



Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA
Projeto Integrador 2

StrongBerry: um veículo semiautônomo para fertirrigação de morangos por aspersão

Autor: Grupo 08

Orientadores: Prof. Dr. Alex Reis; Prof. Dr. José Felício da Silva; Prof. Dr. Rhander Viana; Prof. Dr. Ricardo Matos Chaim e Prof. Dr. Paolo Gessini

Gama, DF

2021



Grupo 08

StrongBerry: um veículo semiautônomo para fertirrigação de morangos por aspersão

Relatório de projeto submetido como requisito parcial de avaliação da disciplina Projeto Integrador 2 para os Cursos de Engenharia da Faculdade UnB Gama

Universidade de Brasília - UnB

Faculdade UnB Gama - FGA

Orientadores: Prof. Dr. Alex Reis; Prof. Dr. José Felício da Silva; Prof. Dr. Rhander Viana; Prof. Dr. Ricardo Matos Chaim e Prof. Dr. Paolo Gessini

Gama, DF

2021

Grupo 08

StrongBerry: um veículo semiautônomo para fertirrigação de morangos por aspersão / Grupo 08. – Gama, DF, 2021-

434 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientadores: Prof. Dr. Alex Reis; Prof. Dr. José Felício da Silva; Prof. Dr. Rhander Viana; Prof. Dr. Ricardo Matos Chaim e Prof. Dr. Paolo Gessini

Relatório de Projeto de PI2 – Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA , 2021.

1. Agricultura de precisão. 2. Pulverização. 3. Automação. I. Prof. Dr. Alex Reis; Prof. Dr. José Felício da Silva; Prof. Dr. Rhander Viana; Prof. Dr. Ricardo Matos Chaim e Prof. Dr. Paolo Gessini . II. Universidade de Brasília. III. Faculdade UnB Gama. IV. StrongBerry: um veículo semiautônomo para fertirrigação de morangos por aspersão

Grupo 08

StrongBerry: um veículo semiautônomo para fertirrigação de morangos por aspersão

Relatório de projeto submetido como requisito parcial de avaliação da disciplina Projeto Integrador 2 para os Cursos de Engenharia da Faculdade UnB Gama

Alex Reis
Orientador

José Felício da Silva
Orientador

Rhander Viana
Orientador

Ricardo Matos Chaim
Orientador

Paolo Gessini
Orientador

Gama, DF
2021

Integrantes do Projeto

Coordenadora Geral: Mylena Araujo Valadares

Diretor de Qualidade: Guilherme Simões Dias

Diretor Técnico de Elétrica: Iago de Andrade Sousa

Diretora Técnica de Software: Gabriela Barrozo Guedes

Diretor Técnico de Estrutura: André do Nascimento Delgado

Desenvolvedores:

Bruna Leticia Souza Fontes

Ezequiel de Oliveira dos Reis

Felipe Chermont Pereira

Fernando Barroso Vasconcelos

Gabriel Batista Albino Silva

Helena Bretas Goulart

Letícia de Souza Lima

Letycia Vitoria de Almeida Alves Pedroza

Lucas Messias Cunha de Araujo

Mateus Silva Sant' Ana

Agradecimentos

Os desenvolvedores deste trabalho contaram com o auxílio de engenheiros agrônomos nos assuntos que tangem a viabilidade e real aplicação do projeto em meio agrícola. Dessa forma, prestam aqui seus agradecimentos à Dra. Flávia Maria Vieira Teixeira, ao Eng. Agr. Luciano Sousa Santos e ao Eng. Agr. Rogério Pereira Dias.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Modelo de mini-trator usado como referência. a) modelo 2.	37
Figura 2 – Renderização de um CAD de engenharia.	38
Figura 3 – Vistas a) Superior. b) Frontal. c) Lateral	38
Figura 4 – Fluxograma de simulação estática	41
Figura 5 – Design da configuração dos amortecedores em cada roda.	44
Figura 6 – Influência do fator de amortecimento.	45
Figura 7 – Diagrama hidráulico.	50
Figura 8 – Suporte regulável de altura do bico.	51
Figura 9 – Arquitetura Inicial de Eletrônica	56
Figura 10 – Arquitetura do Software	58
Figura 11 – Protocolo LoRaWAN	59
Figura 12 – Arquitetura LoRaWAN	60
Figura 13 – Arquitetura Flux	63
Figura 14 – Diagrama de Protocolos de comunicação	64
Figura 15 – Vista dos subsistemas internos à estrutura.	68
Figura 16 – Vista do posicionamento dos sensores.	69
Figura 17 – Diagrama de Integração	70
Figura 18 – Testes da API de Usuários	77
Figura 19 – Testes da API de Veículos	78
Figura 20 – Testes da API de Dados dos Sensores	79
Figura 21 – Organograma da EAP para o ponto de controle 1.	105
Figura 22 – Organograma da EAP para o ponto de controle 2.	106
Figura 23 – Organograma da EAP para o ponto de controle 3.	107
Figura 24 – Organograma da equipe do projeto	108
Figura 25 – Cronograma do Projeto	119
Figura 26 – Página Inicial	120
Figura 27 – Página de status do veículo	121
Figura 28 – Página de erro	122
Figura 29 – Logo do Projeto	123
Figura 30 – Paleta de Cores	123
Figura 31 – Paleta básica para fontes	123
Figura 32 – Página de login mobile	124
Figura 33 – Página de listagem de veículos mobile	125
Figura 34 – Página de cadastro de veículos mobile	126
Figura 35 – Página de monitoramento do veículo mobile	127
Figura 36 – Página de editar veículo mobile	128

Figura 37 – Página de alertas mobile	129
Figura 38 – Página de recuperar senha mobile	130
Figura 39 – Alerta de recuperação de senha mobile	131
Figura 40 – Página de alterar senha mobile	132
Figura 41 – Página de criar usuário mobile	133
Figura 42 – Página de editar usuário mobile	134
Figura 43 – Página de login Desktop	135
Figura 44 – Página de Veículos	135
Figura 45 – Página de Cadastrar Veículos	136
Figura 46 – Página de Veículo	136
Figura 47 – Página de Editar Veículo	137
Figura 48 – Página de Recuperar Senha	137
Figura 49 – Alerta de recuperação de senha Desktop	138
Figura 50 – Página de Alterar Senha Desktop	138
Figura 51 – Página de Cadastro de Usuário Desktop	139
Figura 52 – Página de Editar de Usuário Desktop	139
Figura 53 – Campo magnético criado pela espiral circular indutora atuando sobre um objeto indutor na formação de uma corrente induzida.	142
Figura 54 – Exemplo da configuração de contagem de evento com uma engrenagem atuando sobre o sensor indutor em espiral.	143
Figura 55 – Análise do comportamento da indutância decorrente da aproximação de objetos condutores.	143
Figura 56 – Comparação da resposta em frequência para diferentes alvos metálicos.	144
Figura 57 – Ilustração demonstrativa do funcionamento do sensor ultrassônico.	145
Figura 58 – Diagrama de tempo dos pulsos nas portas <i>Trig</i> e <i>Echo</i> do sensor ultrassônico.	146
Figura 59 – Análise de normalidade para o sensor HC-SR04.	147
Figura 60 – Gráfico da regressão linear para dois sensores HC-SR04 diferentes.	147
Figura 61 – Resultado da leitura do sensor HC-SR04 para diferentes distâncias	148
Figura 62 – Gráfico da regressão linear das leituras realizadas pelo sensor HC-SR04.	148
Figura 63 – Curvas da descarga de bateria: (i) após o quinto ciclo antes do envelhecimento, (ii) após o primeiro ciclo depois do envelhecimento e (iii) depois do quinto ciclo após o envelhecimento.	150
Figura 64 – Diagrama das conexões do circuito de teste para o BMP280.	152
Figura 65 – Diagrama esquemático para o módulo TOL-10617 RoHS.	153
Figura 66 – Descrição dos Ícones presentes no Display LDC.	154
Figura 67 – Mecanismo de medição do sensor de fluxo YF0S201.	155
Figura 68 – Diagrama das conexões do circuito de teste para o sensor de fluxo YF-S201.	156

Figura 69 – Resultados obtidos do experimento usando o sensor de fluxo YF0S201.	157
Figura 70 – Cilindro de representação de cores HSV.	158
Figura 71 – Modelo da simulação do PWM	162
Figura 72 – Sinal de Saída do PWM.	163
Figura 73 – Modelo da simulação da velocidade desejada e mensurada.	163
Figura 74 – Etapa 1 do sistema de direção do StrongBerry	165
Figura 75 – Etapa 2 do sistema de direção do StrongBerry	166
Figura 76 – Etapa 3 do sistema de direção do StrongBerry	167
Figura 77 – Etapa 4 do sistema de direção do StrongBerry	168
Figura 78 – Etapa 5 do sistema de direção do StrongBerry	168
Figura 79 – Sistema de aspersão do StrongBerry	169
Figura 80 – Sistema de monitoramento e segurança do StrongBerry	170
Figura 81 – Diagrama esquemático da conexão do microcontrolador Raspberry Pi 3B+	172
Figura 82 – Diagrama esquemático da ESP32LoRa	174
Figura 83 – Largura mínima de trilha de acordo com a corrente que deve suportar.	175
Figura 84 – Vistas superior e inferior da placa de circuito impresso desenvolvida para Raspberry Pi3 B+	176
Figura 85 – Modelo 3D da placa de circuito impresso desenvolvida para Raspberry Pi3 B+.	177
Figura 86 – Vistas superior e inferior da placa de circuito impresso desenvolvida para ESP32LoRa	177
Figura 87 – Modelo 3D da placa de circuito impresso desenvolvida para ESP32LoRa	177
Figura 88 – Representação esquemática de um ciclo de movimentação.	180
Figura 89 – Consumo de corrente por ciclo de movimentação do StrongBerry.	182
Figura 90 – Tabela 47 da norma NBR-5410/2004.	185
Figura 91 – Tabela 33 da norma NBR 5410/2004.	185
Figura 92 – Tabela 46 da norma NBR 5410/2004.	185
Figura 93 – Tabela 36 da norma NBR 5410/2004.	186
Figura 94 – Diagrama Unifilar da Bateria Principal.	187
Figura 95 – Diagrama Unifilar da Bateria Secundária.	188
Figura 96 – Diagrama Unifilar dos Carregadores.	189
Figura 97 – Esquema Elétrico Físico da Bateria Principal.	190
Figura 98 – Esquema Elétrico Físico da Bateria Principal.	191
Figura 99 – Esquema Elétrico Físico do Motor e Solenoide.	192
Figura 100 – Simulação ANSYS.	194
Figura 101 – Esquemático da localização do tubo em L.	200
Figura 102 – Condição de contorno para o tubo L.	200
Figura 103 – Tensão normal máxima no tubo L.	201

Figura 104 – Critério de falha de Von Mises para o tubo L	201
Figura 105 – Esquemático da localização do suporte interno.	202
Figura 106 – Condição de contorno no suporte interno.	202
Figura 107 – Tensão normal máxima no suporte interno.	203
Figura 108 – Critério de falha de Von Mises para o suporte interno.	203
Figura 109 – Condição de contorno no suporte externo.	203
Figura 110 – Tensão normal máxima no suporte externo.	204
Figura 111 – Critério de falha de Von Mises para o suporte externo.	204
Figura 112 – Esquemático da localização do suporte telescópico.	204
Figura 113 – Condição de contorno para carga distribuída.	205
Figura 114 – Simulação suporte telescópio (a) Campo de tensão na direção Z. (b) Campo de tensão de Von Mises. (c) Campo de deslocamento.	206
Figura 115 – Condição de contorno com momento torsor.	206
Figura 116 – Simulação suporte telescópio (a) Campo de tensão na direção Z. (b) Campo de tensão equivalente de Von Mises. (c) Tensão normal máxima de cisalhamento.	207
Figura 117 – Condição de contorno com momento torsor.	208
Figura 118 – Modos de flambagem (a) Primeiro modo de flambagem. (b) Segundo modo de flambagem. (c) Terceiro modo de flambagem.	208
Figura 119 – Resposta da estrutura amortecida e não amortecida.	210
Figura 120 – Espectro de densidade de deslocamento.	211
Figura 121 – Circuito hidráulico no software FluidSim.	212
Figura 122 – Regulagem da bomba no software.	216
Figura 123 – Circuito em execução sem atuação da solenoide.	217
Figura 124 – Atuação do circuito de segurança.	218
Figura 125 – Atuação do circuito de segurança.	218
Figura 126 – Circuito em execução com atuação da solenoide.	219
Figura 127 – Circuito em execução com atuação da solenoide e restrição de fluxo.	220
Figura 128 – Circuito em execução com atuação da solenoide e sem restrição de fluxo.	220
Figura 129 – Circuito em execução com atuação da solenoide e restrição de fluxo com outro sf.	221
Figura 130 – Circuito em execução com atuação da solenoide com restrição de fluxo parcial e com outro sf.	221
Figura 131 – Circuito em execução com atuação da solenoide e sem restrição de fluxo com outro sf.	222
Figura 132 – Geometria 2D pulverizador.	224
Figura 133 – Discretização do domínio do pulverizador.	224
Figura 134 – Velocidade do Pulverizador.	225
Figura 135 – Pressão estática do Pulverizador.	225

Figura 136 – Análise de convergência do Tubo em L	385
Figura 137 – Análise de convergência do suporte externo.	385
Figura 138 – Análise de convergência do suporte interno.	386
Figura 139 – Diagrama de Dados	407
Figura 140 – Diagrama de Pacotes do <i>Frontend</i>	408
Figura 141 – Diagrama de Pacotes do <i>Backend</i>	409
Figura 142 – Diagrama de Pacotes do Embarcado	409
Figura 143 – Diagrama de Casos de uso	411
Figura 144 – Acoplamento semi-flexível para eixos.	413
Figura 145 – Bomba hidráulica do tipo turbina.	413
Figura 146 – Amortecedor com mola para scooters.	414
Figura 147 – Rolamento com mancal para fixação.	414
Figura 148 – Rolamento Blindado.	414
Figura 149 – Tanque plástico 12L com pescador e retorno 2,5cm x 23,0cm x 18,5cm	415
Figura 150 – Válvula reguladora de fluxo.	415
Figura 151 – Modelo de roda e pneu.	416
Figura 152 – Arruela lisa.	416
Figura 153 – Arruela de pressão.	416
Figura 154 – Conector em T.	417
Figura 155 – Conector fêmea.	417
Figura 156 – Bico micro aspersor.	418
Figura 157 – Conector macho.	418
Figura 158 – Dobradiça.	419
Figura 159 – Mangueira hidráulica.	419
Figura 160 – Válvula solenoide.	419
Figura 161 – Porca borboleta.	420
Figura 162 – Porcas sextavadas.	420
Figura 163 – Rolamento blindado.	421
Figura 164 – Rolamento mancal.	421
Figura 165 – Parafusos comerciais.	422
Figura 166 – Parafusos comerciais continuação	423
Figura 167 – Motor inferior.	424
Figura 168 – Motor superior.	425
Figura 169 – Bico micro aspersor.	426
Figura 170 – Parafuso auto atarraxante.	427
Figura 171 – Abraçadeira metálica.	427
Figura 172 – Abraçadeira de Nylon.	428
Figura 173 – Arruela quadrada.	428
Figura 174 – Chapa de alumínio.	429

Figura 175 – Folha de borracha.	429
Figura 176 – Luva de redução.	430

Lista de tabelas

Tabela 1 – Requisitos de alto nível	32
Tabela 2 – Requisitos de eletrônica	33
Tabela 3 – Requisitos de energia	33
Tabela 4 – Requisitos estruturais	34
Tabela 5 – Requisitos de software não funcionais	34
Tabela 6 – Épicos dos requisitos de software funcionais	35
Tabela 7 – Requisitos de software funcionais	35
Tabela 8 – Lista É/Não é	36
Tabela 9 – Tabela de dimensões do StrongBerry.	39
Tabela 10 – Dados da mola.	49
Tabela 11 – Plano de manutenção de estruturas	80
Tabela 12 – Manutenção Energia	82
Tabela 13 – Manutenção eletrônica.	83
Tabela 14 – Manutenção Software	84
Tabela 15 – Custos do projeto elétrico	86
Tabela 16 – Custos demandados pela equipe de software	88
Tabela 17 – Stakeholders e suas necessidades.	102
Tabela 18 – Riscos organizacionais do projeto.	103
Tabela 19 – Marcos do projeto	104
Tabela 20 – Contribuição dos membros para o PC3	109
Tabela 21 – Ferramentas de comunicação	117
Tabela 22 – Dados experimentais sobre o fluxo de água.	156
Tabela 23 – Tabela verdade do controle da direção de giro do motor pelo driver VNH2SP30	161
Tabela 24 – Grandezas elétricas e quantidades dos componentes alimentados pela bateria principal.	179
Tabela 25 – Grandezas elétricas e quantidades dos componentes alimentados pela bateria secundária.	183
Tabela 26 – Seção dos cabos	186
Tabela 27 – Temperatura de operação	193
Tabela 28 – Comparativo entre Aço e Alumínio	195
Tabela 29 – Matriz de decisão entre Aço e Alumínio	196
Tabela 30 – Tabela de comparação dos material para corpo central	197
Tabela 31 – Matriz de decisão da estrutura central	198
Tabela 32 – Frequências naturais.	209
Tabela 33 – Comparativo entre tipos de bico. Fonte: Autores	222

Tabela 34 – Matriz de Riscos	389
Tabela 35 – Riscos do Projeto	389
Tabela 36 – Riscos Externos	390
Tabela 37 – Riscos do Produto	390
Tabela 38 – Ações e Riscos	391
Tabela 39 – Riscos Estruturais	392
Tabela 40 – Ações dos riscos	394
Tabela 41 – Riscos Eletrônicos	397
Tabela 42 – Ações dos riscos	398
Tabela 43 – Riscos de Energia	400
Tabela 44 – Ações dos riscos de energia	401
Tabela 45 – Riscos de Software	402
Tabela 46 – Ações e Riscos	403

Lista de abreviaturas e siglas

1F	Elemento Filtrante
1P	Bomba elétrica do tipo turbina de 12V DC
1s	<i>One-cell series</i>
2s	<i>Two-cell series</i>
1T	Reservatório de 12L
l/min	Litros por minuto
A	Ampère
$A_{Aplicação}$	Área de aplicação da força
AC	Corrente Alternada
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
Ah	Ampère-hora
API	<i>Application Programming Interface</i>
BMS	<i>Battery Management System</i>
cal	Caloria
CNTP	Condições Normais de Temperatura e Pressão
C	Índice da mola
cm	Centímetro
Coef.	Coeficiente
C_s	Amortecimento dos Amortecedores
D	Diâmetro médio da espira
DC	Corrente Contínua
Dens.	Densidade
d	Matriz de deslocamento

d_f	Diâmetro do fio
$\frac{d}{W}$	Razão diâmetro-comprimento
Ef.	Eficiência
EVs	<i>Electric Vehicles</i>
E.R.1	Elemento Representativo 1
E.R.2	Elemento Representativo 2
E.R.3	Elemento Representativo 3
e	Espaço entre espiras
f	Folga diametral média
f_n	Frequência Natural
F	Força aplicada
$F_{máx}$	Força resultante máxima
$F_{mín}$	Força mínima
$Furo_{mín}$	Furo mínimo da instalação
$F_{sólida}$	Força sólida
g	Gramas
(G	Módulo de elasticidade transversal
GND	<i>Ground</i>
GPa	Giga Pascal
HB	Dureza de Brinell
HEVs	<i>Hybrid Electric Vehicles</i>
HTTP	<i>Hypertext Transfer Protocol</i>
$h_{sólida}P$	Altura sólida
h_{interf}	Altura de interferência
I2C	<i>Inter-Integrated Circuit</i>
JSON	<i>JavaScript Object Notation</i>

JS	<i>JavaScript</i>
K	Kelvin
k	Matriz de rigidez
k_t	Concentrador de tensão
K_s	Rigidez das Molas
K_t	Rigidez das Pneu
K_d	Fator de correção da tensão de cisalhamento
kg	Quilograma
kg/m ³	Quilograma por metro cúbico
kgf.cm	Quilograma-força centímetro
Km	Quilômetro
kN/m	Quilonewton por metro
kNs/m	Quilonewton segundo por metro
LDC	<i>Inductance to Digital Converter</i>
LDR	Resistor Dependente de Luz
LoRa	<i>Long Range</i>
LoRaWAN	<i>Long Range Wide Area Network</i>
LPWAN	<i>Low Power Wide Area Network</i>
m	Metro
m_t	Massa da mola
M	Massa
mAh	Miliampère-hora
MHz	Mega Hertz
mm	Milímetros
M.P	Medidor de Pressão
MPa	Mega Pascal

min	Minutos
N_a	Número de espiras ativas
N_t	Número de espiras total
N.m	Newton metro
n_{mec}	Coeficiente de segurança mecânico
$n_{mecsólido}$	Fator de segurança estrutural estático
Oe	Oersted
OTA	<i>Over the air</i>
P	Passo entre espiras
PWA	<i>Progressive web app</i>
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
REST	<i>Representational State Transfer</i>
RPM	<i>Rotações por minuto</i>
RR	Rigidez efetiva
S.F	Sensor de Fluxo
SOC	System On Chip
SPI	<i>Serial Peripheral Interface</i>
Temp.	Temperatura
TUG	Tomada de Uso Geral.
V	Volt
VCC	<i>Power Source</i>
V.R.F	Válvula Reguladora de Fluxo
V.R.P	Válvula Reguladora de Pressão
W	Watt
λ	Ângulo de hélice
δ_u	Deflexão útil máxima

δ_i	Deflexão inicial
$\delta_{sólida}$	Deflexão sólida
ζ	Fator de Amortecimento
μ	Micro
°C	Grau Celsius
P_{cr}	Carga crítica de flambagem
σ_n	Tensão normal
τ_e	Tensão limite de cisalhamento
τ_s	Tensão atuante real

Sumário

1	INTRODUÇÃO	26
1.1	Problemática	27
1.2	Justificativa	27
1.3	Objetivos	28
1.3.1	Objetivos Gerais	28
1.3.2	Objetivos Específicos	29
2	GERENCIAMENTO	30
2.1	Termo de Abertura do Projeto (TAP)	30
2.2	Estrutura Analítica do Projeto (EAP)	30
2.3	Gerenciamento de Recursos Humanos	30
2.3.1	Ferramentas de comunicação e gerenciamento de atividades	31
2.4	Metodologia	31
2.5	Cronograma	31
3	REQUISITOS	32
3.1	Requisitos de Alto-nível	32
3.2	Requisitos específicos	32
3.2.1	Requisitos de Elétrica	32
3.3	Requisitos de Estrutura	33
3.4	Requisitos de Software	34
3.4.1	Requisitos não funcionais	34
3.4.2	Requisitos funcionais	35
4	SOLUÇÃO	36
4.1	Escopo	36
4.2	Lista É/ Não É	36
4.3	Solução Estrutural	37
4.3.1	Modelo estrutural	37
4.3.2	Materiais e componentes	39
4.3.3	Simulações estruturais estáticas	41
4.3.4	Simulações estruturais dinâmicas	42
4.3.5	Arquitetura do sistema de movimentação	43
4.3.5.1	Subsistema de propulsão	43
4.3.5.2	Subsistema de manobrabilidade	43
4.3.5.3	Dimensionamento das molas	44

4.3.5.4	Amortecimento dos amortecedores	45
4.3.5.5	Dimensionamento geométrico das molas	46
4.3.6	Arquitetura do sistema de alimentação	49
4.3.6.1	Simulação do sistema de pulverização	51
4.4	Solução Elétrica	52
4.4.1	Eletrônica	52
4.4.1.1	Central de Controle	52
4.4.1.2	Sensoriamento	52
4.4.1.3	Sistemas de Atuadores	53
4.4.2	Alimentação	53
4.4.2.1	Bateria Principal	54
4.4.2.2	Bateria Secundária	54
4.4.3	Carregamento	55
4.4.4	Dimensionamento dos Condutores Elétricos	55
4.4.5	Resfriamento	55
4.4.6	Arquitetura de Eletrônica	56
4.4.7	Diagramas esquemáticos de conexões	56
4.4.8	Diagrama Unifilar	56
4.4.9	Confecção de componentes	57
4.4.10	Dinâmica de Operação	57
4.5	Solução de Software	57
4.5.1	LoRa	58
4.5.2	Protocolo LoRaWAN	58
4.5.3	Arquitetura LoRaWAN	60
4.5.4	Sistema Embarcado	61
4.5.5	Gateway	61
4.5.6	Backend	61
4.5.6.1	API de Usuários	62
4.5.6.2	API de Veículos	62
4.5.6.3	API de Dados Coletados dos Sensores	62
4.5.7	Frontend	62
4.5.8	Protótipo	63
4.5.9	Protocolos de Comunicação	63
4.5.10	Diagrama de Dados	64
4.5.11	Diagrama de Pacotes	64
4.5.12	Diagrama de Caso de Uso	64
4.5.13	Principais decisões de software	64
4.5.14	Inovações de Software	66
4.5.15	Repositórios	66

5	INTEGRAÇÃO	67
5.1	Estrutura-Elétrica	67
5.2	Elétrica-Software	69
5.3	Diagrama de Integração	70
6	MANUAIS	71
6.0.1	Manual de fabricação	71
6.0.2	Manual de montagem	71
6.0.3	Manual de usuário	71
7	PLANO DE TESTE DOS SUBSISTEMAS	72
7.1	Plano de teste de Estruturas	72
7.1.1	Sistema hidráulico	72
7.1.2	Componentes estruturais	72
7.2	Plano de teste de Elétrica	72
7.2.1	Sensores e Atuadores	72
7.2.1.1	Ensaio de conformidade	73
7.2.1.2	Ensaio de Funcionamento	74
7.2.2	Alimentação	75
7.2.2.1	Inspecção visual (baseada na NBR 5410:2004 revista em 2008)	75
7.2.2.2	Continuidade dos condutores (baseado na NBR 5410:2004 revista em 2008)	75
7.2.2.3	Ensaio de funcionamento da bateria	76
7.2.2.4	Ensaio de funcionamento (baseado na NBR 5410:2004 revista em 2008)	76
7.3	Plano de teste de Software	76
8	PLANO DE MANUTENÇÃO PERIÓDICA	80
8.1	Plano de manutenção de Estruturas	80
8.2	Plano de manutenção Elétrica	82
8.2.1	Alimentação	82
8.2.2	Componentes Eletrônicos	83
8.3	Plano de manutenção de Software	84
9	CUSTO E PRECIFICAÇÃO	85
9.1	Custos de Estruturas	85
9.2	Custos de Elétrica	86
9.3	Custos de Software	88
9.3.1	Custos de serviços de energia e internet	88
9.4	Custos de Pessoal	89
10	CONSIDERAÇÕES FINAIS	90

REFERÊNCIAS	91
APÊNDICES	99
APÊNDICE A – TERMO DE ABERTURA DE PROJETO (TAP)	100
A.1 Descrição do Projeto	100
A.2 Justificativa	100
A.3 Objetivo	100
A.3.1 Objetivos gerais	100
A.3.2 Objetivos específicos	101
A.4 Requisitos	101
A.5 Stakeholders	101
A.6 Premissas	102
A.7 Restrições	103
A.8 Riscos	103
A.9 Marcos do Projeto	103
APÊNDICE B – ESTRUTURA ANALÍTICA DO PROJETO (EAP)	105
B.1 Ponto de Controle 1	105
B.2 Ponto de Controle 2	106
B.3 Ponto de Controle 3	107
APÊNDICE C – GERENCIAMENTO DE RECURSOS HUMANOS	108
C.1 Objetivo	108
C.2 Papéis e Responsabilidades	108
C.3 Contribuição dos membros	109
APÊNDICE D – PLANO DE GERENCIAMENTO DE COMUNICAÇÃO	117
D.1 Ferramentas	117
D.2 Diretrizes e Procedimentos de Comunicação	117
APÊNDICE E – CRONOGRAMA	119
APÊNDICE F – IDENTIDADE VISUAL E PROTÓTIPOS	120
F.1 Protótipo de baixa fidelidade	120
F.2 Identidade Visual	122
F.3 Protótipo de Alta Fidelidade	124
F.3.1 Protótipo para Mobile	124
F.3.2 Protótipo para Desktop	135

APÊNDICE G – MEMORIAL DA SOLUÇÃO DE ELÉTRICA	140
G.1 Central de Controle	140
G.1.1 Raspberry Pi 3 Model B+	140
G.1.2 ESP32 LoRa	141
G.2 Sensoriamento	141
G.2.1 Transdutor digital de indutância	141
G.2.2 Sensor Ultrassônico	145
G.2.3 Módulo de bússola Digital	149
G.2.4 Sensor de Temperatura	150
G.2.5 Medidor de Carga de Bateria	152
G.2.6 Indicador de Nível de Carga	153
G.2.7 Sensor de Fluxo	154
G.2.8 Câmera	157
G.3 Sistemas de Atuadores	159
G.3.1 Motor DC MB24012	159
G.3.2 Motor com Caixa de redução ROBOCORE-1228	160
G.3.3 Drivers de controle de velocidade PWM	161
G.3.4 Válvula Solenoide	163
G.4 Dinâmica de Operação	164
G.4.1 Sistema de Direção	164
G.4.2 Sistema de Aspersão	169
G.4.3 Sistema de monitoramento e segurança	170
G.5 Esquemáticos Eletrônicos	171
G.6 Parâmetros para confecção das PCIs	175
G.7 Placas de Circuito Impresso	176
G.8 Alimentação	178
G.8.1 Dimensionamento da Bateria Principal	178
G.8.2 Dimensionamento da Bateria Secundária	183
G.9 Dimensionamento dos Condutores Elétricos	184
G.10 Diagrama Unifilar	187
G.11 Esquema Elétrico Físico	190
G.12 Resfriamento	193
APÊNDICE H – ESCOLHA DE MATERIAIS	195
H.0.1 Comparativo entre Aço e Alumínio	195
H.0.2 Matriz de decisão entre Aço e Alumínio	195
H.0.3 Comparativo dos materiais para o corpo central	197
H.0.4 Matriz de decisão da estrutura central	198
APÊNDICE I – SIMULAÇÕES ESTRUTURAIS	199

I.0.1	Simulações estruturais estáticas	199
I.0.1.1	Simulação estática do tubo em L	200
I.0.1.2	Simulação estática do suporte interno	201
I.0.1.3	Simulação estática do suporte externo	203
I.0.1.4	Simulação estática do suporte telescópico	204
I.0.1.5	Simulação de flambagem do suporte telescópico	207
I.0.2	Simulações estruturais dinâmicas	209
I.0.2.1	Análise modal	209
I.0.2.2	Resposta do sistema	209
I.0.2.3	Resposta harmônica do suporte telescópico	211
	APÊNDICE J – SIMULAÇÕES HIDRÁULICAS	212
J.0.1	Simulação do circuito proposto	212
J.0.2	Simulação do Bico pulverizador	222
	APÊNDICE K – DESENHOS TÉCNICOS	226
	APÊNDICE L – LISTA DE COMPONENTES DE PRODUÇÃO	262
	APÊNDICE M – LISTA DE COMPONENTES DE MONTAGEM	263
	APÊNDICE N – MANUAL DE FABRICAÇÃO	267
	APÊNDICE O – MANUAL DE MONTAGEM	302
	APÊNDICE P – MANUAL DO USUÁRIO	364
	APÊNDICE Q – ANÁLISE DE CONVERGÊNCIA DE MALHA	385
	APÊNDICE R – REPOSITÓRIOS	387
S –	ANÁLISE DE RISCOS	388
S.1	Matriz de Riscos	388
S.2	Descrição dos Riscos	389
S.2.1	Riscos do Projeto, Externos e do Produto	389
S.3	Riscos Técnicos	392
S.3.1	Riscos Estruturais	392
S.3.2	Riscos Eletrônicos	397
S.3.3	Riscos Energéticos	400
S.3.4	Riscos Software	402
T –	METODOLOGIA	404
T.1	Scrum	404

T.1.1	Time Scrum	404
T.1.2	Scrum Master	404
T.1.3	Product Owner	405
T.1.4	Developers	405
T.1.5	Eventos Scrum	405
T.1.5.1	Sprint	405
T.1.6	Artefatos Scrum	405
T.1.6.1	Product Backlog	406
T.1.6.2	Sprint Backlog	406
T.2	Kanban	406
U	– DIAGRAMA DE DADOS	407
V	– DIAGRAMA PACOTES	408
W	– DIAGRAMA DE CASO DE USO	410
	ANEXOS	412
A	– COMPONENTES E PARTES ESTRUTURAIS	413
B	– CÓDIGO - TESTE DO SENSOR YF-S201.	431
C	– CÓDIGO - TESTE DO SENSOR GY-BMP280.	432
D	– CÓDIGO - TESTE DO SENSOR HC-SR04.	433

1 Introdução

"A automação agrícola tornou-se um processo irreversível e tem mudado as atividades exercidas no campo pelo operador, que antes dedicava-se diretamente nos processos produtivos e agora está mais dedicado a supervisão e monitoramento dos mesmos"(GUIRRA ANA PAULA P. M.; SILVA, 2010).

