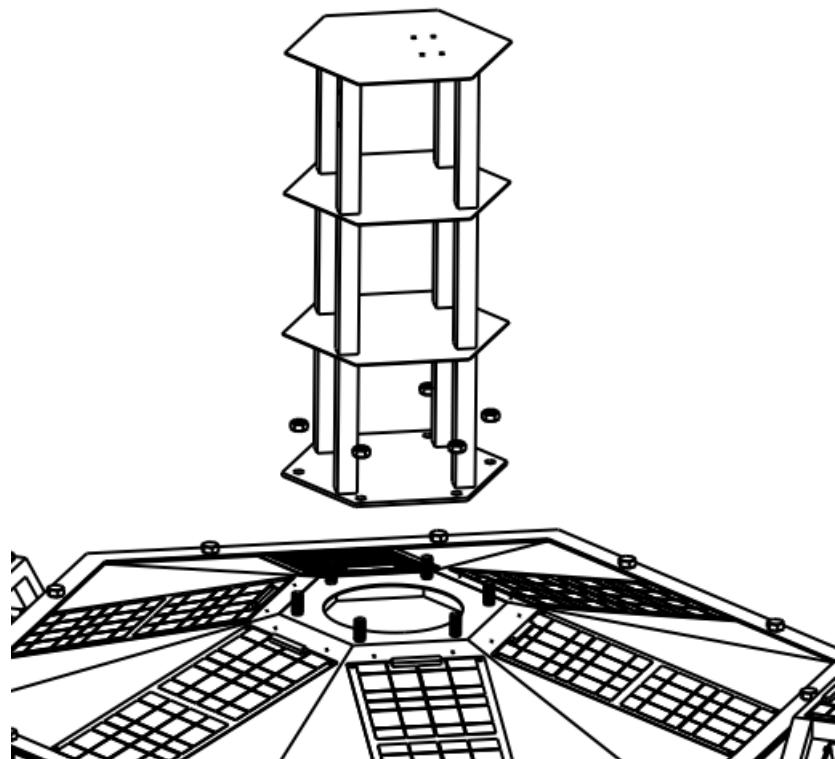


Figura 153 – Montagem da torre

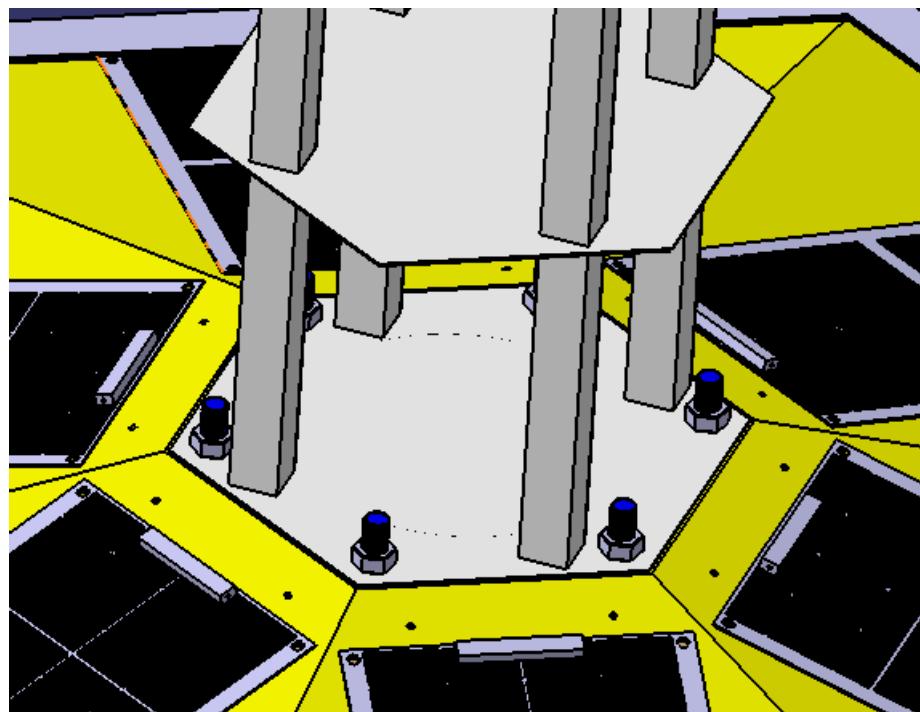


Figura 154 – Detalhe da fixação da torre

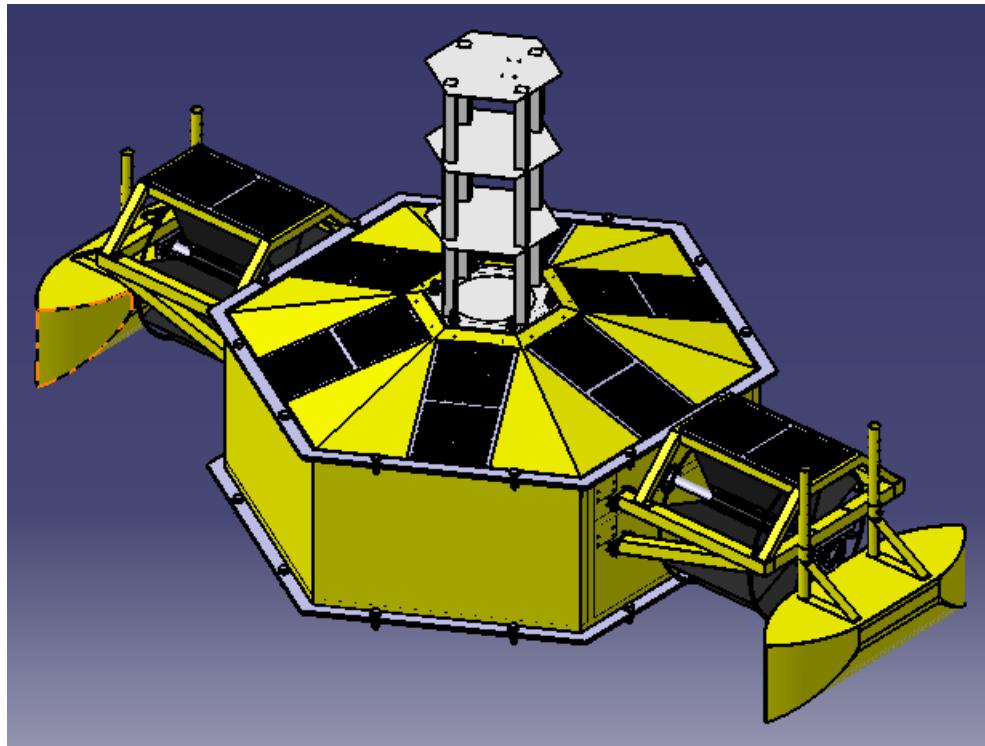


Figura 155 – Vista isométrica da torre instalada

Por fim deve-se fixar a lâmpada de sinalização, para isso iremos usar 4 parafusos M10x30 e 4 porcas M10. Deve-se alinhar os furos da base da lâmpada de sinalização com os furos da parte superior da torre (8), agora é só parafusar e apertar. A afiação da lâmpada de sinalização é de responsabilidade do técnico achar a melhor posição para sua fixação na torre, é necessário usar algumas abraçadeiras de nylon para fixar os fios na estrutura.

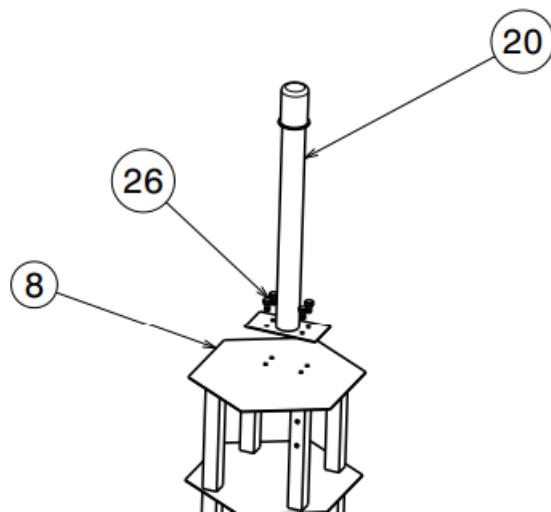


Figura 156 – Montagem da sinalização

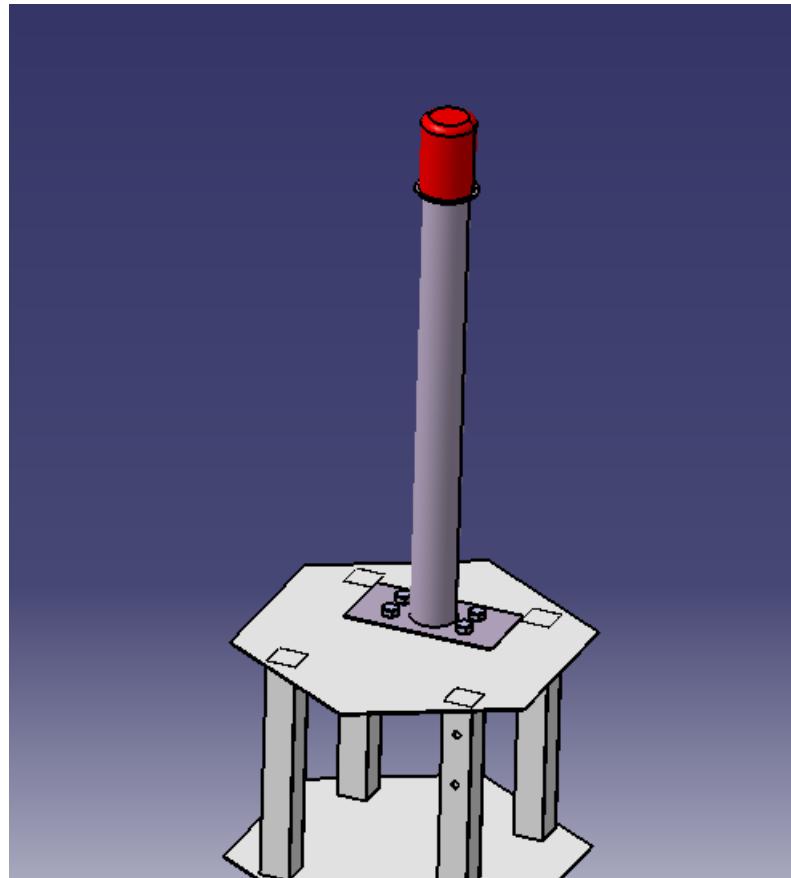


Figura 157 – Detalhes da montagem da sinalização

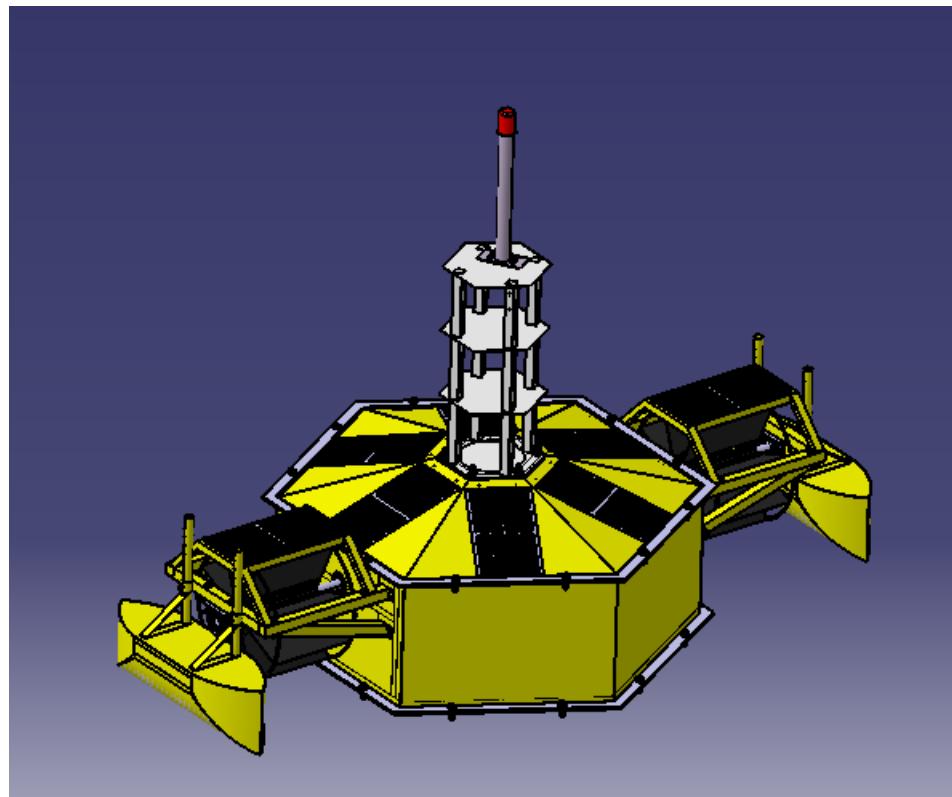


Figura 158 – Vista isométrica da sinalização montada

O equipamento está pronto para uso! A figura 159 mostra o resultado final.

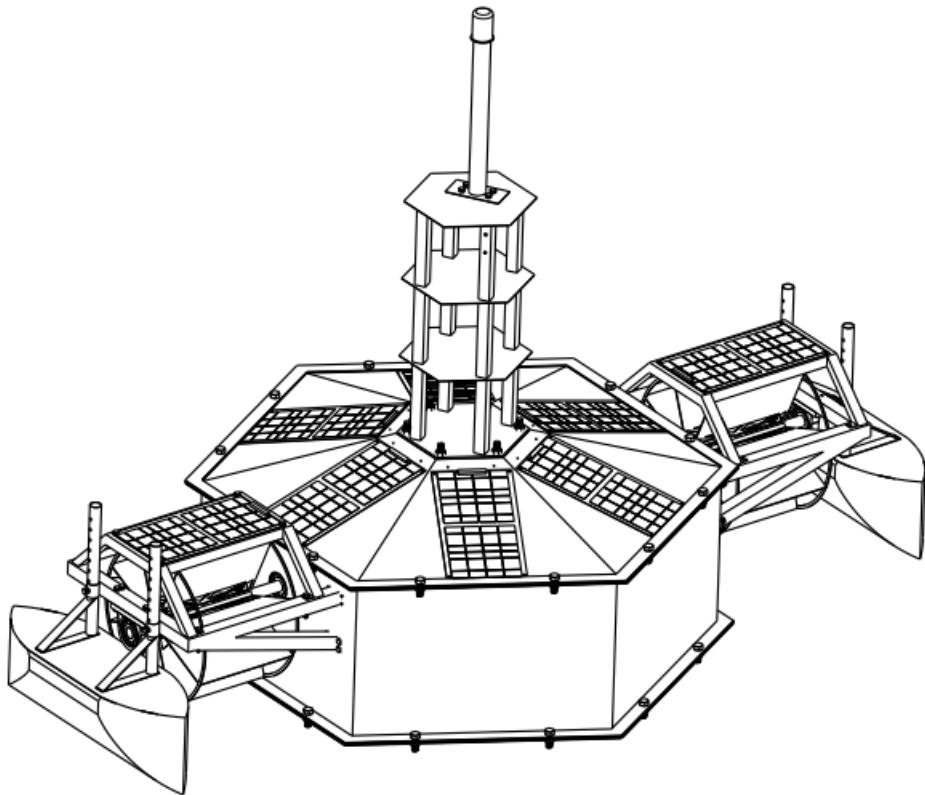


Figura 159 – Resultado final da montagem

5.1 Instalação do microcontrolador, dos sensores e do módulo de comunicação GPS e 3G

A alimentação do microcontrolador Esp32, dos sensores e do módulo de comunicação é realizada através da bateria. Esta fornece uma tensão nominal de 12 volts, sendo necessário utilizar três reguladores de tensão LM 2596. Todos os reguladores têm a mesma configuração, onde sua entrada é alimentada com 12 volts da bateria, e sua saída é configurada com 5 volts, que será utilizada para alimentar o microcontrolador, os sensores e o módulo de comunicação GPS e 3G.

O Primeiro regulador de tensão é o responsável pela alimentação dos sensores de Ph, temperatura, turbidez, de condutividade e de oxigênio. O terminal de saída positivo do regulador de tensão é ligado ao terminal positivo dos sensores, e o terminal negativo de saída do regulador de tensão é ligado aos terminais negativos dos sensores.

O segundo regulador de tensão é o responsável pela alimentação dos sensores de proximidade, e as ligações feitas são as mesmas supracitadas, entre terminais positivos e terminais

negativos.

O terceiro regulador de tensão é o responsável pela alimentação do microcontrolador ESP32 e do modulo de comunicação 3G e GPS, e é realizada a mesma ligação.

A Figura 160 abaixo demostra esse diagrama elétrico de alimentação do microcontrolador, dos sensores e do modulo 3G e GPS, onde a linha vermelha indica a entrada positiva, e a linha preta a negativa.

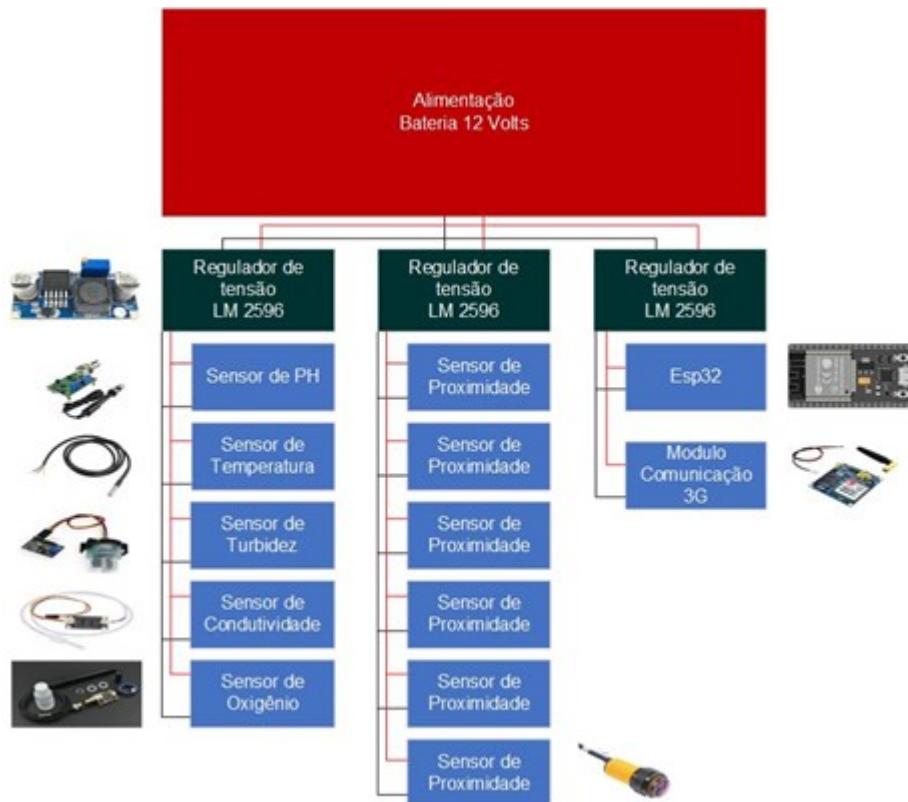


Figura 160 – Diagrama de alimentação dos sensores, módulo de comunicação 3G e GPS e microcontrolador.

5.2 Regulador de tensão e alimentação do drive dos motores

O Módulo Regulador de Tensão ajustável LM2596 é um produto desenvolvido para aplicação em projetos eletrônicos. Composto pelo regulador chaveado LM2596, este módulo regulador de tensão trabalha com tensões de entrada de 3,2V a 40V, oferecendo em suas saídas tensões reguladas de 1,5V a 35V que podem ser ajustadas conforme sua necessidade. O módulo regulador de tensão é ideal para alimentação de motores, relés, sensores, microcontroladores, displays ou outros componentes eletrônicos que operem dentro das faixas de tensões e correntes especificadas.

No projeto foram utilizados três módulos reguladores de tensão sendo um modulo utilizado no módulo do drive da ponte H e três utilizados para alimentar os sensores, o microcontrolador e o modulo de comunicação 3G e GPS. Os quatros módulos reguladores de tensão

LM2596 foram configurados da mesma maneira, alimentados em sua entrada com uma tensão de 12 volts da bateria e em sua saída foi ajustado para se ter uma tensão de 5 volts. A figura abaixo ilustra o módulo regulador de tensão LM2596 (Figura 161).

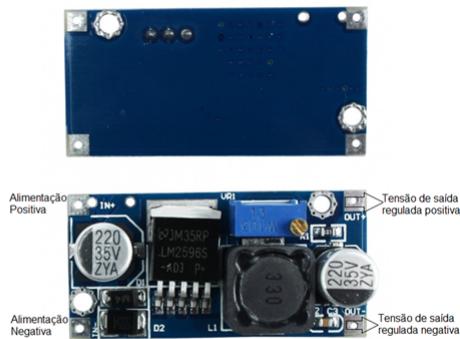


Figura 161 – Módulo Regulador de Tensão LM2596.