Considerando a citação de Guirra, percebe-se a necessidade de automação e precisão nos processos e atividades agrícolas, considerando todos os agentes envolvidos, para aumentar a produção com o menor impacto possível, levantando um movimento de união da tecnologia com a agricultura, afim de resolver os problemas de controle, precisão e mão de obra existentes nas formas tradicionais de agricultura.

O uso de robôs como veículos agrícolas autônomos e semiautônomos possui grande potencial como ferramenta para agricultura de precisão, trazendo vantagem de poder fazer uso de diversas teorias e controles robóticos consolidados para aplicações em diversas áreas (TANGERINO G, 2011).

O conceito de utilizar a robótica no campo é relativamente novo, sendo desenvolvida em 1998, por Astrand e Baerveldt para o controle de ervas daninhas. já em 2004, Bak e Jakobsen desenvolveram um pequeno robô capaz de viajar entre linhas de culturas para registrar a localização de plantas daninhas, utilizando câmera e um sistema de posicionamento global receptor. Também em 2004, Hofstee, Grift e Tian, desenvolveram um algoritmo de visão de máquina para orientação autônoma no campo (ASTRAND B.; BAERVELD, 2002).

Na ultima década, projetos voltados para o gerenciamento de irrigação e de nutrientes através de sensoriamento distribuído, centrados na economia de água, aumento da eficiência e redução dos impactos ambientais, veem crescendo e ganhado espaço no mercado mundial, onde a pulverização agrícola robotizada desempenha um papel importante tanto no cenário econômico quanto social, sendo possível a criação de um sistema que propicia pulverização com precisão, coletando em tempo real informações de localização e fertilizante, aumentando o controle e precisão, evitando desperdícios e trabalho manual por parte dos agricultores (GRIFT, 2012).

Tendo como referência a necessidade de trazer automação para o meio agrônomo, surge o projeto denominado StrongBerry, propondo solucionar a fertirrigação manual, trazendo maior controle, automação e precisão para a plantação de morangos. O projeto consiste no desenvolvimento de um veículo semiautônomo para fertirrigação de morangos por aspersão, onde o agricultor poderá posicionar o StrongBerry no inicio de sua plantação e ele, ao ser acionado irá automaticamente iniciar a rota entre as fileiras de morangueiros,

realizar a fertirrigação diretamente na folha. Ao longo de todo o processo, o StrongBerry fornece informações acerca da quantidade de água e fertilizante utilizados e da posição do StrongBerry em sua plantação. Assim o agricultor responsável terá menos trabalho manual de realizar esta fertirrigação pessoalmente e maior economia e controle de fertilizante e água gastos ao longo da plantação.

1.1 Problemática

A modernização da agricultura no Brasil, desde o seu início, mostrou-se um processo seletivo no qual os grandes agricultores são beneficiados com os avanços da tecnologia. Enquanto isso, os pequenos agricultores ficam à margem desse processo, tendo cada vez menos chances de concorrer em um mercado que beneficia a produção agrícola para indústrias ([TEIXEIRA, 2005](#)).

Essa exclusão se deve tanto ao preço elevado dos equipamentos de agricultura de precisão de alta tecnologia quanto à falta de incentivos direcionados às pequenas áreas de produção. Os incentivos fiscais focam na produção agrícola voltada ao abastecimento do setor industrial do país, que na sua maioria são grandes monoculturas de exportação.

Dessa forma, como a cultura do morango é praticada predominantemente por pequenos produtores, os quais, muitas vezes, não têm acesso a equipamentos focados em agricultura de precisão para realizar de forma adequada a irrigação e fertilização do morango, eles precisam utilizar métodos tradicionais de cultivo, que são mais lentos, exaustivos e menos eficientes quando comparados à agricultura de precisão. Essa situação pode acabar reduzindo a produtividade, assim como a qualidade do produto e a degradação do solo.

1.2 Justificativa

A utilização de sistemas inteligentes na agricultura é mais que uma tendência, pois é uma questão de sobrevivência e necessidade ([JUNTOLLI F., 2013](#)). Isso é perceptível considerando que os mercados compradores estão cada vez mais exigentes com relação à qualidade do produto a ser comprado, além das preocupações levantadas com o meio ambiente e medidas sanitárias. Para atender às necessidades do mercado global e ser capaz de competir com outros produtos agrícolas, surge a necessidade de produzir em escalas cada vez maiores, levando em consideração a qualidade e o custo da produção. Nesse cenário, as ferramentas e técnicas da agricultura de precisão desempenham um papel de extrema importância, pois auxiliam na melhoria da gestão da propriedade rural, visando ao aumento de retorno econômico e à redução do impacto ao meio ambiente.

Dessa forma, com o advento de recursos tecnológicos de custo-benefício cada vez

maiores, a agricultura de precisão permite gerar competitividade e sustentabilidade adequadas não só ao grande produtor brasileiro, mas também ao pequeno e médio produtor. O projeto do Strongberry é justificado considerando que a cultura do morango é praticada predominantemente por pequenos agricultores e pelo fato de que esse tipo de cultura precisa de um processo de fertilização preciso de forma a garantir a qualidade final do produto. Portanto, um equipamento de fertilização de precisão e custo acessível é muito benéfico para a produção de morango em pequenas propriedades.

Há um grande potencial para o mercado de morango no Brasil, tanto para consumo interno como para exportação, pois, em virtude da diversidade de clima e solo que o país apresenta, seria possível ofertar o produto durante o ano inteiro. Porém, isso não é o que acontece, sendo que o Brasil ainda ocupa posições inferiores nos rankings de produção e exportação de morango. Uma das formas de reverter essa situação é aumentando a utilização e disponibilização de ferramentas e tecnologias com foco na agricultura de precisão, fazendo com que os produtores de morango alcancem maior produtividade com custo reduzido e qualidade no padrão exigido pelo mercado. Dentre as características que justificam a escolha da cultura do morango como base para o Strongberry, pode-se citar [Embrapa \(2011\)](#), [Antunes, Júnior e Schwengber \(2016\)](#):

- O espaçamento entre os canteiros, de 50 cm a 80 cm, é suficiente para que as rodas do StrongBerry passem sem danificar as plantações;
- A altura dos canteiros, de 30 cm a 40 cm, permitem que o Strongberry não seja uma máquina de grande porte, acarretando em um maior custo-benefício para o produtor;
- O morango já apresenta um mercado interno relativo à fruta fresca, além de uma demanda cada vez maior do produto para a indústria na forma de polpa congelada, sorvetes, iogurtes, geleias e gelatinas, dentre outros;
- O continente sul-americano apresenta condições naturais muito mais favoráveis ao cultivo de morango do que os demais continentes;
- Caso o ritmo de crescimento do cultivo de morango no Brasil seja mantido com a entrada de novos produtores e a introdução de tecnologia em grande escala, cogita-se que o Brasil possa figurar, em um futuro próximo, entre os maiores produtores.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivos Gerais

O StrongBerry tem como objetivo apresentar uma solução focada na aplicação de fertilizantes em taxas variável de forma autônoma para lavouras de monoculturas de

morango. Obtendo um aumento da produtividade e redução do consumo de insumos, resultando em um maior retorno econômico e um menor impacto ao meio ambiente.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Desenvolver um sistema eletrônico de acionamento hidráulico capaz de regular a quantidade de aplicação de fertilizantes.
- Desenvolver um sistema eletrônico de identificação de morangueiros.
- Desenvolver um sistema de microaspersão de precisão de fertilizantes.
- Desenvolver um sistema de direção autônoma.
- Desenvolver uma estrutura com recursos de regulagem para se adaptar as características de cada lavoura.
- Desenvolver um aplicativo móvel para acompanhamento técnico do plantio.
- Desenvolver uma solução enérgica eficiente e adaptada para o sistema.

2 Gerenciamento

Visando a continuidade no desenvolvimento do projeto, de modo a permitir uma maior autonomia por parte de cada equipe do projeto, mas sem prejudicar a inter relação entre todos, buscou-se utilizar as metodologias Scrum e Kanban, que auxiliam no cumprimento de datas, execução de tarefas, e cooperação entre as equipes.

Além disso, foram utilizadas práticas recomendadas no PMBOK (*Project Management Body of Knowledge*). São elas:

- TAP (Termo de Abertura do Projeto)
- EAP (Estrutura Analítica do Projeto)
- Plano de Gerenciamento de Tempo (Cronograma de Atividades)
- Plano de Gerenciamento Recursos Humanos
- Plano de Gerenciamento de Comunicação
- Plano de Gerenciamento de Custos e Aquisições
- Plano de Gerenciamento de Riscos

2.1 Termo de Abertura do Projeto (TAP)

O documento de Termo de Abertura do Projeto encontra-se no apêndice [A](#).

2.2 Estrutura Analítica do Projeto (EAP)

A EAP é o processo de decompor as entregas de trabalho do projeto em componentes menores e mais facilmente gerenciáveis. Para facilitar a compreensão do projeto e facilitar os entregáveis, foi utilizado o formato híbrido, separando a EAP por marcos do projeto (pontos de controle). O documento da EAP está disposto no apêndice [B](#).

2.3 Gerenciamento de Recursos Humanos

O plano de gerenciamento de Recursos Humanos encontra-se no apêndice [C](#).

2.3.1 Ferramentas de comunicação e gerenciamento de atividades

O plano desenvolvido para melhor entendimento de como funcionará a comunicação e gerenciamento de atividades está no apêndice [D](#).

2.4 Metodologia

A metodologia utilizada pela equipe para a implementação do projeto está descrita no apêndice [T](#).

2.5 Cronograma

O cronograma foi feito de acordo com a metodologia escolhida, e encontra-se no apêndice [E](#).

3 Requisitos

Para a elicitação dos requisitos foi utilizada a técnica MoSCow para sua priorização. A técnica consiste em definir as prioridades por meio de:

1. MUST (tem que ser feito);
2. SHOULD (deve ser feito);
3. COULD (pode ser feito);

Onde 1 tem mais prioridade que 3.

3.1 Requisitos de Alto-nível

Tabela 1 – Requisitos de alto nível

ID	Requisito	Prioridade
RAN01	O produto deverá percorrer um trajeto pré-definido pelo usuário através da plantação.	MUST
RAN02	O produto deverá alcançar uma velocidade média de 1.8 km/h durante sua operação.	SHOULD
RAN03	O produto deverá ser recarregável.	MUST
RAN04	O produto deverá emitir alertas sonoros e visuais em caso de obstrução de movimento ou parada súbita.	MUST
RAN05	Notificar o usuário sobre necessidade de recarga ou reabastecimento do insumo.	MUST
RAN06	O produto deverá fornecer relatórios da fertirrigação regularmente.	MUST
RAN07	Autonomia energética.	MUST
RAN08	Possuir um custo-benefício a similares no mercado.	SHOULD
RAN09	Possuir materiais com elevada vida útil.	MUST
RAN10	Regularizar a quantidade de fertilizante a depender do tamanho da planta.	SHOULD
RAN11	Ser capaz de identificar o que é ou não planta.	MUST

3.2 Requisitos específicos

3.2.1 Requisitos de Elétrica

Os requisitos levantados para a subárea de eletrônica estão dispostos na tabela abaixo.

Tabela 2 – Requisitos de eletrônica

ID	Requisito	Prioridade
REL01	Se mover de forma autônoma	MUST
REL02	Ser capaz de identificar uma morangueira	MUST
REL03	Realizar pulverização de precisão	MUST
REL04	Identificar obstruções em seu caminho	SHOULD
REL05	Realizar ajustes para manter a direção correta	SHOULD
REL06	Identificar o final da linha	MUST
REL07	Realizar manobra de troca de canteiro	MUST
REL08	Identificar o final da plantação	MUST
REL09	Se comunicar com o aplicativo via Lora	MUST
REL10	Processar os dados advindos dos sensores	MUST
REL11	Possuir um sistema embarcado	MUST
REL12	Possuir pelo menos 2 sensores ultrassônicos com alcance de 2cm a 40cm	MUST
REL13	Possuir um módulo de bussola ou giroscópio	MUST
REL14	Manter um distanciamento de 40cm entre o módulo de bússola e qualquer peça metálica ou componente que gere campo magnético	SHOULD
REL15	Possuir um transdutor eletrônico de indutância ou um sensor infravermelho	MUST
REL16	Possuir um sensor de temperatura próximo ao microcontrolador que suporte temperaturas entre 10 °C e 90 °C	SHOULD
REL17	Identificar a quantidade de fertilizante utilizado	MUST

Enquanto os requisitos levantados para a subárea de energia estão dispostos na tabela a seguir.

Tabela 3 – Requisitos de energia

ID	Requisito	Prioridade
REN01	Possuir uma bateria bem dimensionada para suprir as necessidades de alimentação do veículo semiautônomo	MUST
REN02	Possuir carregador compatível com TUGs	MUST
REN03	Bateria facilmente desacoplável para recarga	MUST
REN04	Possuir uma bateria reserva para manter o hardware básico funcionando em caso de descarga total da bateria principal	SHOULD
REN05	Mostrar ao usuário o estado da carga da bateria	MUST
REN06	Avisar o usuário da necessidade de recarga da bateria	SHOULD
REN07	Possuir meios de ventilação para a convecção natural da bateria e dos dispositivos alimentados por ela	MUST

3.3 Requisitos de Estrutura

Os requisitos levantados pela equipe de estrutura para o projeto foram:

Tabela 4 – Requisitos estruturais

ID	Requisito	Prioridade
RES01	Ter uma geometria adequada ao cultivo do morango	MUST
RES02	Ter materiais leves e resistentes as intempéries climáticas	MUST
RES03	Ser de fácil manutenção e montagem	SHOULD
RES04	Ter um reservatório para líquido de 10L de capacidade ou mais	SHOULD
RES05	Ter um sistema de bombeamento do líquido do tanque para o pulverizador	MUST
RES06	Ter boa manobrabilidade	MUST
RES07	Ter uma boa vida útil	MUST
RES08	Ter um compartimento para acoplar e desacoplar a bateria	MUST
RES09	Possuir um bico pulverizador específico para agricultura e com regulagem de altura	SHOULD
RES10	Ter um compartimento para proteção do tanque e dos demais componentes de controle e alimentação do equipamento	MUST
RES11	Ter o menor peso possível, respeitando os esforços estruturais	MUST
RES12	Possuir um sistema de suspensão para minimizar impactos e/ou solavancos	SHOULD
RES13	Ter um sistema de propulsão e direção independente para cara roda	MUST

3.4 Requisitos de Software

3.4.1 Requisitos não funcionais

Para a solução de software do projeto, foi primeiramente levantado alguns requisitos não funcionais, listados abaixo.

Tabela 5 – Requisitos de software não funcionais

ID	Requisito	Prioridade
RSPNF01	O sistema deve ser acessado de qualquer dispositivo com acesso à internet	MUST
RSPNF02	O sistema deve manter atualizado em tempo real as informações disponibilizadas	SHOULD
RSPNF03	O sistema deverá ter uma interface intuitiva e de acordo com as melhores práticas de acessibilidade	COULD
RSPNF04	O sistema deve manter o usuário informado sobre a performance do veículo semi autônomo	MUST
RSPNF05	O sistema deve alertar o usuário em casos de erro	SHOULD

3.4.2 Requisitos funcionais

Os requisitos funcionais foram distribuídos entre quatro categorias chaves de funcionalidades (épicos).

Tabela 6 – Épicos dos requisitos de software funcionais

ID	Épico
ESW01	Sistema de alertas
ESW02	Sistema de dados
ESW03	Sistema de controle
ESW04	Sistema de comunicação

Tabela 7 – Requisitos de software funcionais

ID	Requisito	Prioridade
ESW01	Sistema de alerta	
RSW01	O sistema deverá alertar o usuário quando a bateria do robô estiver abaixo de 20%	SHOULD
RSW02	O sistema deverá alertar o usuário quando o conteúdo do tanque do robô estiver abaixo de 20%	SHOULD
RSW03	O sistema deverá alertar o usuário quando o robô ficar preso	MUST
ESW02	Sistema de dados	
RSW04	O sistema deverá exibir a porcentagem de bateria	SHOULD
RSW05	O sistema deverá exibir a porcentagem do conteúdo do tanque	SHOULD
RSW06	O sistema deverá exibir a distância percorrida desde a última inicialização	COULD
RSW07	O sistema deverá exibir o gráfico de bateria x tempo	SHOULD
RSW08	O sistema deverá exibir o gráfico de conteúdo do tanque x tempo	SHOULD
ESW03	Sistema de controle	
RSW09	O sistema deverá ser capaz de Ligar/Desligar o robô	COULD
RSW10	O sistema deverá ser capaz de definir a quantidade de fertilizante ejetada pelo robô	COULD
ESW04	Sistema de comunicação	
RSW11	O robô deverá enviar os dados necessários para seu controle e monitoramento para o servidor	MUST
RSW12	O robô deverá receber comandos do servidor	COULD

4 Solução

4.1 Escopo

O projeto StrongBerry consiste na elaboração de um sistema que realize o processo de fertirrigação de precisão utilizando a quantidade de fertilizante indicada para cada fase de desenvolvimento da planta. O veículo autônomo será guiado por meio de sensores e trabalhará autonomamente, como mostrado no Apêndice G.4, sem necessidade de monitoramento humano intensivo para realizar a fertirrigação. O painel de controle acessado via web-app disponibiliza relatórios dos processos de fertirrigação realizados, informações dos sensores, como status da bateria e a quantidade de insumo no tanque, e realiza o envio de comandos remotos.

Para implantação da comunicação em ambiente de campo entre o StrongBerry e o painel de controle, será utilizado LoRa. LoRa é uma tecnologia de radiofrequência que permite comunicação a longas distâncias com consumo mínimo de energia, que é possível através da utilização de tecnologias LPWAN (Low Power Wide Area Network).

4.2 Lista É/ Não É

Tabela 8 – Lista É/Não é

É	Não É
É um veículo semiautônomo	Não é um veículo convencional
É um equipamento de precisão	Não é um equipamento de fertirrigação desenfreada
É um equipamento capaz de gerar relatórios da fertirrigação	Não é um equipamento capaz de deliberar a quantidade de fertilizante sozinho
É um equipamento que auxilia o agrônomo	Não é um equipamento que substitui o agrônomo
É um equipamento que identifica as mudas de morango	Não é um equipamento preparado para todos os cultivos
É um equipamento capaz de alertar o produtor sobre a falta de fertilizante	Não é um equipamento capaz de auto abastecimento

4.3 Solução Estrutural

A solução estrutural consiste no desenvolvimento da estrutura e na construção de um veículo semi autônomo que atenda as características físicas de plantações voltadas ao cultivo de morangos. O equipamento promoverá, de maneira autônoma, o transporte e a pulverização de fertilizante em toda a plantação. A solução estrutural é dividida nas áreas de materiais, amortecimento, propulsão e manobrabilidade e sistema hidráulico.

4.3.1 Modelo estrutural

O cultivo de morango apresenta características físicas semi-padronizadas, onde a largura das fileiras possui uma medida mínima e máxima, assim com a sua altura e o distanciamento entre as plantas. Com base nesses pontos, foi elaborado um equipamento que respeitasse essas características de modo a se adaptar ao cultivo, e não o oposto. Diante disso, foram buscadas fontes de inspiração em modelos já comerciais Figura 1.



Figura 1 – Modelo de mini-trator usado como referência. a) modelo 2. b) Modelo 2.
Fonte:[Moitinho \(2019\)](#) e [Brasil \(2018\)](#)

Com base nos modelos comerciais, foi elaborado o seguinte modelo de equipamento visto em Figura 2 (a) e (b).

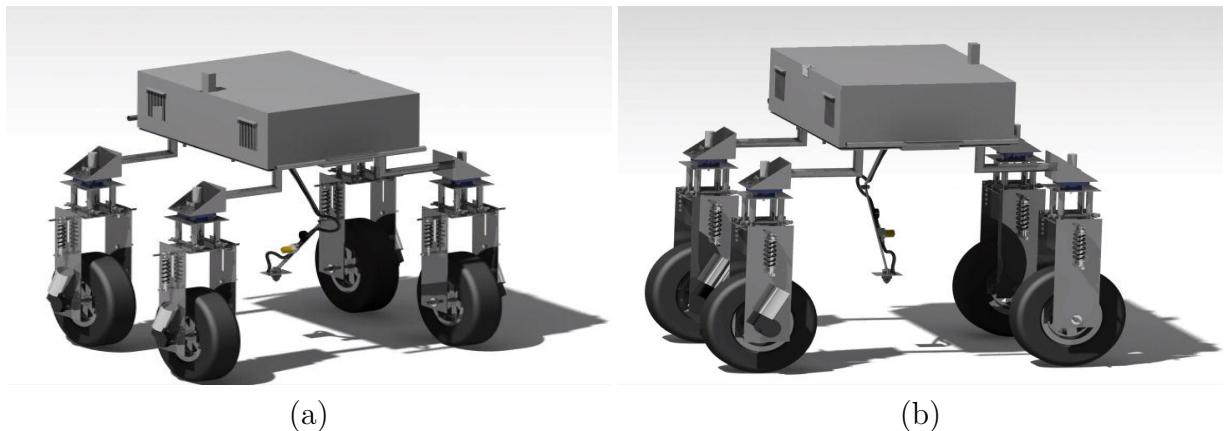


Figura 2 – Renderização de um CAD de engenharia.
Fonte: Autores.

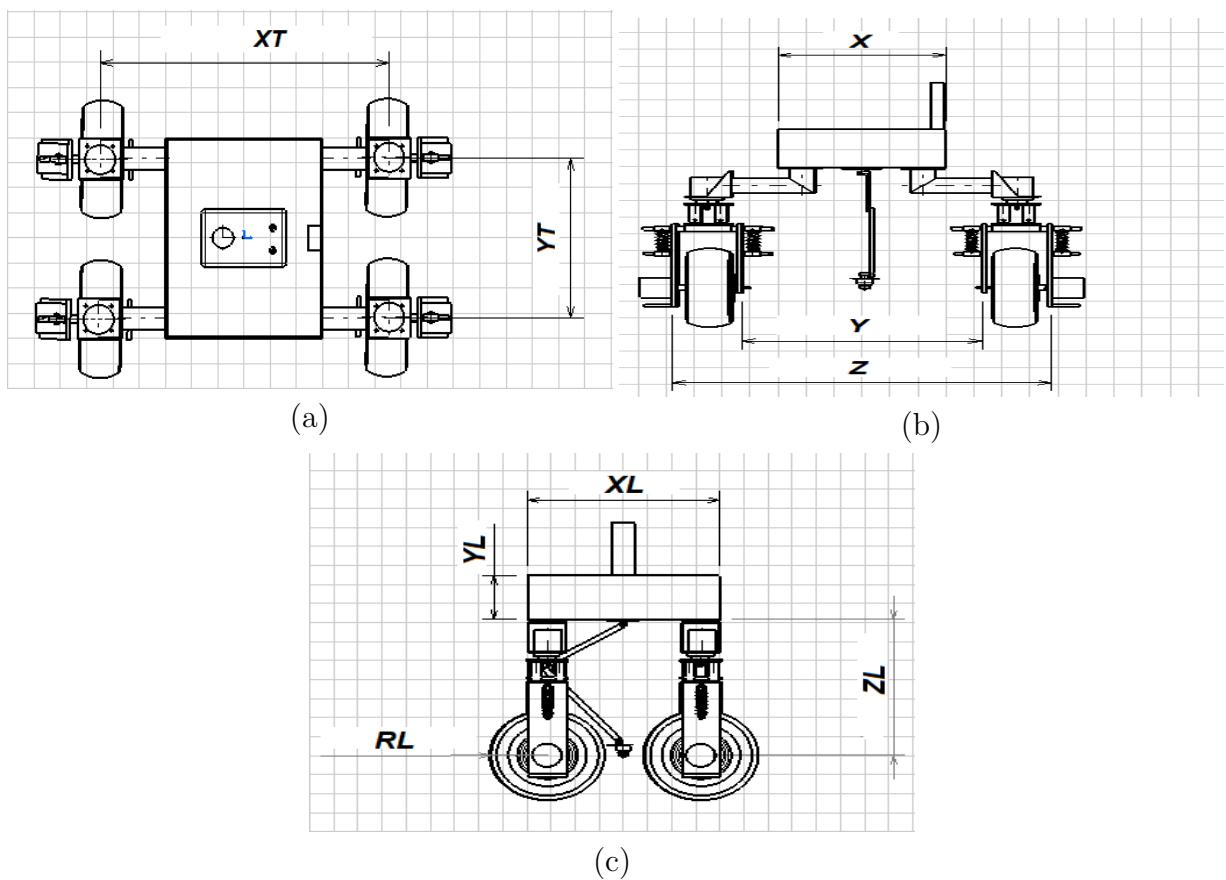


Figura 3 – Vistas a) Superior. b) Frontal. c) Lateral
Fonte: Autores.

Tabela 9 – Tabela de dimensões do StrongBerry.

Figura	Dimensões	Valor (mm)	Descrição
Figura 3b	X	610	Largura do compartimento para o tanque, baterias e componentes eletrônicos
	Y	960	Largura do vão livre entre os pneus e seus suportes
	Z	1260	Largura do equipamento, desprezando as dimensões dos motores elétricos
Figura 3c	XL	800	Comprimento externo do compartimento para o tanque, baterias e componentes eletrônicos
	YL	230	Altura externa do compartimento para o tanque, baterias e componentes eletrônicos
	ZL	746 a 758	Altura do fundo do compartimento central ao centro da roda do equipamento
	RL	410	Raio do pneu
Figura 3a	XT	1071	Distancia entre o centro das rodas
	YT	646	Entre eixos do equipamento

Fonte: Autores.

4.3.2 Materiais e componentes

Foram selecionados dois tipos de materiais para ser trabalhado na estrutura, o aço e o alumínio, uma vez que os modelos comerciais utilizados como inspiração, Figura 1, utilizam materiais metálicos. Diante disso, o grupo buscou os mais utilizados comercialmente na confecção de estruturas metálicas, chegando então aos dois principais citados anteriormente. O aço inox não foi considerado, mesmo ele tendo boas propriedades mecânica a esforços e resistência a corrosão, pois, na visão do grupo, ele reuni dois pontos negativos do aço e do alumínio que seria o elevado peso e o elevado custo de aquisição, respectivamente.

O aço, em relação ao alumínio, consiste em um material com resistência mecânica um pouco mais elevada, além de possuir um preço mais baixo. Entretanto, o aço tem um teor de oxidação e corrosão mais elevado. A possível utilização do alumínio é para minimizar a massa do protótipo, que terá uma grande relevância na carga final do projeto, influenciando na montagem e no transporte. Além disso, o material apresenta uma alta resistência a corrosão.

A título de melhor comparação entre os dois materiais, foi elaborada a Tabela 28 pressente no Apêndice H e posteriormente, foi feita uma Matriz de decisão, vide Tabela 29, presente no Apêndice H para escolha final do material a ser utilizado.

Com os resultados obtidos pela matriz elaborada, o aço se mostrou a melhor opção de material para a estrutura tubular, barras redondas e chapas dos braços de apoio da estrutura central.

A estrutura também irá utilizar um conjunto de componentes que podem ser verificados no Anexo A e na lista de componentes presente no Apêndice M.

Foi feita a tabela 30 de comparação entre materiais para a estrutura central do StrongBerry, presente no Apêndice H visando avaliar quais materiais seriam utilizados, pois nela serão acoplados os sistemas eletrônicos, o tanque e as baterias. Posteriormente, foi elaborada a matriz de decisão(tabela 31) presente no Apêndice H.

Os materiais selecionados foram o aço e o plástico que tiveram as duas melhores notas na avaliação. A mesclagem dos componentes tem a finalidade de diminuir o peso do modelo. O aço seria utilizado para que a parte central tenha uma maior resistência mecânica e compatibilidade com os braços de sustentação. O plástico seria utilizado para fazer a proteção dos componentes integrados no meio. Além disso, pelo fato do protótipo permanecer sobre radiação solar, a estrutura iria esquentar, então o plástico também servirá como isolante térmico para a proteção dos componentes internos.

Definida a utilização do Aço 1020, será necessária a aplicação de uma camada de proteção sob esse material, de modo a prolongar a vida útil do mesmo. Como solução para a proteção, tem-se a pintura eletroestática, que consiste em um processo de deposição de uma cobertura em pó, carregada negativamente, sob uma superfície, carregada positivamente (UFJF, 2021).