O modulo do Drive da ponte H é alimentado através da tensão da bateria, o controle de rotação dos motores é realizado pelo microcontrolador, o sinal é enviado pelos pinos J13 controle do motor do lado direito e J14 controle do motor do lado esquerdo(Figura 162).



Figura 162 – Modulo Drive Ponte H para acionamento dos dois motores

5.3 Conexão entre o microcontrolador com os sensores e o módulo de comunicação GPS e 3G

Os dados obtidos pelos sensores são enviados ao microcontrolador através de uma conexão entre os módulos eletrônicos dos sensores e os pinos GPIO do microcontrolador(Figura 163).

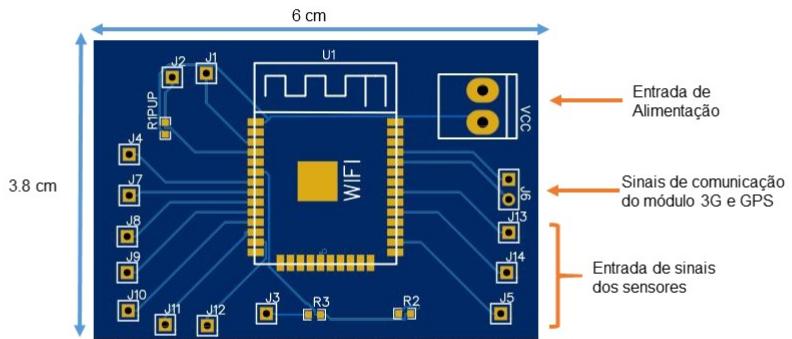


Figura 163 – Cad 2D do circuito eletrônico

O borne VCC recebe do regulador de tensão a alimentação de 5 volts para o microcontrolador(Figura 164).

O sinal gerado pelo módulo eletrônico de cada sensor deve ser conectado aos seguintes pinos do microcontrolador:

- Ph dever ser conectado ao pino J1;
- Temperatura dever ser conectado ao pino J2;
- Turbidez dever ser conectado ao pino J3;
- Condutividade dever ser conectado ao pino J4;
- Oxigênio deve ser conectado ao pino J5;
- 3G/GPS deve ser conectado ao pino J6;
- Os sensores de proximidade devem ser conectados sequencialmente dos pinos J7 à J12
- O driver do motor direito ao pino J13 e o driver do motor esquerdo ao pino J14

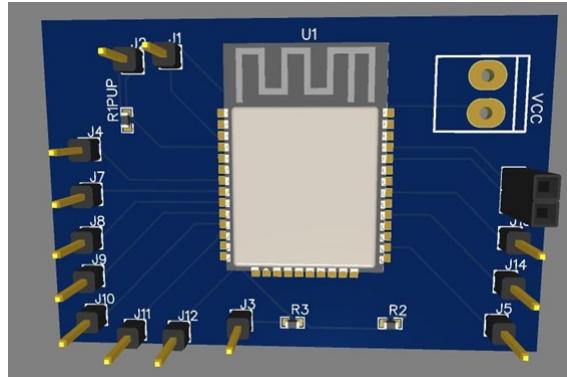


Figura 164 – Placa eletrônica do microcontrolador com as conexões dos sinais gerados pelos sensores

Na figura 165, as trilhas vermelhas estão dispostas na face superior da placa eletrônica e as trilhas azuis estão dispostas na face inferior. O VCC é a alimentação do microcontrolador, U1 é o microcontrolador ESP32. R1PUP, R2 e R3 são nano resistores e os bornes do J1 ao J14 são as conexões entre o microcontrolador com os sensores, modulo de comunicação e drivers dos motores.

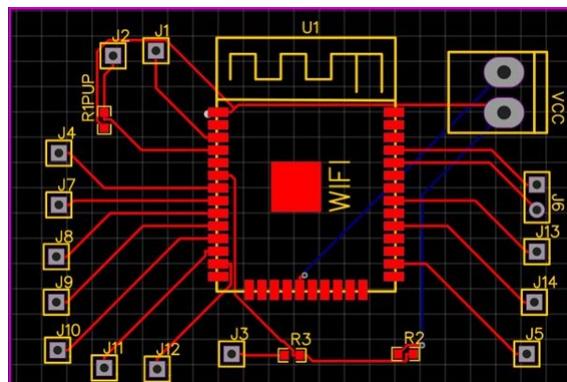


Figura 165 – CAD do circuito impresso

5.4 Aterramento dos componentes eletrônicos

Para assegurar o bom funcionamento e evitar sobretensões ao longo do circuito, sugere-se fortemente que seja realizado o aterramento do negativo de todos os componentes eletrônicos à carcaça da estrutura, algo que poderia ser facilmente realizado por pequenos fios que conectem o neutro à carcaça, como sugere a ABNT:NBR 5410:2004.(ASSOCIAÇÃO..., c)

6 Planos de manutenção

O Aquadata – sistema de monitoramento de água, possui dois planos de manutenção, a preventiva, realizada, preferencialmente, anualmente, e a corretiva, realizada quando necessário algum reparo por dano ao equipamento ou mau funcionamento.

6.1 Manutenção preventiva

A manutenção preventiva, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento do equipamento, deve ocorrer, preferencialmente, uma vez por ano, podendo esse período ser reduzido, nunca aumentado.

O principal objetivo da manutenção preventiva é garantir que o equipamento continue disponível e confiável durante o período entre uma manutenção e outra.

Abaixo será listado em que consiste a manutenção e verificações que serão realizadas por um técnico capacitado para efetuá-las:

- 1- Verificar a capacidade de carga das baterias, não sendo suficiente para o próximo ano, substituí-las;
- 2- Efetuar a limpeza das placas solares, seus conectores e componentes;
- 3- Verificar encaixes e posicionamento dos sensores;
- 4- Limpeza das placas de circuitos e sensores;
- 5- Verificar aperto de porcas e parafusos;
- 6- Verificar rolamentos e polias;
- 7- Lubrificar rolamentos, motores e pás;
- 8- Verificar a estrutura, atentando-se para amassados, rachaduras e peças soltas;

Caso o equipamento não esteja conforme o esperado em alguma das etapas de verificação da manutenção preventiva, o técnico especializado irá fazer o reparo e eventual substituição da peça danificada.

Essa rotina de manutenção é prevista para ser realizada anualmente, podendo ser reduzida para seis meses ou mensalmente, mas nunca superior a um ano.

6.2 Manutenção corretiva

A manutenção corretiva tem como objetivo restaurar o funcionamento de uma máquina, para que esta venha a desempenhar sua atividade de forma normal, depois de ter apresentado alguma falha. Esse tipo de manutenção se baseia em falhas que não são previsíveis ou que sua prevenção não são financeiramente viáveis.

Quando o equipamento apresentar algum defeito durante sua operação, um técnico especializado deve ser contatado para testar a sistema, prestar suporte e fazer o devido reparo.

Abaixo será citado alguns problemas que podem vir a ocorrer durante o uso e suas possíveis causas:

- 1- Equipamento não liga, devendo, depois de testes, substituir baterias ou placas solares;
- 2- Equipamento não está movimentando, possível falha nos motores, nas pás ou em seus eixos;
- 3- Equipamento funciona apenas durante o dia, possível problema nas baterias;
- 4- Estrutura com rachaduras, quebrados ou amassados, contatar suporte;
- 5- O equipamento não envia dados, possível problemas no sistema de comunicação;
- 6- Os dados enviados para análise são inconsistentes, possível problema nos sensores;

Deve-se salientar que, em todos os casos de problemas com o equipamento ou necessidade de reparos, um técnico especializado deve ser contatado para solucionar o caso da maneira correta.

7 Plano de Testes de Validação

7.1 Estruturas

A fim de garantir o funcionamento e a segurança do produto, testes devem ser realizados assegurando que as decisões de projeto tomadas correspondem em qualidade na forma final do produto. Para isso, deve se categorizar os subsistemas e os testes que melhor representem os pontos de possível falha.

No que tange a parte estrutural, pode-se dividir as áreas de interesse dos subsistemas necessários a testes nos seguintes:

- Materiais e Estrutura
- Isolamento
- Corrosão
- Flutuação
- Motopropulsor
- Resposta Dinâmica

7.1.1 Testes relativos aos Materiais e à Estrutura

Simulações numéricas reproduzindo os comportamentos dos principais materiais sob condições próximas às de operação foram realizadas em projeto, e para validar os resultados obtidos, testes físicos nos mesmos materiais devem ser realizados.

Os primeiros testes a serem desenvolvidos em todas as peças com função estrutural é o teste de tração e o teste de compressão. Sua função é garantir as propriedades dos materiais escolhidos e fundamentar suas escolhas de uso. Tais testes são realizados em máquinas próprias para esta função e podem ser realizados em corpos de prova para dados sobre o comportamento do material. Além dos testes específicos em corpos de prova, condições de operação podem ser simuladas em tamanho real das peças para validar sua confiabilidade. Um exemplo de teste em corpo de prova de tração pode ser visualizado na imagem 166.



Figura 166 – Exemplo de Ensaio de Tração

Outro teste para garantir a decisão de materiais é o teste de impacto dinâmico, que permitiria prever comportamentos do produto quando sujeito a possíveis acidentes com embarcações ou outros objetos quando em operação.

7.1.2 Testes relativos ao Isolamento dos Componentes

Também recorre a subárea de estruturas garantir o isolamento dos componentes eletrônicos de contato com substâncias que possam causar sua falha. O produto trata-se de um sistema flutuante, logo o principal critério de falha em isolamento seria o contato direto dos componentes eletrônicos com a água. Para este tipo de falha, devem ser realizados testes de imersão da estrutura exterior e das caixas de isolamento em água além da altura de operação, admitindo um fator de segurança na pressão necessária a falhar o isolamento. O ensaio deve ser realizado de acordo com a norma ABNT NBR IEC 60529, para homologação de valores de grau de proteção IP.

7.1.3 Corrosão

Outra preocupação condiz com a corrosão sofrida pelos materiais em contato direto com a água, principalmente no que diz respeito a expectativa de vida do produto. Neste sentido, são sugeridos testes de corrosão com enfoque em danos causados pela umidade. Ensaios de corrosão utilizam um ambiente controlado em que é possível variar a temperatura, ph, umidade e fatores como salinidade para avaliar o comportamento do material e prever sua expectativa com o tempo naquelas condições. Um exemplo de teste de corrosão pode ser visualizado na imagem 167.



Figura 167 – Exemplo de Ensaio de Corrosão

7.1.4 Testes relativos à Flutuação

Para garantir a flutuabilidade do sistema, a estrutura externa com pesos simulando os equipamentos a serem instalados deve ser colocada em um ambiente controlado com água para testar fatores como empuxo e estabilidade da estrutura. Sugere-se a aplicação de forças externas para avaliação da estabilidade no que tange a sua resistência a sair do ponto de equilíbrio. Para garantir o funcionamento constante do sistema, testes adaptativos à norma NORMAM-05/DPC devem ser realizados no sentido de imergir o sistema em sua parte de contato por 24 horas e comparar sua perda de flutuabilidade.

7.1.5 Testes relativos ao Grupo Motopropulsor

Para a avaliação do grupo motopropulsor dois testes são fundamentais. O primeiro consiste em um teste de bancada para avaliação do torque e RPM do motor. O segundo é um teste melhor elaborado e necessita da estrutura do sistema completa ou de uma estrutura que simule o peso e a posição das pás com o motor. O segundo teste consiste na ativação dos motores com as pás já posicionadas em um sistema preso a uma balança para avaliação do empuxo gerado.

7.1.6 Testes relativos à Resposta dinâmica

Por fim, faz-se necessária a realização de testes que apresentem resultados quanto ao movimento do sistema. Por isso, este teste configura uma das etapas finais do processo e visa medir o tempo e o deslocamento do sistema em diversas situações de operação, comparando os resultados ao projetado.

Referências

ABBOOD, I. S. et al. Properties evaluation of fiber reinforced polymers and their constituent materials used in structures – a review. Elsevier Ltd, 2020. Citado na página 99.

ALMEIDA, H. L. S. *Introdução aos Sistemas de Controle*. Disponível em: <http://www.del.ufrrj.br/~heraldo/eel660_slides_01_Introducao_aos_Sistemas_de_Controle.pdf>. Citado na página 49.

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.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro. 2004. Citado na página 178.

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 79.

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 66.

BUNSELL, A. R. *Handbook of Properties of Textile and Technical Fibres*. [S.1.]: Elsevier Ltd, 2018. v. 2. Citado na página 96.

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

CANELA, A. L. et al. Desenvolvimento e execução de um controlador de carga para um sistema fotovoltaico autônomo. Florianópolis, SC, 2019. Citado 2 vezes nas páginas 83 e 89.

CONAMA. *RESOLUÇÃO CONAMA N° 357*. 2005. Disponível em: <<http://conama.mma.gov.br/images/conteudo/LivroConama.pdf>>. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 189.

CONAMA. *RESOLUÇÃO CONAMA N° 454*. 2012. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2012/res_conama_454_2012_materiaisderdragadoemaguasjurisdicionaisbrasileiras.pdf>. Citado 2 vezes nas páginas 20 e 188.

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. Citado 2 vezes nas páginas 96 e 99.

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. Citado na página 100.

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>. Nenhuma citação no texto.

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.

MINUS, M.; KUMAR, S. The processing, properties, and structure of carbon fibers. *The Journal of The Minerals, Metals Materials Society (TMS)*, 2005. Citado na página 96.

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

NASSEH, J. *Barcos - Metodos Avançados de Construção Composites*. [S.l.]: Jorge Nasseh, 2007. Citado 2 vezes nas páginas 95 e 99.

NISE, N. *Engenharia de sistemas de Controle*. [S.l.]: LTC, 2012. v. 6. Citado na página 49.

OGATA, K. *Modern Control Engineering*. [S.l.]: Pearson, 2010. v. 5. Citado na página 49.

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 2 vezes nas páginas 20 e 189.

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 79.

- SAUNDERS, H. E. *Hydrodynamics in ship design*. 1957. Disponível em: <https://openlibrary.org/works/OL7434125W/Hydrodynamics_in_ship_design>. Citado 2 vezes nas páginas 127 e 128.
- 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.
- YANG, R. L. et al. Photovoltaic cell temperature estimation for a grid-connect photovoltaic systems in curitiba. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, SciELO Brasil, v. 62, 2019. Citado na página 90.

Apêndices

APÊNDICE A – 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

A.1 Gerenciamento

A.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.

A.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.

A.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

A.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.

A.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

A.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;

A.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

A.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 168, 169, 170 e 171.

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 168 – 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 169 – 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 170 – 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 171 – Quarta parte do Cronograma

A.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.

A.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 35 mostra a estimativa inicial dos sensores que serão utilizados no projeto.

Tabela 35 – 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			

A.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 36 – 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 36, é visualizável a maior influência no preço dos recursos destinados a laminação da estrutura e ao material que garante flutuabilidade ao sistema.

A.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 37 mostra o orçamento inicial desses componentes.

Tabela 37 – 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			

A.1.9.4 Software

Os custos de software se referem aos serviços web que devem ser mantidos online em uma plataforma de hospedagem para o correto funcionamento da aplicação, além dos micro-serviços e do banco de dados.

Na tabela 38 mostra o orçamento foi feito de forma para manter a aplicação online durante um mês.

Tabela 38 – Estimativa de Custo - Software

Plataforma	Valor mensal	Número de meses	Fornecedor	Valor total
Digital Ocean Professional platform	R\$ 110,29	1	DigitalOcean, LLC.	R\$ 110,29
Total	R\$ 110,29			

A.1.9.5 Viabilidade Financeira

De acordo com o orçamento tomado como base a partir das estimativas de custo dos componentes de eletrônica(tabela 35), de estruturas(tabela 36) e de energia (tabela 37), o valor aproximado de um possível protótipo da AquaData foi estimado em R\$11.108,34 levando em consideração os requisitos e objetivos propostos.

A.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 39 , 40, 41 e 42 são divididas por tipos de risco, descrição de risco e impacto, categoria e qual poderia ser sua causa.

Tabela 39 – 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 40 – 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 41 – 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
2	Descargas Elétricas Indesejadas	Em casos leves, pode gerar interferências nas coletas de dados e, em casos mais graves, pode queimar circuitos inteiros 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
4	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

Tabela 42 – Riscos de Software

Risco	Descrição do Risco	Descrição do Impacto	Categoria	Causa
1	Acesso não autorizado ao servidor	Pode ocasionar no vazamento de informações sigilosas e recursos indevidos.	Segurança da Informação	falha na autenticação transmissão de dados não cifrados
2	Falha na integração com o dispositivo embarcado	Pode ocorrer a leitura de dados inconsistentes, impossibilitando a tomada de decisões e alimentação da base de dados de forma consistente.	Integração	falha na comunicação com os sensores
3	Falta de comunicação com servidor	Impossibilita o controle da boia e alimentação da base de dados.	Infraestrutura	Indisponibilidade dos serviços web
4	falha comunicação com o broker	impossibilidade de transmitir os dados por meio do servidor broker.	Infraestrutura	Indisponibilidade do serviço broker
5	dano a base de dados	Perda dos dados	Infraestrutura	falha no serviço de persistência de dados
6	impossibilidade de transmitir os dados por meio do servidor broker.	Falta de comunicação do sistema embarcado.	Infraestrutura	falha de rede

Na tabela 43 descreve o que foi considerado em cada categoria.

Tabela 43 – Descrição das categoriais

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.
Integração	Referente à integração entre software e eletrônica
Segurança da Informação	Referente a segurança da informação dos dados persistidos ou trafegados
Infraestrutura	Referente à estrutura

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 44, as probabilidades foram analisadas em conjunto dos materiais e em discussões de sprints.

Tabela 44 – Matriz de Probabilidade x Impacto

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

Tabela 45 – Legenda da Matriz de Probabilidade X Impacto

Legenda		
Baixo Risco	Médio Risco	Risco Crítico

A.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 172 foi composta na ferramenta do desenhos google e separado por frequência de cores de acordo com o subgrupo.

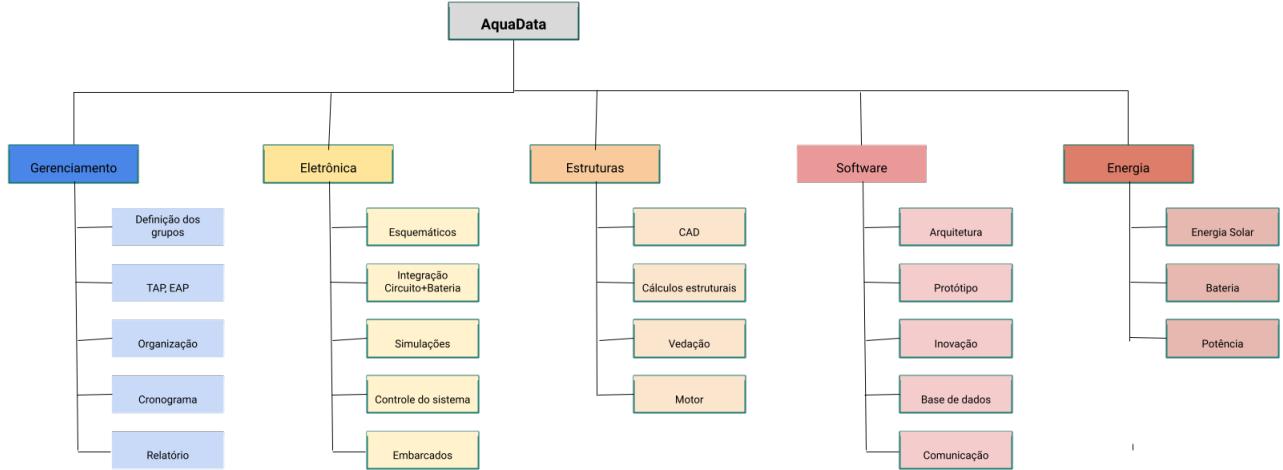


Figura 172 – EAP do Projeto

A.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 173, 174, 175 e 176, divididas da mesma forma que o cronograma.