Para o projeto, será utilizada a pintura eletroestática, pois ela é mais acessível para ser realizada, também é capaz de garantir uma boa proteção a oxidação dos materiais, além de eliminar o passo de pintura que seriam necessários nos outros dois passos anteriores, e também permite uma variedade de escolha de cores para a camada de proteção melhorando o aspecto visual das peças.

A pintura eletrostática não seria a única opção para a proteção da estrutura, outra opção, que também poderia ser utilizada, seria a realização de um tratamento a base de zircônio (nanocerâmico) e posteriormente aplicar uma tinta óleo comercial. Esse processo consiste na revestimento da peça com o substrato nanocerâmico, que após feita a cura, pode receber uma camada de tinta óleo comercial comum (UFRGS, 2021).

Também poderia ser utilizado o processo de fosfatização, que é muito utilizado no mercado, de zinco ou manganês, onde as peças metálicas recebem um revestimento de uma solução de fosfato e zinco ou manganês, de modo a promover o aumento da resistência do material a corrosão (ZINCOREX, 2021).

4.3.3 Simulações estruturais estáticas

Foram realizadas simulações estruturais estáticas dos componentes principais do projeto que estarão submetidos aos maiores esforços a fim de validar que os materiais escolhidos eram capazes de suportar tais esforços.

Com isso, as simulações desenvolvidas utilizaram o software comercial Ansys que é baseado na teoria dos Métodos dos Elementos Finitos (MEF). Esse método é regido pela Eq 4.1 em que se baseia pela lei de Hooke. A notação matricial adotada tem por representação de matriz coluna o uso das chaves, enquanto as matriz retangulares são representadas por colchetes (LOGAN, 2012).

$$\{F\} = [K] \{d\} \quad (4.1)$$

em que F são as forças em coordenadas globais, K é a matriz de rigidez global e d é a matriz de deslocamentos. A partir desse equacionamento as equações de compatibilidade e equilíbrio são satisfeitas a equação acima é aplicada para cada nó. Os nós são oriundos da malha de elementos finitos, parte primordial para o processo de simulação (GILLES-PIE, 1992). Portanto, a metodologia usada nas simulações é apresentada em forma de fluxograma na Figura 4.

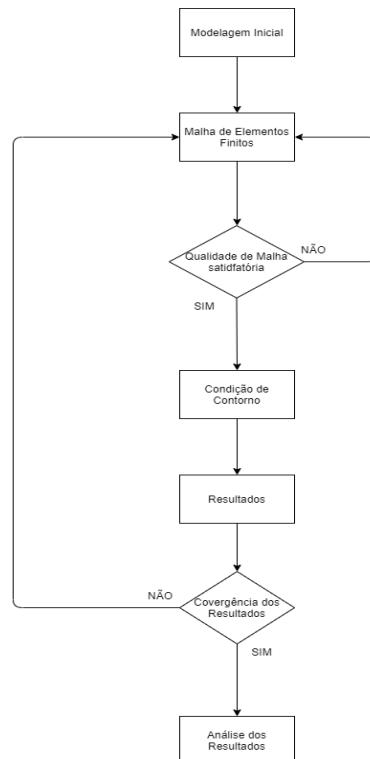


Figura 4 – Fluxograma de simulação estática

Fonte: Autores

Os resultados das simulações desenvolvidas está presente no Apêndice I. Logo,

concluiu-se que as peças analisadas não apresentaram deformações significativas indicando que são capazes de suportar os esforços.

4.3.4 Simulações estruturais dinâmicas

A fim de complementar as análises estruturais, além das simulações estáticas, é desenvolvido as simulações dinâmicas. As análises dinâmicas são divididas em análise modal do sistema estrutural como um todo, o qual objetiva, por meio dos métodos do elementos finitos, determinar as frequências naturais. Essas frequências são próprias do conjunto estrutural e dependem das condições de contorno as quais a estrutura está sujeita. A equação global que rege a dinâmica de estruturas é apresentado pela Eq. 4.2.

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + Ku = f(t) \quad (4.2)$$

em que M é a matriz de massa da estruturas, C é a matriz de coeficiente de amortecimento, K é a matriz de rigidez, \ddot{u} é a derivada segunda temporal do deslocamento, logo, corresponde a aceleração do sistema. Seguindo o exposto \dot{u} corresponde a velocidade e u é a matriz de deslocamento. Sendo, $f(t)$ força externa aplicada ao sistema, para determinar as frequências naturais da estrutura para vibração livre a força é zero.

Deste modo, as frequências naturais foram determinadas por meio do software Ansys. Para tal, as condições de contorno utilizadas são apenas suportes fixos à base do chassi do mini trator, por ser tratar de vibração livre não é aplicado forças ao sistema. O Apêndice I.0.2.1 apresenta os resultados obtidos de frequência natural. Os resultados são discutidos no Apêndice e apontam que para as condições de operações a estrutura projetada assegura que os componentes eletrônicos embarcados não sofram danos bem como os componentes estruturais.

A partir da Eq. 4.2 é desenvolvido as equações que descrevem a resposta do sistema estrutural durante operação em termos de deslocamento considerando o sistema de amortecimento projetado. Para tal análise é desenvolvido código em MATLAB de forma a analisar a eficácia do sistema de amortecimento. O equacionamento, bem como o resultado estão presentes no Apêndice I.0.2.2. Por meio dos resultados obtidos o sistema de amortecimento atende as condições de operação em solo irregular o qual o mini trator estará sujeito.

Além dessas análises, é requerido análise de resposta harmônica do componente suporte telescópio, uma vez que, esse componente por estar suportando o sistema de amortecimento, este componente está sujeito a cargas cíclicas de pequena intensidade. Deste modo, é aplicado uma força harmônica no suporte na forma $f(t) = F \sin(\omega t + \phi)$. A resposta harmônica fornece a densidade espectral de um parâmetro de saída do sistema que, comumente, são tensão, deslocamento e aceleração. Para este componente a tensão

é o parâmetro de saída de relevância. Os resultados estão presentes no Apêndice I.0.2.3 e apontam que para as frequências as quais as tensão são criticas para o sistema são frequências que não serão sentidas pela estrutura durante a operação.

4.3.5 Arquitetura do sistema de movimentação

O sistema de movimentação do StrongBerry é responsável por movimentá-lo tanto durante a pulverização ao longo de uma fileira de morangos quanto na mudança de fileiras. Desse modo, o sistema foi dividido em dois subsistemas que trabalharão de forma integrada para garantir a correta movimentação ao longo da lavoura. Tal divisão consiste em: subsistema de propulsão e subsistema de manobrabilidade.

4.3.5.1 Subsistema de propulsão

O subsistema de propulsão foi pensado para ser capaz de promover movimentação estável em uma direção, a fim de que a pulverização de fertilizantes possa ser feita diretamente na muda de morango, visando evitar desperdícios do produto. Nesse contexto, logo na concepção inicial descartou-se a utilização de um único motor aliado a um sistema de transmissão, pois a geometria do StrongBerry necessária para realizar a pulverização dificulta soluções envolvendo eixos de transmissão de torque às quatro rodas.

Portanto, propõe-se que cada uma das quatro rodas tenha um motor elétrico acoplado, de modo que seja possível controlar individualmente o comportamento de cada roda, semelhantemente à tração 4x4 presente em carros de passeios. Além disso, essa arquitetura já é utilizada tanto em outros robôs envolvidos na agricultura (BRASIL, 2018) (MOITINHO, 2019) quanto em *rovers* dedicados à exploração interplanetária (ZAKRAJSEK et al., 2005).

4.3.5.2 Subsistema de manobrabilidade

O subsistema de manobrabilidade tem como objetivo fazer correções de trajetória caso o StrongBerry sofra algum desvio causado pelas irregularidades do terreno. E, ao fim de cada fileira de morango, realizar uma movimentação lateral, isto é, perpendicular às fileiras de morango.

Desse modo, o subsistema consiste na integração entre sensores de posição e um motor elétrico na parte superior do apoio de cada roda, permitindo uma rotação de até 90°. Com isso, o produto será capaz de mover-se agilmente em pequenos espaços, reduzindo o tempo de manobra de cada mudança de fileira. Como a mudança de fileira do plantio será feita lateralmente, o StrongBerry é projetado para ter funcionamento independente do sentido no qual ele se move.

Ademais, como o terreno do plantio costuma ser ligeiramente irregular, um sistema de suspensão foi pensado para garantir que o StrongBerry tenha boa tração no solo acidentado e seja capaz de evitar desvios de trajetória causados pelas irregularidades do solo. Logo, a configuração dos amortecedores foi baseada em sistemas de amortecimento de patinetes elétrico comerciais, mas com adaptações ao motor acoplado a cada roda, vide Figura 5, tendo em vista que o conjunto roda, motor e apoio é amortecido como um único componente.

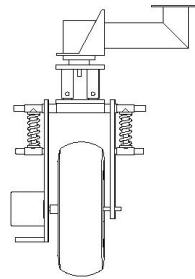


Figura 5 – Design da configuração dos amortecedores em cada roda.

Fonte: Autores.

4.3.5.3 Dimensionamento das molas

4.3.5.4

A definição da rigidez do conjunto de molas inicia-se da definição da frequência que se deseja obter no protótipo. Na qual relaciona-se a frequência natural f_n com a rigidez efetiva da suspensão RR também conhecida como ride rate, com a massa suspensão M , como descrita na Eq. 4.3 . A partir dessa equação é possível isolar o ride rate para obter o valor do sistema, como mostrado na Eq. 4.4.

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{RR}{M}} \quad (4.3)$$

$$RR = 4\pi^2 f_n^2 \left(\frac{M}{2} \right) \quad (4.4)$$

Como a rigidez efetiva consiste no sistema das molas com o pneu em série, há outra forma de encontrá-la, descrita na Eq. 4.5. Através dessa equação, consegue-se obter o valor da rigidez das molas K_s Eq. 4.6, onde o K_t é a rigidez do pneu.

$$RR = \frac{K_s K_t}{K_s + K_t} \quad (4.5)$$

$$K_s = \frac{RRK_t}{K_t - RR} \quad (4.6)$$

Veículos onde o objetivo é o desempenho, é selecionado mola para atingir frequências naturais entre 2 a 2,5 Hz, embora o conforto seja reduzido, pelo fato de ter uma suspensão mais rígida, o contato entre pneu solo e a manobrabilidade melhoram (GILLESPIE, 1992). Com isso, será adotado para o projeto uma frequência de 2 Hz para obtenção da rigidez. Além disso, para calcular o valor da rigidez das molas foi definido para o projeto que a rigidez do pneu é equivalente a 10 kN/m através das análises e resultados obtidos de Duarte (2016). Assim, por meio das equações e dos valores estabelecidos anteriormente foi calculado a rigidez da mola, na qual obteve-se o valor de 6,5 kN/m para cada ¼ do veículo, como há um conjunto de duas molas em paralelo em cada roda esse valor é dividido entre as molas, dessa forma cada mola apresentará 3,25 kN/m de rigidez.

4.3.5.4 Amortecimento dos amortecedores

O fator de amortecimento ζ entre 0,2 e 0,4 obtém-se bons níveis de conforto (GILLESPIE, 1992). Para valores inferiores a 20% o ganho do deslocamento da massa suspensa é muito alto na frequência natural da massa suspensa, o que geraria grandes deslocamento do chassi. Com valores acima de 40%, a suspensão fica muito rígida, começando a apresentar um ganho alto na frequência natural da massa não suspensa, o que indica que o chassi estaria se movendo junto com a roda (DUARTE, 2016), mostrado na Figura 6.

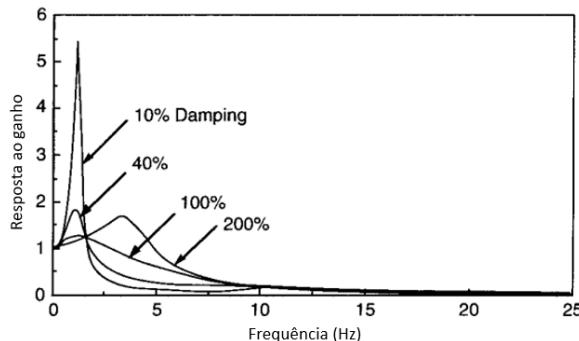


Figura 6 – Influência do fator de amortecimento.

Fonte: Gillespie (1992).

Além da faixa do fator de amortecimento ser ideal para o conforto, também é ideal para manter o contato pneu solo (FREITAS, 2006). Desse modo, foi definido para o projeto o fator de amortecimento como 0,3, com isso é calculado o amortecimento dos amortecedores C_s , utilizando Eq. 4.7.

$$C_s = \frac{\zeta}{4K_s M} \quad (4.7)$$

Agora pode ser calculado o amortecimento, assim obteve-se o valor de 0,46 kNs/m para cada amortecedor do projeto.

4.3.5.5 Dimensionamento geométrico das molas

Para o projeto da mola foi selecionado o material ASTM A227 fio repuxado a frio, logo depois foi selecionado o diâmetro do fio d_d que é recomendado para o material escolhido que está entre $0,7\text{mm}$ a $12,7\text{mm}$ (BUDYNAS, 2001).

Próximo passo foi determinar o índice de mola, na qual o intervalo é $4 \leq C \leq 12$, com os índices inferiores ficar mais difícil a conformação dificultando e prejuízo durante a fabricação e as molas com índices mais elevados frequentemente tendem a enroscar o bastante para requerem empacotamento individual, nesse caso a mola terá o efeito de flambagem (BUDYNAS, 2001).

Com o índice de mola escolhido e o diâmetro pode ser calculado o diâmetro médio das espiras através da Eq. 4.8, onde C é índice de mola, D é diâmetro médio e d diâmetro do fio.

$$C = D/d_d \quad (4.8)$$

Com o diâmetro médio determinado pode se obter a folga diametral média f calculada pela Eq. 4.9 utilizada para projetos onde o diâmetro médio é maior que 13 mm . Com as informações obtidas pode-se calcular as dimensões de instalação da mola, na qual se calcula o valor mínimo do diâmetro do furo $Furo_{mín}$ que a mola será montada, pela Eq. 4.10 tendo relação com o diâmetro externo da mola D_e .

$$f = 0,05D \quad (4.9)$$

$$Furo_{mín} = D_e + f \quad (4.10)$$

Será aplicado o critério de resistência mecânica relacionado aos esforços estáticos que a mola está sujeita Eq. 4.11, onde τ_s é a tensão atuante real que é calculado pela Eq. 4.12 que considera o fator de correção da tensão de cisalhamento K_d calculado pela Eq. 4.13 e a força resultante máxima aplicada na mola F . Do lado esquerdo da Eq. 4.11 contém a tensão admissível que consiste na divisão da tensão limite de cisalhamento τ_e que é obtida pela correlação da tensão de escoamento com o material e o diâmetro do fio Eq. 4.14, pelo coeficiente de segurança mecânico n_{mec} . A recomendação é que o coeficiente de segurança mínimo para solicitações leves é que seja igual 1,5 (BUDYNAS, 2001).

$$\tau_s \leq \frac{\tau_e}{n_{mec}} \quad (4.11)$$

$$\tau_s = K_d \frac{8FC}{\pi d_d^2} \quad (4.12)$$

$$K_d = 1 + \frac{1}{2C} \quad (4.13)$$

$$\tau_e = 1174,7 d_d^{-0,1822} \quad (4.14)$$

Com a rigidez da mola K_s encontrada no tópico passado e a variação das forças ΔF , com isso é capaz de encontrar a deflexão útil máxima δ_u Eq. 4.16. Através da fórmula de rigidez da mola Eq. 4.16 obtida pelo segundo teorema de Castigliano encontra-se o número de espiras ativas N_a necessárias para atender as especificações anteriores que a mola vai conter, onde G é o módulo de elasticidade transversal.

$$\delta_u = \frac{\Delta F}{K_s} \quad (4.15)$$

$$K_s = \frac{Gd}{8C^3 N_a} \quad (4.16)$$

Foi escolhido para o projeto da mola que as terminações da mola seriam esquadrijadas e esmerilhadas determinando dois índices de construção o α e o β que serão utilizados futuramente nas equações, na qual os dois índices o valor é igual a 2, com isso podemos determinar a quantidade total de espiras N_t pela Eq. 4.17.

$$N_a = N_t - \beta \quad (4.17)$$

A altura livre em repouso H_L é um somatório Eq. 4.18 entre a altura sólida $h_{sólida}$ que é quando aparece a força sólida e todas as espiras se tocam obtida pela Eq. 4.19, mais a altura de interferência h_{interf} que é um parâmetro de projeto que deve ser entre 10% a 15% da deflexão útil, mas a deflexão útil máxima encontrada anteriormente e pela deflexão inicial que é a divisão entre a força inicial F_i e a constante de mola K_s Eq. 4.21. Para ter um projeto mais seguro foi escolhido para a altura de interferência um parâmetro de 15% como na Eq. 4.18.

$$H_L = h_{sólida} + h_{interf} + \delta_u + \delta_i \quad (4.18)$$

$$h_{sólida} = d_d N_a + \alpha d_d \quad (4.19)$$

$$h_{interf} = 0,15 \delta_u \quad (4.20)$$

$$\delta_i = \frac{F_i}{K} \quad (4.21)$$

Com a altura livre pode se calcular o passo da mola P utilizando a Eq. 4.22, logo depois se calcula o ângulo de hélice λ pela Eq. 4.23 e o espaço entre as espiras e com a Eq. 4.27.

$$H_L = P N_a + \alpha d_d \quad (4.22)$$

$$P = \pi^2 D t \tan(\lambda) \quad (4.23)$$

$$P = e + d_d \quad (4.24)$$

No caso onde se tem a altura sólida acontece que todas as espiras se tocam, com isso a mola perde a função, por isso se calcula a deflexão sólida $\delta_{sólida}$ determinada pela Eq. 4.23 e a força sólida $F_{sólida}$ calculada pela Eq. 4.23 para verificar se a mola falhe, mesmo sendo uma situação indesejada tem que prever o que vai acontecer estruturalmente com a mola caso seja aplicado uma força equivalente igual a força sólida, para fazer essa verificação utiliza-se o critério estático de resistência da mola $n_{mecsólido}$ para força sólida atuante mostrada na Eq. 4.23, o fator de segurança estrutural estático que deve estar acima ou igual a 1,2 para estar em uma situação adequada(BUDYNAS, 2001).

$$\delta_{sólida} = H_L - h_{sólida} \quad (4.25)$$

$$F_{sólida} = K_s \delta_{sólida} \quad (4.26)$$

$$K_d \frac{8F_{sólida}C}{\pi d^3} \leq \frac{\tau_e}{n_{mecsólido}} \quad (4.27)$$

Para finalizar a análise se calcula o peso da mola m_t pela Eq. 4.28, onde ρ consiste na densidade do material.

$$m_t = \frac{\pi^2 d^2 D N_a \rho}{4} \quad (4.28)$$

Por meio das análises e equações passado obtive-se os seguintes resultados Tab.10 .

Tabela 10 – Dados da mola.

Características	Resultados
Material	ASTM A227
Diâmetro do fio (d)	3 mm
Diâmetro médio da espira (D)	24 mm
Índice da mola (C)	8
Folga diametral média (f)	1,2 mm
Furo mínimo da instalação($Furo_{mín}$)	28,7 mm
Força resultante máxima ($F_{máx}$)	68,6 N
Força mínima ($F_{mín}$)	44,1 N
Fator de correção da tensão de cisalhamento (K_d)	1,06
Tensão atuante real (τ_s)	164,6 MPa
Tensão limite de cisalhamento(τ_e)	961,6 MPa
Coeficiente de segurança mecânico (n_{mec})	5,84
Deflexão útil máxima(δ_u)	3,77 mm
Rigidez da mola (K_s)	6,5 N/mm
Módulo de elasticidade transversal (G)	80 GPa
Número de espiras ativas (N_a)	15,5
Número de espiras total (N_t)	17,5
Altura sólida ($h_{sólida}$)	168 mm
Altura de interferência (h_{interf})	0,56 mm
Deflexão inicial (δ_i)	6,78 mm
Passo entre espiras (P)	4,5 mm
Ângulo de hélice (λ)	4,17°
Espaço entre espiras (e)	2,5 mm
Deflexão sólida ($\delta_{sólida}$)	11,11 mm
Força sólida ($F_{sólida}$)	72,22 N
Fator de segurança estrutural estático($n_{mecsólido}$)	5,5
Massa da mola(m_t)	8,6 g

Fonte: Autores.

4.3.6 Arquitetura do sistema de alimentação

O sistema de alimentação tem por finalidade pressurizar o fertilizante na linha de pulverização e realizar a aspersão do líquido fertilizante sobre a folhagem da plantação. O sistema é projetado para que se tenha a máxima eficiência durante o processo de pulverização, ou seja, cobrir a maior área possível com o menor volume de fertilizante.

O sistema consiste em um tanque para armazenamento do fertilizante Figura (149). Na saída do tanque há um filtro que impossibilita que impurezas passem para bomba. A linha de alimentação conecta o tanque ao bico por meio de mangueira hidráulica. O sistema é pressurizado por meio de uma eletrobomba do tipo turbina de corrente contínua e funcionamento continuo. O sistema possui duas válvulas reguladoras de vazão, do tipo rosca, para controle de pressão na linha, uma vez que o sistema é retroalimentado. A

retroalimentação acontece devido ao funcionamento contínuo da bomba, assim, evita-se perdas. Ao final da linha de injeção se encontra o bico de pulverização do sistema. A Figura 7 apresenta o diagrama hidráulico do sistema, feito a partir da norma ISO1219 (COMPANY, 2021).

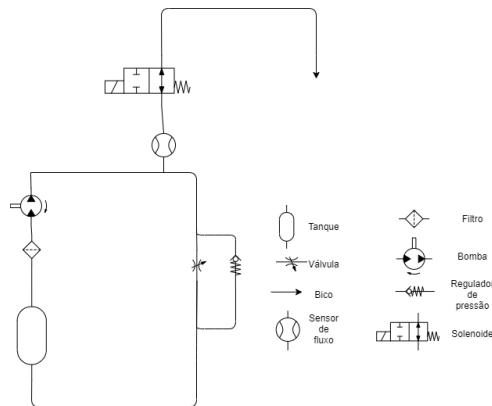


Figura 7 – Diagrama hidráulico.

Fonte: Autores.

A pulverização é um ponto crítico para o projeto, uma vez que sua eficiência e correta operação influem diretamente na precisão de aspersão do fertilizante (CUNHA et al., 2004). Dentre as várias possibilidades de bicos injetores, a Tab. 33, presente no Apêndice J apresenta o comparativos entre os principais tipos de bicos empregados para este tipo de aplicação (CUNHA; TEIXEIRA, 2001).

O bico pulverizador Figura 156 escolhido é do tipo cônico sólido, antigotejo, possibilitando a dispersão do fertilizantes em toda a planta, além da boa penetração no solo. O bico opera à uma pressão de 0,5 bar a 6 bar. Para a pressão fornecida pela bomba de 1,14 bar, considerando a perda de carga, o bico opera a uma pressão de aproximadamente 0,97 bar. Dessa forma, prevê uma dispersão com ângulo de 58 a 61 graus. O desenho técnico pode ser visto no Apêndice A, Figura 169.

A fim de atender o requisito de variação de altura, o bico é acoplado a uma haste passível de regulagem de altura, conforme apresentado no esquemático da Figura 8 em anexos.

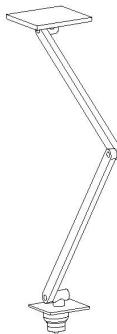


Figura 8 – Suporte regulável de altura do bico.

Fonte: Autores.

4.3.6.1 Simulação do sistema de pulverização

Foi proposto pelo grupo, um sistema eletro-hidráulico de baixa pressão, pois trabalha com menos de 14 bar ([FIALHO, 2007](#)) pág.30 para realização da fertirrigação sobre o cultivo de morangos que será acoplado ao veículo semiautônomo. Foi elaborado então o seguinte esquema como visto na Figura [7](#).

Os elementos constituintes do sistema propostos, são definidos com base na pressão de trabalho, vazão e dimensões das conexões de mangueiras da bomba eletro-hidráulica [Figura 145](#), além da forma de como o circuito deve operar (sistema retroalimentado, com regulagem de vazão, controle do momento da pulverização, sistema de segurança a presença de pressão elevada na linha).

Para definição dos parâmetros da bomba, são realizados os cálculos com base em alguns dados disponibilizados pelo fabricante, que podem ser visto no Apêndice [J](#).

Em posse dos parâmetros da bomba, o circuito de funcionamento proposto foi representado no FluidSim da empresa Festo™ a fim de simular o circuito a ser implementado aplicando os parâmetros conhecidos, podendo então obter uma resposta próxima à realidade.

Após realizados os cálculos, foram obtidos os seguintes valores que são utilizados como valores de entrada no software para realização da simulação.

- $P_{tb} = 0,97$ bar; (Pressão de trabalho)
- $Q = 13,3$ l/min. (Vazão da bomba)

Após obtidos esses dados, são definidos os componentes do sistema hidráulico e é possível realizar a simulação demonstrada no Apêndice [J](#).

Em posse desse valores, os componentes para o sistema hidráulico podem ser especificados, pois essa especificação ocorre de acordo com a pressão presente na linha hidráulica.

A simulação do fluido no bico pulverizador, foi realizada pelo software ANSYS Fluent 2020 R2. Para a definição dos parâmetros de input foram utilizados os dados de vazão volumétrica, e a geometria do bico disponibilizados no datasheet do pulverizador. Em posse desses dados, e também, da queda de pressão da mangueira, foi possível obter os parâmetros necessários para a realização da simulação que é mostrada no Apêndice J

Lembrando apenas que as simulações representam resultados bem próximos a realidade, mas como todas as condições de contorno não são abordadas completamente pela simulação, os resultados no sistema real apresentam variações quando comparados ao da simulação, mas para fins teóricos de projeto, os valores são aceitáveis e podem ser considerados.

4.4 Solução Elétrica

4.4.1 Eletrônica

A solução adotada para os sistemas eletrônicos foi a divisão do escopo do projeto em três frentes: Central de Controle, Sensoriamento e Sistema de Atuadores. Essas frentes fazem parte do ciclo de percepção e ação e são fundamentais para a interação da robótica móvel com o ambiente.

4.4.1.1 Central de Controle

É responsável pelo processo de automação do StrongBerry, tendo como principais objetivos garantir o correto funcionamento dos dispositivos eletrônicos, coletar e transmitir dados dos sensores de medição, assim como controlar os atuadores do sistema. A Central de Controle é composta por microcontroladores, sendo que a escolha deles foi feita levando em consideração características como consumo de potência, custo e recursos de comunicação disponíveis. Ela pode ser encontrada em detalhes no anexo G.1.

4.4.1.2 Sensoriamento

Esta frente tem como função extrair informações de estímulos físicos do ambiente externo por meio do uso de sensores e transdutores, e prover os dados necessários para o processo de automação e controle requisitados pela Central de Controle. Os sensores podem ser classificados de diferentes formas como por método de medição ativo ou passivo.

Sensores ativos emitem energia em forma de onda mecânica ou luminosa no ambiente e realizam suas medições por meio de uma estimativa com base na energia retornada

a eles, dentro dessa classificação podemos citar os sensores de medida de distância como sonares e a lasers. Já os sensores passivos, realizam suas estimativas por meio das percepções obtidas da leitura do ambiente externo, sem emissão de nenhum tipo de energia, como por exemplo os sensores de câmera, temperatura, acelerômetros e magnéticos.

Outra classificação para os sensores é apresentada por [Wolf et al. \(2007\)](#), que divide os sensores em duas classes: proprioceptivos, que realizam medições referentes a medidas internas do próprio robô e os extraceptivos, que obtém as informações do ambiente externo no qual o robô está inserido.

A escolha dos componentes de detecção e medição foi realizada com base nas especificações necessárias para executar cada aplicação. Posteriormente, foi analisado o tipo de comunicação e a relação entre custo e eficiência destes componentes para selecionar o modelo a ser usado no projeto. Cada um dos sensores usados estão descritos no apêndice [G.2](#) juntamente com os testes realizados.

4.4.1.3 Sistemas de Atuadores

Atuadores são dispositivos que produzem movimento ao converter algum tipo de energia (pneumática, hidráulica, elétrica) em energia mecânica, como os motores elétricos, por exemplo. Muitas vezes os atuadores precisam ser conectados a outro dispositivo acessório, também chamado de pré-atuador, que auxiliam no processo de acionamento e controle dos atuadores, tais como válvulas e drivers de motores. Para o projeto, são utilizados quatro motores com redução DC de modelo MB24012 para o controle das rodas e quatro motores DC com caixa de redução ROBOCORE-1228 para o controle de rotação do StrongBerry. Para realizar o controle de direção e velocidade dos motores, foi escolhido o driver VNH2SP30. Todos estes atuadores estão apresentados em detalhes no apêndice [G.3](#).

4.4.2 Alimentação

Baterias recarregáveis vêm se destacando em aplicações em veículos elétricos (EVs) e em veículos híbridos elétricos (HEVs), sobretudo por possuírem ciclo de vida elevado e alta densidade de potência. Dentre as baterias mais utilizadas em veículos elétricos, as baterias de íon-lítio apresentam melhor densidade de energia e potência, maior valor de tensão por célula e melhor eficiência durante o carregamento. Além dessas características funcionais, as baterias Li-ion são adequadas a EVs por possuírem elevada vida útil, diminuindo o número de baterias requeridas durante o tempo de vida do veículo, aliado ao fato de serem compostas por materiais recicláveis, o que afeta positivamente a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) dos veículos nos quais as baterias Li-ion são empregadas ([MARQUES et al., 2019](#)). Ademais, *packs* de baterias de lítio são equipados com os *Battery Management System*, conhecidos como BMS, responsáveis pela gerência das células,

controle de carregamento a fim de garantir carga adequada na bateria, prevenção de sobrecarga e sobredescarga e outras anomalias que podem causar falha da bateria, além de realizarem o gerenciamento da temperatura ([PISTOIA, 2009](#)).

Dessa forma, a bateria do tipo íon-lítio foi selecionada para compor a solução deste projeto. Serão utilizadas duas baterias Li-ion: a principal e a secundária¹; seus dimensionamentos para utilização neste projeto estão dispostos no Apêndice [G.8](#).

4.4.2.1 Bateria Principal

Esta bateria será utilizada para a alimentação dos motores DC, os equipamentos relacionados ao controle da aspersão e demais componentes solidários à movimentação e controle do veículo. Foi escolhida a Samsung Li-ion Battery 12V 35000mAh, um *pack* composto por células de lítio 18650 com BMS incluso.

4.4.2.2 Bateria Secundária

A bateria secundária de lítio será utilizada para alimentar a ESP32 LoRa e os componentes solidários a ela. Ela também será utilizada como forma de prevenir a perda de dados em caso de parada súbita do StrongBerry (descarga da bateria principal ou obstáculos), a fim de manter os dados da pulverização que foram coletados e também para comunicar ao usuário que houve uma parada súbita do equipamento. Como essa bateria servirá também como bateria de emergência para evitar o desligamento do módulo ESP32 LoRa, e consequentemente a perda de dados e comunicação com o usuário, é coerente que possua capacidade de fornecimento de corrente para suprir o tempo de operação do veículo com uma carga da bateria principal, bem como demandar menos recargas que essa última. Por isso optou-se pela utilização de uma Bateria Li-ion composta por células 18650 7,4V 4400mAh na configuração 2s e dispositivo BMS integrado. A bateria terá tensão nominal de 7,4V e capacidade de carga de 4400mAh. Para reduzir a tensão para 5V será utilizado um Módulo Regulador de Tensão LM2596 de tensão antecedendo os componentes do circuito.

Conforme os dimensionamentos realizados, dispostos no Apêndice [G.8](#), a bateria principal é capaz de garantir com autonomia a fertirrigação completa de 1/4 de hectare. Além disso, a bateria secundária, garante 7 operações completas do veículo na lavoura considerada, conforme tempo calculado em ([G.36](#)).

¹ Cabe ressaltar que, no escopo deste projeto, o termo 'secundária' se refere à utilização da bateria como segunda bateria. Portanto, não se refere às baterias que podem ser recarregadas, denominadas baterias secundárias na literatura.

4.4.3 Carregamento

O carregamento das baterias será feito utilizando carregadores específicos para cada bateria, fora do veículo. É necessário que o usuário desencaixe a bateria a ser recarregada e leve-a a um local adequado, conectando o carregador à uma TUG.

A fim de garantir segurança e eficiência durante o carregamento e viabilidade de tempo de recarga, optou-se por utilizar, para a bateria principal, a fonte de alimentação 12,6V 3A bivolt com indicador de completação de carga, compatível com o conector P4 da bateria. O tempo de carregamento com esse carregador será de aproximadamente 11 horas e 40 minutos.

Já para o carregamento da bateria secundária, foi escolhida uma fonte de alimentação 7,5V 1A bivolt compatível com o conector P4 fêmea da bateria. Com esse carregador, o tempo de carregamento é de aproximadamente 4 horas e 25 minutos.

O diagrama unifilar que representa as conexões de carregamento de ambas as baterias está disposto no Apêndice [G.10](#).

4.4.4 Dimensionamento dos Condutores Elétricos

O dimensionamento dos condutores elétricos foi realizado de forma a escolher a melhor especificação de cabos que consiga atender os requisitos do Strongberry. Com o auxílio da norma NBR 5410/2004 e suas disposições das condições a serem atendidas para instalações de baixa tensão, foram dimensionados cabos de $2,5\text{mm}^2$ de bitola para o veículo. Serão utilizados cabos uni e multipolares para os componentes dentro e fora do Strongberry. O dimensionamento completo e as tabelas da norma usadas como parâmetro podem ser encontrados no Apêndice [G.9](#).

4.4.5 Resfriamento

O StrongBerry poderá operar sob insolação direta e dentro de estufas, assim, o calor pode alterar a capacidade de funcionamento e a qualidade de operação dos componentes internos da capa protetora. Dessa forma, foi realizada uma simulação por meio do software ANSYS Fluent em 2D que demonstra o fluxo de calor interno.

Observando os resultados obtidos na simulação presente no Apêndice [G.12](#), é possível visualizar que a temperatura apenas com resfriamento por convecção natural não é viável para um bom funcionamento dos componentes internos. Foi decidido, portanto, que a melhor opção seria utilizar *cooler* para o resfriamento forçado. Esses *coolers* são uma espécie de ventilador axial que serve para reduzir o calor gerado pelos componentes internos. Serão utilizados 2 *coolers*, um para cada lado da capa protetora.

4.4.6 Arquitetura de Eletrônica

O diagrama de arquitetura de eletrônica na Figura 9, demonstra a interação entre o sistema de direção e de pulverização desempenhados pela ESP32 e a Raspberry Pi 3 respectivamente. Apresentando alguns dos protocolos de comunicação que serão usados e o tipo de conexão.

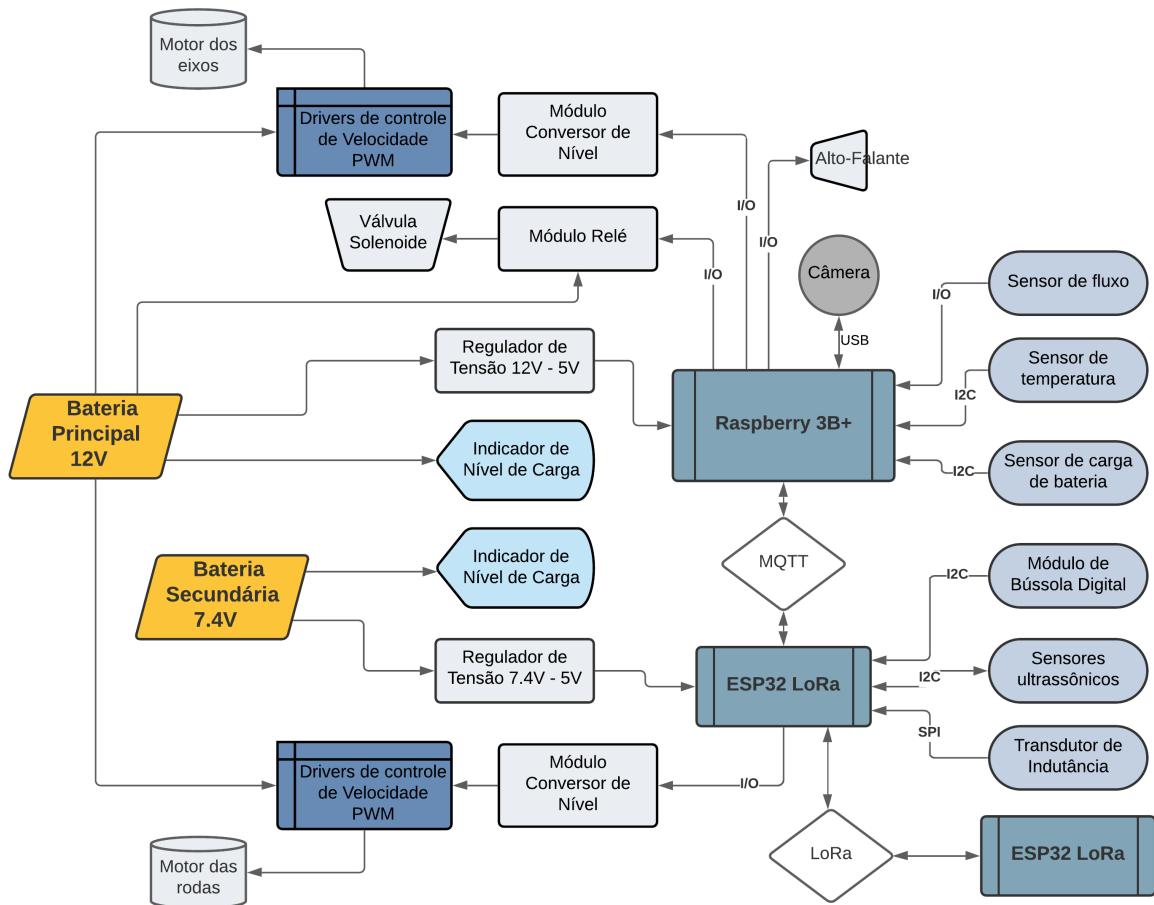


Figura 9 – Arquitetura Inicial de Eletrônica
Fonte: Autores.

4.4.7 Diagramas esquemáticos de conexões

Os diagramas esquemáticos que apresentam as conexões entre os componentes eletrônicos e os microcontroladores discutidos na secção de eletrônica estão contidos no apêndice G.5 de forma detalhada.

4.4.8 Diagrama Unifilar

O diagrama unifilar elétrico foi feito tomando como base a NBR 5410 (instalações elétricas de baixa tensão) e a NR 10 (segurança em instalações e serviços em eletricidade).

Ele pode ser encontrado no Apêndice [G.10](#)

4.4.9 Confecção de componentes

Devido ao número elevado de conexões entre os microcontroladores e os demais componentes eletrônicos, apresentados nos diagramas de arquitetura e esquemático das seções [4.4.6](#) e [4.4.7](#), foram desenvolvidas placas de circuito impresso (PCI) para a Raspberry Pi 3B+ e para ESP32 LoRa com o intuito de auxiliar as conexões e realizar a distribuição de energia para todo o sistema eletrônico, reduzindo a necessidade de cabos conectores e prevenindo falhas de conexão além de ser um modelo mais compacto e de fácil manutenção e manuseio.

As placas de circuito impresso foram projetadas utilizando o software EasyEDA. Os parâmetros usados para o projeto e confecção das PCIs estão contidos no apêndice [G.6](#) e as descrições, os esquemáticos e as vistas 3D e 2D superior e inferior das placas estão apresentadas no apêndice [G.7](#).

4.4.10 Dinâmica de Operação

Com o objetivo de explicar de forma detalhada todos os procedimentos realizados pelo StrongBerry durante o processo de fertilização, foram desenvolvidos fluxogramas, os quais ilustram as funcionalidades do StrongBerry, assim como os componentes envolvidos em cada etapa de funcionamento.

Os fluxogramas foram divididos em: Sistema de Direção, Sistema de Aspersão e Sistema de Monitoramento e Segurança. Esses sistemas trabalhando em conjunto formam a dinâmica de operação do StrongBerry, sendo que os fluxogramas e suas respectivas explicações estão presentes no Apêndice [G.4](#).

4.5 Solução de Software

O controle e o acesso das informações do veículo são realizadas por meio de um sistema WEB, com funcionalidades que atendem os requisitos listados em [3.4](#), que incluem: Monitoramento da bateria e quantidade de fertilizante disponível no tanque, envio de comandos remotos para iniciar ou interromper o funcionamento do StrongBerry e recebimento de alertas. O sistema é composto por um sistema embarcado no veículo, três APIs e uma Aplicação Web, além de um *gateway* para a comunicação do sistema embarcado.

A Figura [10](#) mostra como o sistema funciona como um todo. O veículo possui um sistema embarcado, que coleta os dados dos sensores e mantém o veículo online, através de um *gateway* LoRa, ficando assim disponível para receber comandos, ou enviar dados coletados e possíveis alertas. O *backend*, dividido em microsserviços, recebe as informações

do veículo, armazena, e trata os dados para envia-los ao *frontend*, uma Aplicação Web que estará acessível para o usuário, mostrando de forma intuitiva todos os dados do veículo, e podendo também enviar comandos de forma remota. Nos casos dos comandos é percorrido o caminho inverso, onde o usuário, pelo painel de controle do *frontend*, faz um comando para o veículo, esse comando é enviado para a API que armazena, e redireciona o comando para o sistema embarcado onde ele é processado.

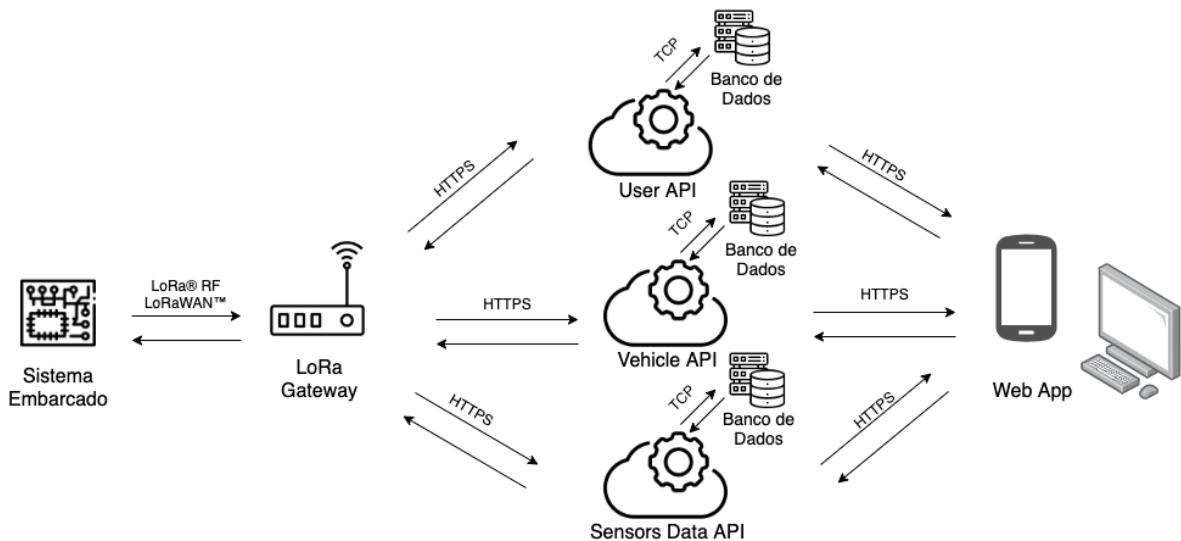


Figura 10 – Arquitetura do Software
Fonte: Autores.

4.5.1 LoRa

LoRa é uma tecnologia de radiofrequência que permite comunicação a longas distâncias com consumo de mínimo de energia, em áreas urbanas seu alcance fica entre 3 - 4 Km, já em áreas rurais esse alcance pode ultrapassar 12km, por conta desses atributos, LoRa se torna um forte aliado na implementação de sistemas IoT, para envio de dados a partir de aplicações operadas a bateria e até em locais de difícil acesso, nesse cenário o LoRa irá atuar no produto para possibilitar o envio de dados em tempo real com o veículo em áreas rurais para possibilitar, acompanhamento dos dados coletados a partir dos sensores, e dos dados sobre o próprio veículo ([EMBARCADOS, 2016](#)).

4.5.2 Protocolo LoRaWAN

Lora é a parte física da solução para o uso do veículo, a parte não física é o LoRaWAN, protocolo de comunicação utilizado pelo LoRa. O protocolo LoRaWAN descrito na Figura 11 é responsável pela comunicação entre o micro-controlador e o *gateway*, possuindo comunicação uplink e downlink. A comunicação uplink trata do envio de dados

do microcontrolador para o *gateway* e é baseado no ALOHA, que é um protocolo de acesso múltiplo para transmissão de dados por meio de um canal de rede compartilhado. A comunicação downlink ocorre no envio de dados da *gateway* para o micro-controlador.

A implementação desse protocolo é uma proposta de inovação do projeto, visto que visa resolver problemas de alcance de internet no campo com a utilização dessa tecnologia. Dessa forma, o veículo poderá trabalhar em hortas maiores e continuar mandando atualizações dos dados e recebendo comandos da API, sem ser prejudicado por falhas de alcance da internet wifi.

Com o alcance provido pelo protocolo LoRaWan, em conjunto com a possibilidade de atualizações OTA (Over the air) ([COM; LORA; SORNIN, 2020](#)), o produto tem a possibilidade de manter a comunicação com a API com baixo consumo de energia e sem muita interferência de sinal.

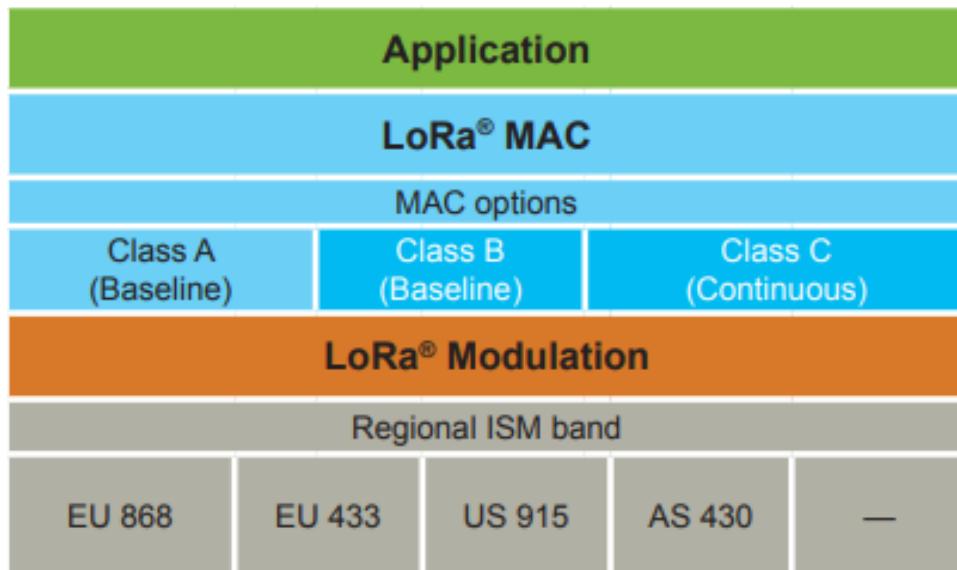


Figura 11 – Protocolo LoRaWAN.

Fonte: [LoRa Alliance \(2020\)](#)

A Figura 11 mostra as camadas do protocolo LoRaWAN, que consiste na aplicação, a classe do dispositivo, que podem ser classe A, B ou C

Classe A É permitido transmissões bidirecionais, com a transmissão uplink é seguida por duas curtas janelas de recepção

Classe B Os dispositivos desta classe possuem uma janela de recepção extra em relação a classe anterior

Classe C Na classe C os dispositivos possuem uma janela de recepção que fica aberta e só se fecha durante a transmissão dos dados.

É importante ressaltar que todos os dispositivos devem implementar a classe A, e podem implementar mais de uma classe ([SANT'ANA, 2017](#)).

A próxima camada se trata do envio de dados e segurança dos pacotes, a última camada é referente a parâmetros regionais, como por exemplo a frequência que se diferencia de acordo com o país ([THE THINGS NETWORK, 2021a](#)).

4.5.3 Arquitetura LoRaWAN

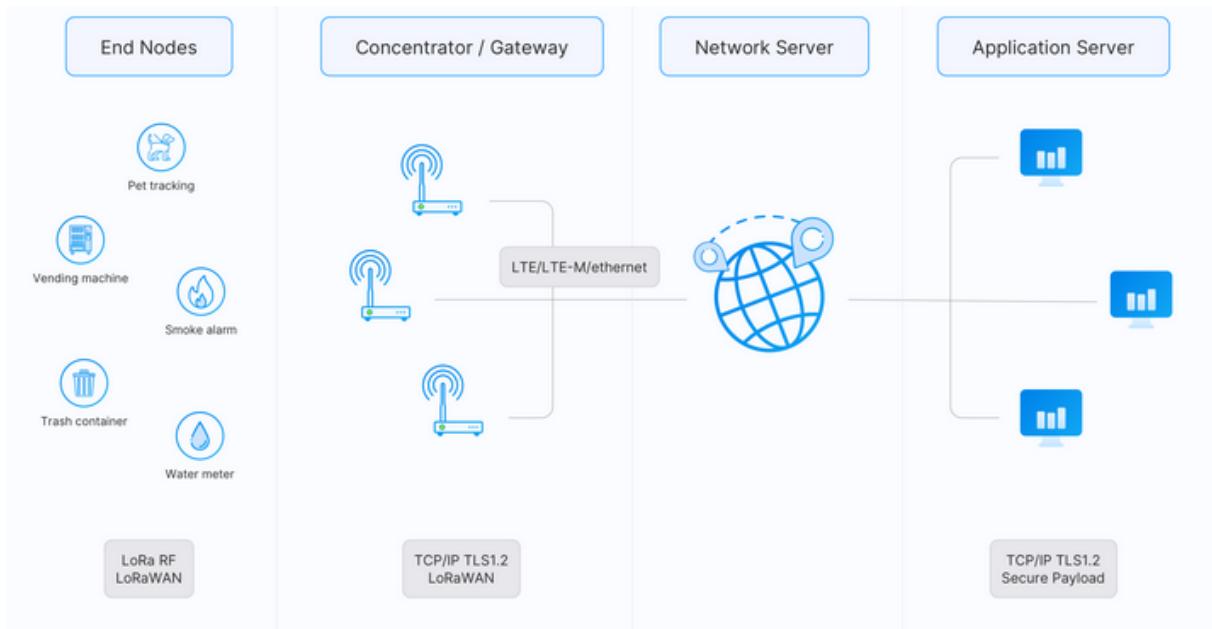


Figura 12 – Arquitetura LoRaWAN.
Fonte: [The Things Network \(2021a\)](#)

A arquitetura do protocolo de comunicação tem os 4 níveis principais que serão incorporados na arquitetura de comunicação do veículo

Application Server Esse é o nível mais alto na arquitetura, no projeto esse nível fica a aplicação *Frontend* do veículo.

Network Server Os dados são recebidos, tratados e armazenados a nível de *Backend*.

Gateway Responsável pela comunicação direta com o veículo.

End Nodes Nível mais baixo de todo o fluxo de dados, esse nível é o sistema embarcado no veículo.

4.5.4 Sistema Embarcado

O veículo conta com dois microcontroladores que trabalham de forma paralela e se comunicam via protocolo MQTT, para coleta de dados medidos pelos sensores, tratamento de imagem para posicionamento do veículo e rotinas de comunicação com o servidor, o firmware para a ESP32 será majoritariamente escrito na linguagem de programação C, esse microcontrolador tem um módulo LoRa acoplado, portanto é responsável pelo envio e recebimento de dados. A Raspberry terá seu sistema escrito na linguagem de programação C e Python, será responsável pela interpretação de imagens para o posicionamento correto do veículo.

Esse módulo, é responsável pelo nível mais baixo da arquitetura LoRaWAN, constantemente utilizando o uplink para enviar os dados coletados para o servidor e também recebendo downlink para receber os dados enviados a partir do painel de controle da aplicação.

4.5.5 Gateway

A comunicação do sistema embarcado com a API é feita através de um *gateway* LoRa localizado próximo a hora onde o veículo irá trabalhar. A utilização desse *gateway* é necessária para abranger o alcance de sinal do veículo, criando uma comunicação via rádio de maior alcance, permitindo distâncias maiores entre o veículo e o *gateway*.

O *gateway* é construído utilizando também uma ESP32 com LoRa, com seu firmware escrito majoritariamente na linguagem de programação C, para orquestração do fluxo de dados de acordo com a arquitetura LoRaWAN.

A comunicação inicial entre o veículo e o *gateway* é feita via rádio frequência, enquanto a comunicação *gateway* APIs é feita via protocolo HTTPS, da mesma forma, quando a comunicação é do tipo envio de comando gerado a partir do *Frontend* da aplicação, o *gateway* recebe esses dados via HTTP e envia para a ESP32 via rádio frequência seguindo a arquitetura LoRaWAN.

4.5.6 Backend

O backend da aplicação utiliza de microsserviços, compostos de três APIs (Application Programming Interface), para gerenciamento de usuários, veículos e dados coletados dos sensores. Os serviços serão desenvolvidos em NodeJS, um framework na linguagem JavaScript, com a arquitetura MVC (*Model View Controller*) e utilizam do protocolo REST (*Representational State Transfer*) para a comunicação do sistema.

4.5.6.1 API de Usuários

O serviço de usuários é responsável por manter e gerenciar todos os usuários do sistema. Esse serviço também será responsável pelas restrições de acesso ao sistema como um todo, através de tokens de autenticação.

4.5.6.2 API de Veículos

O serviço de veículos realiza o armazenamento e gerenciamento dos veículos e comandos enviados a ele. É o sistema responsável por enviar os comandos do usuário ao veículo de destino que deverá processar esses comandos e pelo gerenciamento as informações básicas do veículo como quantidade de fertilizante utilizada.

4.5.6.3 API de Dados Coletados dos Sensores

O serviço de dados dos sensores é responsável pelo armazenamento da coleta de dados do veículo. Todos os dados coletados pelos sensores são enviados a esse serviço que emite alertas em casos críticos e fará o processamento para alimentar os gráficos renderizados no *frontend*.

4.5.7 Frontend

O serviço de *frontend* é uma aplicação web, acessada pelo navegador, seguindo o conceito de mobile first, que é uma aplicação pensada primeiramente para dispositivos móveis. O desenvolvimento foi feito utilizando a tecnologia ReactJs, que é um framework de Javascript, para web.

O *frontend* utiliza da arquitetura Flux, desenvolvida pelo Facebook, que possui um fluxo de dados unilateral. Essa arquitetura funciona com Actions, Dispatchers, Stores e Views, onde uma Action é acionada por uma View através de uma ação do usuário e essa Action aciona um Dispatcher que salva a alteração na Store. A Store mantém os dados salvos, de forma que podem ser utilizados por toda a aplicação. A Figura 13 exemplifica o funcionamento dessa arquitetura.

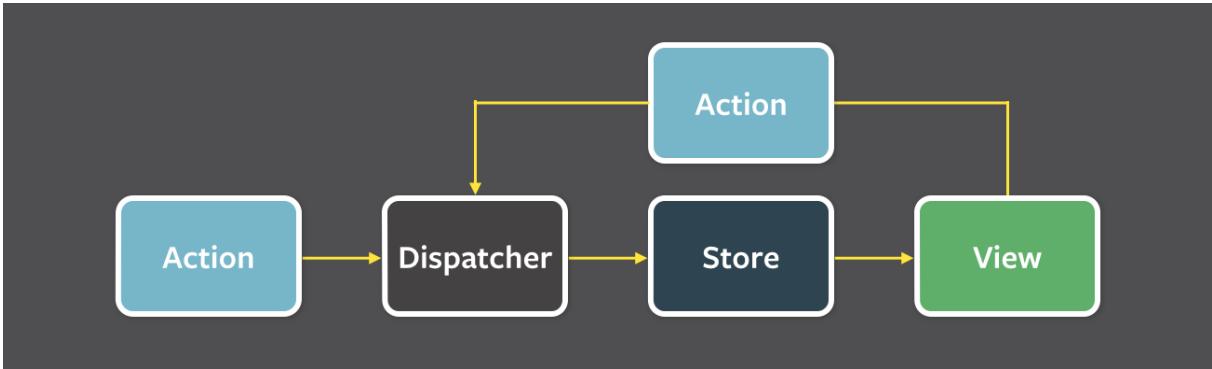


Figura 13 – Arquitetura Flux.

Fonte: ([FLUX, 2019](#))

Para o desenvolvimento dessa aplicação, o conceito de PWA (Progressive web app) é aplicado, que pode ser considerado um híbrido entre um web app e uma aplicação nativa, podendo ser até instalado, ocupando menos memória na plataforma do usuário do que uma aplicação desktop ou mobile.

Uma aplicação PWA não é nada mais do que uma aplicação web que utiliza de maneira eficiente os recursos oferecidos pela plataforma que o usuário está utilizando, como por exemplo um app manifest e service workers para definição do funcionamento do app e para o uso de recursos offline e execução de tarefas em plano de fundo, esse recurso é disponibilizado pelos navegadores modernos, como essa tecnologia está evoluindo, é possível conceder uma navegação fluida e com uma boa experiência de usuário, o PWA ainda não possui acesso a todos os recursos nativos das plataformas, como por exemplo bluetooth, mas para o produto desenvolvido, possui todos os recursos necessários.

Esse serviço tem a função de prover um painel de controle para o usuário interagir com o veículo a distância e para ser atualizado de maneira fácil se houve algum problema no processo de fertirrigação, o web app ainda possibilita a visualização de dados e de análises desses dados que foram coletados do veículo.

A aplicação possibilita o gerenciamento de mais de um veículo que o usuário seja proprietário, fornecendo todas as possibilidades para os veículos de forma individualizada.

4.5.8 Protótipo

Está disponível no apêndice F a identidade visual e os protótipos de baixa e alta fidelidade da aplicação.

4.5.9 Protocolos de Comunicação

A Figura 14 do diagrama de protocolos de comunicação abaixo representa como ocorrerá o envio de dados entre os diferentes componentes. Para a comunicação entre o

sistema embarcado presente no micro-controlador com o LoRa *Gateway* será utilizado o protocolo de transmissão em radiofrequência LoRaWAN™ que será melhor descrita na seção abaixo. A comunicação do *Gateway* e do aplicativo web com a aplicação back-end será utilizando o protocolo HTTPS. A comunicação do banco de dados com a aplicação back-end será por protocolo TCP.

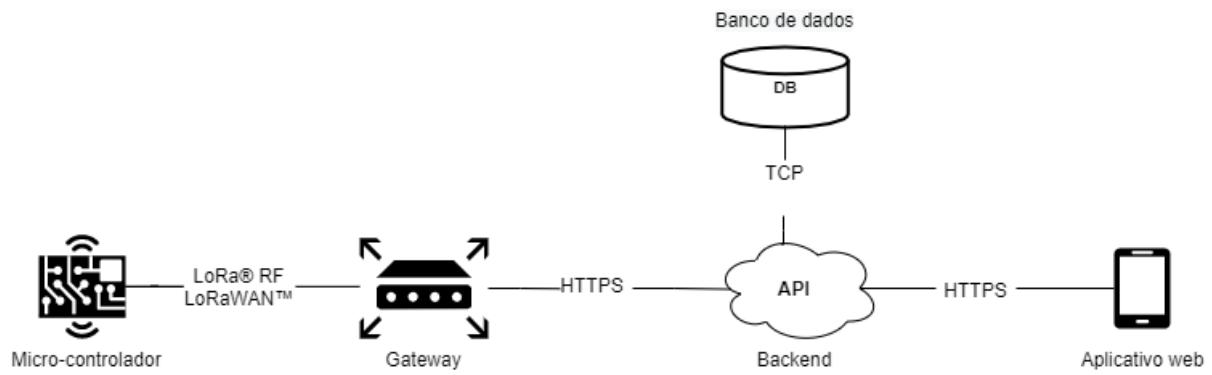


Figura 14 – Diagrama de Protocolos de comunicação

Fonte: Autores.

4.5.10 Diagrama de Dados

O diagrama de dados desenvolvido para a modelagem dos dados utilizada se encontra no Apêndice U.

4.5.11 Diagrama de Pacotes

Um diagrama de pacotes também foi desenvolvido para especificar a forma que a aplicação foi desenvolvida, em relação aos arquivos e pastas utilizadas. Esse diagrama se encontra no Apêndice V.

4.5.12 Diagrama de Caso de Uso

O diagrama de caso de uso foi desenvolvido para especificar as funcionalidade e ações do usuário na plataforma. Esse diagrama pode ser visualizado no Apêndice W.