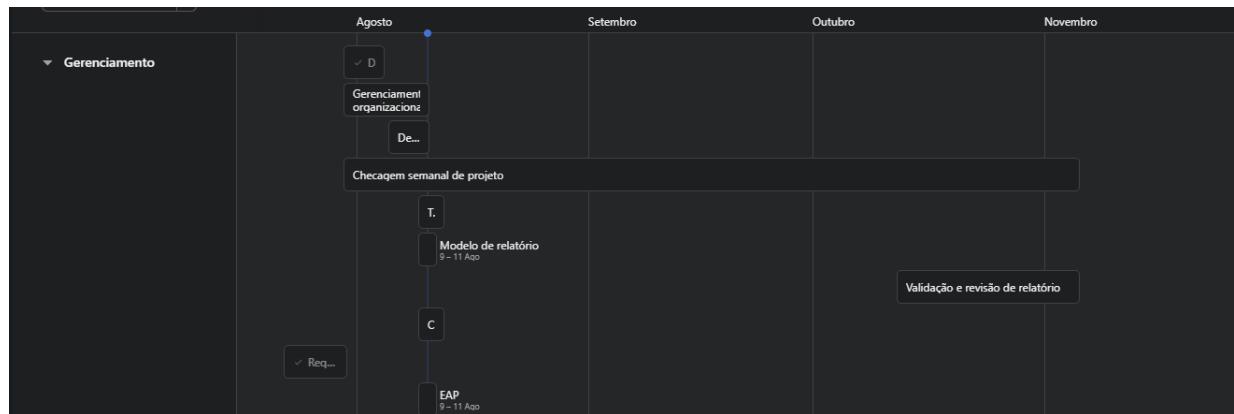


Figura 173 – Primeira parte do RoadMap

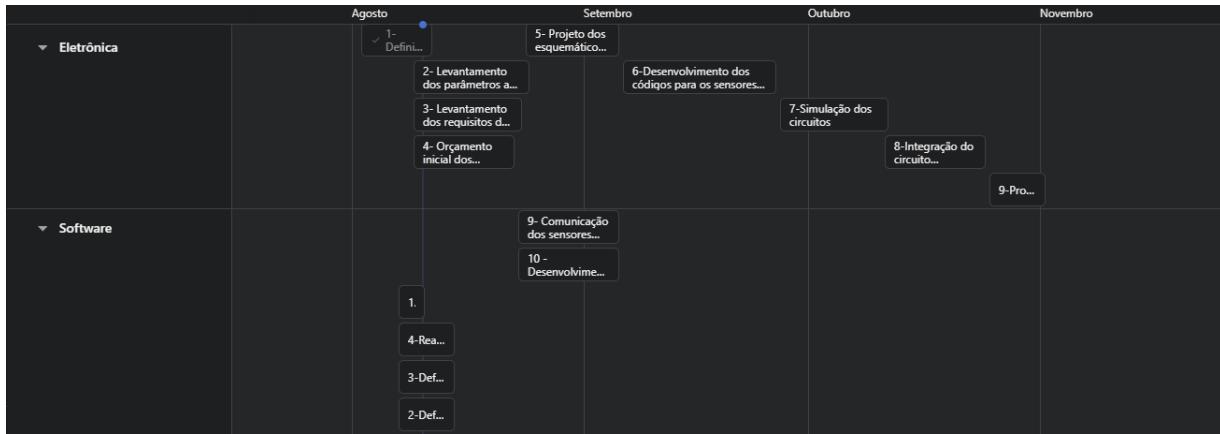


Figura 174 – Segunda parte do RoadMap

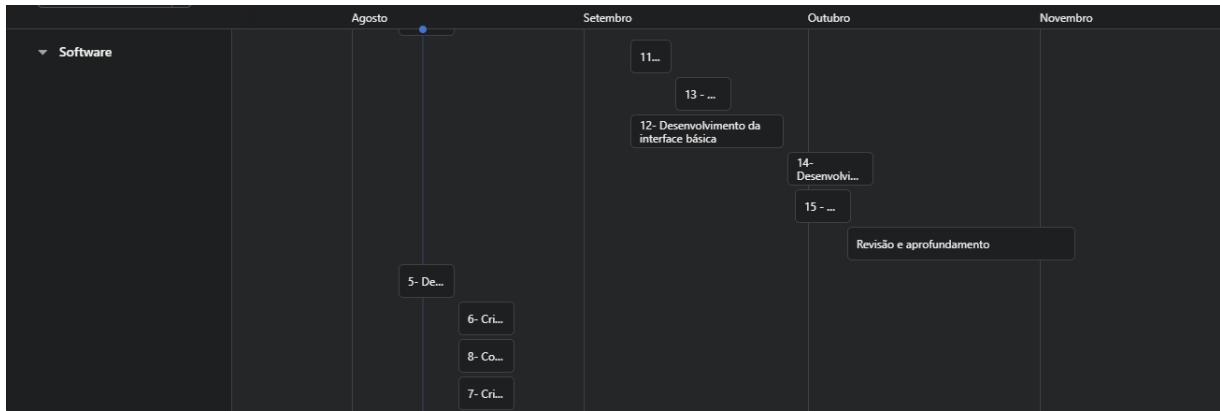


Figura 175 – Terceira parte do RoadMap

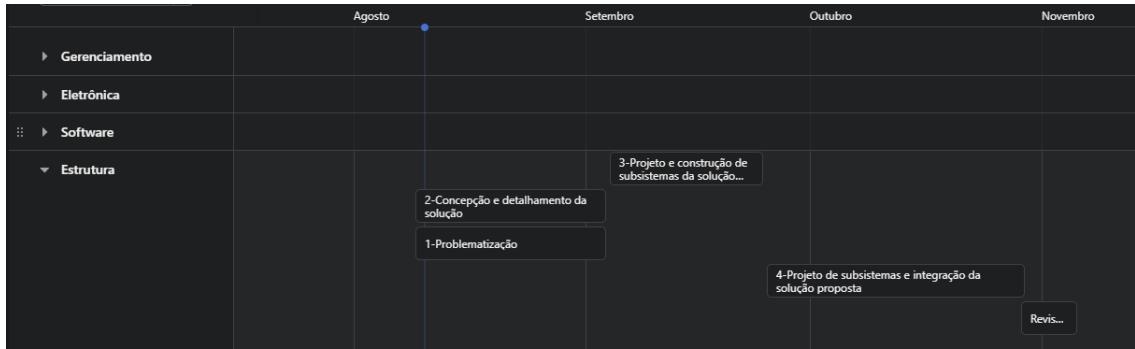


Figura 176 – Quarta parte do RoadMap

APÊNDICE B – 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 C – 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>>

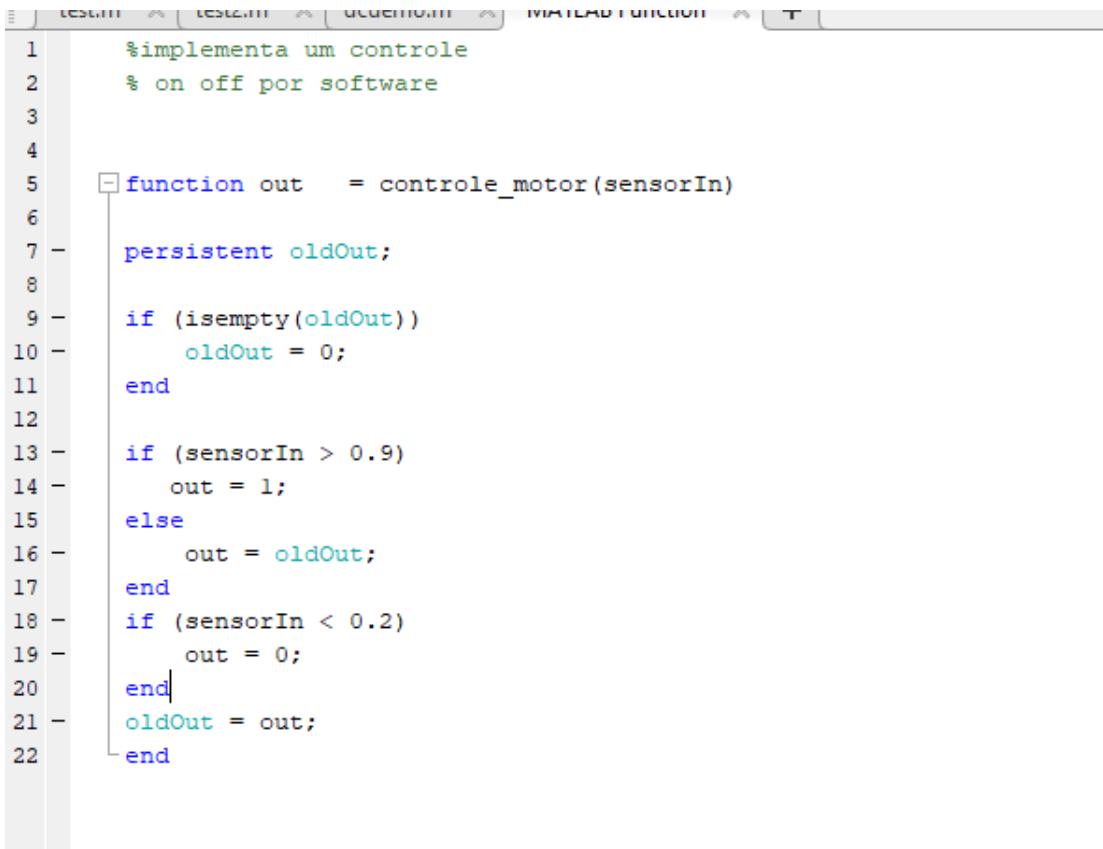
Atena: <<https://github.com/Projeto-Integrador-2-Grupo-9/Athena>>

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

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

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

APÊNDICE D – 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 177 – Sistema de controle de movimentação

```

Kp = 5;
Ki = 700;
Kd = 0.01;
F = 1
T = 1.6
C = Kp + Ki + F/ T + s + Kd*s;
sys_cl = feedback(C*P_motor,1);
dist_cl = feedback(P_motor,C);
t = 0:0.001:0.1;
[yr,t] = step(sys_cl, t);
[yd,t] = step(dist_cl, t);
figure(5);
plot(t,yr+yd,'k')
axis([0 0.1 0 1.5])
ylabel('Position, \theta (radians)')
title('Response with different values of Kp, Ki, and Kd')
displayReq(0.040,0.16)

```

Figura 178 – Sistema de controle de parada e desvio

APÊNDICE E – Esquemáticos do circuito e placa de circuito impresso

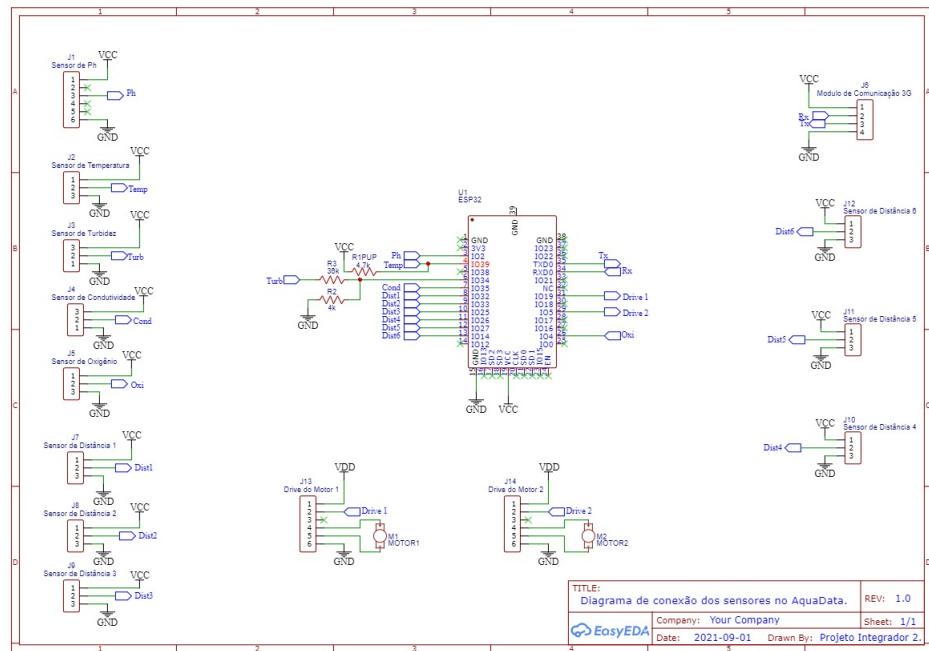


Figura 179 – Esquemático do circuito desconectado

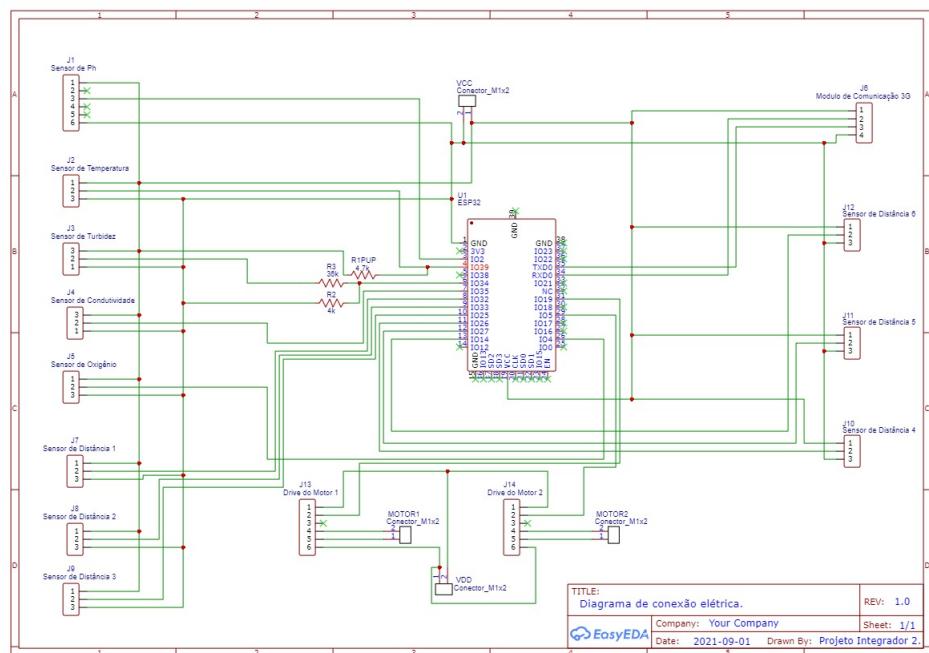


Figura 180 – Esquemático do circuito conectado

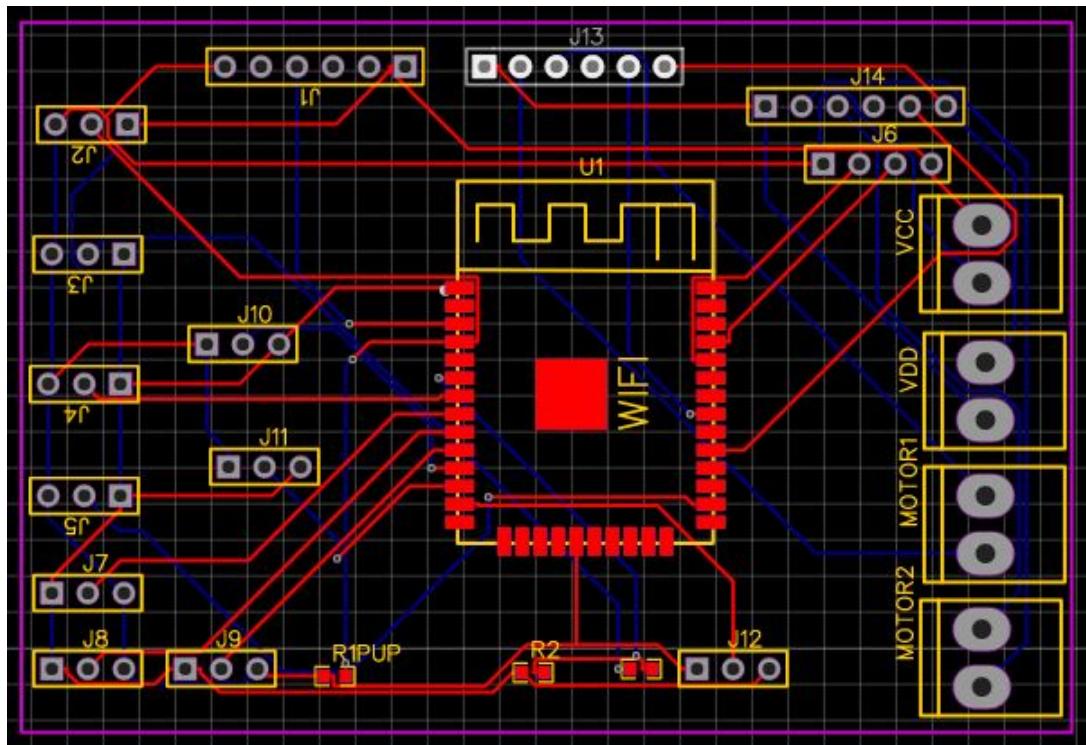


Figura 181 – Placa de circuito impresso em 2D

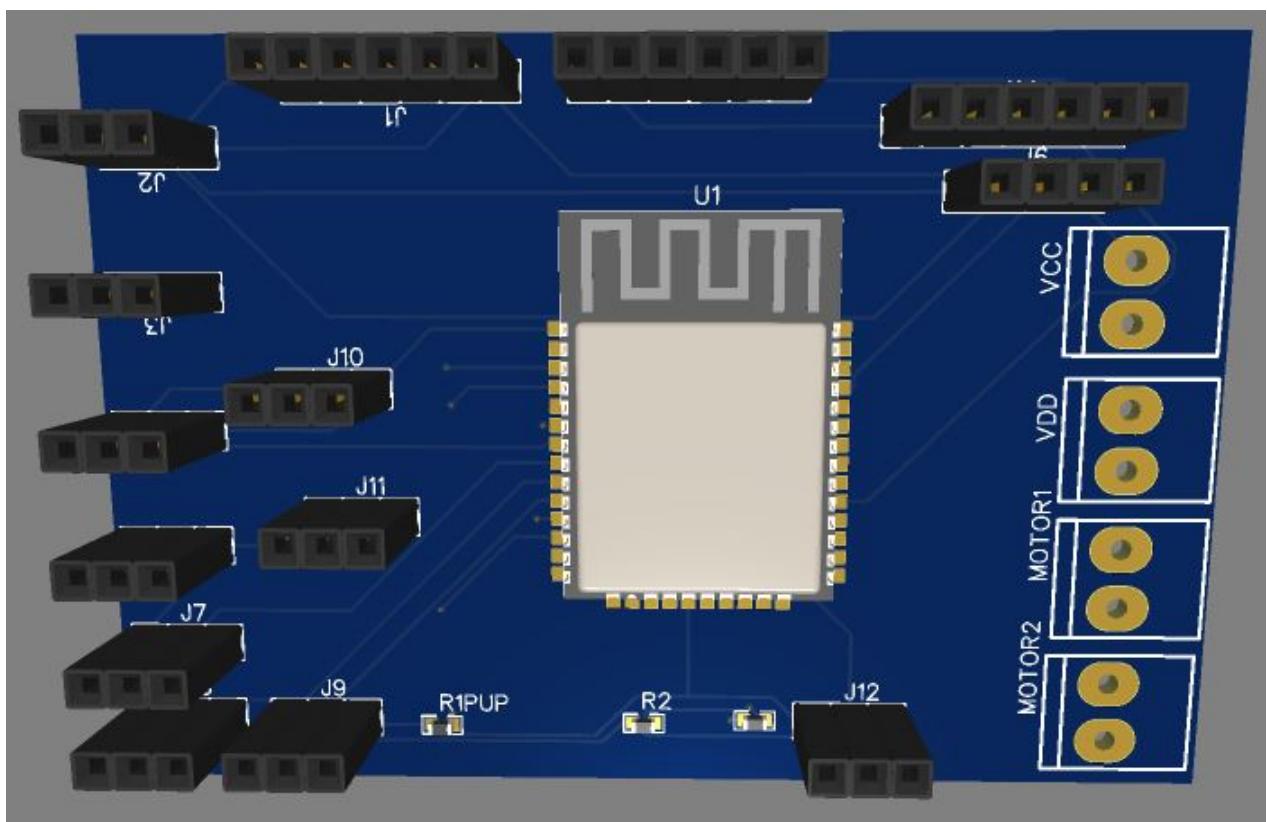


Figura 182 – Placa de circuito impresso em 3D

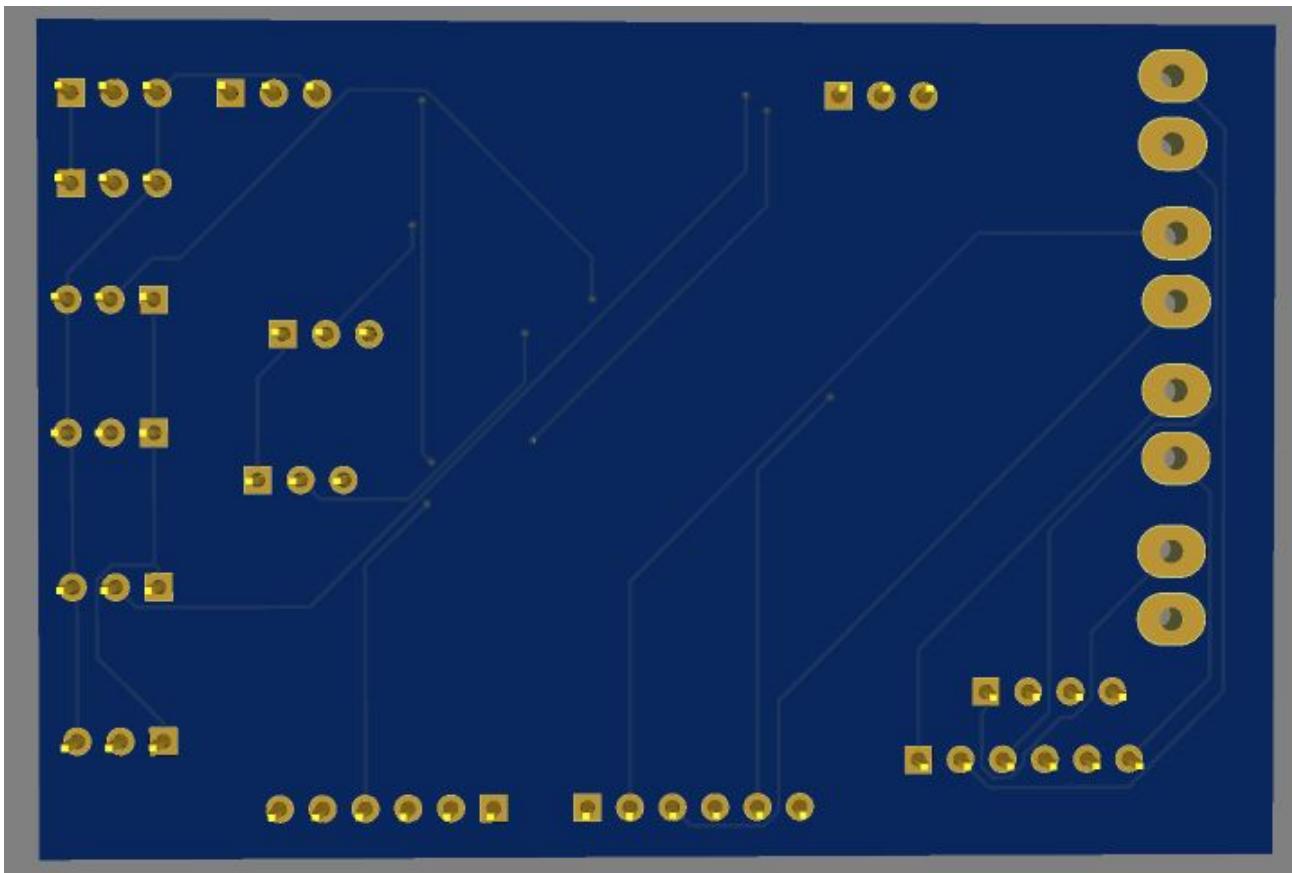


Figura 183 – Visualização do verso da placa de circuito impresso em 3D

APÊNDICE F – Lista de Materiais

Tabela 46 – Lista de Materiais

Componentes Estruturais	Material	Especificações
Estrutura Flutuante	Fibra de vidro E-glass	Densidade (kg/m ³): 2.54 E-Módulo (GPa): 72.5 Resistência Tração (GPa): 1.72-3.45 Elong. (%): 2.5
	Resina Epóxi	Viscosidade,25 o C, cPs:10.000 a 14.000 Temperatura de Deflexão Térmica(HDT)(°C): 95 – 100 Força de Compressão (psi): 5000 Força de Tensão (psi): 3000 - 6200 Elongação (%): 2,8 Impacto Izod (ft lb/in): 0,2 – 0,6 Dureza Barcol: Mín. 30
	Espuma PVC	Densidade nominal (kg/m ³): 60 Resistência à compressão: 0,9 MPa Módulo elástico em compressão: 70MPa Resistência à tensão: 1,8 MPa Módulo elástico em tensão: 75MPa Resistência ao cisalhamento: 0,76 MPa Módulo elástico em cisalhamento: 20 MPa

Tabela 47 – Lista de Materiais

Componentes Estruturais	Material	Especificações
Eixos Propulsores Pás	Aço Inoxidável 316	Densidade (g/cm^3): 8.0
Estruturas Metálicas Torre	Aço 1020	Densidade (g/cm^3): 7.81 g/ cm^3
Mancal	Ferro Fundido	<p>Cotação de Dilatação: 17.5 m/m °C (20 – 100°C)</p> <p>Módulo de Rigidez: 70 GPa (1000 MPa)</p> <p>Módulo de Elasticidade: 200 GPa (1000 MPa)</p> <p>Módulo elástico: 205 GPa</p> <p>Dureza Brinell (HB): 250 - 290 mK</p> <p>Oscilação da temperatura (0 a 100°C): 11.7 m/m°C</p>