4.5.13 Principais decisões de software

LoRa

O protocolo LoRaWAN foi adotado para suprir uma necessidade do projeto, e para possibilitar novas funcionalidades que trariam benefícios para o usuário final, tornando a aplicação um sistema IoT, permitindo ao usuário acompanhar dados do veículo em tempo

real, enviar comandos para o veículo, e tudo isso a partir de um dispositivo com acesso a Internet, uma comunicação convencional não atenderia às especificações para o veículo, pois o mesmo trabalha constantemente em lugares de difícil acesso e geralmente com difícil conexão, portanto usar o LoRa para ter acesso ao protocolo LoRaWAN trouxe como uma inovação o veículo ter envio dos dados coletados por sensores, e possíveis problemas, e recebimento de comandos, enquanto trabalha em meio a horta.

MongoDB

A tecnologia do banco de dados foi definida a partir da análise da arquitetura de dados proposta na Figura 139, onde concluiu-se que, devido à natureza dos dados, o ideal seria o uso de um banco de dados não relacional, a partir disso foi decidido que será utilizado o MongoDB, pois ele satisfaz os requisitos do projeto.

ExpressJS

Os serviços presentes no *backend* foram construídos utilizando um framework chamado Express por uma série de motivos, esse framework fornece as ferramentas necessárias para criar uma API robusta e com boa performance, o framework possui uma organização simples e bem documentada, facilitando a busca de recursos para manter e criar novas funcionalidades para a API e por fim a equipe buscou manter o padrão de tecnologia utilizando Javascript, para diminuir a curva de aprendizado e facilitar a integração dos serviços, nesse ponto é muito importante pois o banco de dados que atende as necessidades do projeto é feito em Javascript então a integração e uso dos serviços e da comunicação API e banco de dados foi feito de forma mais clara e simples.

PWA em ReactJS

ReactJS foi a tecnologia definida para a camada de Frontend da aplicação, seguindo a linguagem definida no grupo, ReactJS é um framework Javascript criado pelo Facebook, que atualmente possui grande comunidade de desenvolvedores ativos, então eventuais problemas com a tecnologia podem ser sanados de maneira fácil e rápida por fóruns ou documentação do framework.

Durante a decisão de tecnologia, um ponto importante foi levado em consideração, suporte para PWA, o grupo chegou à conclusão que o ReactJS atende bem todos os pontos planejados para agregar esse ponto como uma inovação ao projeto, um sistema PWA que permitiria o usuário acessar de forma rápida e ter uma boa experiência de usuário utilizando dispositivos com diversos tamanhos de tela, sem prejudicar a experiência do usuário em relação ao uso da aplicação, oferecendo a opção de instalar a aplicação no dispositivo e tendo acesso a recursos nativos do dispositivo, funcionando com uma aplicativo instalado a partir de uma loja porém o PWA é instalado a partir de uma página web, consumindo um espaço muito menor na memória do dispositivo do usuário, sem deixar de pensar na experiência.

4.5.14 Inovações de Software

A equipe de software do Strongberry conta com três inovações: o uso de microserviços, a tecnologia LoraWan e o uso de Progressive Web App (PWA).

LoRa é uma abreviação para Long Range, o que demonstra seu principal diferencial: esta tecnologia de comunicação sem fio funciona através de rádio frequência e permite um alcance de até 14km em áreas rurais. Sendo assim, a escolha desta tecnologia é o que possibilita a transmissão de dados até mesmo em áreas isoladas, como fazendas e grandes plantações. Esses dados são apresentados através de uma aplicativo ou site e podem ser facilmente lidos pelos usuários.

Além disso, a LoRa demanda pouca energia e, consequentemente, demanda menor recurso financeiro em comparação às outras ferramentas de comunicação a longa distância.

A escolha de utilizar microserviços é indicada para softwares de alta complexidade e também para quando se busca organização do código e otimização dos esforços da equipe. O uso de microserviços reduz o Time To Market (tempo para o mercado), ou seja: o tempo entre produção ate o lançamento do produto é reduzido, uma boa opção para redução de custos financeiros.

Enquanto isso, o PWA é um termo utilizado em aplicativos da internet que usam as principais tecnologias web. Tratam-se de sites que podem ser navegados através dos computadores, mas que trazem a mesma experiência que os usuários já estão acostumados no modelo mobile. O uso da tecnologia PWA tende a engajar o cliente durante a sua jornada de usuário.

4.5.15 Repositórios

Está disponível no apêndice [R](#) uma orientação sobre os repositórios utilizados.

5 Integração

Essa seção mostra a integração entre os núcleos de trabalho ao longo do projeto. Os núcleos são:

Software: Engenharia de software;

Elétrica: União entre as Engenharias de Energia e Eletrônica;

Estruturas: União entre as Engenharias Aeroespacial e Automotiva.

5.1 Estrutura-Elétrica

A estrutura do Strongberry foi projetada de forma a integrar todos os componentes necessários para que o veículo atuasse em pleno funcionamento. A estrutura de uma maneira geral, teve seu projeto totalmente voltado à utilização de componentes eletrônicos, pois sua geometria deve se adequar as características inerentes ao local de utilização, as zonas de plantio de morango, o que impossibilita a utilização de soluções usuais mecânicas para propulsão (eixo de transmissão único) e manobrabilidade (pinhão e cremalheira), necessitando que nela constassem estruturas específicas para acoplamento dos motores para a movimentação, por exemplo. Além disso, o StrongBerry deveria abrigar em sua estrutura, todos os demais componentes necessários para seu funcionamento, como as baterias, circuitos eletrônicos, componentes hidráulicos e a fiação. Como por exemplo, a fiação necessária para alimentar os equipamentos foi organizada dentro de canaletas durante a extensão do Strongberry. Essas canaletas são capazes de armazenar os fios unipolares e multipolares que passam pelo interior do veículo e vão até o seu exterior, onde estão localizados os motores, os quais estão localizados em posições específicas para promoverem a direção e movimentação do StrongBerry.

A posição das baterias foi definida em um local estratégico a fim de proporcionar não só um caminho adequado para a fiação, mas também uma ventilação necessária para evitar seu superaquecimento, haja visto que estão localizadas dentro de uma capa de proteção que atua como elemento de proteção do sistema e como suporte para alguns componentes, como no caso dos *coolers*, onde dois deles foram instalados ao longo do comprimento do veículo, fornecendo uma ventilação forçada à bateria e aos equipamentos eletrônicos presentes no interior do Strongberry. Por fim, o posicionamento da bateria principal também teve como fator decisivo a praticidade do usuário de removê-la facilmente para recarga quando se fizer necessário. Também foi desenvolvido um compartimento para as baterias (*Case*), de fácil manuseio do usuário, que é fabricada por meio

de impressão 3D em Nylon, de modo a garantir a proteção da bateria ao contato direto com o meio externo, permitir o isolamento e ter uma troca de calor adequada com mesma, em virtude do tipo de material. A visualização da alocação desses subsistemas internos à estrutura do veículo está disposta na Figura 15.

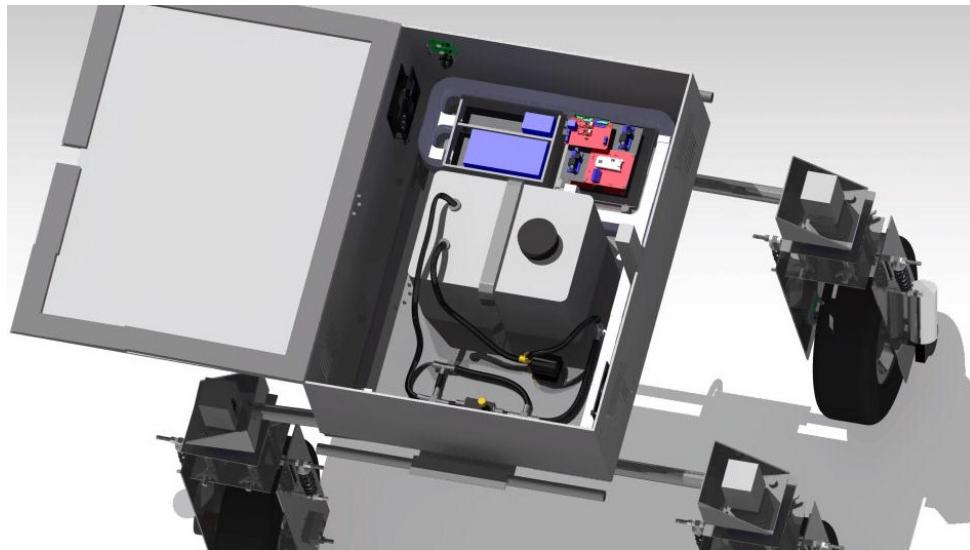


Figura 15 – Vista dos subsistemas internos à estrutura.

Fonte: Autores.

A alimentação desse veículo foi dimensionada considerando os componentes e motores presentes no projeto. Dessa forma, o Strongberry conta com duas baterias de íon-lítio: a principal, dedicada aos conjuntos de motores DC e os componentes eletrônicos solidários ao seu funcionamento, bem como os componentes associados à pulverização; enquanto a bateria secundária é responsável por alimentar a ESP32 LoRa e os sensores associados a ela. A bateria alocada para alimentar os circuitos principais possui uma tensão nominal de 12V e corrente de 35000mAh. Essa fonte de alimentação será responsável por fornecer energia para os motores, equipamentos relacionados ao controle de aspersão e demais componentes solidários à movimentação e controle do veículo. De forma similar, a bateria secundária fornece uma tensão nominal de 7,4V e corrente de 4400mAh, dimensionada com a finalidade de prevenir a perda de dados em casos de descarga de bateria ou obstruções no caminho do veículo. Ela será responsável por alimentar a ESP32 LoRa e os componentes solidários a ela, além de quatro sensores ultrassônicos.

A estrutura do StrongBerry também se adequou as particularidades de cada sensor para produzir leituras precisas com o mínimo de interferências. Em destaque temos o suporte para o sensor de bússola que foi criado para elevar e isolar o sensor das interferências magnéticas geradas pelos motores e materiais metálicos da estrutura, por esse motivo, a estrutura central do equipamento é confeccionada em Nylon mediante impressão 3D, garantindo uma estrutura isolante, de levada vida útil e de baixo peso. Além dele tem-se as caixas, também confeccionadas em Nylon, como pode ser visto em Figura 16, presas

a estrutura das rodas para fixação dos sensores ultrassônicos que devem ficar próximos ao chão e direcionados para o canteiro e tem-se também a estrutura para o transdutor de indutância que conta com um suporte para o transdutor e o alvo condutor preso às rodas. Também foi confeccionado um suporte para alocação dos componentes eletrônicos responsáveis pelo funcionamento do equipamento e comunicação com o usuário. Esse suporte foi desenvolvido em Nylon via impressão 3D e de montagem do tipo modular por parafusamento e encaixe, que permite que toda a estrutura possa ser facilmente retirada do StrongBerry para possíveis manutenções e substituições dos componentes embarcados na mesma.



Figura 16 – Vista do posicionamento dos sensores.

Fonte: Autores.

5.2 Elétrica-Software

A integração de software e elétrica foi constante durante o projeto, para o trabalho em conjunto da engenharia de software e eletrônica principalmente, atuando na criação do sistema embarcado e na comunicação entre o sistema embarcado e a API além da modelagem de dados dos sistemas.

Sobre os desafios enfrentados, um deles foi a comunicação entre os microcontroladores funcionando em paralelo e compartilhando dados, e o maior desafio que tinha potencial para afetar a inovação do projeto, que é a comunicação LoRa, que dependia das duas engenharias para fazer com que o protocolo LoRaWAN fosse implementado de forma correta e coerente com a necessidade do projeto.

5.3 Diagrama de Integração

O diagrama de integração da Figura 17 mostra como os componentes, estruturas e sistemas se comunicam.

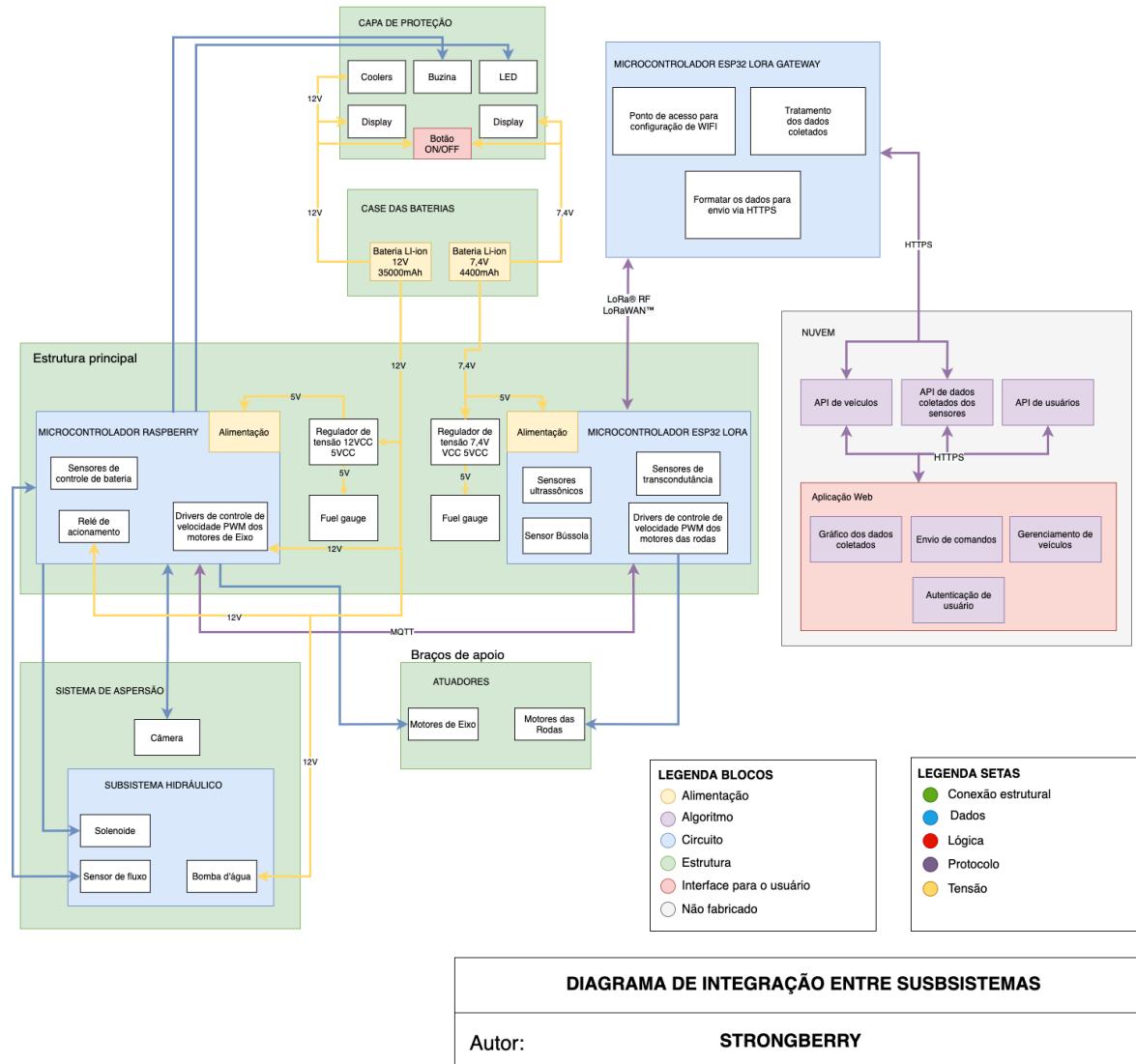


Figura 17 – Diagrama de Integração
Fonte: Autores.

6 Manuais

6.0.1 Manual de fabricação

O manual de fabricação das peças do StrongBerry está apresentado no Apêndice [N](#).

6.0.2 Manual de montagem

O manual de montagem das peças do StrongBerry está apresentado no Apêndice [O](#).

6.0.3 Manual de usuário

O manual de usuário do StrongBerry está apresentado no Apêndice [P](#).

7 Plano de teste dos subsistemas

7.1 Plano de teste de Estruturas

7.1.1 Sistema hidráulico

- Teste de verificação do funcionamento da bomba;
- Teste de verificação do funcionamento da válvula solenoide;
- Teste de verificação do funcionamento do circuito de segurança;
- Teste de verificação da regulagem da válvula reguladora de pressão;
- Teste de verificação das conexões entre os componentes e a integridade e fixação do tanque reservatório.

7.1.2 Componentes estruturais

- Inspeção visual da integridade das soldas e da camada de cobertura de proteção dos componentes metálicos.
- Teste de vibração para conferência da manutenção das fixações.
- Reaperto e marcação, mediante tinta, dos parafusos de fixação dos componentes.
- Teste de validação do comportamento dinâmico do equipamento a fim de validar os resultados da simulação.
- Teste da rigidez dos pneus a fim de identificar ou validar o valor repassado pelo fabricante.

7.2 Plano de teste de Elétrica

7.2.1 Sensores e Atuadores

Antes do processo de montagem do produto, os componentes devem passar por ensaios de conformidade realizados em bancadas de testes. Foi usado como modelo a NBR 14610 para o desenvolvimento dos ensaios.

7.2.1.1 Ensaio de conformidade

O ensaio de conformidade tem como objetivo verificar se o instrumento está atuando de forma adequada e de acordo com as especificações informadas pelo fabricante, ele deve ser realizado em uma bancada de testes adequada para o tipo de medição e deve apresentar:

- Tensão elétrica com estabilidade dentro das especificações requeridas pelos instrumentos de medição.
- Temperatura ambiente e umidade relativa do ar com valores nominais e estabilidade dentro das especificações requeridas pelos instrumentos de medição.
- Malha de aterramento para os instrumentos de medição e demais equipamentos.

A estrutura da bancada de testes deve possibilitar a medição em três pontos distribuídos ao longo da faixa de utilização dos instrumentos. Para aferir os resultados, deve ser usado um instrumento-padrão de medição adequado para cada instrumento testado. Ademais, é necessário o uso de um microcontrolador para realizar a operação e leitura dos sinais dos sensores.

- Sensor HC-SR04

Como explicado em G.2.2 este sensor atua a partir da emissão e recepção de ondas mecânicas de alta frequência. Para averiguar a conformidade deste instrumento, a bancada deve possibilitar o posicionamento do sensor em paralelo com um obstáculo sólido na vertical (como por exemplo uma parede) a uma distância de até 4 m e fornecer uma tensão elétrica de 5V DC para operação. Devem ser realizadas três series de leitura para cada ponto de medição fazendo uso de um uma régua como instrumento-padrão para comparação.

- Sensor BMP280

O sensor de temperatura deve ser avaliado em meios térmicos com uma faixa de temperatura de -40°C à 80°C e deve ser fornecida uma tensão elétrica de 3V DC para operação do sensor. Ademais, deve-se verificar se o meio térmico está livre da influencia de fluxos de ar para garantir uma medição adequada. O sensor deve estar em equilíbrio térmico com o ambiente de testes antes da imersão no meio térmico e devem ser realizadas três series de leitura para cada ponto de medição, fazendo uso de um termopar como instrumento-padrão para comparação.

- Sensor YF-S201

Como explicado em detalhes na sub-secção do apêndice G.2.7 o sensor de fluxo mede o volume de líquido e taxa de fluxo por meio contagem de giros de sua turbina. A bancada de testes para este equipamento deve fornecer uma tensão elétrica de 5V a 24V DC e uma saída de fluxo de 1 a 30L/min com pressão máxima de 2,0MPa. Devem ser realizadas três séries de leitura para cada ponto de medição, fazendo uso de recipiente com volume conhecido como instrumento-padrão para comparação.

Após a comparação entre as leituras realizadas pelos instrumentos de medição e instrumentos-padrão, deve ser analisado se a distribuição de leituras está estável, dentro da incerteza especificada pelo fabricante, para cada um dos pontos de medição estabelecidos. Esses resultados devem ser analisados pela equipe de controle e qualidade e caso as medidas não atendam os requisitos mínimos, o componente deve ser substituído por outro do mesmo modelo.

Para os demais componentes eletrônicos, eles devem ser testados em ensaios de funcionamento com o produto finalizado.

7.2.1.2 Ensaio de Funcionamento

Com a intenção de verificar o funcionamento dos atuadores em conjunto com os sensores e microcontroladores, este ensaio deve ser feito em um ambiente controlado em que o veículo percorre um percurso de teste sob observação de um técnico que avalia o seu desempenho.

O percurso deve ser composto por três fileiras de 20 cm de altura com 1.2 m de largura e espaçamento de 0.8 m para simular o ambiente da plantação. Nelas, estão dispostos alvos circulares na cor verde com 15 cm de diâmetro espaçados em 20 cm para indicar a posição dos morangueiros.

O uso de três fileiras para o percurso possibilita observar o comportamento do veículo quando solicitado a movimentação vertical em ambos sentidos assim como a transição horizontal entre fileiras pela parte superior e inferior.

É dado início ao ensaio com o alinhamento do veículo a uma distância de 20 cm da primeira fileira, verificando se o aspersor está centralizado em relação as bordas da fileira. Após o posicionamento do veículo, o técnico deve ativa-lo ao acionar os dois interruptores e verificar se os mostradores de carga estão iluminados e se o nível de carga é apresentado. Subsequente, o técnico deve acompanhar o veículo durante o percurso e confirmar o funcionamento dos aspersores e registrar o número de alvos detectados pela câmera e irrigadas.

Para o veículo ser aprovado ele deve concluir o percurso e detectar no mínimo 90% dos alvos. Caso o veículo desvie da rota programada e/ou acerte a fileira ele é reprovado,

visto que essa é considerada uma falha grave, e enviado para inspeção para verificar a integridade das conexões e dos componentes.

7.2.2 Alimentação

Para garantir que a alimentação do equipamento esteja funcionando de forma segura e adequada, devem ser realizados alguns ensaios de teste de alimentação antes da entrega do produto ao cliente final. As verificações com relação a alimentação deverão seguir as disposições deste plano de testes, bem como devem ser realizados por pessoal capacitado. Em caso de falha em algum dos ensaios, o produto deve ser inspecionado a fim de verificar qual erro possa ter sido cometido, para corrigi-lo e, em seguida, refazer os ensaios previstos neste plano de testes. As verificações e os resultados devem ser documentados em relatório.

7.2.2.1 Inspeção visual (baseada na NBR 5410:2004 revista em 2008)

A inspeção visual deve ser a primeira verificação a ser feita com a alimentação totalmente montada. Deve-se proceder esta etapa com os circuitos desenergizados, i.e., com as baterias desconectadas.

Deve-se verificar:

- Se os componentes foram corretamente selecionados de acordo com os materiais indicados neste documento;
- Se a instalação dos componentes coincide com a instalação indicada no diagrama unifilar e no esquema elétrico de instalação;
- Se não apresentam danos aparentes que possam comprometer a segurança e o funcionamento da instalação (danos ao isolamento, presença de condutores vivos aparentes, presença de soldas, conexões inadequadas ou frouxas);
- Se a execução das conexões, emendas e derivações estão em conformidade com a NBR 5410:2004;
- Se os componentes estão devidamente identificados e se há instruções, sinalizações e advertências necessárias;
- Se os componentes podem ser facilmente acessados em casos de necessidade.

7.2.2.2 Continuidade dos condutores (baseado na NBR 5410:2004 revista em 2008)

O ensaio de continuidade dos condutores deve ser realizado antes da instalação do cabeamento e isolamento dos condutores. Deve-se proceder esta etapa com os circuitos desenergizados, i.e., com as baterias desconectadas.

Deve-se ter em mãos um multímetro, ajustado na escala para a função de continuidade. Utilizando as pontas de prova do multímetro, deve-se fechar o circuito com o condutor que se quer testar. O multímetro deve indicar em seu visor "0" e deve emitir um aviso sonoro, isto significa que, de fato, o circuito está fechado e que há continuidade para a condução de corrente. Caso o resultado seja distinto, deve-se descartar o condutor testado, substituindo-o por um que apresente continuidade.

7.2.2.3 Ensaio de funcionamento da bateria

O ensaio de tensão da bateria deve ser realizado antes da alocação da bateria no compartimento das baterias, dentro do veículo. Deve-se proceder esta etapa com a bateria desconectada de quaisquer componentes e com a carga completa da bateria.

Deve-se ter em mãos um multímetro, ajustado na escala para a função voltímetro. Utilizando as pontas de prova do multímetro, deve-se fechar o circuito com a bateria que se quer testar. O valor da tensão indicado no multímetro deve coincidir com a tensão nominal da bateria (aproximadamente 12V para a bateria principal e 7,4V para a bateria secundária). Caso o valor mensurado esteja destoante do valor nominal, deve-se substituir a bateria.

7.2.2.4 Ensaio de funcionamento (baseado na NBR 5410:2004 revista em 2008)

O ensaio de funcionamento deve ser realizado após a inspeção visual e toda a montagem do veículo, a fim de atestar a correta montagem do conjunto e o funcionamento do mesmo. Esta etapa deve ser realizada, primeiramente, executando funções básicas do veículo para atestar o funcionamento da alimentação. Atestando-se o funcionamento da alimentação, pode-se prosseguir para os ensaios gerais do veículo.

7.3 Plano de teste de Software

O *backend* da aplicação utiliza de testes unitários desenvolvidos com a biblioteca Jest, uma biblioteca para testes em aplicações Node Js. Para garantir a boa usabilidade do sistema, e garantir que novas funcionalidades não prejudiquem a aplicação de forma não prevista, os PRs (*Pull Requests*) só podem ser aceitos se as funcionalidades desenvolvidas estiverem testadas e a porcentagem de testes do serviço esteja acima de 90%.

Para realizar a execução dos testes desenvolvidos é necessário ter as dependências instaladas, no caso única dependência necessária será o docker, com o docker é possível executar os testes do serviço seguindo o seguinte template abaixo.

```
docker-compose run --rm -e NODE_ENV=test nome_do_servico bash -c  
"yarn && yarn jest --coverage --forceExit --runInBand"
```

Esse comando usado em um terminal utiliza docker e dispara a rotina de testes do serviço, instalando todas as dependências necessárias e configurando o ambiente de testes. As Figuras 19, 20 e 18 mostram a execução desse comando em cada um dos serviços do *backend*, nas figuras podemos ver que todos os testes estão acima de 90%, tendo a API de Usuários 94,29%, a API de Veículos 97,94% e a API de Dados dos Sensores 97,71%.

Figura 18 – Testes da API de Usuários
Fonte: Autores

```
gabibs@Maui:~/Documents/UnB/PI2/vehicle-api
(garm64) gabibs@Maui ~ vehicle-api git:(main) docker-compose run --rm -e NODE_ENV
=test vehicle_api bash -c "yarn && yarn jest --coverage --forceExit --runInBand"
"
Creating vehicle-api_vehicle_api_run ... done
yarn install v1.22.5
[1/4] Resolving packages...
success Already up-to-date.
Done in 0.24s.
yarn run v1.22.5
$ /code/node_modules/.bin/jest --coverage --forceExit --runInBand
PASS  tests/vehicles.test.js
PASS  tests/works.test.js
PASS  tests/command.test.js
PASS  tests/commandWorkIntegration.test.js
PASS  tests/mainAPI.test.js
-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
File      | % Stmtns | % Branch | % Funcs | % Lines | Uncovered Line #
-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
All files | 97.94   | 94.23    | 100     | 97.92   |          |
src       | 100      | 50        | 100     | 100     |          |
app.js    | 100      | 100       | 100     | 100     |          |
db.js     | 100      | 50        | 100     | 100     | 13-22   |
routes.js | 100      | 100       | 100     | 100     |          |
src/controllers | 95.45   | 100       | 100     | 95.45   |          |
...Controller.js | 92.59   | 100       | 100     | 92.59   | 11,25   |
...Controller.js | 95.34   | 100       | 100     | 95.34   | 13,26   |
...Controller.js | 97.5    | 100       | 100     | 97.5    | 25      |
src/models | 100      | 100       | 100     | 100     |          |
CommandSchema.js | 100     | 100       | 100     | 100     |          |
VehicleSchema.js | 100     | 100       | 100     | 100     |          |
WorkSchema.js | 100      | 100       | 100     | 100     |          |
src/utils | 100      | 97.36    | 100     | 100     |          |
...Validation.js | 100     | 100       | 100     | 100     |          |
commandTypes.js | 100     | 100       | 100     | 100     |          |
...ateCommand.js | 100     | 100       | 100     | 100     |          |
...ateVehicle.js | 100     | 100       | 100     | 100     |          |
validateWork.js | 100     | 100       | 100     | 100     |          |
...ationError.js | 100     | 50        | 100     | 100     | 3       |
-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
Test Suites: 5 passed, 5 total
Tests:      34 passed, 34 total
Snapshots:  0 total
Time:       3.206 s
Ran all test suites.
Force exiting Jest: Have you considered using `--detectOpenHandles` to detect as
ync operations that kept running after all tests finished?
Done in 4.03s.
(garm64) gabibs@Maui ~ vehicle-api git:(main)
```

Figura 19 – Testes da API de Veículos

Fonte: Autores.

```
(arm64) gabibs@Maui ~Documents/UnB/PI2/sensors-data-api git:(main) ✘ docker-compose run --rm -e N  
ODE_ENV=test sensors_data_api bash -c "yarn && yarn jest --coverage --forceExit"  
"  
Creating sensors-data-api_sensors_data_api_run ... done  
yarn install v1.22.5  
[1/4] Resolving packages...  
success Already up-to-date.  
Done in 0.24s.  
yarn run v1.22.5  
$ /code/node_modules/.bin/jest --coverage --forceExit  
PASS tests/mainAPI.test.js  
PASS tests/alerts.test.js  
A worker process has failed to exit gracefully and has been force exited. This is likely caused by tests leaking due to improper teardown. Try running with --detectOpenHandles to find leaks.  
-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----  


| File             | % Stmts | % Branch | % Funcs | % Lines | Uncovered Line #s |
|------------------|---------|----------|---------|---------|-------------------|
| All files        | 97.71   | 81.82    | 100     | 97.71   |                   |
| src              | 100     | 50       | 100     | 100     |                   |
| app.js           | 100     | 100      | 100     | 100     |                   |
| db.js            | 100     | 50       | 100     | 100     | 13-22             |
| routes.js        | 100     | 100      | 100     | 100     |                   |
| src/controllers  | 96.55   | 100      | 100     | 96.55   |                   |
| ...Controller.js | 96.55   | 100      | 100     | 96.55   | 36,52             |
| src/models       | 100     | 100      | 100     | 100     |                   |
| AlertSchema.js   | 100     | 100      | 100     | 100     |                   |
| src/utils        | 96.97   | 85.71    | 100     | 96.97   |                   |
| alertTypes.js    | 100     | 100      | 100     | 100     |                   |
| ...dateAlerts.js | 96.15   | 91.67    | 100     | 96.15   | 9                 |
| ...ationError.js | 100     | 50       | 100     | 100     | 3                 |

  
Test Suites: 2 passed, 2 total  
Tests: 20 passed, 20 total  
Snapshots: 0 total  
Time: 2.569 s  
Ran all test suites.  
Force exiting Jest: Have you considered using `--detectOpenHandles` to detect asynchronous operations that kept running after all tests finished?  
Done in 3.34s.  
(arm64) gabibs@Maui ~Documents/UnB/PI2/sensors-data-api git:(main) ✘
```

Figura 20 – Testes da API de Dados dos Sensores

Fonte: Autores.