APÊNDICE G – Desenhos técnicos



Template_Latex.d/figuras/Drawing1-AssemblyFinal_

Figura 184 – Montagem Final

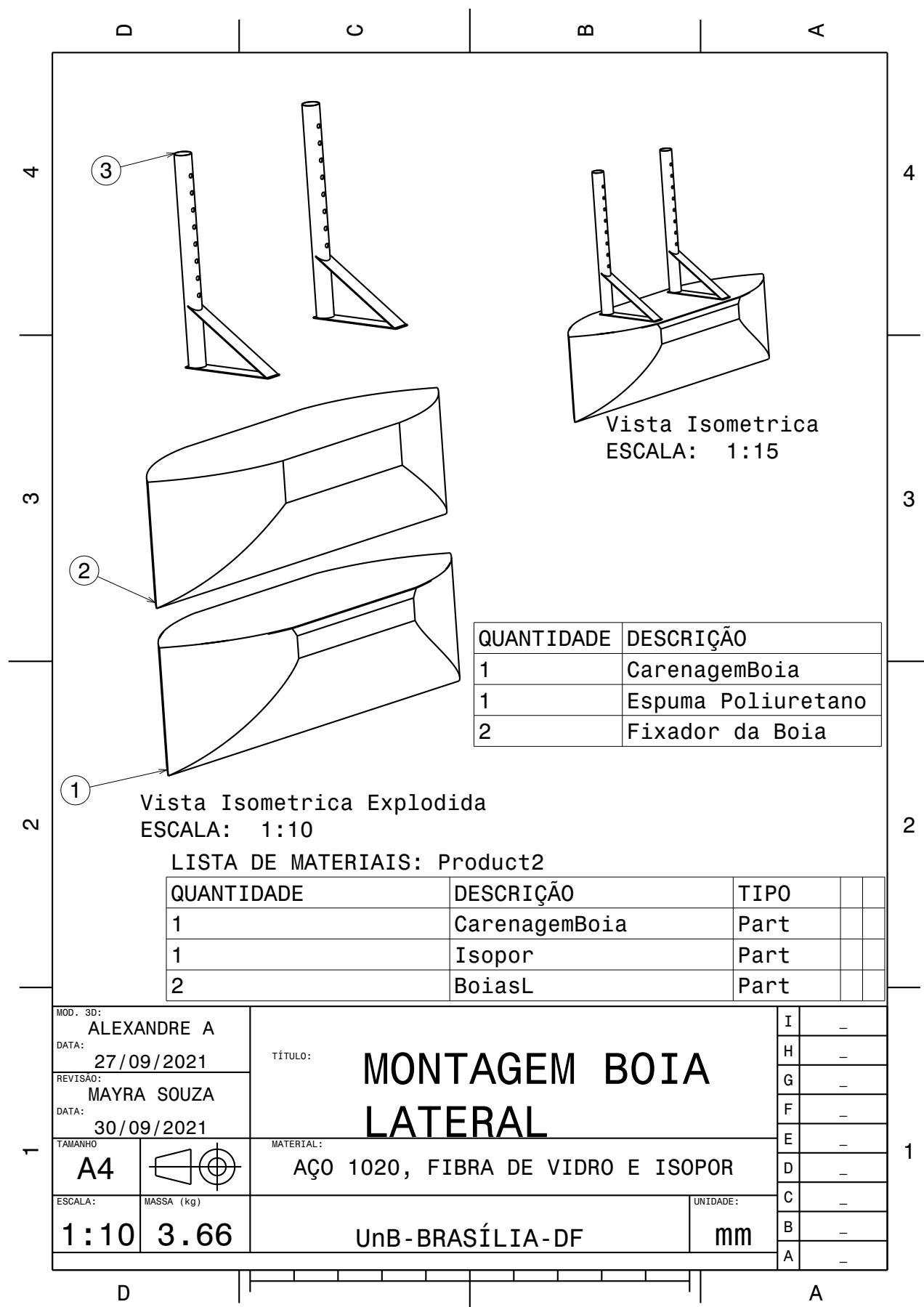


Figura 185 – Montagem Boia

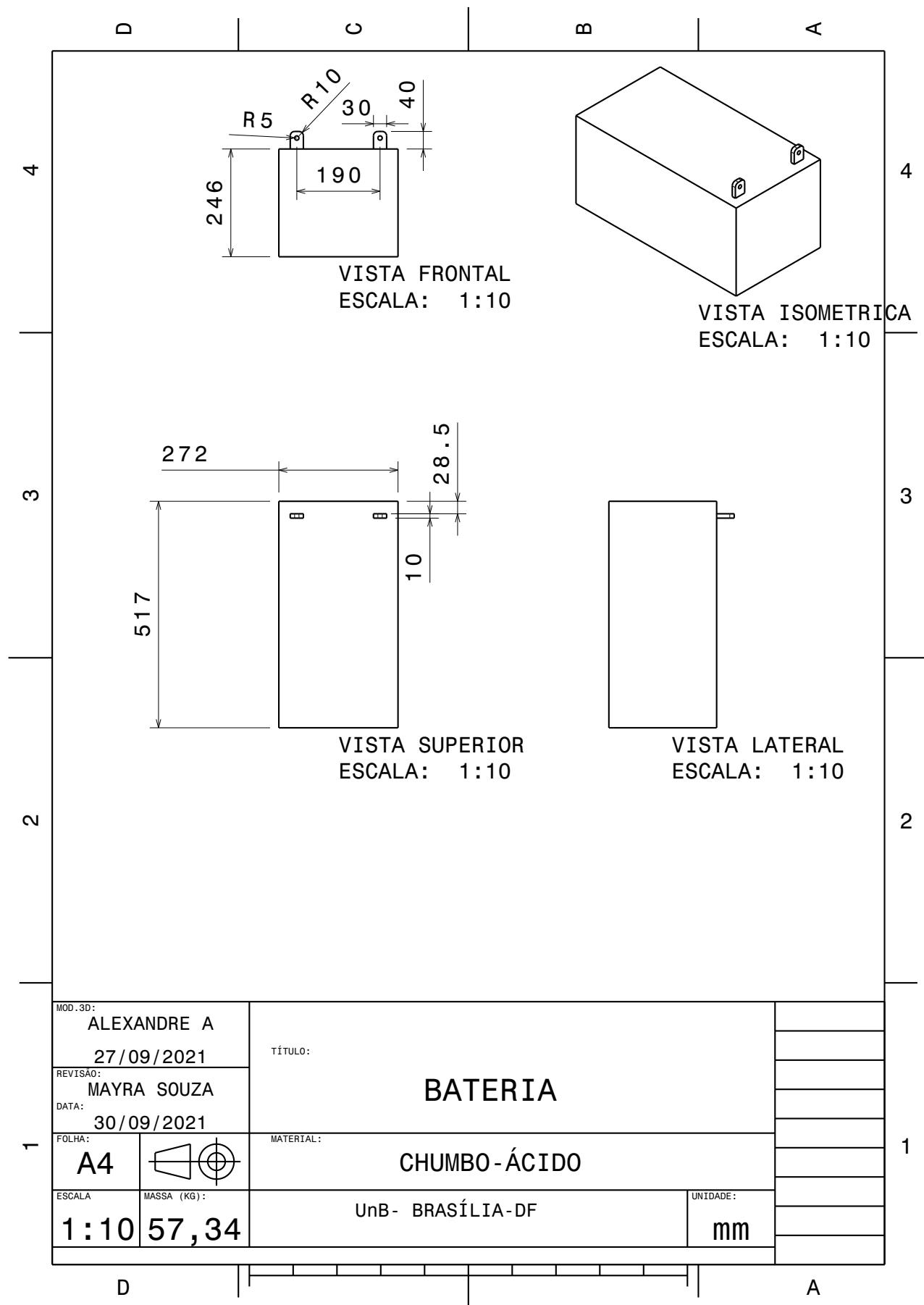


Figura 186 – Bateria

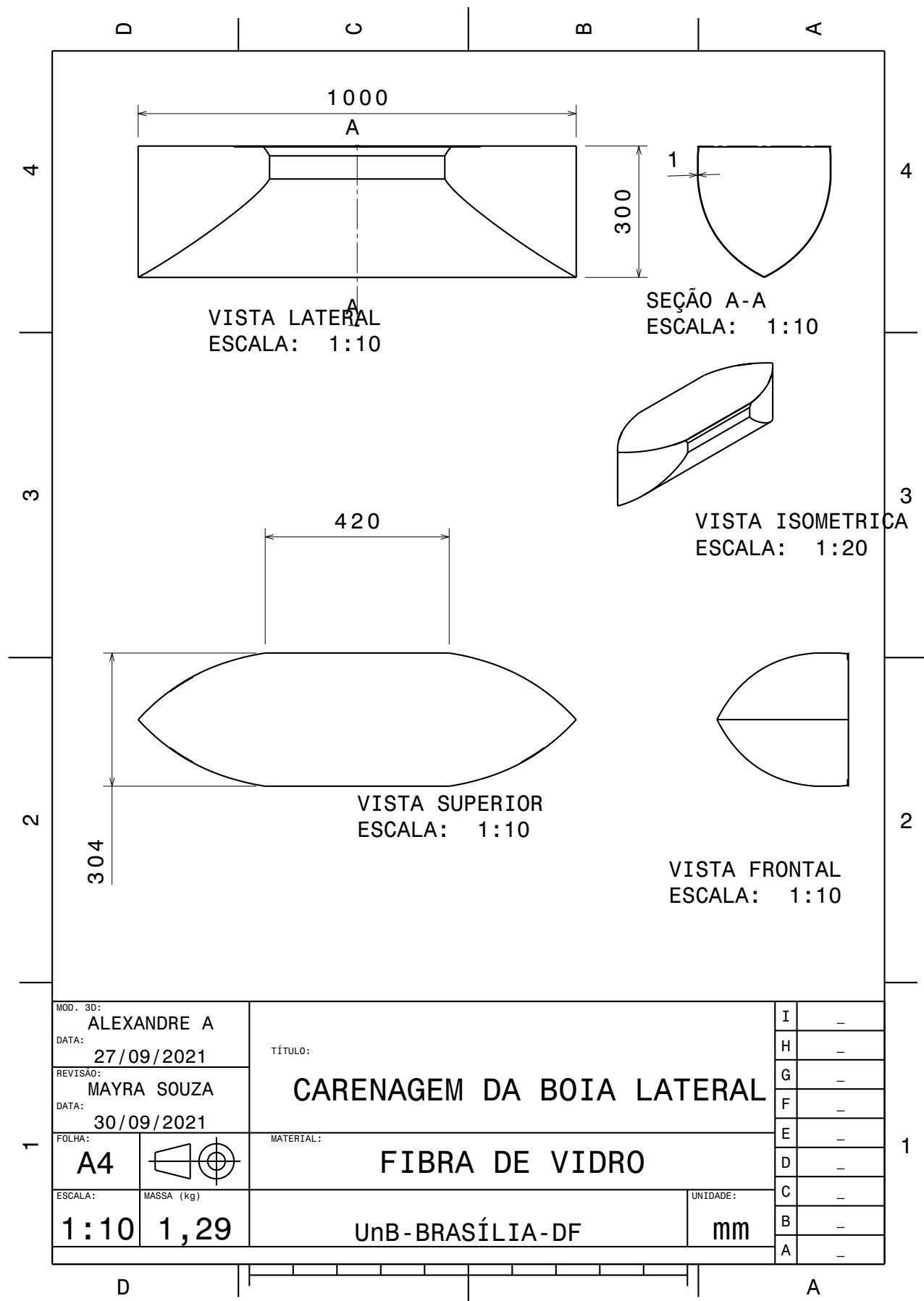


Figura 187 – Carenagem Boia

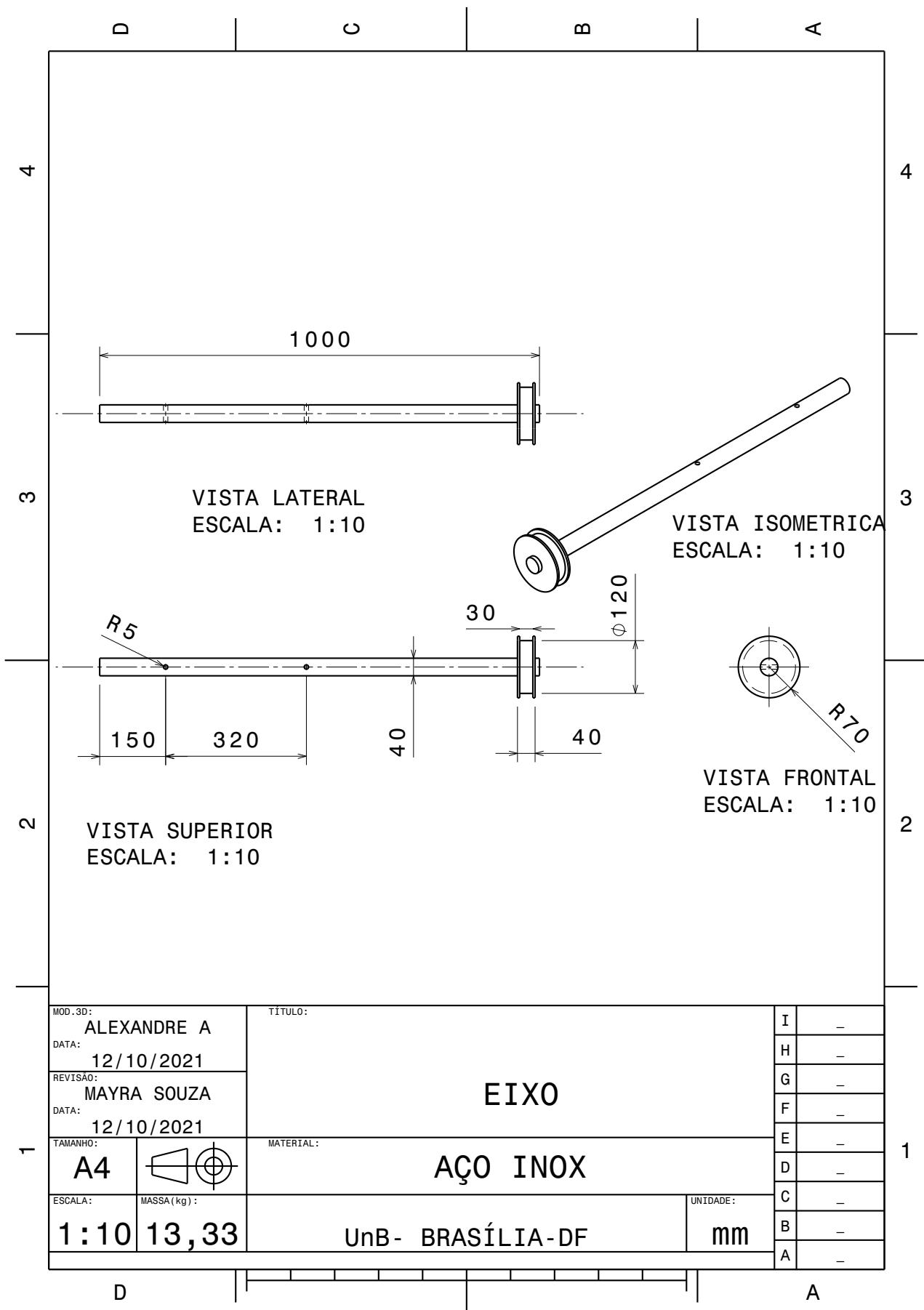


Figura 188 – Eixo

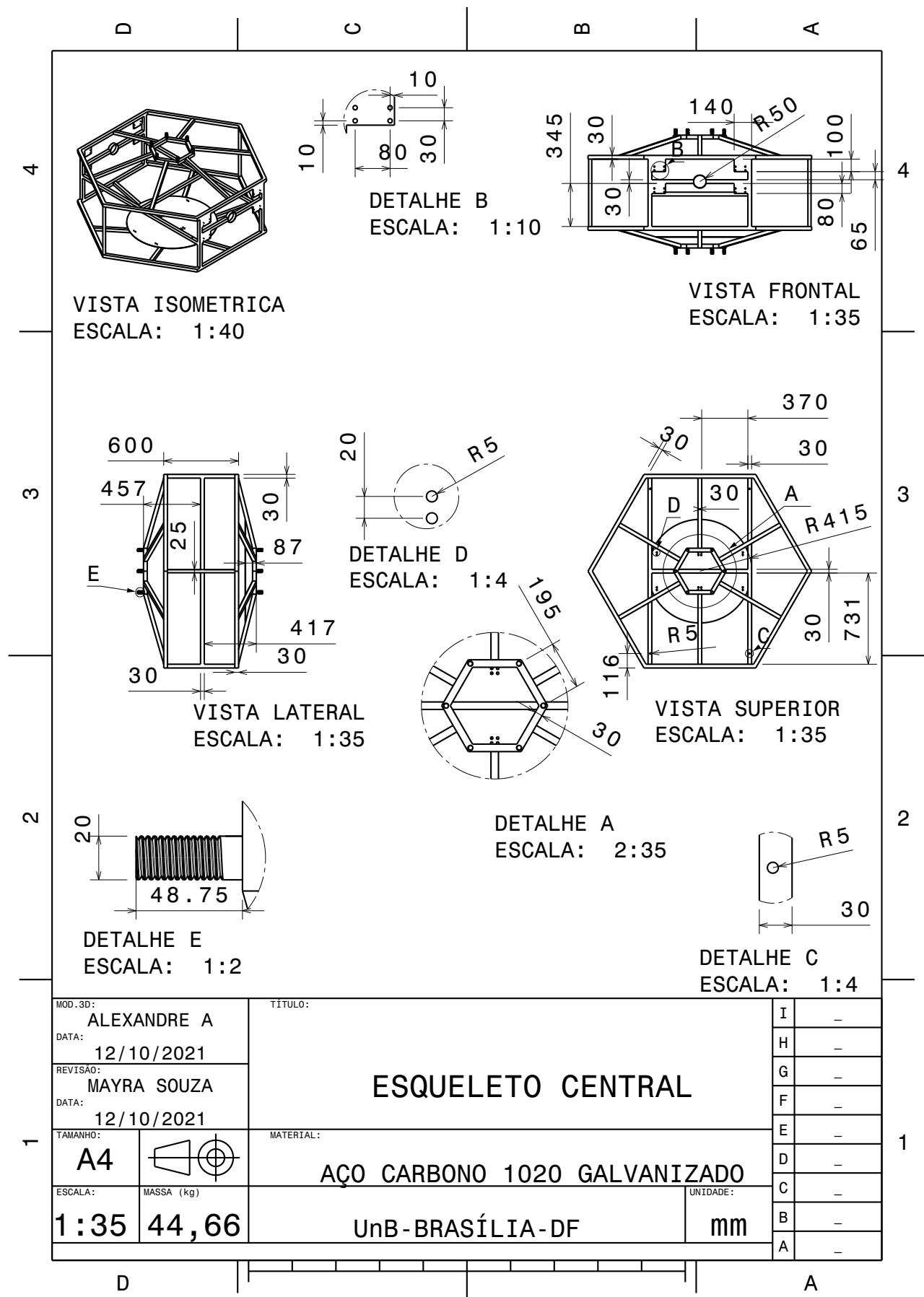


Figura 189 – Estrutura Principal

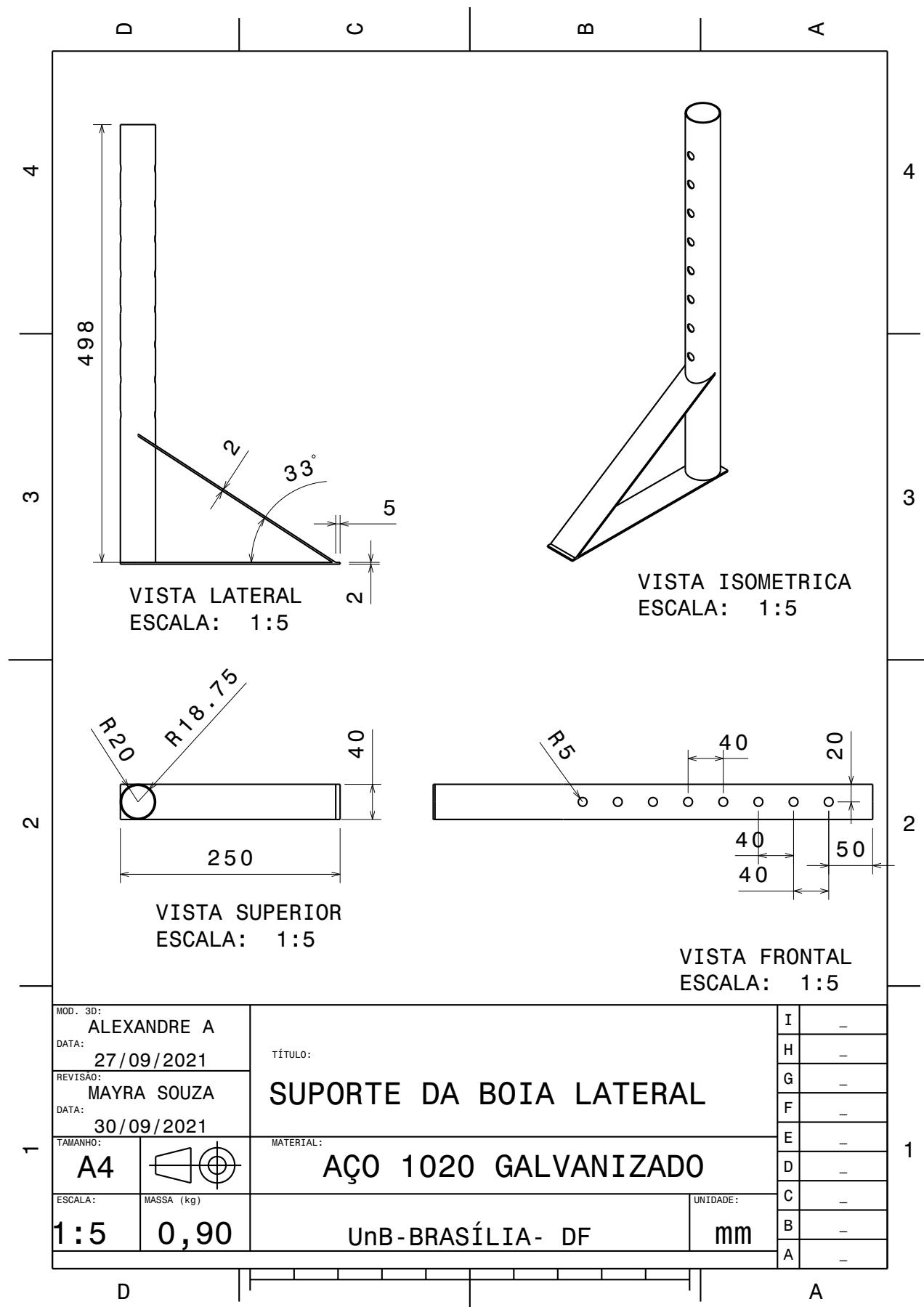


Figura 190 – Fixador de Boia

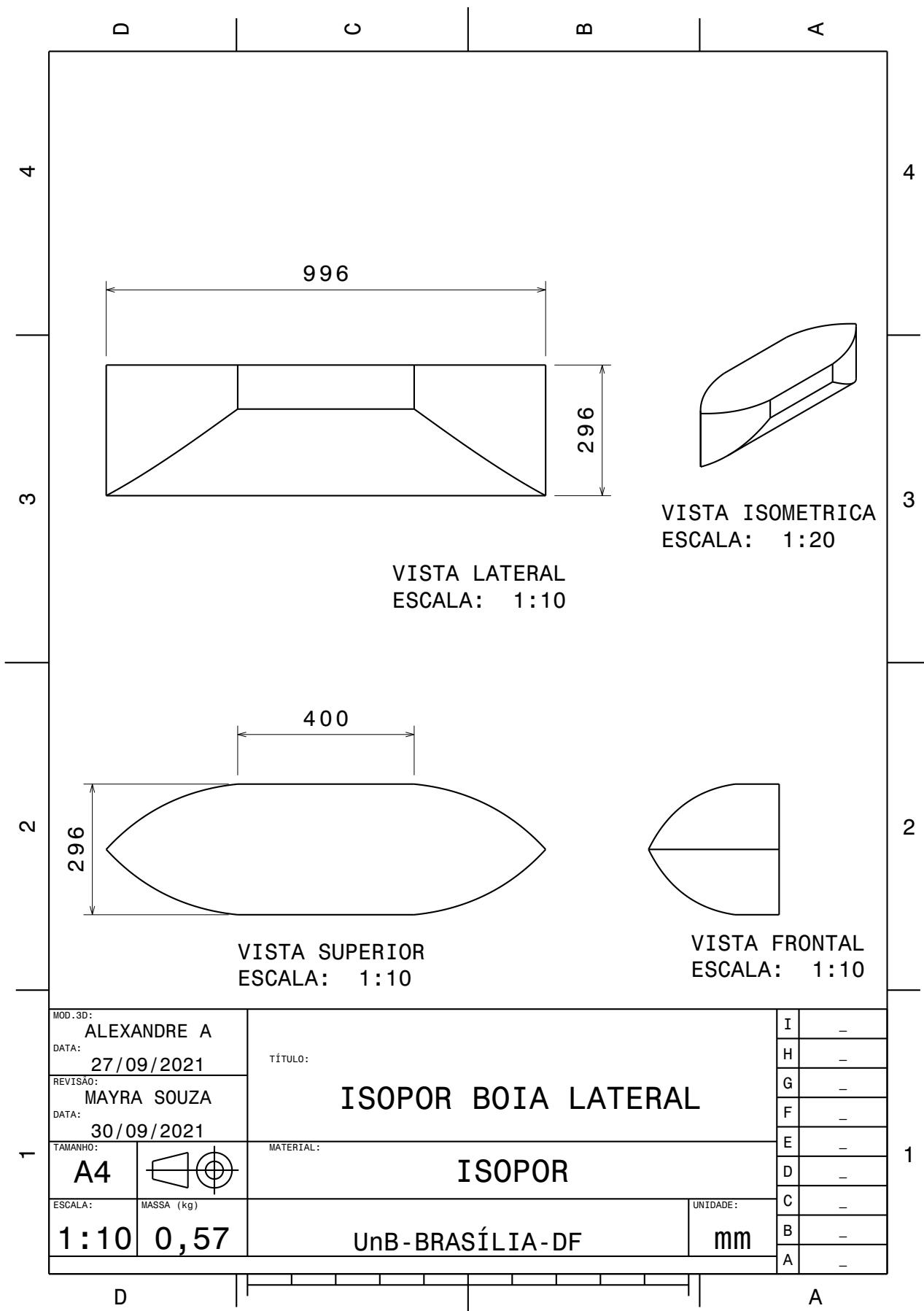


Figura 191 – Espuma de poliuretano