8 Plano de manutenção periódica

O plano de manutenção para o equipamento é apresentado nas tabelas a seguir de acordo com as subáreas.

8.1 Plano de manutenção de Estruturas

Tabela 11 – Plano de manutenção de estruturas

Equipamento	Tipo de manutenção	Ação	Periodicidade
Estruturas metálicas	Preventiva	Verificação da camada protetiva dos componentes metálicos e integridade das soldas, verificar existência de trincas que indiquem fadiga do material	Mensal
Estruturas metálicas	Corretiva	Reaplicação da proteção da estrutura metálica	Não se aplica
Estruturas metálicas	Corretiva	Realização de uma nova soldagem ou substituição da peça	Não se aplica
Rolamentos	Preventiva	Verificação da integridade dos mesmos	Anual
Parafusos e porcas	Preventiva	Reaperto de todos os constituintes da estrutura	Mensal
Parafusos e porcas	Corretivas	Reposição de peças ausentes e/ ou danificadas	Mensal
Rodas e pneus	Preventiva	Calibragem e verificação visual dos pneus	Semanal
Rodas e pneu	Corretiva	Substituição mediante furos, rasgos ou ressecamento dos pneus ou empenamento das rodas	Não se aplica
Tanque reservatório	Preventiva	Verificação da integridade da estrutura, bem como sua fixação e presença de vazamentos	Semanal
Tanque reservatório	Corretiva	Troca perante apresentação de furos ou rachaduras	Não se aplica

Table 11 continued from previous page

Mangueiras hidráulicas	Preventiva	Verificação das condições gerais (presença de furos, borracha ressecada...)	Semanal
Mangueiras hidráulicas	Corretiva	Substituição mediante a rachaduras e furos	Não se aplica
Conexões hidráulicas	Preventiva	Verificação de vazamentos	Diária
Conexões hidráulicas	Corretiva	Refazer a conexão com problemas	Não se aplica
Bomba hidráulica	Corretiva	Substituição no caso de falha de funcionamento	Não se aplica
Bico aspersor	Preventiva	Verificação da forma e continuidade do spray	Diária
Bico aspersor	Corretiva	Desmontagem para limpeza ou substituição do bico	Não se aplica
Capa de proteção e tampa	Corretiva	Substituição mediante a quebra ou rachaduras na estrutura	Não se aplica
Mini trator	Preventiva	Armazenamento do equipamento em local protegido do sol e da chuva	Diária

8.2 Plano de manutenção Elétrica

8.2.1 Alimentação

Tabela 12 – Manutenção Energia

Equipamento	Tipo de manutenção	Ação	Periodicidade
Bateria principal	Corretiva	Troca por uma de mesmo modelo	Não se aplica
Bateria secundária	Corretiva	Troca por uma de mesmo modelo	Não se aplica
Bateria principal	Preventiva	Análise visual de algum dano que comprometa a integridade física	Semanal
Bateria secundária	Preventiva	Análise visual de algum dano que comprometa a integridade física	Semanal
Bateria principal	Preventiva	Verificar se a bateria está mantendo a carga	Mensal
Bateria secundária	Preventiva	Verificar se a bateria está mantendo a carga	Mensal
Cabos elétricos	Preventiva	verificação visual de integridade física dos cabos	Mensal
Carregadores	Corretiva	Troca por uma de mesmo modelo	Não se aplica
Carregadores	Preventiva	Verificação visual de integridade física dos cabos	Semanal
Carregadores	Preventiva	Verificar se os carregadores estão passando a corrente corretamente	Semanal
Cabos elétricos	Corretiva	Troca/reposição	Não se aplica

8.2.2 Componentes Eletrônicos

Tabela 13 – Manutenção eletrônica.

Equipamento	Manutenção Preventiva	Manutenção Corretiva	Periodicidade
BMP280	Verificar as conexões do componente.	Substituir o componente por um do mesmo modelo.	A cada 12 meses
LDC1101 Click	Verificar as conexões do componente e realizar a limpeza da bobina indutora.	Substituir o componente por um do mesmo modelo.	A cada 6 meses
YF-S201	Verificar as conexões do componente e realizar a limpeza do tubo e da turbina.	Verificar obstrução no tubo e na turbina e caso necessário substituir o componente por um do mesmo modelo.	A cada 6 meses
HC-SR04	Verificar as conexões do componente e realizar a limpeza da grada dos transdutores	Verificar obstrução na grade dos transdutores e caso necessário substituir o componente por um do mesmo modelo.	A cada 6 meses
TOL10617	Verificar as conexões do componente.	Substituir o componente por um do mesmo modelo.	A cada 12 meses
Webcam	Verificar as conexões do componente.	Substituir o componente por um do mesmo modelo.	A cada 12 meses
Raspberry 3B+	Verificação de sinais e conexões do componente.	Reprogramar e caso necessário substituir o componente por um do mesmo modelo.	A cada 12 meses
PCI -Raspberry 3B+	Verificar as conexões do componente.	Trocar parte danificada ou substituir o componente por um do mesmo modelo.	A cada 12 meses
ESP32-LoRa	Verificação de sinais e conexões do componente.	Reprogramar e caso necessário substituir o componente por um do mesmo modelo.	A cada 12 meses
PCI - ESP32LoRa	Verificar as conexões do componente.	Trocar parte danificada ou substituir o componente por um do mesmo modelo.	A cada 12 meses
Motores	Verificar as conexões do componente.	Troca do componente danificado ou substituição do próprio motor.	A cada 12 meses
Válvula solenoide	Verificar as conexões do componente.	Troca do componente danificado ou substituição do próprio motor.	A cada 12 meses

8.3 Plano de manutenção de Software

Tabela 14 – Manutenção Software

Serviço	Tipo de manutenção	Ação	Periodicidade
API de Veículos	Preventiva	Realização de testes	A cada funcionalidade adicionada
API de Dados dos Sensores	Preventiva	Realização de testes	A cada funcionalidade adicionada
API de Usuários	Preventiva	Realização de testes	A cada funcionalidade adicionada
<i>Frontend</i>	Preventiva	Testar manualmente os fluxos da aplicação	A cada funcionalidade adicionada
Embarcado	Preventiva	Testar manualmente os fluxos da aplicação	A cada funcionalidade adicionada

9 Custo e Precificação

Os componentes e serviços utilizados na solução deste projeto foram alocados na tabela a seguir em termos de seus valores médios de mercado, quantidade requerida e valor final. Também foi precificado o valor de mão de obra dos engenheiros envolvidos na concepção deste projeto. Ao fim das tabelas tem-se o custo total de investimento no produto.

9.1 Custos de Estruturas

Componente	Valor médio de mercado	Quantidade	Valor
Acoplamento de eixos	R\$ 26,70	8	R\$ 213,60
Impressões 3D	R\$ 600,00	16	R\$ 600,00
Dobradiça	R\$ 7,54	1	R\$ 7,54
Tubo de aço 50,8mm x 1,5mm x 6000mm	R\$ 253,00	1	R\$ 253,00
Tubo de aço 22,4mm x 2,65mm x 6000mm	R\$ 113,56	2	R\$ 227,12
Chapa de aço 1200mm x 3000mm x 3mm	R\$ 1.106,00	1	R\$ 1.106,00
Chapa de alumínio 6061 500mm x 500mm x 1,5mm	R\$ 215,00	1	R\$ 215,00
Tubo de aço quadrado 50mm x 50mm x 1,2mm 6000mm	R\$ 161,15	1	R\$ 161,15
Folha de borracha 1000x500x1	R\$ 42,90	1	R\$ 42,90
Kit rolamento ucf 206 com 4	R\$ 194,90	1	R\$ 194,90
Rolamentos convencionais(blindados)	R\$ 10,00	8	R\$ 80,00
Tanque reservatório com 12L de capacidade	R\$ 150,00	1	R\$ 150,00
Bomba injetora	R\$ 166,00	1	R\$ 166,00
Bico Micro Aspersor	R\$ 40,00	1	R\$ 48,00
Mangueira hidráulica de 1000mm de comprimento 12,7 mm	R\$ 32,00	2	R\$ 64,00
Abraçadeira de rosca sem fim 9mm	R\$ 3,44	11	R\$ 37,84
Kit 10 abraçadeira de nylon preta 80x2,5mm	R\$ 10,20	1	R\$ 10,20
Válvula reguladora de vazão	R\$ 209,00	1	R\$ 209,00
Válvula reguladora de pressão	R\$ 79,85	1	R\$ 79,85
Conecotor em T hidráulico	R\$ 14,00	3	R\$ 42,00

Conektor fêmea 1/2"	R\$ 6,90	10	R\$ 16,90,
Conektor macho 1/2"x 1/2'	R\$ 9,80	2	R\$ 19,60
Luva de redução 1/2"x 1/4"	R\$ 15,54	1	R\$ 15,54
Conjunto roda e pneu trator	R\$ 378,00	4	R\$ 1.512,00
Parafuso fenda atarraxante M3,5 x 6,5mm	R\$ 0,21	36	R\$ 7,56
Parafuso fenda atarraxante M3,9 x 9,5mm	R\$ 0,91	4	R\$ 3,64
Parafuso fenda atarraxante M6,3 x 32mm	R\$ 0,45	8	R\$ 3,16
Kit 10 Parafusos sextavados M3 30mm	R\$ 2,97	1	R\$ 2,97
Kit 10 Parafusos sextavados M4 12mm	R\$ 9,55	4	R\$ 38,20
Kit 10 Parafusos sextavados M6 20mm	R\$ 13,05	2	R\$ 26,10
Parafuso sextavados M8 60 mm	R\$ 3,36	8	R\$ 26,88
Kit 10 parafusos sextavados M10 60mm	R\$ 31,90	2	R\$ 63,80
Kit 4 Parafuso sextavados M12 20mm	R\$ 23,22	3	R\$ 69,66
Porcas sextavada M3	R\$ 0,08	1	R\$ 0,08
Kit 20 Porcas sextavados M8	R\$ 25,40	1	R\$ 25,40
Kit 20 porcas sextavados M10	R\$ 30,00	1	R\$ 30,00
Kit 50 porcas sextavados M12	R\$ 45,97	1	R\$ 45,97
Kit 20 Porcas borboletas m12	R\$ 54,60	1	R\$ 54,60
Arruela lisa M8	R\$ 0,40	4	R\$ 0,16
Arruela de pressão M8	R\$ 0,73	4	R\$ 2,92
Arruela quadrada 40x40 M8	R\$ 6,80	4	R\$ 27,20
Amortecedor com molas	R\$ 112,00	8	R\$ 896,00
Barra roscada M8 50 x 1000mm	R\$ 13,00	4	R\$ 52,00
Barra roscada M12 1000mm	R\$ 23,60	3	R\$ 70,80
Barras de aço 12,7mm x 6000mm	R\$ 65,00	1	R\$ 65,00
Barra de aço 22,2mm x 300mm	R\$ 20,00	1	R\$ 20,00
Tarugo de aço 52mm x 80mm	R\$ 41,00	1	R\$ 41,00
		Total	R\$7.045,24

9.2 Custos de Elétrica

Tabela 15 – Custos do projeto elétrico

Componente	Valor médio de mercado	Quantidade	Valor
Bateria Li-ion 12V 35000mAh	R\$ 145,50	1	R\$ 145,50
Fonte de alimentação 12,6V 3A bivolt	R\$ 51,80	1	R\$ 51,80

Bateria Li-ion 7,4V 4400mAh	R\$ 78,90	1	R\$ 78,90
Fonte de alimentação 7,5V 1A bivolt	R\$ 19,90	1	R\$ 19,90
Kit P4 cabo conector fêmea + macho com rabicho	R\$ 12,50	1	R\$ 12,50
Módulo regulador de tensão LM2596	R\$ 13,00	2	R\$ 26,00
Cooler Fan PCyes	R\$ 55,60	2	R\$ 111,20
Chave Gangorra KCD3-102N 3T	R\$ 3,70	2	R\$ 7,40
Fio flexível 2,5mm PT/metro	R\$ 2,06	1	R\$ 2,06
Fio flexível 2,5mm VM/metro	R\$ 2,06	1	R\$ 2,06
Cabo PP flexível 2 vias 2,5mm PT/metro	R\$ 5,70	3	R\$ 17,10
Cabo PP flexível 2 vias 2,5mm CZ/metro	R\$ 5,70	17	R\$ 96,90
Cabo Motor de Passo JST 2 Pin	R\$12,90	2	R\$25,80
Fio termo retrátil 2,5mm/metro	R\$ 1,15	3	R\$ 3,45
Kit 10 Conectores de derivação 2,5mm 3M	R\$ 38,90	2	R\$ 77,80
Canaleta de PVC 30x50x2000mm semiaberto	R\$ 25,00	1	R\$ 25,00
Cotovelo de PVC	R\$ 1,03	6	R\$ 6,18
Derivação em T de PVC	R\$ 2,70	2	R\$ 5,40
Tampa extremidade de PVC	R\$ 0,80	1	R\$ 0,80
Luva tag de identificação de fios	R\$ 0,20	2	R\$ 4,00
HT-M00 Dual Channel LoRa <i>Gateway</i>	R\$ 214,96	1	R\$ 214,96
Raspberry 3 B+	R\$ 280,00	1	R\$ 280,00
Módulo ESP32 - LoRa	R\$180,00	1	R\$180,00
Transdutor Digital de Indutância LDC1101	R\$160,00	4	R\$640,00
Sensor Ultrassônico HC-SR04	R\$15,00	4	R\$60,00
Módulo de Bússola Eletrônica HMC5883	R\$35,00	1	R\$35,00
Sensor de Pressão e Temperatura GY-BMP280	R\$12,00	1	R\$12,00
Sensor de Fluxo de Água YF-S201	R\$45,00	1	R\$45,00
Webcam GoTech Office 720P	R\$70,00	1	R\$70,00
Motor Com Redução MB244012 com Driver controlador de velocidade PWM	R\$368,00	4	R\$1.472,00
Motor com Caixa de redução ROBOCORE-1228	R\$190,00	4	R\$760,00
Monster Motor Shield	R\$114,86	4	R\$459,44
Lipo Fuel Gauge	R\$97,07	2	R\$194,14
Relé Songle 12V	R\$5,90	1	R\$5,90
Conversor de nível lógico TxS0108E	R\$25,89	2	R\$51,78

Válvula Solenoide DC 12V 1/2 Polegada	R\$39,90	1	R\$39,00
LED Difuso 10mm	R\$00,70	2	R\$01,14
Resistor 1K ohms	R\$00,06	7	R\$ 00,42
Resistor 2K ohms	R\$00,06	4	R\$ 00,24
Resistor 4.7K ohms	R\$00,06	3	R\$ 00,18
Resistor 4.7K ohms	R\$00,06	3	R\$ 00,18
Resistor 180 ohms	R\$00,06	1	R\$ 00,06
Capacitor 10nF	R\$00,17	1	R\$ 00,17
Capacitor 1uF	R\$00,14	1	R\$ 00,14
		Total	R\$5235,60

9.3 Custos de Software

A elaboração dos custos de Software conta com o Budget at Complete (BAC). Para o calculo do BAC foi levado em conta os seguintes fatores, descritos abaixo:

9.3.1 Custos de serviços de energia e internet

Considerando o consumo de 60 W por notebook e levando em conta 10 horas de desenvolvimento/sprint, chegamos ao valor de 600 Wh por sprint para cada membro. Ao multiplicar este valor por 4, que é a quantidade de membros da equipe de software, chega-se ao total de 2,4 kWh por sprint para toda a equipe.

Considerando o valor de 0,7281 R\$/kWh, tarifa da Neoenergia Brasília para 2021, chegamos ao custo de energia de R\$ 1,75 gastos por sprint. Para toda equipe durante todo o projeto, 12 sprints, serão R\$ 21,00.

Para o custo de serviço de internet, será considerado o valor de R\$100/mês para cada membro, totalizando uma média de R\$ 1.200 gastos em internet por todos os membros do projeto durante o desenvolvimento completo do produto.

Com esses valores definidos, chegamos ao valor de R\$ 1.201,75.

Tabela 16 – Custos demandados pela equipe de software

Descrição do item	Valor médio de mercado para as 12 sprints	Quantidade	Valor
Domínio do site/ano	R\$59,99	1	R\$59,99

Servidor	R\$82,50	4	R\$330,00
Notebook Thinkpad modelo E14 20RB	R\$6.200	4	R\$24.800,00
Energia e internet	R\$300,43	4	R\$1221,00
		Total	R\$26.410,99

9.4 Custos de Pessoal

Profissional	Piso salarial	Quantidade	Valor
Engenheiros de Estrutura	R\$ 5,000	5	R\$ 25.000,00
Engenheiros de Software	R\$ 5,000	4	R\$ 20.000,00
Engenheiros de Elétrica	R\$ 5,000	6	R\$ 30.000,00
		Total	R\$75.000,00

10 Considerações Finais

Com a contínua expansão do setor agrícola brasileiro, o aumento da produtividade no campo se tornou imprescindível para acompanhar a alta demanda por estes produtos. Nesse cenário, o uso de novas tecnologias de precisão apresenta a melhor alternativa para a gestão e sustentabilidade da produção. A agricultura de precisão, além de ser uma importante ferramenta para a economia de tempo e dinheiro, também otimiza a produtividade e auxilia o proprietário em tomadas de decisões.

Dessa forma, o StrongBerry será desenvolvido para atuar em pequenas plantações de morango de forma autônoma e precisa. Com uma tecnologia de alta precisão, a aplicação de fertilizantes será realizada através de um sistema de microaspersão, que irá ajudar na economia do insumo e no crescimento do cultivo. Assim, o StrongBerry, alimentado por bateria, irá percorrer o trajeto pré-definido pelo proprietário com o auxílio de sensores e, caso haja uma parada não prevista, emitirá alertas visuais e sonoros para que haja a intervenção humana. Além disso, um acompanhamento técnico poderá ser realizado pelo produtor através de relatórios com informações da fertirrigação, criando uma integração entre o StrongBerry e o usuário.

Referências

2 Peças 150mm 750lbs Motocicleta Atv Scooter Amortecedor Suspensão Traseira. Disponível em: <<https://www.americanas.com.br/produto/3158793952?opn=YSMESP>>. Citado na página 414.

24V mini dc brushless Motor BOMBA De ÁGUA 750l/h Para solar - R\$ 165,03. Disponível em: <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1820940104-24v-mini-dc-brushless-motor-bomba-de-agua-750lh-para-solar-_JM#position=11&search_layout=stack&mp_type=itemamp;tracking_id=a297b10f-8e93-4486-9a13-76cd08936223>. Citado na página 413.

ACOPLAMENTO FLEXIVEL D25 L30 furo 8 x 10mm. Disponível em: <https://www.lojadarobotica.com.br/acoplamento-flexivel-d25-l30-furo-8-x-10mm?utm_source=Site&utm_medium=GoogleMerchant&utm_campaign=GoogleMerchant>. Citado na página 413.

ACOPTEX. *Water flow sensor YF-S201*. 2018. Disponível em: <<https://acoptex.com/project/359/basics-project-071a-water-flow-sensor-yf-s201-at-acoptexcom/>>. Acesso em: 11 Sep. 2021. Citado 2 vezes nas páginas 154 e 155.

ALIEXPRESS. *Arruelas planas quadradas m3 m4 m5 m6 m8 m10 m12 m14 m16 304 a2, almofada plana de aço inoxidável*. 2021. Disponível em: <https://pt.aliexpress.com/item/1005001775335620.html?src=google&memo1=freelisting&aff_fcid=ba88d82e619b46e59af1f66d4350e2d2-1633434999737-06273-UneMJZVf&aff_fsk=UneMJZVf&aff_platform=aaf&sk=UneMJZVf&aff_trace_key=ba88d82e619b46e59af1f66d4350e2d2-1633434999737-06273-UneMJZVf&terminal_id=94b91a21527a49359826fc9a5f30bffa>. Citado na página 428.

ALIEXPRESS. *Conecotor hidráulico de junção de mangueira tipo t de aço inoxidável ss304*. 2021. Disponível em: <https://pt.aliexpress.com/item/1005002011252309.html?src=google&aff_fcid=8dd4fb2b7e1145f789ad9dbc568d8962-1630496477727-03139-UneMJZVf&aff_fsk=UneMJZVf&aff_platform=aaf&sk=UneMJZVf&aff_trace_key=8dd4fb2b7e1145f789ad9dbc568d8962-1630496477727-03139-UneMJZVf&terminal_id=94b91a21527a49359826fc9a5f30bffa>. Citado na página 417.

ANTUNES, L. E. C. *A cultura do morango*. [S.l.]: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Clima Temperado, 2011. 58 p. Citado na página 179.

ANTUNES, L. E. C.; JÚNIOR, C. R.; SCHWENGBER, J. E. *Moranguero*. [S.l.]: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Clima Temperado, 2016. Citado 2 vezes nas páginas 28 e 100.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão*. Rio de Janeiro, 2004. Citado na página 184.

ASTRAND B.; BAERVELD, J. An agricultural mobile robot with vision-based perception for mechanical weed control. *Autonomous Robots*, Los Angeles, 2002. Citado na página 26.

- ATLASSIAN. *Kanban*. 2021. Disponível em: <<https://www.atlassian.com/agile/kanban>>. Acesso em: 13 Ago. 2021. Citado na página 406.
- AVITABILE, P. *Modal Testing*. [S.l.]: John Wiley Sons, 2018. Citado na página 209.
- BEER, F. et al. Mechanics of materials. 7th_edition. New York. McGraw-Hill Education Ltd, 2015. Citado na página 199.
- BELT, J. R. et al. The effect of temperature on capacity and power in cycled lithium ion batteries. *Journal of Power Sources*, v. 142, n. 1, p. 354–360, 2005. ISSN 0378-7753. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775304011115>>. Citado na página 150.
- BORA D. J., G. A. K. K. F. A. Comparing the performance of l a b and hsv color spaces with respect to color image segmentation. arXiv preprint arXiv:1506.01472, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 157 e 158.
- BOSCH SENSORTEC. *Data sheet BMP280 Digital Pressure Sensor*. 1.14. ed. [S.l.], 2015. Citado na página 151.
- BRASIL, D. W. D. *Robôs agrícolas inteligentes para Preservar O MEIO Ambiente: DW: 05.06.2018*. 2018. Disponível em: <<https://bityli.com/oKPHa>>. Citado 2 vezes nas páginas 37 e 43.
- BUDYNAS, R. G. *Elementos de máquinas de Shigley*. [S.l.]: AMGH, 2001. Citado 2 vezes nas páginas 46 e 48.
- CISER. *Carta apresentação*. 2021. Disponível em: <<https://www.ciser.com.br/userfiles/paginas/catalogo-de-produtos-ciser-rev-12-2020.pdf>>. Citado na página 416.
- CISER. *Carta apresentação*. 2021. Disponível em: <<https://www.ciser.com.br/userfiles/paginas/catalogo-de-produtos-ciser-rev-12-2020.pdf>>. Citado na página 416.
- CISER. *Carta apresentação*. 2021. Disponível em: <<https://www.ciser.com.br/userfiles/paginas/catalogo-de-produtos-ciser-rev-12-2020.pdf>>. Citado na página 420.
- CISER. *Carta apresentação*. 2021. Disponível em: <<https://www.ciser.com.br/userfiles/paginas/catalogo-de-produtos-ciser-rev-12-2020.pdf>>. Citado 2 vezes nas páginas 420 e 423.
- CISER. *Carta apresentação*. 2021. Disponível em: <<https://www.ciser.com.br/userfiles/paginas/catalogo-de-produtos-ciser-rev-12-2020.pdf>>. Citado na página 422.
- CISER. *Carta apresentação*. 2021. Disponível em: <<https://www.ciser.com.br/userfiles/paginas/catalogo-de-produtos-ciser-rev-12-2020.pdf>>. Citado na página 427.
- CISER. *Carta apresentação*. 2021. Disponível em: <<https://www.ciser.com.br/userfiles/paginas/catalogo-de-produtos-ciser-rev-12-2020.pdf>>. Citado na página 427.
- CISER. *Carta apresentação*. 2021. Disponível em: <<https://www.ciser.com.br/userfiles/paginas/catalogo-de-produtos-ciser-rev-12-2020.pdf>>. Citado na página 428.
- COM, S.; LORA, .; SORNIN, N. *LoRaWAN® Firmware Updates Over-the-Air LoRaWAN® : Firmware Updates Over-the-Air*. 2020. Citado na página 59.

- COMPANY, B. *Simbologia Gráfica Conforme ISO 1219*. 2021. Disponível em: <https://dc-br.resource.bosch.com/media/br/training/treinamentos_2020/arquivos_2/Simbologia_Grifica_ISO1219.pdf>. Citado 2 vezes nas páginas 50 e 212.
- COSTA, G. de A. *MÉTODO PARA ESTIMAR A ATENUAÇÃO ULTRASSÔNICA DE MATERIAIS UTILIZANDO A FORÇA DE RADIAÇÃO*. 6-7 p. Dissertação (Dissertação de Mestrado) — UFRJ, Rio de Janeiro, 2015. Citado na página 149.
- CUNHA, J. P. A. R. da; TEIXEIRA, M. M. Características técnicas de bicos de pulverização hidráulicos de jato plano. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 2001. Citado na página 50.
- CUNHA, J. P. A. R. da et al. Espectro de gotas de bicos de pulverização hidráulicos de jato plano e de jato cônico vazio. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 39, p. 977–985, 2004. Citado na página 50.
- DISFOIL. *Dobradiça de Alumínio 70 x 70 - Fosca*. 2021. Disponível em: <https://www.disfoil.com.br/dobradica-aluminio-70-x-70-fosca?utm_source=GoogleShopping&utm_medium=CPC&utm_campaign=por-metro&mprice=7.16&gclid=Cj0KCQjw7MGJBhD-ARIAMZ0eet2jQ7cILbSxBKBoEa0ykRDWYP7srhoB9NCYUfLZhjQMfifcLWwcB>. Citado na página 419.
- DUARTE, B. T. *Análise de dinâmica veicular do protótipo Baja SAE*. Dissertação (Monografia de Conclusão de Curso) — Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, 2016. Citado na página 45.
- EMBARCADOS. *Conheça a tecnologia LoRa® e o protocolo LoRaWAN™*. 2016. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/conheca-tecnologia-lora-e-o-protocolo-lorawan/>>. Citado na página 58.
- EMBRAPA. *Coleção: Plantar Morango*. [S.l.]: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Clima Temperado, 2011. Citado 2 vezes nas páginas 28 e 100.
- EMBRAR. *Conector Fêmea com Monobloco 20mm x 1/2"*. 2021. Disponível em: <<https://www.embrar.com.br/conector-femea-com-monobloco-20mm-x-1-2-p?idsku=12431>>. Citado na página 417.
- ENERGY SAVING ELECTRONICS CO. *YF-S201 black flow sensor*. [S.l.], 2017. Citado na página 155.
- EWINS, D. J. *Basic and State-of-the-Art of Modal Testing*. [S.l.]: Sādhanā, 2000. Citado na página 209.
- FERRAMENTAS, M. *Espigão Fixo Macho 1/2 X 1/2 Rosca NPT Com Canal - DDS R113*. 2021. Disponível em: <https://martineliferramentas.com.br/espigao-fixo-macho-12-x-12-rosca-npt-com-canal-dds-r113_08846.html>. Citado na página 418.
- FIALHO, A. B. *Automação Hidráulica, Projetos, Dimensionamento e Análise de Circuitos*. [S.l.]: Erica LTDA, 2007. Citado 4 vezes nas páginas 51, 213, 214 e 215.
- FLUX. *In-Depth Overview*. 2019. Disponível em: <<https://facebook.github.io/flux/docs/in-depth-overview>>. Citado na página 63.

- FREITAS, L. M. P. *Estudo da dinâmica vertical de uma suspensão veicular do tipo macpherson.* Dissertação (Dissertação de Mestrado) — USP São Carlos, 2006. Citado na página 45.
- GILLESPIE, T. D. *Fundamentals of Vehicle Dynamics.* [S.l.]: Society of Automotive Engineers, 1992. Citado 2 vezes nas páginas 41 e 45.
- GRIFT, T. Robotics in crop production. USA, Urbana, 2012. Citado na página 26.
- GUIRRA ANA PAULA P. M.; SILVA, E. R. *Automação em sistemas de irrigação.* [S.l.: s.n.], 2010. Citado na página 26.
- HAINKE, T. *Converter-unidades.info.* 2021. Disponível em: <<https://www.converter-unidades.info/Converter+Litros+por+hora+de+Litros+por+minuto.php>>. Citado na página 213.
- HONEYWELL. *3-Axis Digital Compass IC HMC5883L.* [S.l.], 2010. Citado na página 149.
- INMAN, D. J. *Engineering Vibration.* [S.l.]: Prentice Hall, 2013. Citado na página 209.
- JUNTOLLI F., e. a. Agricultura de precisão. Boletim Técnico do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília, 2013. Citado na página 27.
- LIMA, C. B. D. *Técnicas de Projetos Eletrônicos com os Microcontroladores AVR.* [S.l.]: Clube de Autores, 2010. Citado na página 175.
- LIVRE, M. *Chapa Alumínio Lisa 500mm X 500mm X Espessura 1,5mm.* 2021. Disponível em: <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1953033061-chapa-aluminio-lisa-500mm-x-500mm-x-espessura-15mm-_JM#position=2&search_layout=stack&type=item&tracking_id=83fb03f8-a3a0-4c68-99f3-9028abbc73a6>. Citado na página 429.
- LIVRE, M. *Lençol De Borracha Manta 1mm X 1mt Larg X 0,5mt.* 2021. Disponível em: <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2029331006-lencol-de-borracha-manta-1mm-x-1mt-larg-x-05mt-comp-_JM?matt_tool=18956390&utm_source=google_shopping&utm_medium=organic>. Citado na página 429.
- LIVRE, M. *Mangueira Hidráulica 1/2quot; 1 Trama De Aço 1m Transpower.* 2021. Disponível em: <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1653881242-mangueira-hidraulica-12quot-1-trama-de-ac-1m-transpower-_JM?matt_tool=18956390&utm_source=google_shopping&utm_medium=organic>. Citado na página 419.
- LIVRE, M. *Motor Com Caixa De Redução 12v 1600rpm.* 2021. Disponível em: <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1533888272-motor-com-caixa-de-reduco-12v-1600rpm-_JM?matt_tool=18956390&utm_source=google_shopping&utm_medium=organic>. Citado na página 425.