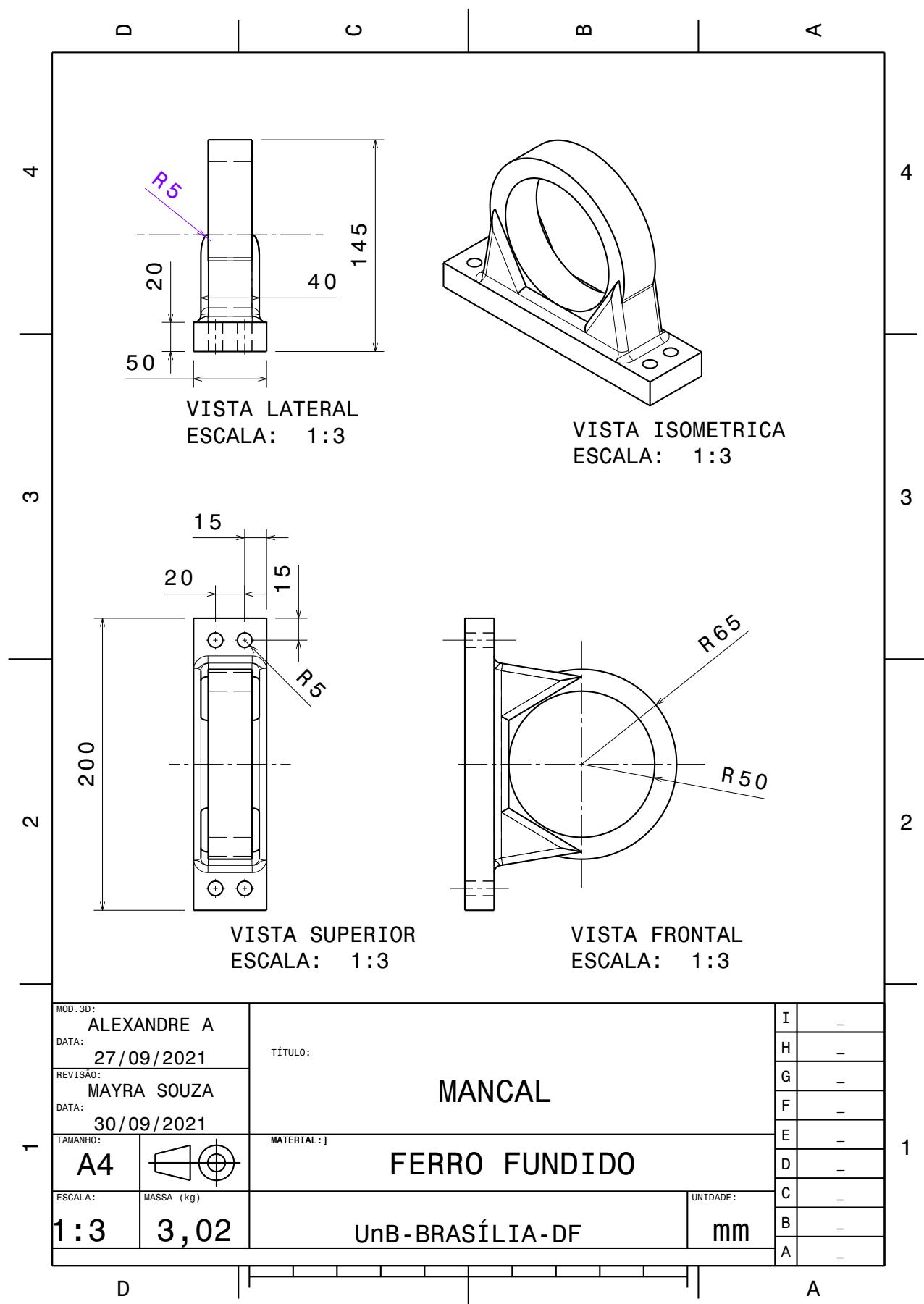


Figura 192 – Mancal

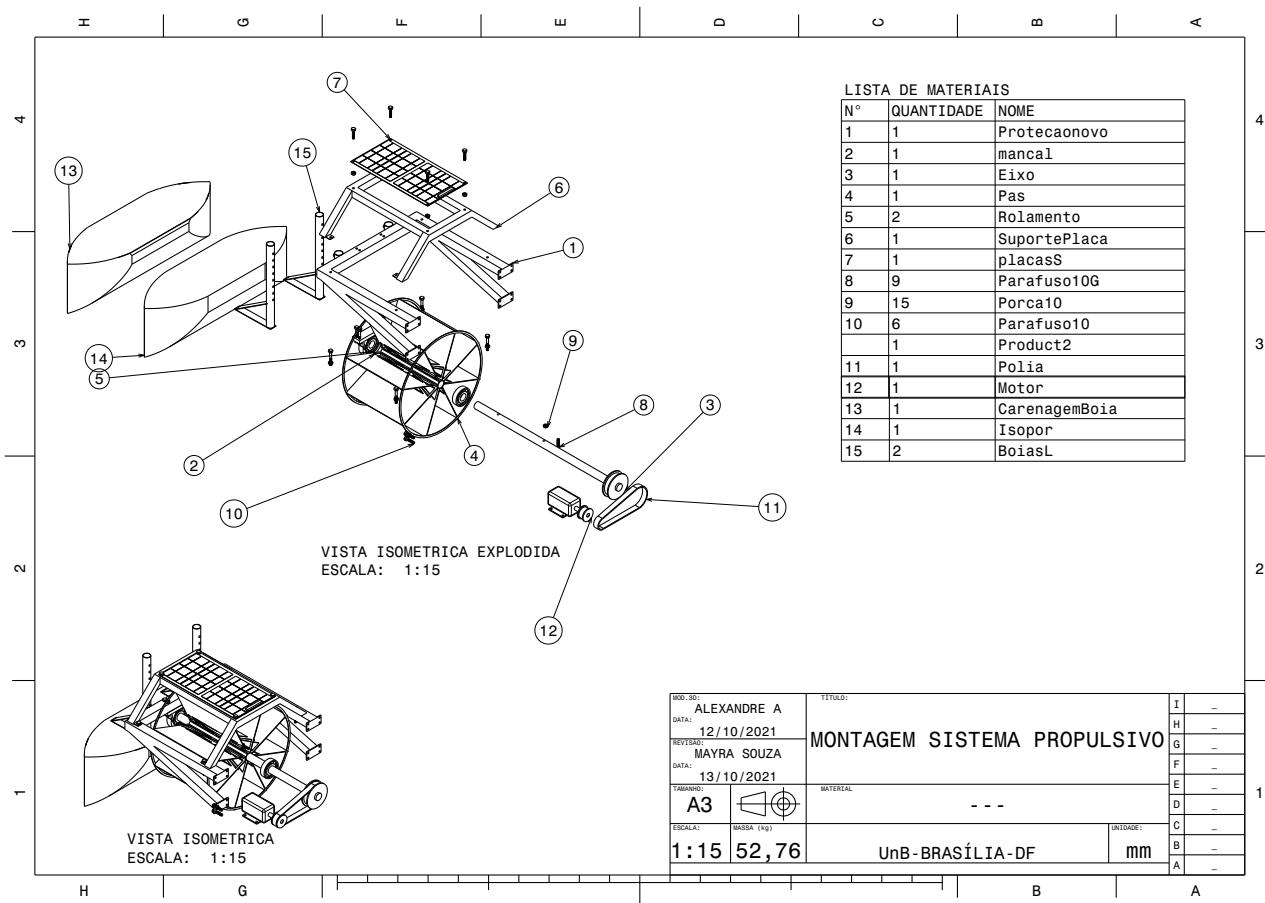


Figura 193 – Montagem das Pás

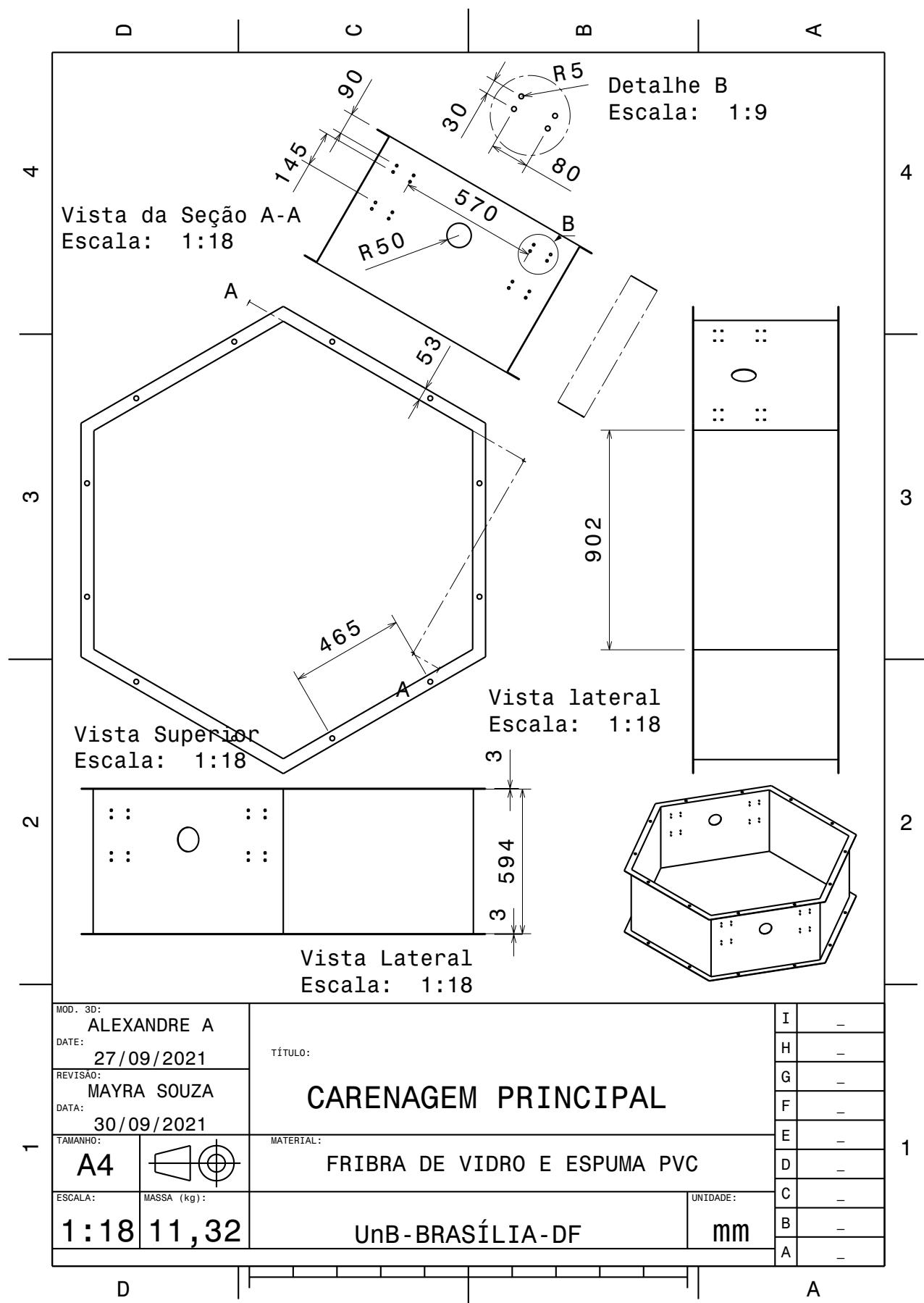


Figura 194 – Carenagem

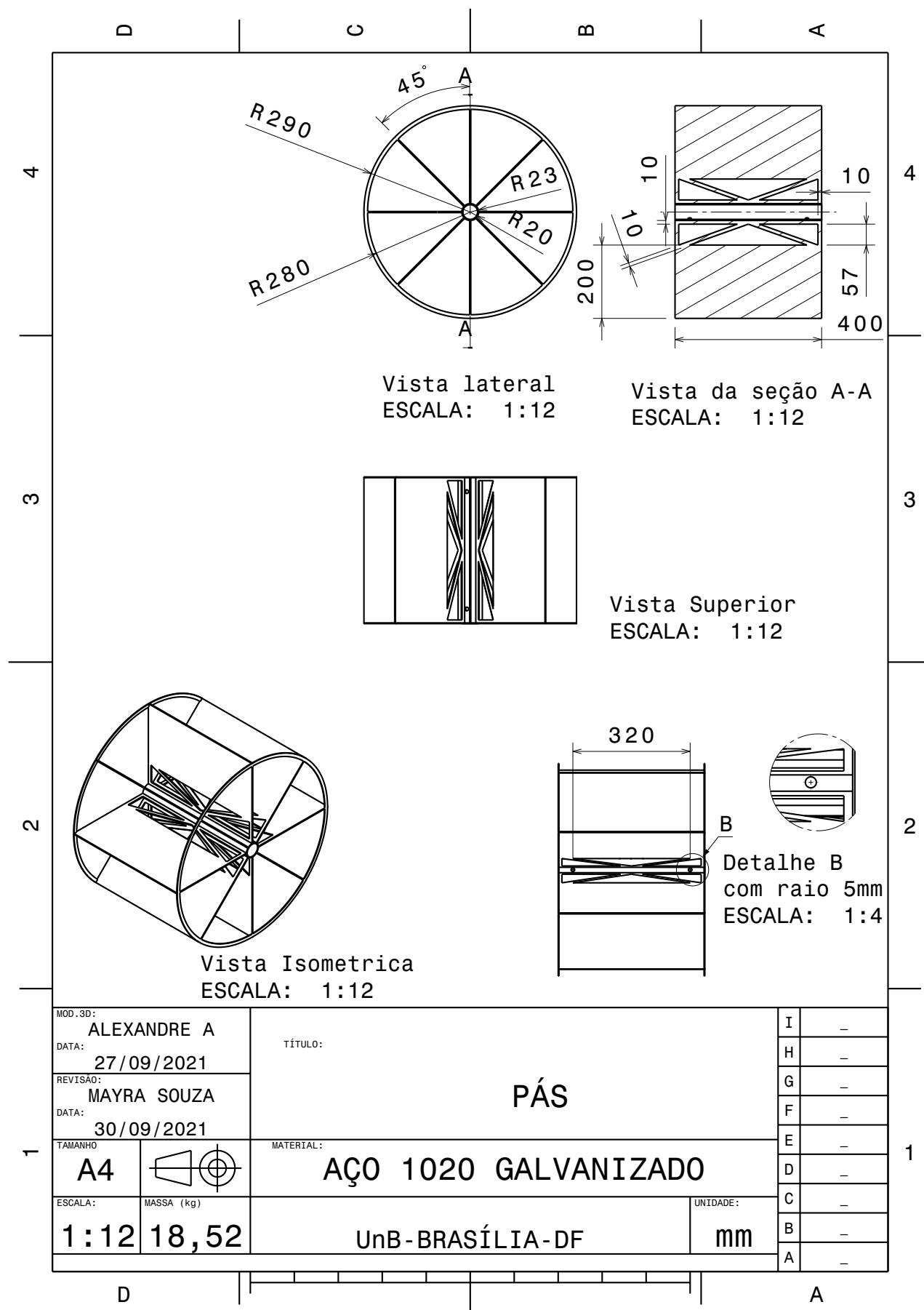


Figura 195 – Pás

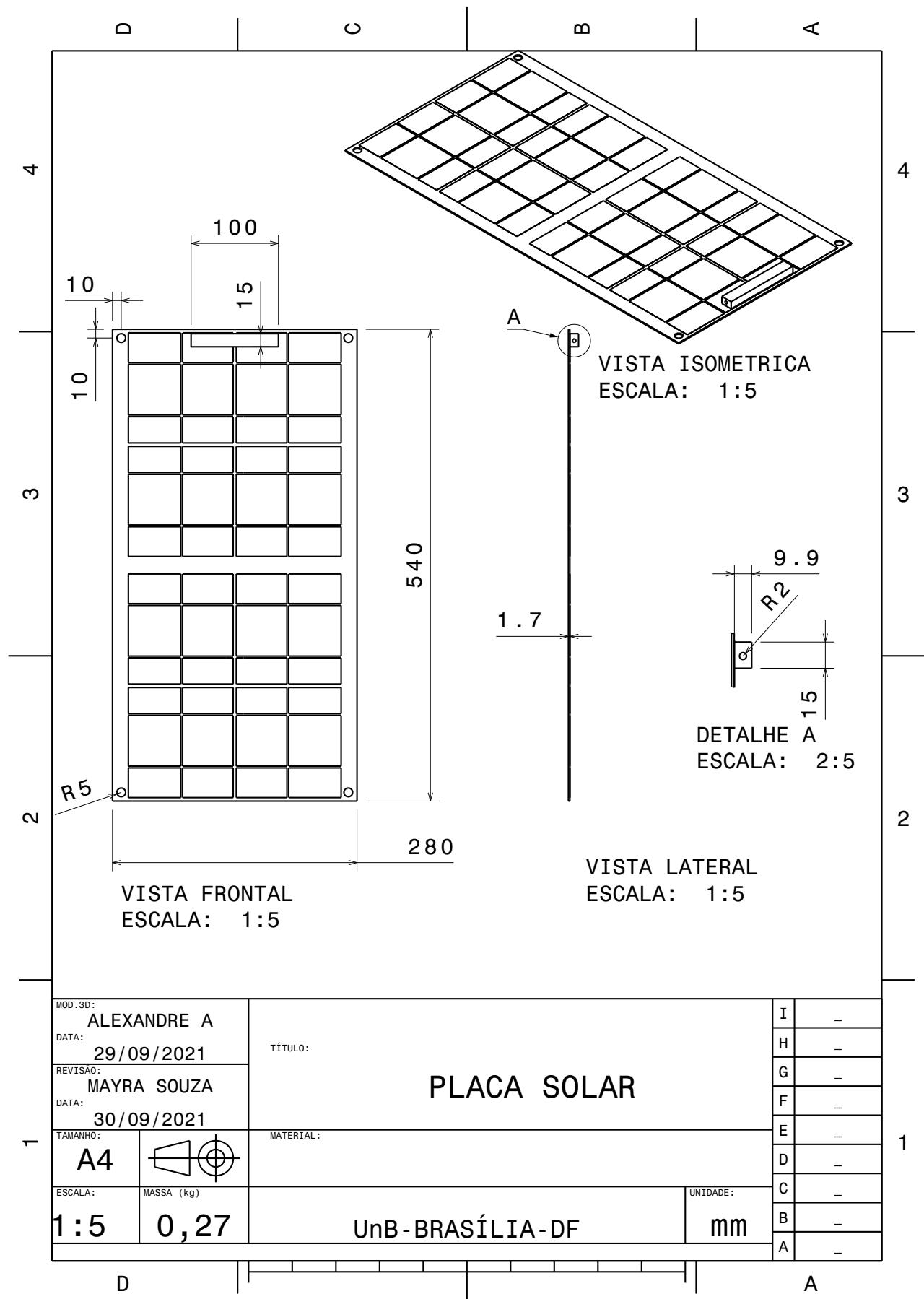


Figura 196 – Placa Solar

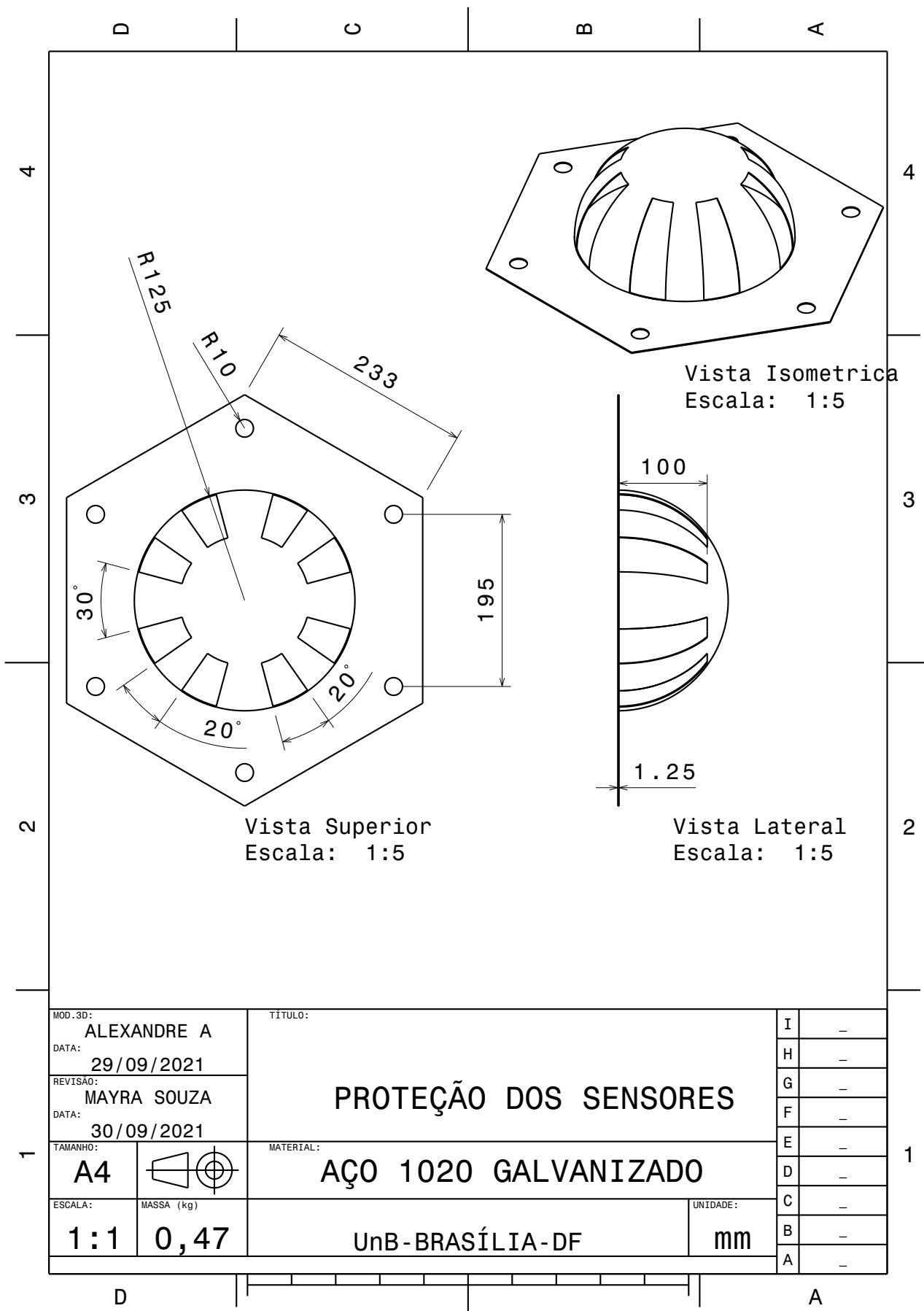


Figura 197 – Proteção dos Sensores

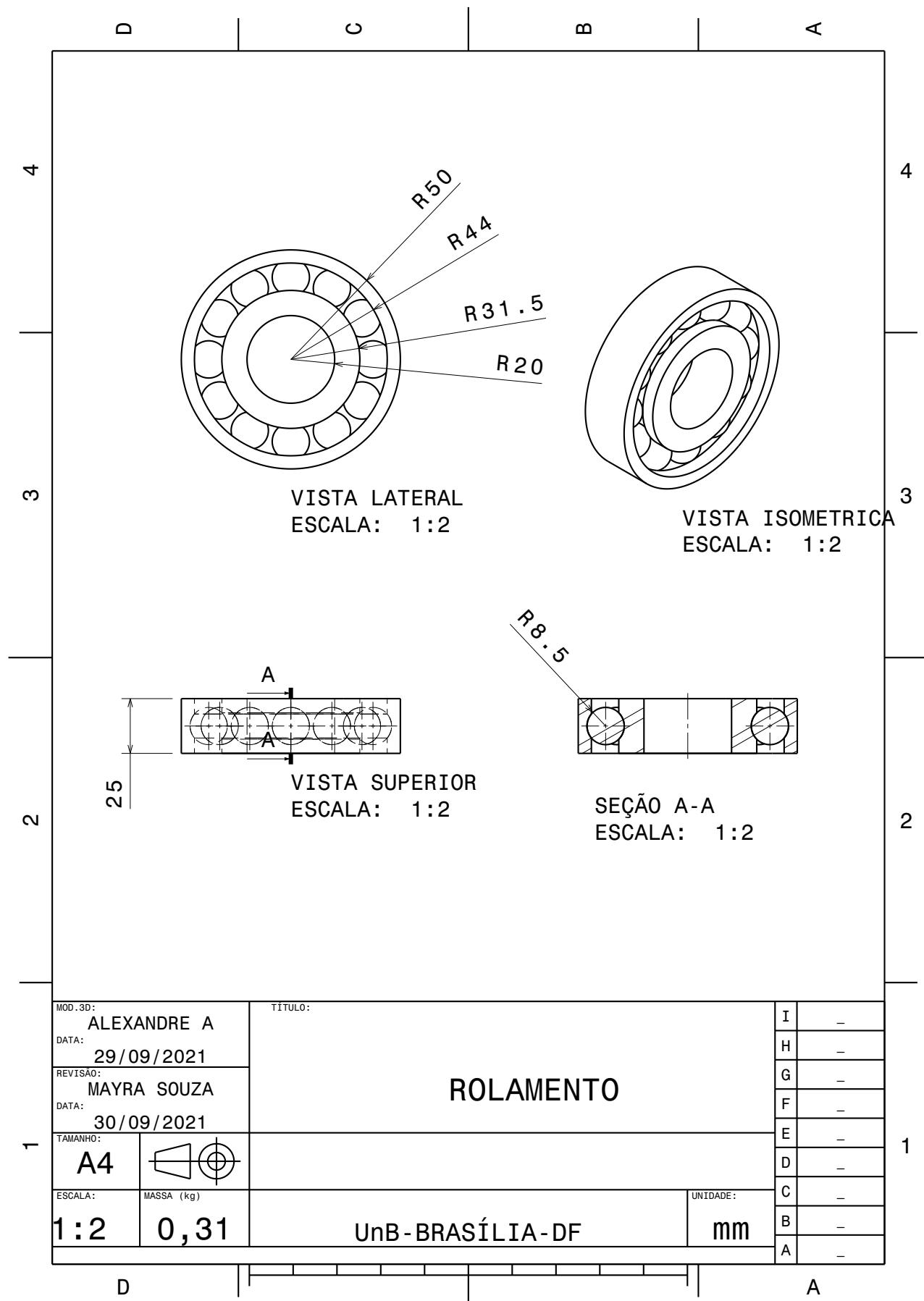


Figura 198 – Rolamento

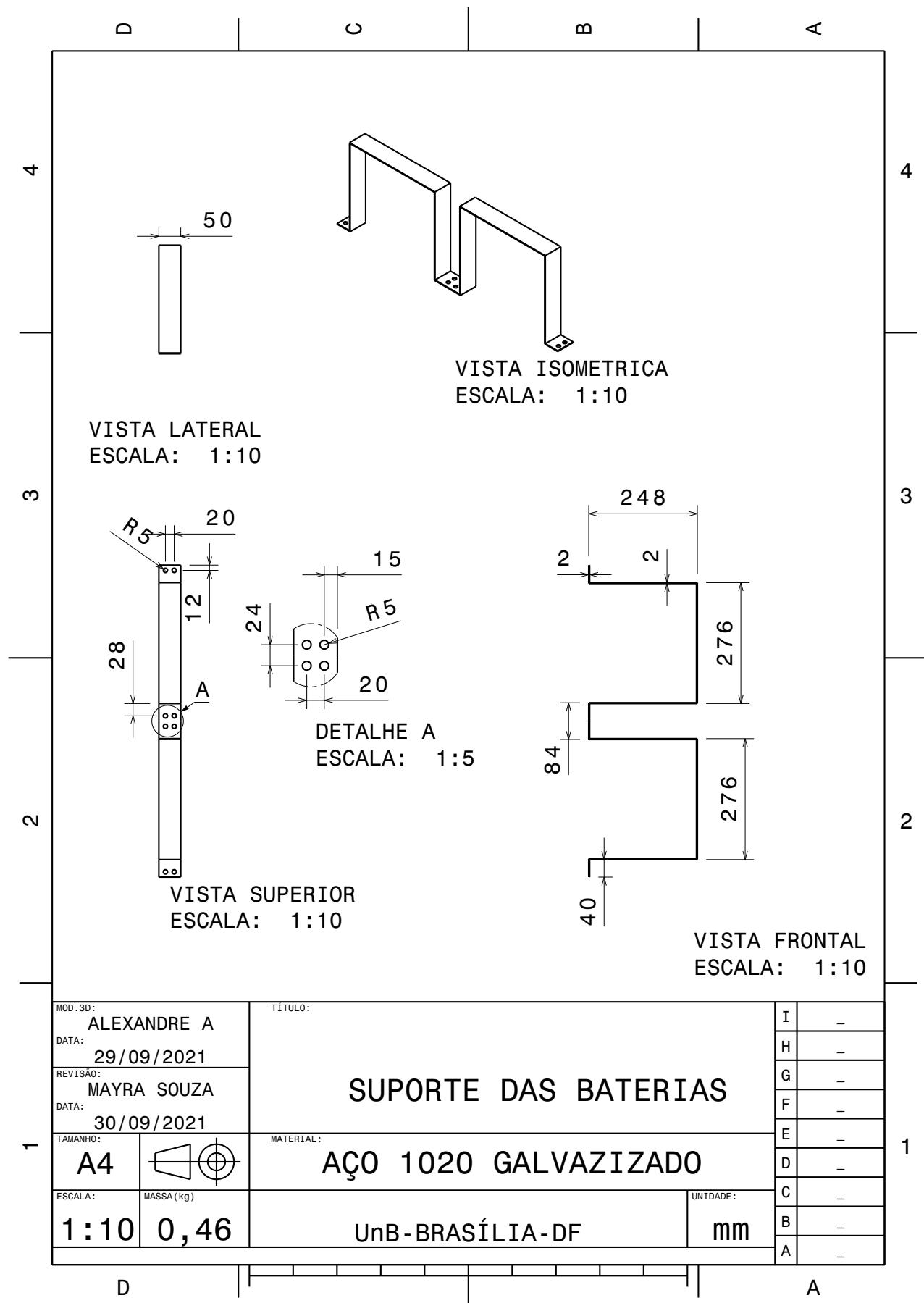


Figura 199 – Suporte das Baterias

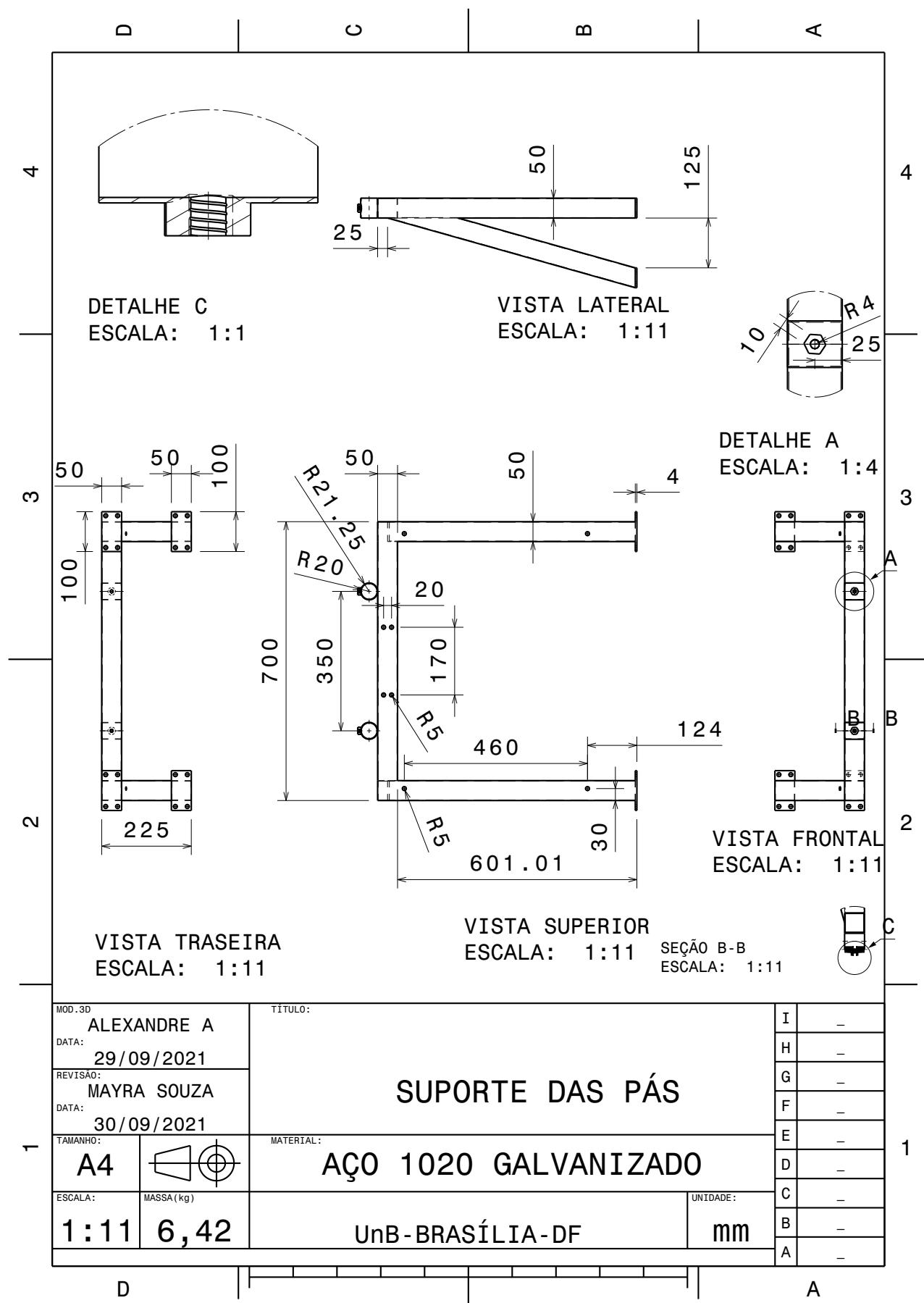


Figura 200 – Suporte das Pás

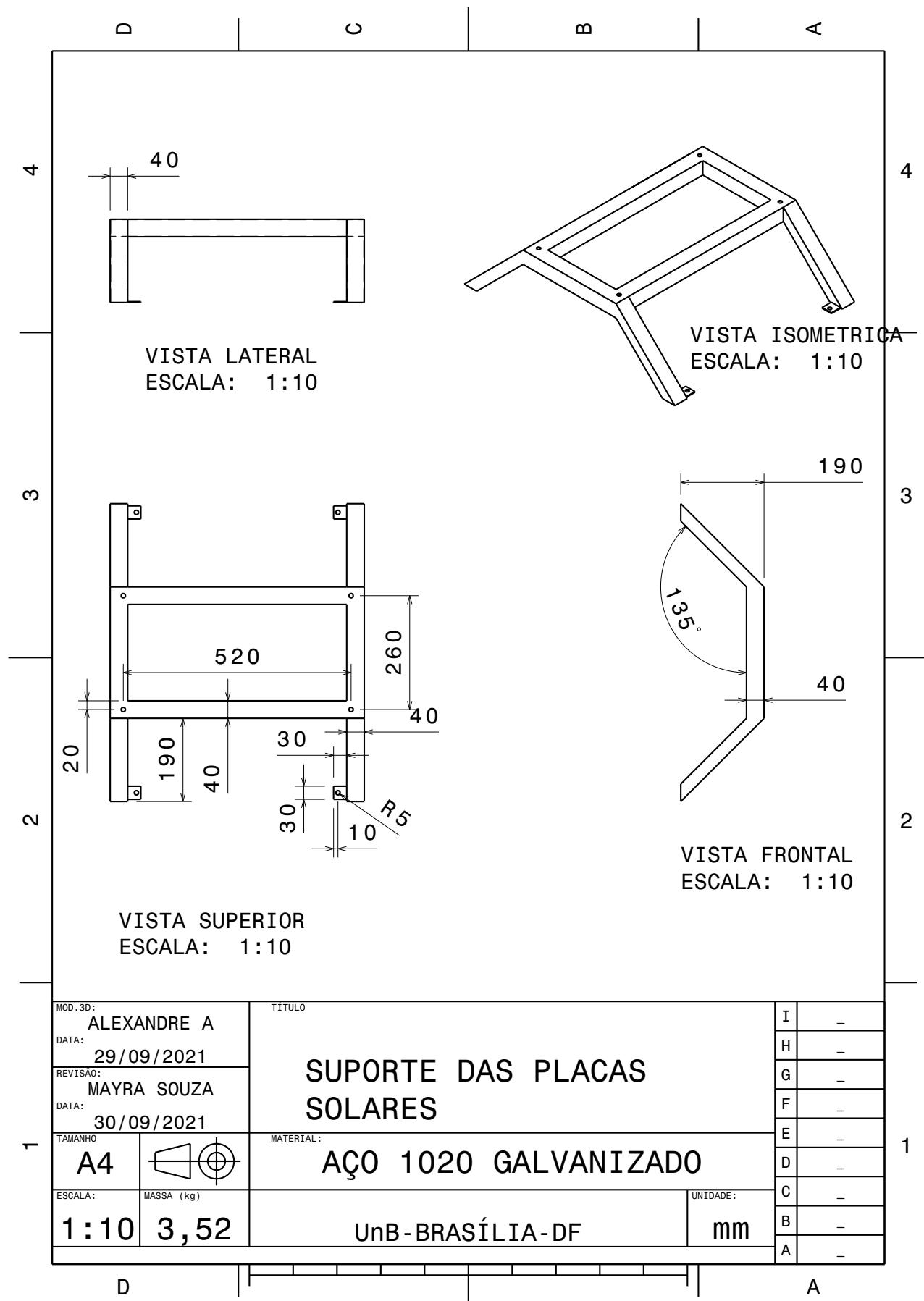


Figura 201 – Suporte das Placas

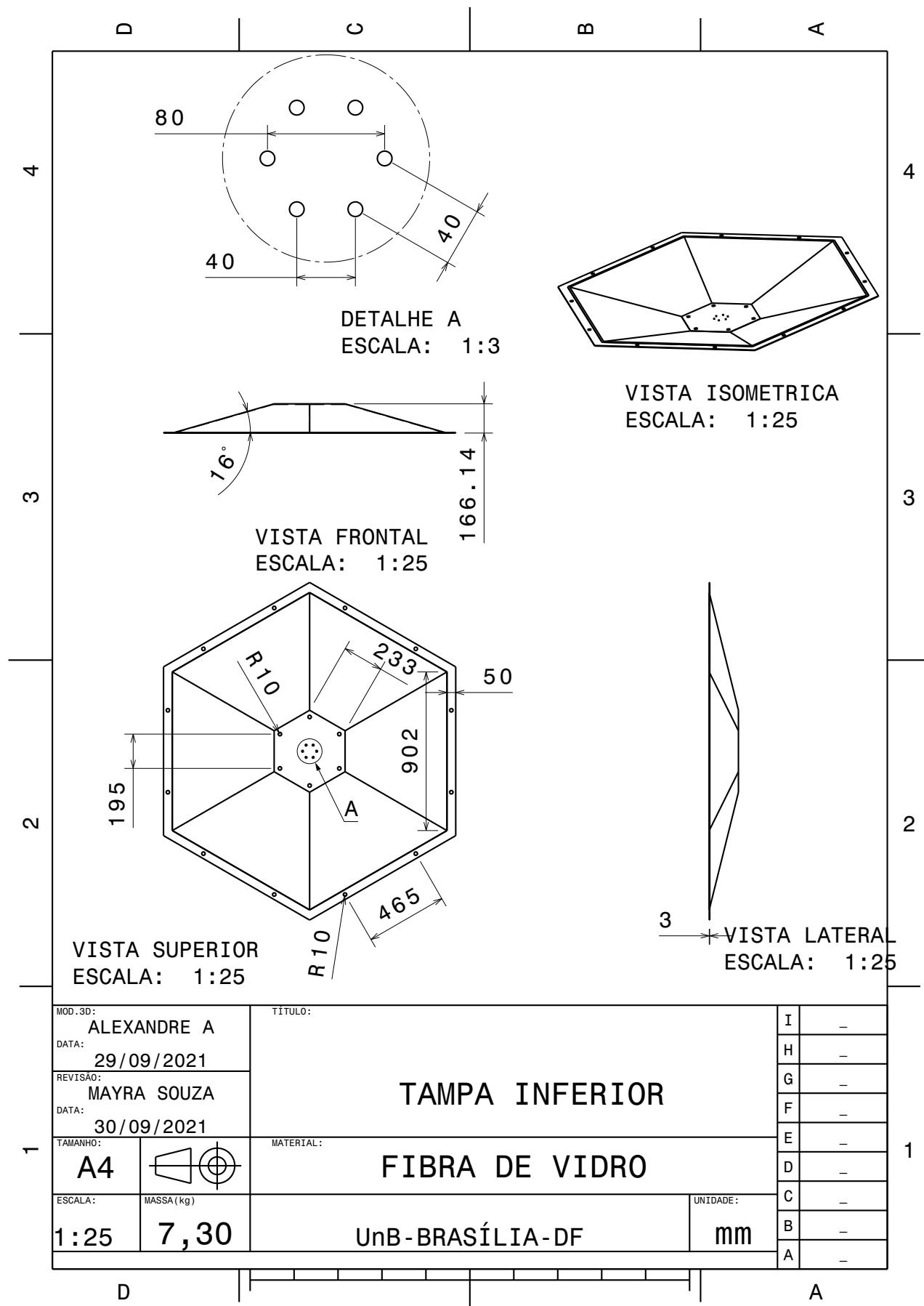


Figura 202 – Tampa Inferior

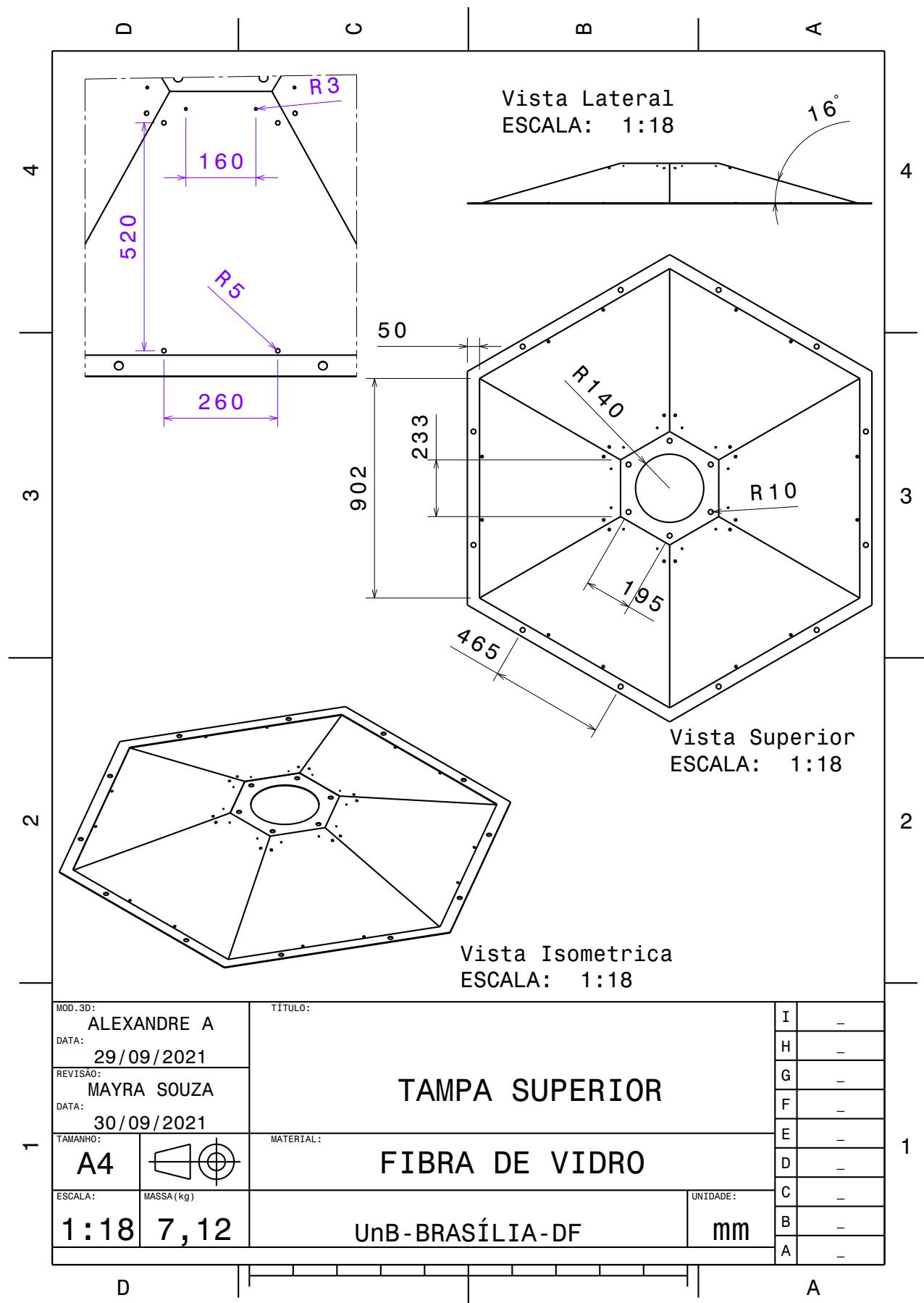


Figura 203 – Tampa Superior

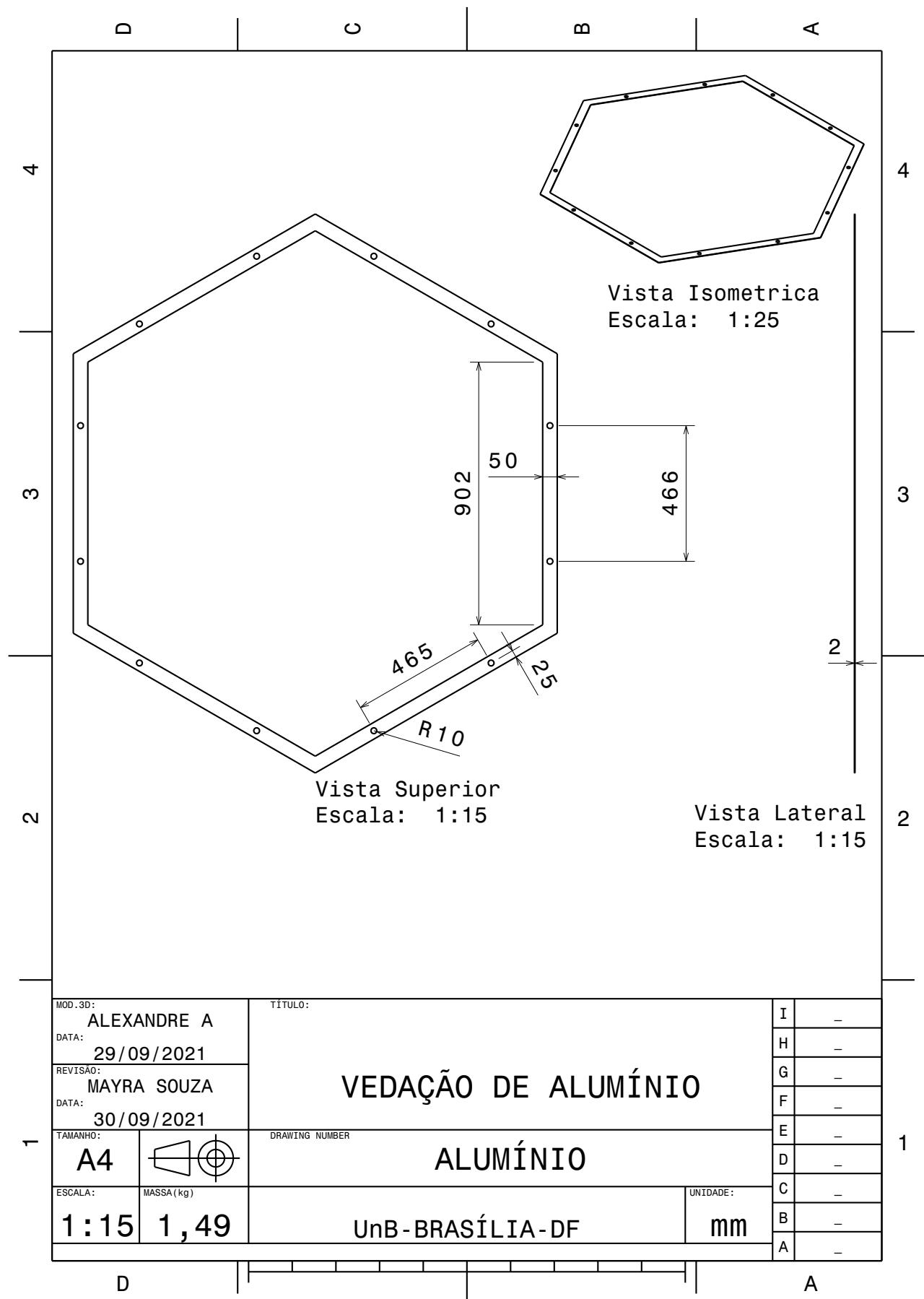


Figura 204 – Vedaçao de Alumínio

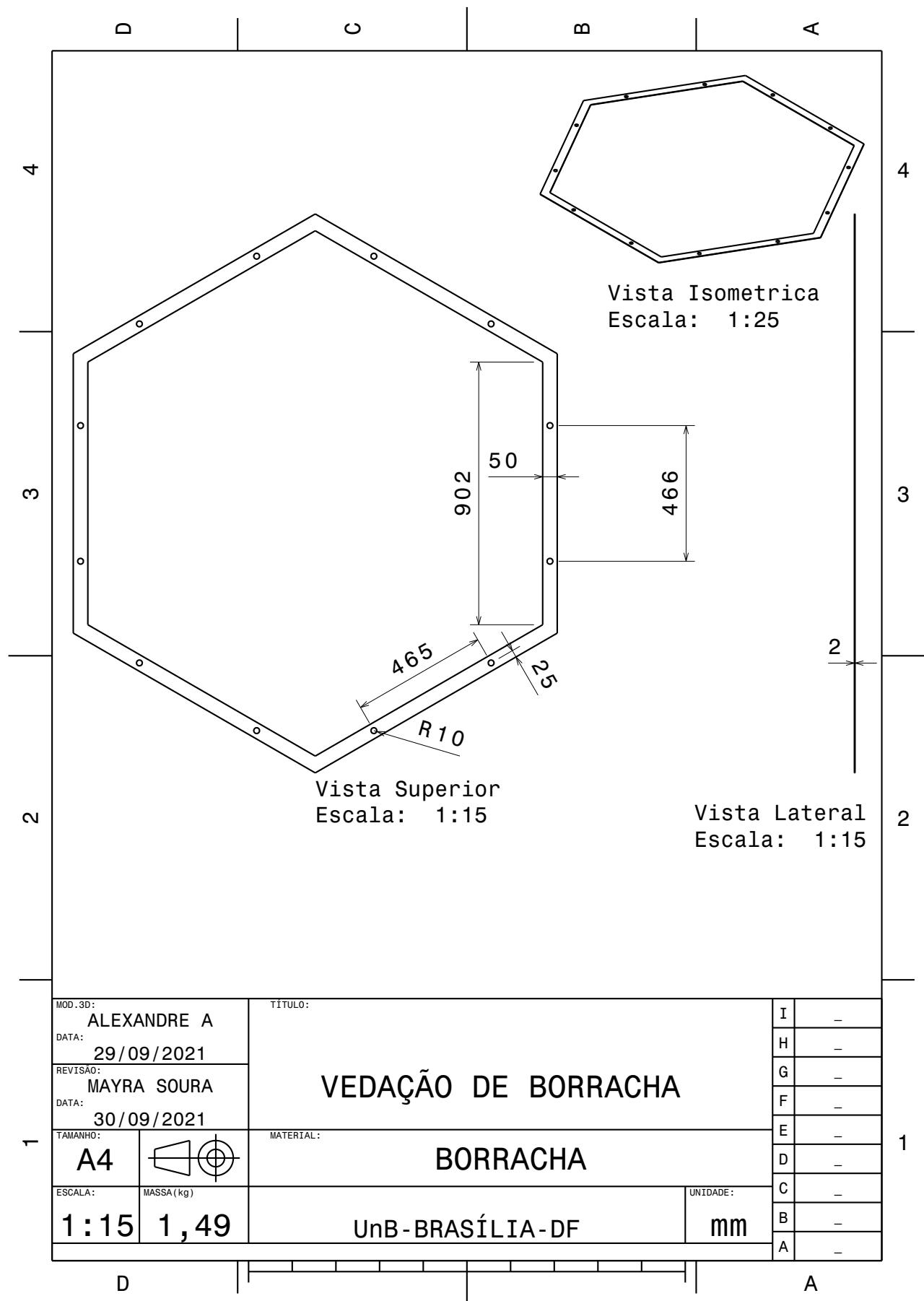


Figura 205 – Vedaçao de Borracha

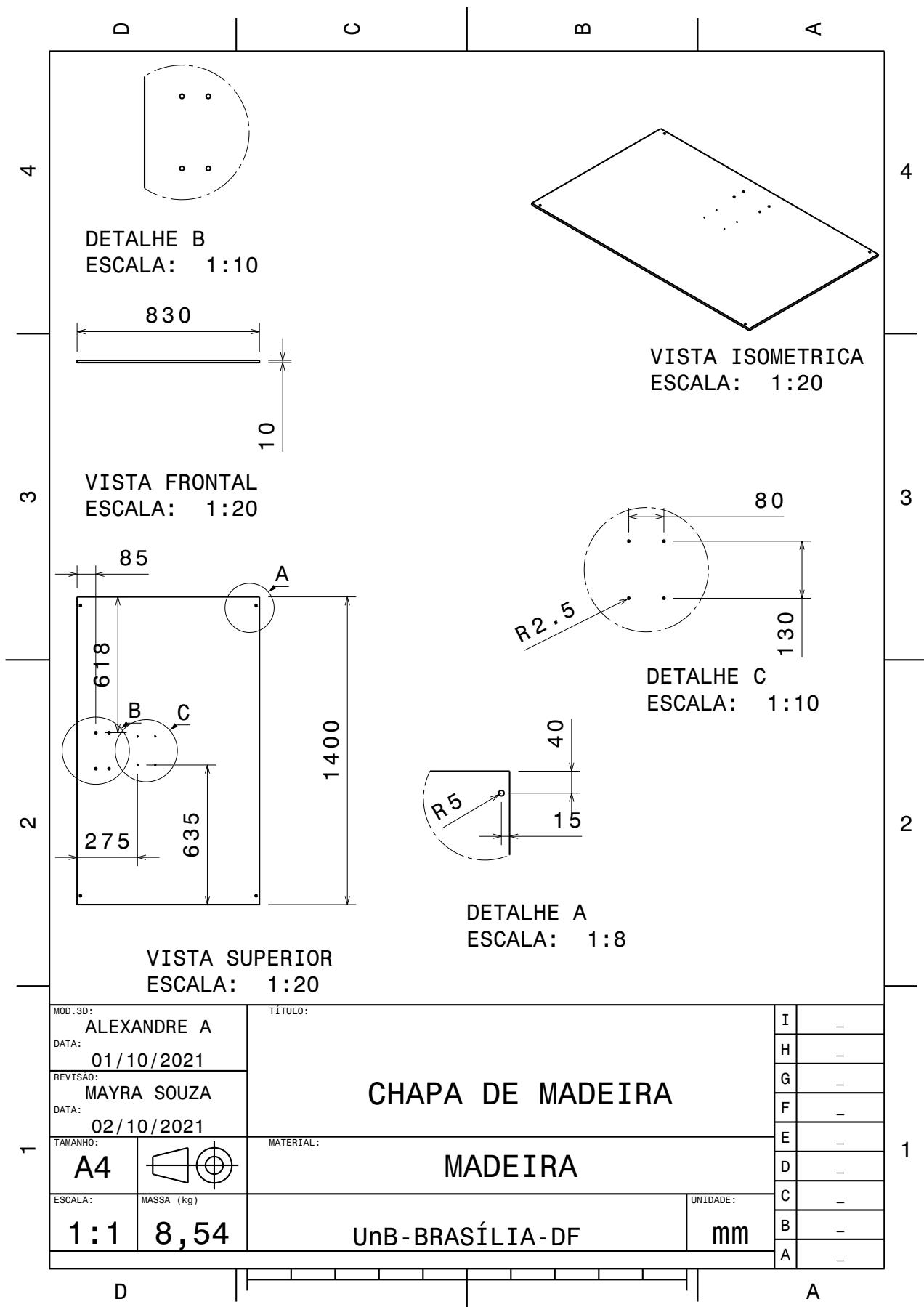


Figura 206 – Chapa de madeira

APÊNDICE H – 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;
    end
end

```

```
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

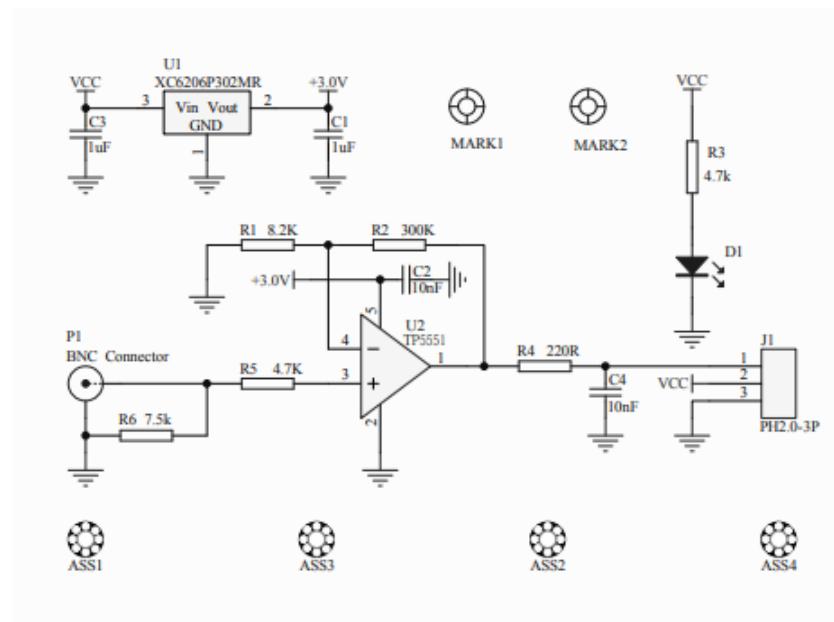