- LIVRE, M. *Motor Com Redução Motoredutor Dc 12v 40 Rpm + Controlador*. 2021. Disponível em: <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1495538444-motor-com-reduco-motoredutor-dc-12v-40-rpm-controlador-_JM>. Citado na página 424.
- LOGAN, D. *A First Course in the Finite Element Method*. [S.l.]: Cengage Learning, 2012. Citado na página 41.
- LORA ALLIANCE. *LoRaWAN™ 1.1 Specification*. 2017. Citado na página 59.
- MA, S. et al. Temperature effect and thermal impact in lithium-ion batteries: A review. *Progress in Natural Science: Materials International*, v. 28, n. 6, p. 653–666, 2018. ISSN 1002-0071. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1002007118307536>>. Citado na página 150.
- MAGAZINELUIZA.COM.BR. *Roda de alumínio aro 8 tratorito motocultivador usinna*. Disponível em: <https://www.magazineluiza.com.br/roda-de-aluminio-ar-8-tratorito-motocultivador-usinna/p/bc8d1b1gka/au/crcr/?&seller_id=usinnamk>. Citado na página 416.
- MARQUES, P. et al. Comparative life cycle assessment of lithium-ion batteries for electric vehicles addressing capacity fade. *Journal of Cleaner Production*, v. 229, n. 1, p. 787–794, 2019. Citado na página 53.
- MARTINELLI, F. *Linha de Aço*. 2021. Disponível em: <<https://fundicaomartinelli.com.br/produtos/aco/>>. Citado 2 vezes nas páginas 195 e 198.
- MCGINTY, B. *Stress Concentrations at Holes*. Disponível em: <<https://www.fractionmechanics.org/hole.html>>. Citado na página 199.
- MEGSON, T. H. G. *Aircraft structures for engineering students*. [S.l.]: Butterworth-Heinemann, 2016. Citado 2 vezes nas páginas 199 e 200.
- MOITINHO, F. *E a robótica reinventa o campo*. 2019. Disponível em: <<https://www.dinheirorural.com.br/e-a-robotica-reinventa-o-campo/>>. Citado 2 vezes nas páginas 37 e 43.
- OPENCV ORG. *OpenCV*. 2021. Disponível em: <<https://opencv.org>>. Acesso em: 10 Sep. 2021. Citado na página 140.
- OSOYOO. *Micro bit lesson — Using the Ultrasonic Module*. 2018. Disponível em: <<https://osoyoo.com/2018/09/18/micro-bit-lesson-using-the-ultrasonic-module/>>. Acesso em: 1 Sep. 2021. Citado na página 146.
- PEREIRA, E. H.; HOPP, A. F.; WISINTAINER, M. A. Smart water: a prototype for monitoring water consumption. p. 1–5, 2020. Citado 2 vezes nas páginas 156 e 157.
- PETERSON, T. *PCB Trace and Pad Clearance: Low vs. High Voltage*. 2020. Last accessed 14 October 2021. Disponível em: <<https://resources.altium.com/p/pcb-trace-and-pad-clearance-low-vs-high-voltage/>>. Citado na página 175.
- PIBITS. *Raspberry Pi and BMP280 sensor example*. 2018. Disponível em: <<http://www.pibits.net/code/raspberry-pi-and-bmp280-sensor-example.php>>. Acesso em: 11 Sep. 2021. Citado na página 151.

PISTOIA gianfranco. Chapter 5 - vehicle applications: Traction and control systems. In: PISTOIA, G. (Ed.). *Battery Operated Devices and Systems*. Amsterdam: Elsevier, 2009. p. 321–378. ISBN 978-0-444-53214-5. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780444532145000054>>. Citado na página 54.

PLASTOLÂNDIA. *LUVA MACHO/FÊMEA DE REDUÇÃO GALVANIZADA 1/2"X 1/4"*. 2021. Disponível em: <<https://www.plastolandia.com.br/luva-macho-f-meas-reduc-o-galvanizado-1-2-x-1-4>>. Citado na página 430.

RASPBERRY PI ORG. *Raspberry Pi*. 2016. Disponível em: <<https://www.raspberrypi.org>>. Acesso em: 10 Sep. 2021. Citado na página 140.

RASPBERRY PI TUTORIALS. *Using a Raspberry Pi distance sensor (ultrasonic sensor HC-SR04)*. 2017. Disponível em: <<https://tutorials-raspberrypi.com/raspberry-pi-ultrasonic-sensor-hc-sr04>>. Acesso em: 10 Sep. 2021. Citado na página 148.

RASPBERRY PI TUTORIALS. *Reading out a Flow Meter/Water Flow Sensor on the Raspberry Pi*. 2021. Disponível em: <<https://tutorials-raspberrypi.com/reading-out-the-flow-meter-water-flow-sensor-on-the-raspberry-pi>>. Acesso em: 10 Sep. 2021. Citado na página 156.

ROBÓTICA, C. da. *Válvula Solenoide 12v DC 180° 1/2 polegada*. 2021. Disponível em: <<https://www.casarobotica.com/sensores-modulos/modulos/outros/valvula-solenoid-12v-dc-180-12-polegada>>. Citado na página 419.

ROLAMENTOS SKF Energy Efficient. Disponível em: <<https://www.skf.com/br/industries/two-and-three-wheelers/transmission/skf-energy-efficient-bearings>>. Citado 2 vezes nas páginas 414 e 421.

SACCO, F. *10 mandamentos da PCB*. 2015. Last accessed 14 October 2021. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/10-mandamentos-da-pcb>>. Citado na página 175.

SANT'ANA, J. M. de S. *Redes LoRaWAN: implantação e desenvolvimento de aplicações*. 2017. Citado na página 60.

SCRUM GUIDES. *The Scrum Guide*. 2020. Disponível em: <<https://www.scrumguides.org/scrum-guide.html>>. Acesso em: 13 Ago. 2021. Citado na página 404.

SEEDSTUDIO. *How to use Water Flow Sensor / Meter with Arduino*. 2019. Disponível em: <<https://www.seeedstudio.com/blog/2020/05/11/how-to-use-water-flow-sensor-with-arduino>>. Acesso em: 11 Sep. 2021. Citado na página 155.

SENAR. *Olericultura: cultivo do morango*. [S.l.]: Senar, 2019. Coleção Senar 238. Citado na página 182.

SIMEBRA. *Qual o perfil ideal para o seu projeto: aço ou alumínio?* 2021. Disponível em: <<https://www.siembra.com.br/noticias/qual-o-perfil-ideal-para-o-seu-projeto-acao-ou-aluminio>>. Citado 2 vezes nas páginas 195 e 198.

- SOUSA, L. M. G. de. *Modelagem e compensação de erro de sensores e atuadores baseados em Arduino*. 53 p. Dissertação (Trabalho de conclusão de curso) — UFU, Uberlândia, 2018. Citado 3 vezes nas páginas 146, 147 e 149.
- STMICROELECTRONICS. *Data sheet VNH2SP30-E Automotive fully integrated H-bridge motor driver*. [S.l.], 2008. Citado na página 161.
- TANGERINO G, e. a. Controle de esterçamento de robô agrícola móvel de quatro rodas guiáveis. Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente (SBAI), 2011. Citado na página 26.
- TECH-CI. *Circuito Impresso – Qual Laminado Utilizar Para Minha Placa?* Last accessed 14 October 2021. Disponível em: <<https://tec-ci.com.br/blog/circuito-impresso/circuito-impresso-qual-laminado-utilizar-para-minha-placa/>>. Citado na página 175.
- TECNOLOGIA, T. *TANQUE de 12 LITROS COM PESCADOR E retorno*. Disponível em: <<https://www.webplastico.com.br/gerador/tanque-de-12-litros-com-pescador-e-retorno>>. Citado na página 415.
- TEIXEIRA, J. C. Modernização da agricultura no brasil: impactos econômicos, sociais e ambientais. Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros Seção Três Lagoas, p. 21–42, 2005. Citado na página 27.
- TEXAS INSTRUMENTS. *LDC Device Selection Guide*. 2021. Acesso em: 31 Ago. 2021. Citado na página 144.
- THE THINGS NETWORK. *Frequency Plans by Country*. 2021. Disponível em: <<https://www.thethingsnetwork.org/docs lorawan/frequencies-by-country>>. Citado na página 60.
- THE THINGS NETWORK. *Frequency Plans by Country*. 2021. Disponível em: <<https://www.thethingsnetwork.org/docs lorawan/architecture>>. Citado na página 60.
- UFJF. *O quê é e como funciona a pintura eletrostática*. 2021. Disponível em: <<https://www.ufjf.br/fisicaecidadania/2013/12/16/o-que-e-e-como-funciona-a-pintura-eletrostatica>>. Citado na página 40.
- UFRGS. *Proteção contra corrosão em metais*. 2021. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/47294/Resumo_10926.pdf?sequence=1>. Citado na página 40.
- UFSC. *Nylon*. 2021. Disponível em: <<https://portalvirtuhab.paginas.ufsc.br/nylon/#:~:text=O20fio20pode20ser20tC3A3o,uma20excelente20resistC3AAncia20de20abrasC3A3o.&text=O20Nylon20oferece20alta20resistC3AAncia,vezes20mais20que20o20algodC3A3o>>. Citado na página 198.
- UNIDADES de rolamento de esferas SKF Food Line. Disponível em: <<https://www.skf.com.br/products/mounted-bearings/ball-bearing-units/skf-food-line-ball-bearing-units>>. Citado 2 vezes nas páginas 414 e 421.
- USIBRONZE. *ABNT 6351*. 2021. Disponível em: <<https://usibronze.com.br/aluminio/abnt-6351>>. Citado 2 vezes nas páginas 195 e 198.

- USP. *Viscosidade Cinemática*. 2021. Disponível em: <<http://macbeth.if.usp.br/~gusev/Viscosidade/20cinematica.pdf>>. Citado na página 215.
- VÁLVULA Reguladora vazão Hidráulica ROSCA 1/2 BSP - Drv12 - R\$ 208,08. Disponível em: <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1819583460-valvula-reguladora-vazo-hidraulica-rosca-12-bsp-drv12-_JM?matt_tool=18956390&putm_source=google_shopping&putm_medium=organic>. Citado na página 415.
- WIKIPEDIA. *HSL and HSV*. 2021. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/HSL_and_HSV>. Acesso em: 11 Sep. 2021. Citado na página 158.
- WOLF, D. F. et al. Robótica móvel inteligente: Da simulação às aplicações no mundo real). *congresso da SBC*, p. 19, 2009. Citado na página 53.
- XIAO, M.; CHOE, S.-Y. Theoretical and experimental analysis of heat generations of a pouch type limn2o4/carbon high power li-polymer battery. *Journal of Power Sources*, v. 241, p. 46–55, 2013. ISSN 0378-7753. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775313006605>>. Citado na página 150.
- ZAKRAJSEK, J. et al. Exploration rover concepts and development challenges. In: *1st Space Exploration Conference: Continuing the Voyage of Discovery*. [S.l.: s.n.], 2005. p. 2525. Citado na página 43.
- ZINCOREX. *Banho de fosfatização*. 2021. Disponível em: <<https://www.zincorex.com.br/banho-fosfatizacao>>. Citado na página 40.

Apêndices

APÊNDICE A – TERMO DE ABERTURA DE PROJETO (TAP)

A.1 Descrição do Projeto

O projeto se trata de um veículo pulverizador automatizado de precisão que automatiza o processo de fertirrigação por meio de sensores de precisão, voltado para agricultores familiares. Diferentemente dos produtos tradicionais do mercado, o produto atua diretamente na folha da cultura, reduz a necessidade de ação humana no plantio, aplica com precisão os produtos agrícolas evitando desperdício e, por fim, gera um relatório do processo de fertirrigação da lavoura.

A.2 Justificativa

Devido as variações climáticas cada vez mais intensas e com o aumento na longevidade das pessoas, a busca e a produção de alimentos de maior qualidade tem feito com que o setor agropecuário tenha que adotar novos métodos a fim de garantir uma maior qualidade na produção de alimentos aliada ao aumento na quantidade produzida por metro quadrado. Diante dessa situação, a agricultura de precisão surge para proporcionar um controle mais aprimorado das variáveis que compõe esse meio de produção, além de democratizar o acesso a tecnologia aos pequenos e médios produtores.

A plantação de morango, sobretudo, tem expandido sua área de cultivo, na América do Sul, equivalente à 40% da plantação mundial desse fruto ([ANTUNES; JÚNIOR; SCHWENGBER, 2016](#)). O plantio do morango requer níveis de qualidade do solo controlados bem como o controle de pragas e insetos de lavouras para que se tenha uma safra com frutos doce e de baixa acidez. Deste modo, o cultivo de morangos e plantações rasteiras, em geral, necessitam de alta precisão no processo de aspersão ([EMBRAPA, 2011](#)). A fim de atender agricultores familiares produtores de morango e espécies similares, é proposto o veículo de pulverização de alta precisão.

A.3 Objetivo

A.3.1 Objetivos gerais

O objetivo é desenvolver um veículo de fertirrigação de precisão automatizado focado na agricultura familiar de modo a possibilitá-los acesso às tecnologias equivalentes

presentes em modelos comerciais de grande escala.

A.3.2 Objetivos específicos

A fim de se atingir o objetivo geral apresentado, o trabalho é dividido em subprocessos das etapas de desenvolvimento em objetivos específicos listados abaixo.

- Otimização do fertilizante pulverizado;
- Aumento da produtividade em pequenos cultivos;
- Gerar um relatório da fertirrigação;
- Permitir ao agrônomo responsável ter informações detalhadas sobre a aplicação do fertilizante.
- Produto de menores dimensões para fácil armazenamento;
- Dimensionado para aplicação no cultivo de morangos.
- Não emissor de gases poluentes.

A.4 Requisitos

Os requisitos para satisfazer o cliente são:

- Equipamento deve identificar a planta
- Pulverizar a quantidade pré-determinada
- Ser capaz de percorrer, de maneira autônoma, toda a lavoura
- Gerar e armazenar dados referente a atividade realizada
- Deve possuir uma conexão eficaz com o operador

A.5 Stakeholders

A definição dos Stakeholders do projeto será definida com base nas seguintes classificações:

- Entrada: Agricultores familiares de culturas baixas que buscam incorporar tecnologias de precisão aos seus cultivos. As particularidades de cada cultivo são os pontos determinantes pro início do projeto.

- Controle: São as partes interessadas que influenciam diretamente nos parâmetros básicos para utilização do produto como, por exemplo, agrônomos e órgãos reguladores.
- Mecanismos: Stakeholders que atuarão na orientação do uso do produto no cultivo.
- Saída: São as pessoas jurídicas ou físicas interessadas na aplicação do produto. Nesse caso particular, a saída é a ferramenta de precisão para fertirrigação.

Tendo em vista que as categorias foram definidas, é possível compilar os stakeholders e as respectivas necessidades na tabela 17. Ademais, é importante ressaltar que é possível que um mesmo stakeholder seja classificado em duas ou mais categorias.

Tabela 17 – Stakeholders e suas necessidades.

ID	Categoria	Stakeholder	Necessidade
STK-01	Entrada	Agricultores familiares	Ferramenta de precisão para aplicação na lavoura.
STK-02	Controle	Agrônomo	Definir parâmetros a serem apresentados nos relatórios de utilização.
STK-03	Mecanismo	Agrônomo	Informações sobre as quantidades aplicadas na lavoura.
STK-04	Saída	Agricultores familiares	Relatório sobre a aplicação do fertilizante.

A.6 Premissas

- O produto é voltado para agricultores familiares;
- O produto atendem, principalmente, cultivos de morangos, embora possa atender outros cultivos de característica similares ao do morango;
- O produto desenvolvido não necessita estar interligado a rede elétrica durante operação;
- O produto será de fácil montagem e manutenção;
- Todos os integrantes do grupo estarão comprometidos com o desenvolvimento do trabalho até o final.

A.7 Restrições

- Será desenvolvido a parte teórica do projeto;
- O produto atende os cultivos de morangos e pode atender cultivos rasteiros com características similares as do cultivo de morango;
- O orçamento pode flutuar durante o desenvolvimento do projeto;
- O prazo de desenvolvimento do projeto tem duração até o fim da execução da disciplina Projeto Integrador 2.

A.8 Riscos

A Tabela 18, ilustra os riscos organizacionais do projeto tendo em vista as necessidades dos Stakeholders, os riscos, as premissas e o contexto da disciplina.

Tabela 18 – Riscos organizacionais do projeto.

ID	Risco	Consequência
1	Mudança do escopo	Alteração do cronograma e/ou requisitos do projeto
2	Solução que não atenda aos objetivos	Mudança do escopo
3	Desistência de membros	Adequação da divisão de tarefas
4	COVID19	Dificuldade de comunicação, ociosidade temporária, atraso de tarefas
5	Cliente do produto não dispor de acompanhamento técnico	Má utilização do produto na lavoura
6	Entrega parcial de atividades	Atraso do cronograma do projeto

A.9 Marcos do Projeto

Durante a execução projeto, ocorrerão entregas principais, os Pontos de Controle (PC). Na tabela 19, é descrito os marcos e suas datas.

Tabela 19 – Marcos do projeto

Marco	Descrição	Data
PC 1	Problematização, concepção e detalhamento da solução	22/08
PC 2	Projeto e construção do subsistema da solução da proposta	10/09
PC 3	Projeto de subsistemas e integração da solução proposta	15/10

APÊNDICE B – Estrutura Analítica do Projeto (EAP)

B.1 Ponto de Controle 1

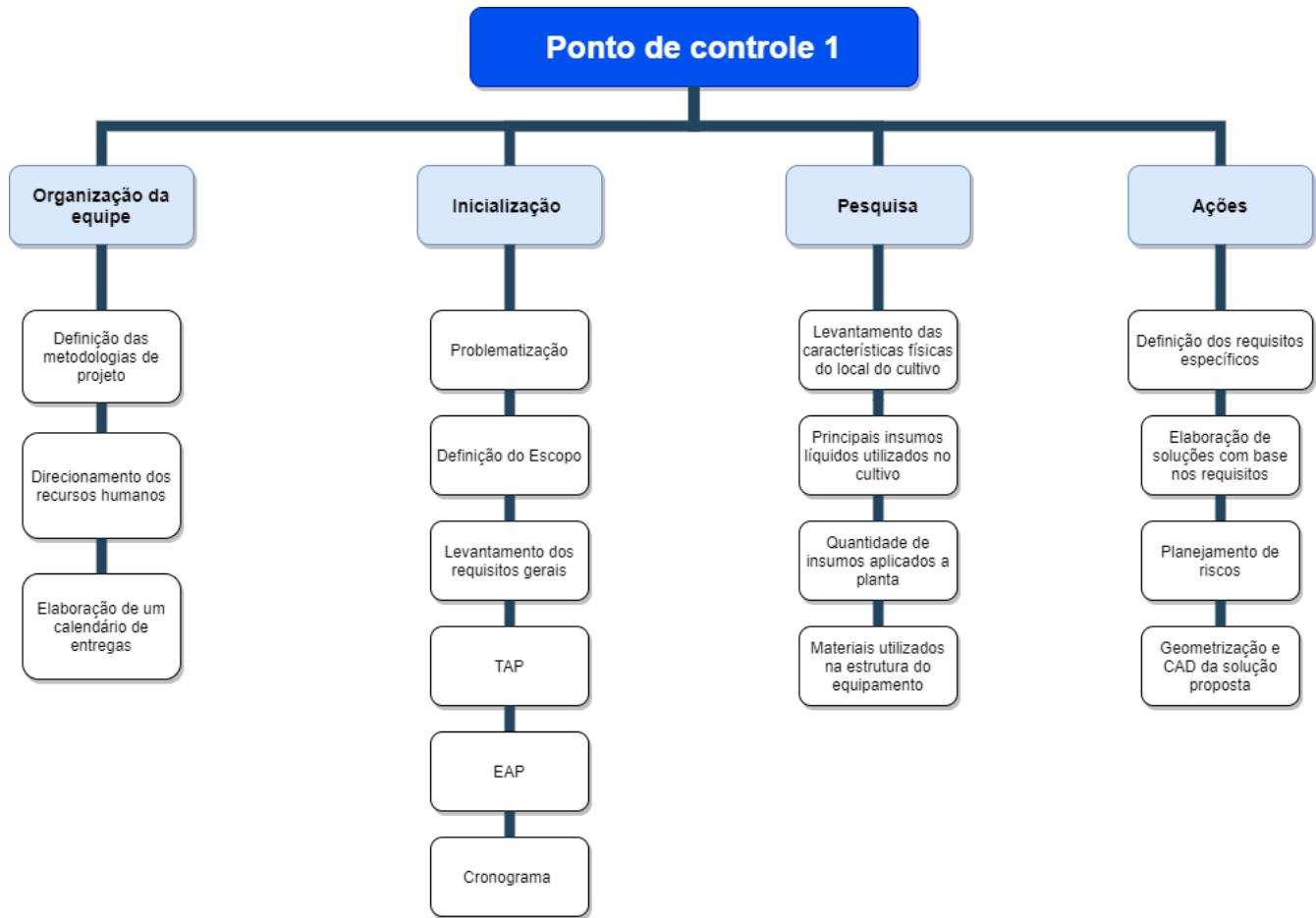


Figura 21 – Organograma da EAP para o ponto de controle 1.

Fonte: Autores.

B.2 Ponto de Controle 2

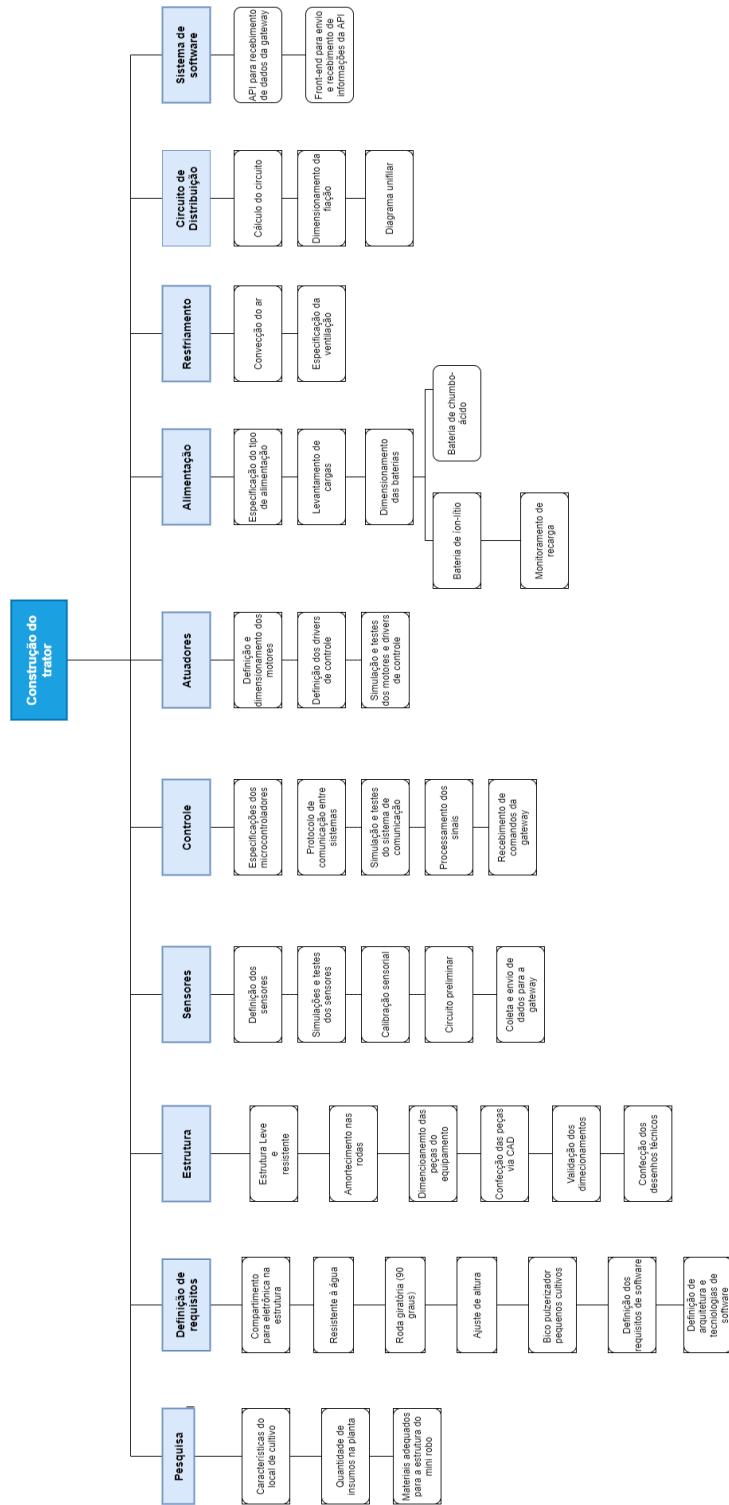


Figura 22 – Organograma da EAP para o ponto de controle 2.
Fonte: Autores.

B.3 Ponto de Controle 3

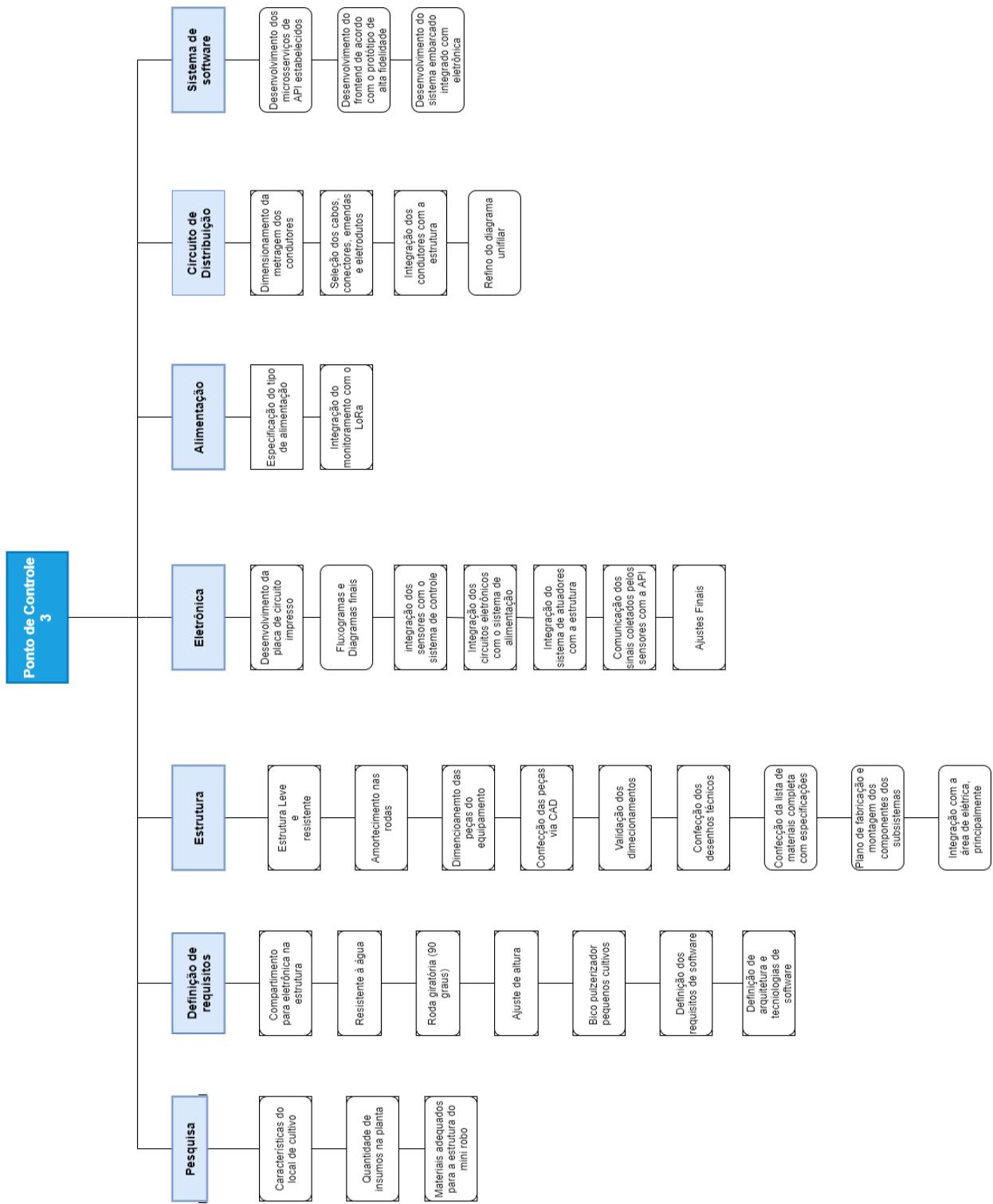


Figura 23 – Organograma da EAP para o ponto de controle 3.

Fonte: Autores.

APÊNDICE C – Gerenciamento de Recursos Humanos

C.1 Objetivo

Apresentar o modelo de gerenciamento de recursos humanos e detalhar os papéis desempenhados pelos integrantes da equipe do projeto.

C.2 Papéis e Responsabilidades

Conforme determinado pela disciplina, a equipe foi dividida em: Coordenadora Geral (1), Diretora de Qualidade (1), Diretor Técnico (3) e Desenvolvedores. Na Figura 25 é apresentado o arranjo final da equipe de 15 membros.