Figura 207 – Esquemático da sonda de oxigênio dissolvido

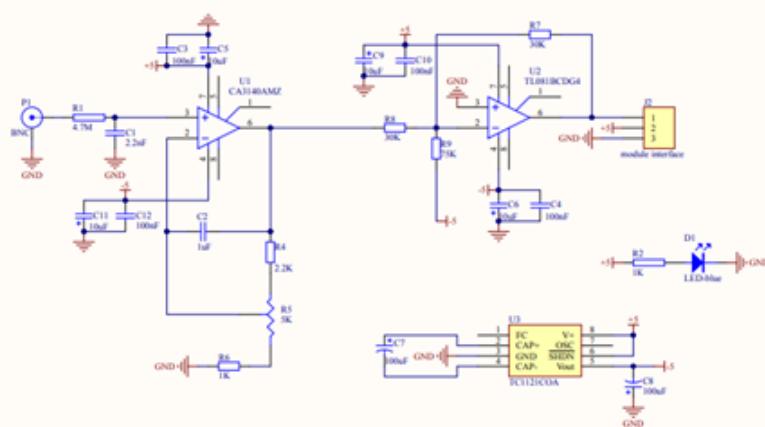


Figura 208 – Esquemático da sonda de ph

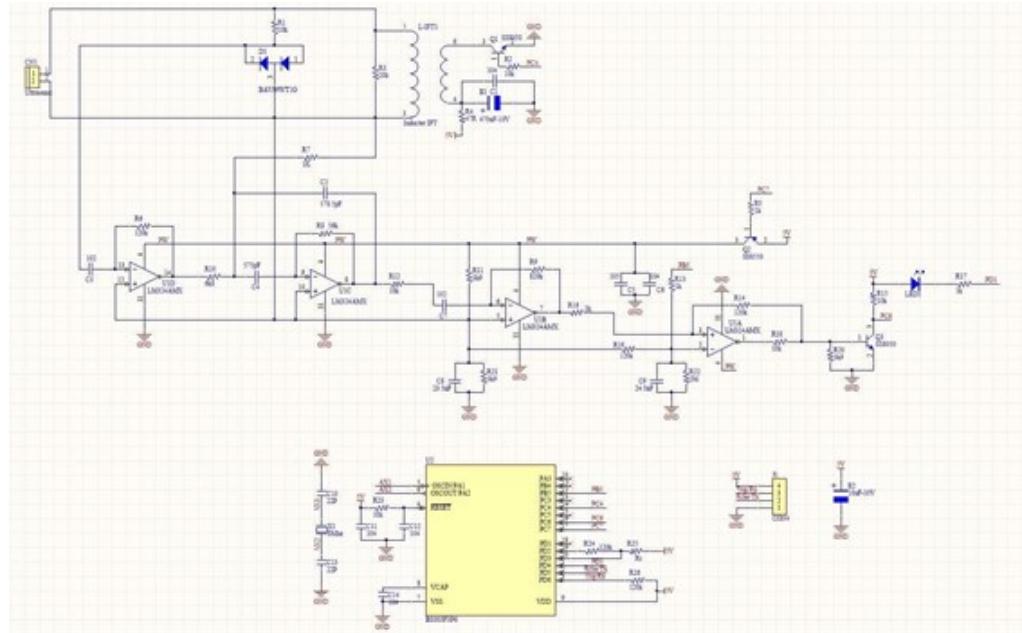


Figura 209 – Esquemático do sensor de proximidade

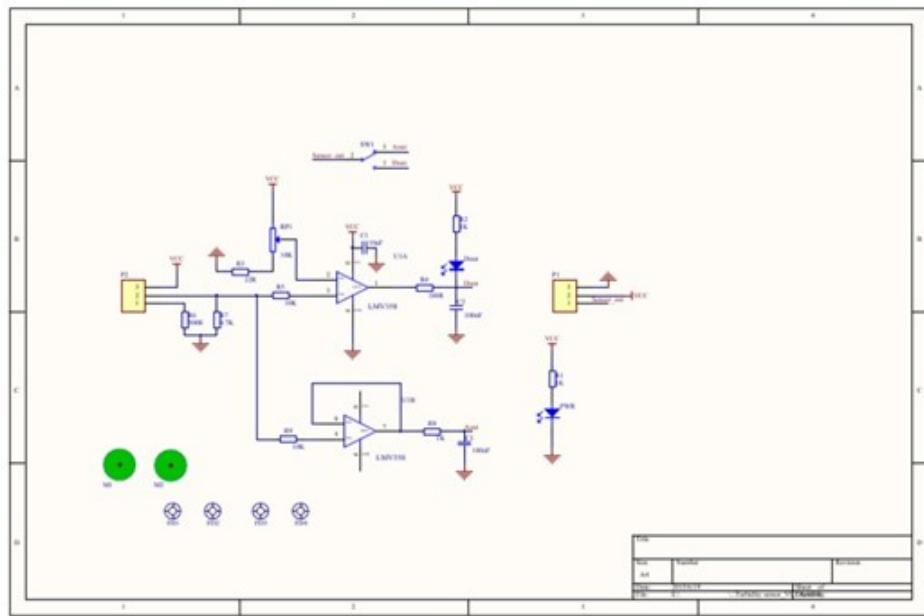


Figura 210 – Esquemático do sensor de turbidez

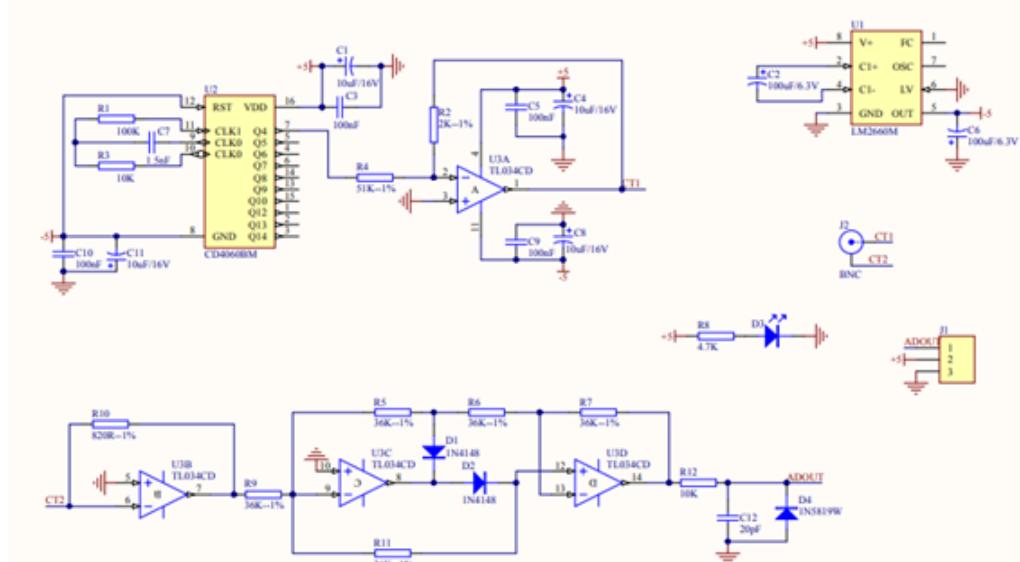


Figura 211 – Esquemático do sensor de condutividade

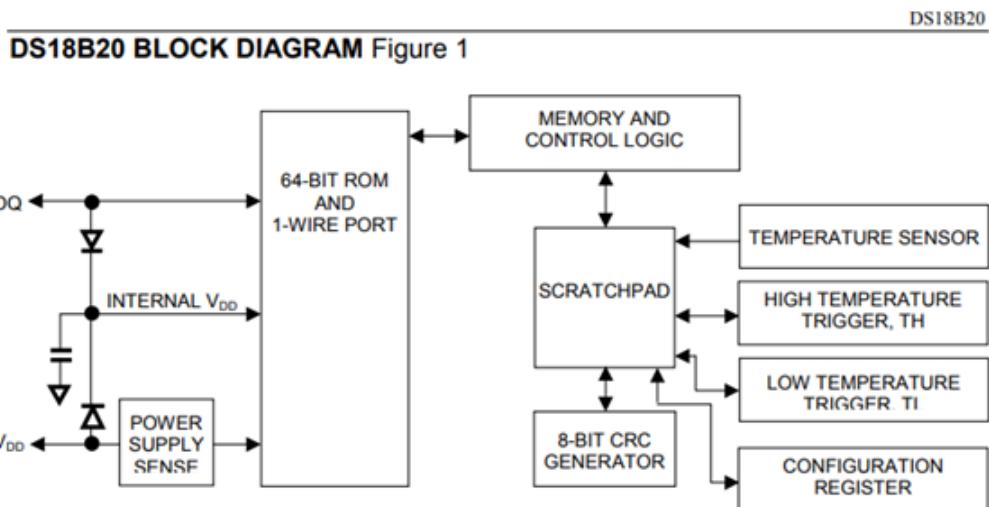


Figura 212 – Diagrama de blocos do sensor de temperatura

ANEXO B – Diagrama Unifilar

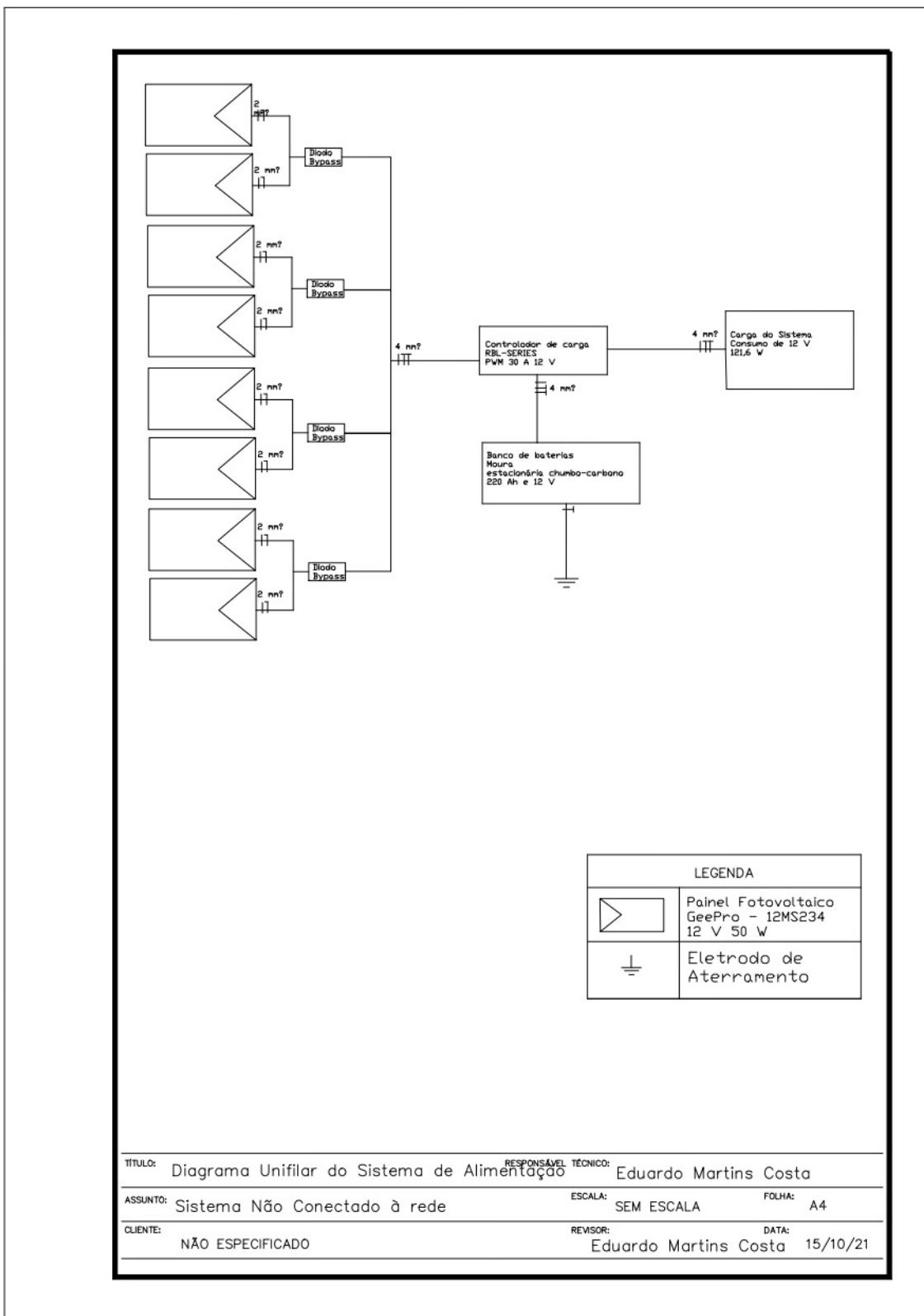


Figura 213 – Diagrama Unifilar do Sistema de Alimentação.