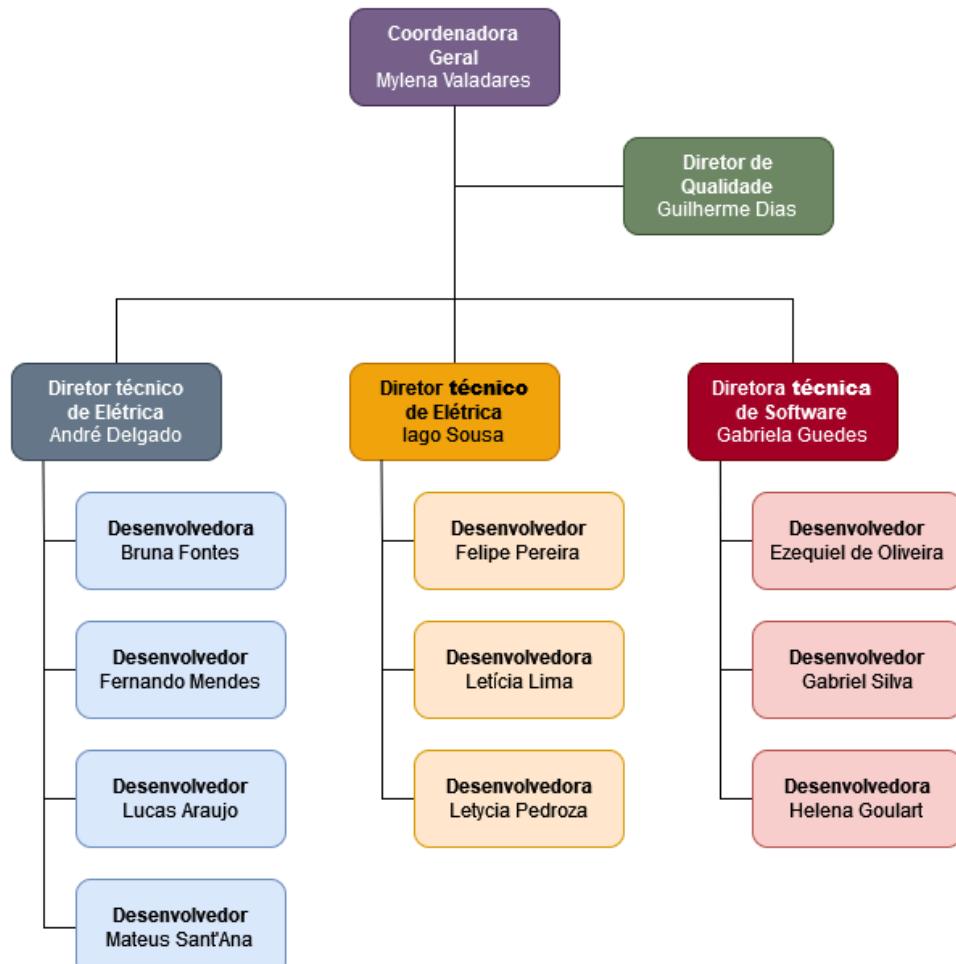


Figura 24 – Organograma da equipe do projeto
Fonte: Autores.

C.3 Contribuição dos membros

Tabela 20 – Contribuição dos membros para o PC3

Nome	Matrícula	Área	Contribuição
Bruna Letícia Souza Fontes	160160162	Estruturas	Design do pulverizador 2D para análise e simulação do fluido no pulverizador via Ansys Fluent, revisão do manual de montagem.
Fernando Barroso V. Mendes	180031864	Estruturas	Pesquisa de componentes e ferramentas, elaboração dos manuais de fabricação e de montagem, revisão dos Desenhos Técnicos, formatação Latex da parte estrutural e revisão textual. Auxílio na formatação geral do relatório.
Lucas Messias Cunha de Araujo	160133718	Estruturas	Revisão de manuais de montagem, modelagem numérica para simulação estrutural dinâmica para análise modal do veículo, resposta a impulsos, análise numérica de resposta harmônica via Ansys do componente suporte telescópio, modelagem numérica via MATLAB análise de resposta transiente do sistema amortecido e dimensionamento e projeto geométrico dos amortecedores do veículo.

Mateus Silva Sant'Ana	160137683	Estruturas	Revisão de manuais de montagem, modelagem numérica para simulação estrutural dinâmica para analise modal do veículo, resposta a impulsos, analise numérica de resposta harmônica via Ansys do componente suporte telescópio, modelagem numérica via MATLAB analise de resposta transiente do sistema amortecido e dimensionamento e projeto geométrico dos amortecedores do veículo.
André do Nascimento Delgado	160111960	Estruturas	Retrabalho dos desenhos técnicos das partes estruturais; Refinamento do modelo em CAD; Pesquisa e seleção de componentes compráveis hidráulicos, mecânicos e para fixação; Confecção das imagens presentes nos manuais de fabricação, montagem e de usuário; Auxílio na elaboração do diagrama de integração; Auxílio na elaboração textual da Integração estrutura-elétrica; Auxílio na formatação e revisão geral do relatório.

Felipe Chermont Pereira	160119570	Elétrica	contribuição nos diagramas e esquemáticos eletrônicos, pesquisa de componentes e alterações para melhora do produto, Auxílio na elaboração do diagrama de integração, Auxílio na elaboração do manual de montagem, Auxílio na alocação física dos componentes; Auxílio na formatação e revisão geral do relatório.
-------------------------	-----------	----------	--

Guilherme Simões Dias	160123364	Elétrica	<p>Elaboração e descrição do diagrama esquemático de conexões da Raspberry Pi; Pesquisa e seleção de parâmetros para confecção da PCI para Raspberry Pi; Projeto da PCI para Raspberry Pi; Pesquisa e escolha do material para o alvo do transdutor de indutância; Elaboração de ilustrações para o funcionamento do sensor HC-SR04 e do transdutor LDC1101; Pesquisa e elaboração da solução para o monitoramento de carga das baterias; Atualização da Arquitetura de Eletrônica; Pesquisa e elaboração do plano de testes para os sensores e atuadores; Pesquisa e elaboração do plano de manutenção periódica dos componentes eletrônicos; Auxílio na elaboração textual da Integração estrutura-elétrica; Atualização dos objetivos gerais e específicos do projeto; Elaboração da secção de programação e acionamento do manual do usuário; Auxílio na elaboração da secção de confecção das PCIs do Manual de construção; Auxílio na formatação e revisão geral do relatório.</p>
-----------------------	-----------	----------	--

Iago de Andrade Sousa	160124701	Elétrica	Contribuição nos diagramas esquemáticos de eletrônica; Projeto da placa de circuito impresso da ESP32LoRa; Pesquisa de componentes e alterações para melhoria do produto; Auxílio na programação dos microcontroladores; Auxílio na alocação física dos componentes; Auxílio na confecção do manual de fabricação; Auxílio na elaboração do diagrama de integração; Auxílio na formatação e revisão geral do relatório.
Leticia de Souza Lima	160012163	Elétrica	Pesquisa e seleção de componentes elétricos aplicáveis; Elaboração dos diagramas unifilares; Elaboração do esquemático físico elétrico; Auxílio na elaboração textual da Integração estrutura-elétrica; Auxílio na formatação e revisão geral do relatório.

Letycia Vitoria de Almeida Alves Pedroza	170108333	Elétrica	Pesquisa e seleção de componentes elétricos aplicáveis; Elaboração da seção de alimentação do manual de montagem; Elaboração da seção de alimentação do plano de testes de elétrica; Atualização da tabela de custos de elétrica; Auxílio na alocação física dos componentes; Auxílio na elaboração do diagrama de integração; Auxílio na elaboração do esquemático físico elétrico; Auxílio na elaboração textual da Integração estrutura-elétrica; Auxílio na formatação e revisão geral do relatório.
Mylena Araujo Valadares	170163580	Elétrica	Responsável pelas atividades de Coordenação Geral do grupo; Auxílio para realização do diagrama de integração; Pesquisa e seleção de componentes elétricos aplicáveis; Elaboração da seção de alimentação do manual do usuário ; Elaboração seção de alimentação do plano de manutenções de elétrica; Auxílio na formatação e revisão geral do relatório.

Ezequiel De Oliveira Dos Reis	160119316	Software	Atualização das especificações do LoRa; Definição dos pacotes de envio do LoRaWAN; Especificação da arquitetura e solução utilizada; Diagrama de integração; Documentar integração; Documentar o plano de testes; Desenvolvimento da parte de Frontend e Backend da aplicação; Discussão com eletrônica sobre as integrações dos microcontroladores; Desenvolvimento do firmware; Auxílio na formatação e revisão geral do relatório.
Gabriel Batista Albino da Silva	160028361	Software	Atualização do diagrama de comunicação; Atualização da explicação sobre o Lora e LoraWan; Desenvolvimento do código front-end e backend; Confecção do manual do usuário e de montagem nas partes de uso do aplicativo, instalação do gateway LoRa e instalação da aplicação; Melhoria na explicação dos diagramas; Auxílio nos custos de software

Gabriela Barrozo Guedes	160121612	Software	Atualização dos diagramas de pacotes e de dados; Atualização da explicação da solução; Especificação da arquitetura utilizada; Documentação da integração; Diagrama de integração; Plano de testes; Plano de manutenção; Desenvolvimento do código nos serviços de Frontend e Backend; Desenvolvimento de parte do sistema embarcado; Auxílio na formatação e revisão geral do relatório.
Helena Bretas Goulart	160124034	Software	Explicação sobre todos os diagramas; Explicação da inovação de software e das tecnologias usadas; Especificação dos custos de software; Desenvolvimento do código nos serviços de Frontend e Backend; Desenvolvimento do manual do usuário na parte de uso do aplicativo.

APÊNDICE D – Plano de Gerenciamento de Comunicação

D.1 Ferramentas

Para o desenvolvimento de um projeto de tamanha complexidade e com uma equipe bastante diversa, em termos de habilidades de engenharia, é importante que a comunicação seja feita de forma bastante eficiente e rápida visando evitar ruídos e atrasos de cronogramas. Desse modo, a tabela 21 apresenta as ferramentas de comunicação a serem utilizadas durante o projeto.

Tabela 21 – Ferramentas de comunicação

Ferramenta	Descrição
Microsoft Teams	Plataforma utilizada para as reuniões da equipe com os professores
Discord	Plataforma utilizada para as reuniões da equipe e arquivamento da biblioteca de materiais que embasam o projeto
Whatsapp	Meio de compartilhamento de informações pontuais de forma rápida, decisões menores acerca do projeto e realização dos Dailys
Trello	Plataforma online para aplicação da metodologia Kanban
Overleaf	Ferramenta de edição online e colaborativa em linguagem LaTeX para desenvolvimento dos relatórios técnicos
Github	Repositório de códigos desenvolvidos pelas subequipes do projeto

D.2 Diretrizes e Procedimentos de Comunicação

Visando manter uma comunicação rápida e alinhada perante toda a equipe, foi definido um horário fixo para as reuniões gerais semanais da equipe nas quartas-feiras às 19:30h pelo Discord. Além das reuniões gerais, a equipe realizará reuniões menores durante os horários de aula para decisões pontuais e as subequipes terão reuniões em dias conforme a melhor disponibilidade dos membros.

As atividades serão delegadas por meio do Trello para que os membros saibam exatamente o que deve ser desenvolvido e em quanto tempo. Desse modo, os arquivos oriundo de tais tarefas serão armazenados nos canais correspondentes do Discord.

APÊNDICE E – Cronograma

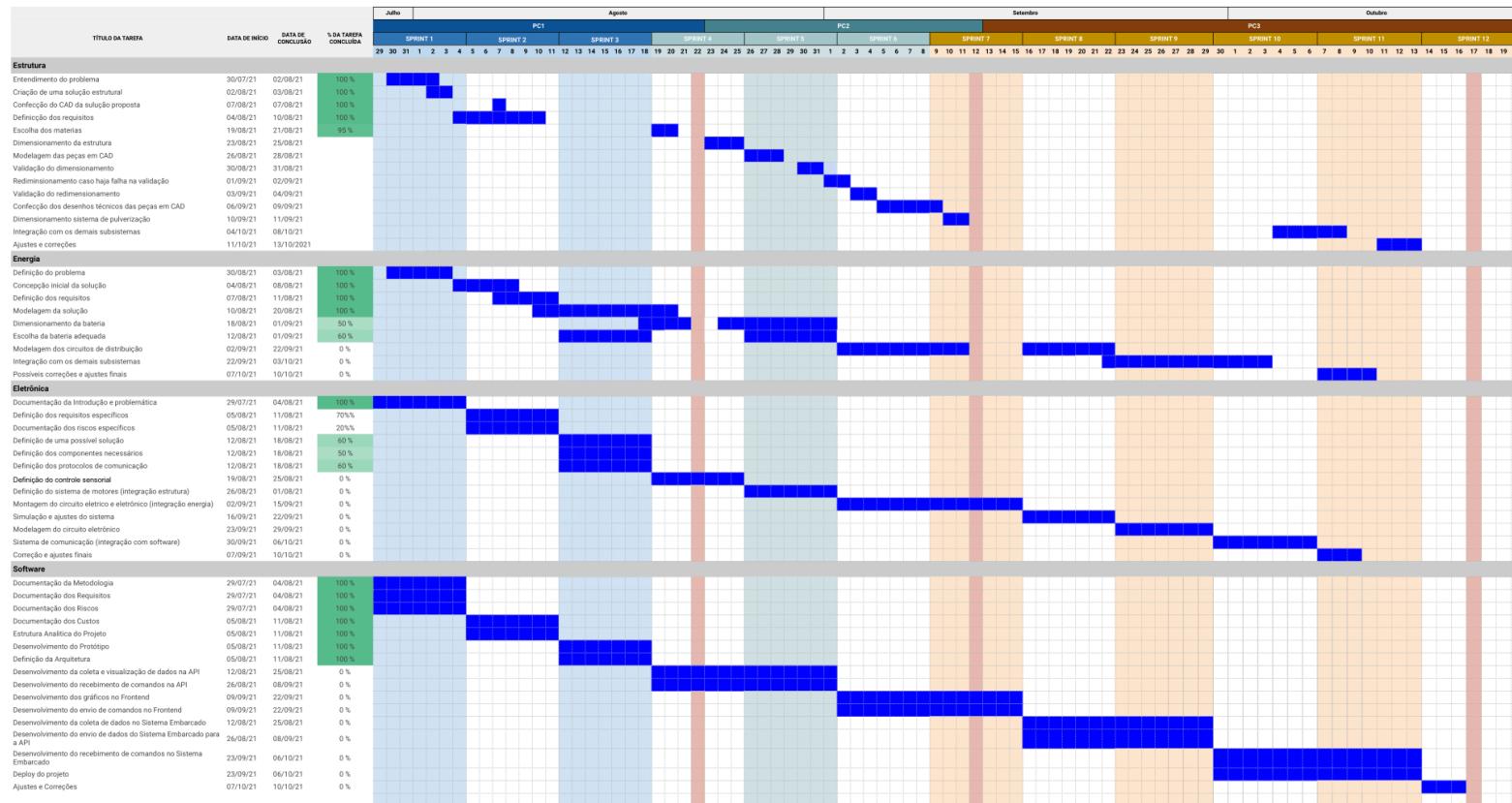


Figura 25 – Cronograma do Projeto
Fonte: Autores.

APÊNDICE F – Identidade visual e protótipos

F.1 Protótipo de baixa fidelidade



Figura 26 – Página Inicial
Fonte: Autores.



Figura 27 – Página de status do veículo

Fonte: Autores.

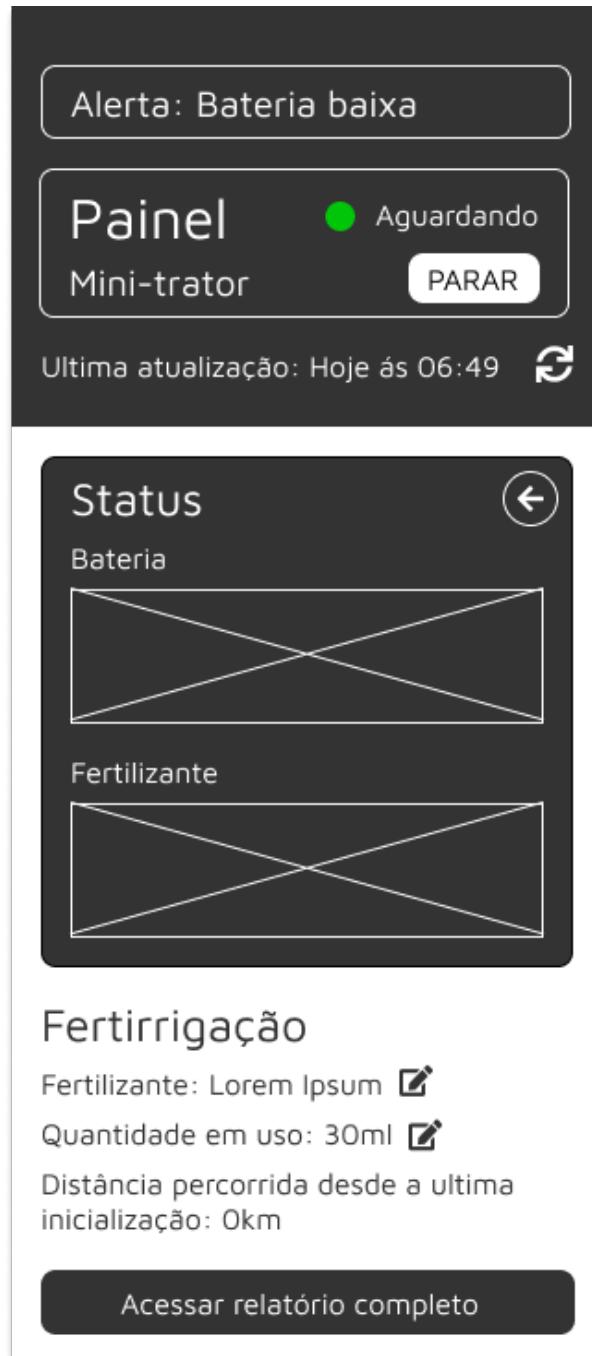


Figura 28 – Página de erro
Fonte: Autores.

F.2 Identidade Visual

A logo foi pensada contendo o conceito principal do projeto: o morango e a pulverização do fertilizante. As folhas do morango foram trocadas pelo ícone de gotas, como se o fertilizante estivesse caindo na fruta.

O nome StrongBerry foi idealizado pelo grupo, de modo a obter morangos mais

fortes após o uso do veículo nas plantações de morango.



Figura 29 – Logo do Projeto
Fonte: Autores.

A identidade visual foi feita com base na forma quadrática de harmonia de cores. A cor principal a ser escolhida foi o hexadecimal semelhante ao morango, e as demais foram escolhidas através de harmonizações quadráticas de cores feitas por softwares avançados.



Figura 30 – Paleta de Cores
Fonte: Autores.

Essas cores são consideradas como bases e devem ser usadas exclusivamente para as fontes da aplicação.



Figura 31 – Paleta básica para fontes
Fonte: Autores.

F.3 Protótipo de Alta Fidelidade

Com base no protótipo de baixa fidelidade F.1 e na identidade visual F.2 foi construído um protótipo de alta fidelidade para ser seguido no frontend da aplicação. O protótipo foi feito seguindo o conceito de mobile first pensando em uma aplicação que tenha uma boa experiência de usuário tanto em smartphones quanto em desktops.

F.3.1 Protótipo para Mobile



Figura 32 – Página de login mobile
Fonte: Autores.

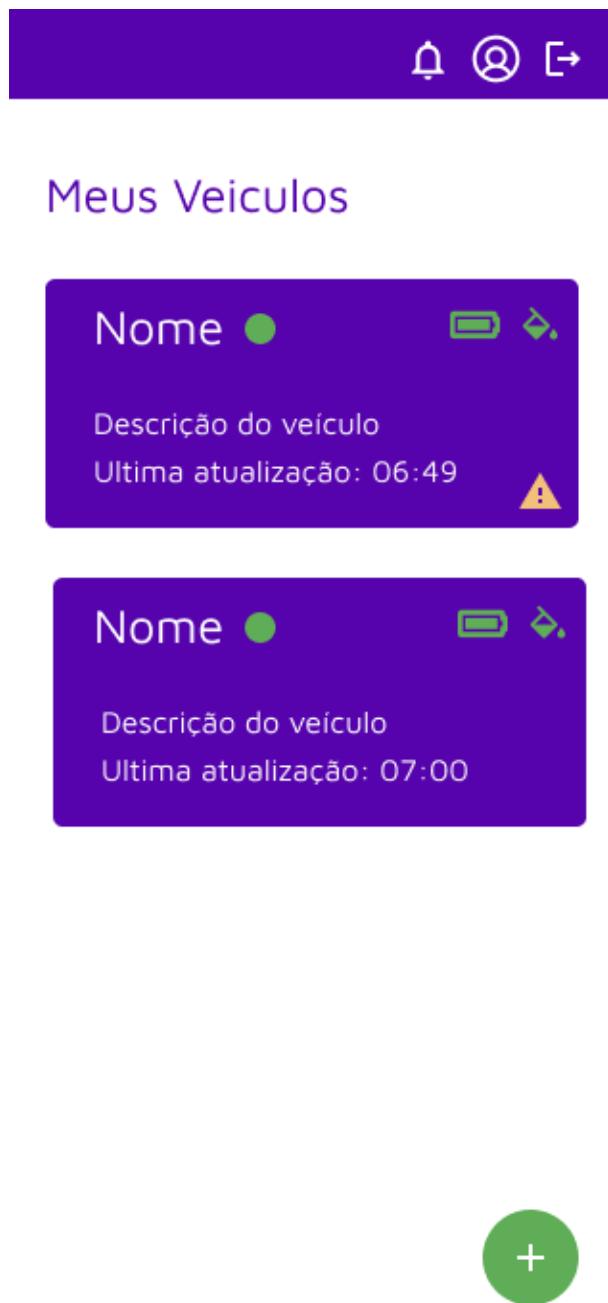


Figura 33 – Página de listagem de veículos mobile
Fonte: Autores.

Código do Produto:

Nome:

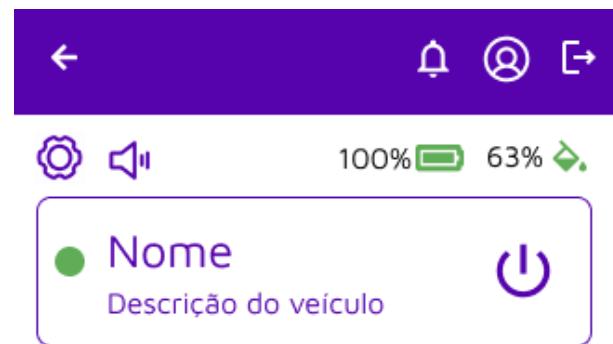
Descrição:

Fertilizante a ser aplicado:

Quantidade de fertilizante por planta:

Cadastrar

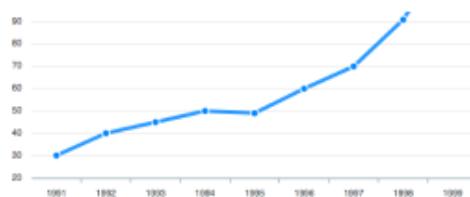
Figura 34 – Página de cadastro de veículos mobile
Fonte: Autores.



Fertilizante: Exemplo

Quantidade de uso por planta: 10ml

Utilização de Bateria



Utilização de Fertilizante

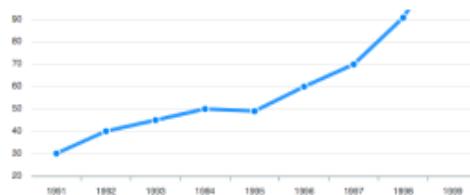
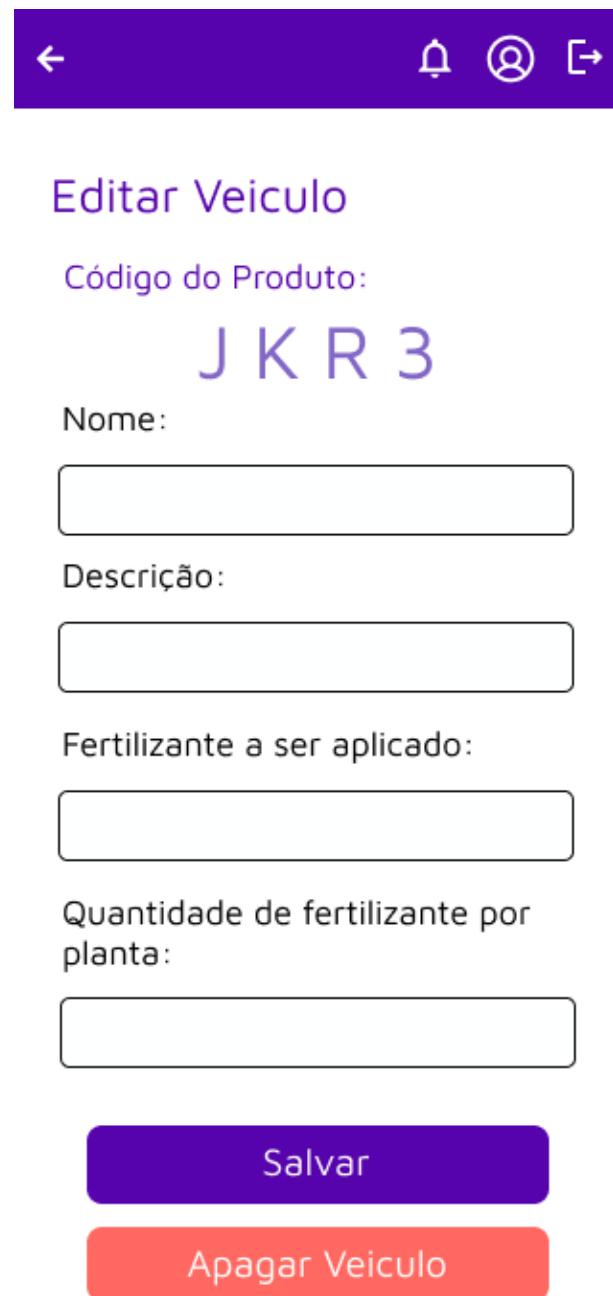


Figura 35 – Página de monitoramento do veículo mobile

Fonte: Autores.



The image shows a mobile application interface for editing a vehicle. At the top is a purple header bar with a back arrow, a bell icon, a user profile icon, and a share icon. Below the header is a title 'Editar Veiculo'. The next section is labeled 'Código do Produto:' followed by the code 'JKR3'. A 'Nome:' label is followed by an empty input field. A 'Descrição:' label is followed by another empty input field. A 'Fertilizante a ser aplicado:' label is followed by a third empty input field. A 'Quantidade de fertilizante por planta:' label is followed by a fourth empty input field. At the bottom are two buttons: a purple 'Salvar' button and a red 'Apagar Veiculo' button.

Figura 36 – Página de editar veículo mobile
Fonte: Autores.



Lista de Alertas

Todos os veiculos ▼



Histórico de Alertas



Figura 37 – Página de alertas mobile
Fonte: Autores.



Figura 38 – Página de recuperar senha mobile
Fonte: Autores.

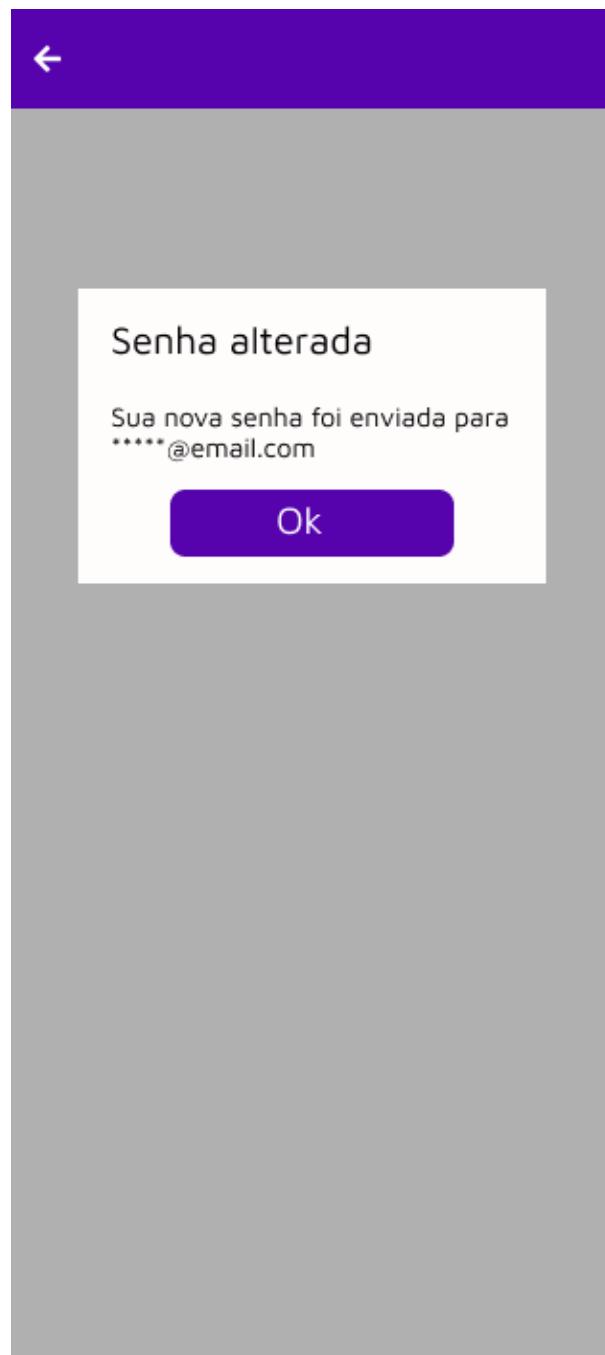


Figura 39 – Alerta de recuperação de senha mobile
Fonte: Autores.

Alterar Senha

Para maior segurança
troque sua senha por uma
nova.

Nova senha:

Repetir senha:

Alterar senha

Figura 40 – Página de alterar senha mobile
Fonte: Autores.

The image shows a mobile application interface for creating a new user. At the top left is a back arrow icon. The title 'Novo Usuário' is centered at the top. Below the title are four input fields: 'Nome' (Name), 'Email', 'Senha' (Password), and 'Repetir a senha' (Repeat Password). Each input field has a corresponding empty rectangular placeholder. At the bottom center is a large blue button labeled 'Cadastrar' (Register).

←

Novo Usuário

Nome:

Email:

Senha:

Repetir a senha

Cadastrar

Figura 41 – Página de criar usuário mobile
Fonte: Autores.



The image shows a mobile application interface for editing a user profile. At the top, there is a purple header bar with three icons: a back arrow, a bell, and a refresh symbol. Below the header, the title "Editar Usuário" is displayed in a large, bold, dark blue font. The main content area is divided into two sections: "Dados Pessoais" (Personal Data) and "Alterar senha" (Change Password).
Dados Pessoais:
Nome:
Email:
Alterar senha:
Nova senha:
Repetir senha:
Buttons:
Actualizar dados (Update data) in the first section.
Alterar senha (Change password) in the second section.

Figura 42 – Página de editar usuário mobile
Fonte: Autores.

F.3.2 Protótipo para Desktop

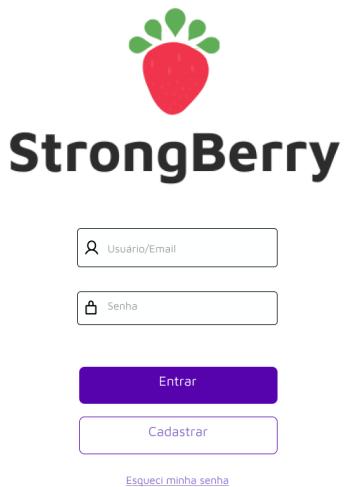


Figura 43 – Página de login Desktop
Fonte: Autores.



Figura 44 – Página de Veículos
Fonte: Autores.

Novo Veiculo

Código do Produto:

Nome:

Descrição:

Fertilizante a ser aplicado:

Quantidade de fertilizante por planta:

Cancelar **Cadastrar**

Figura 45 – Página de Cadastrar Veículos
Fonte: Autores.

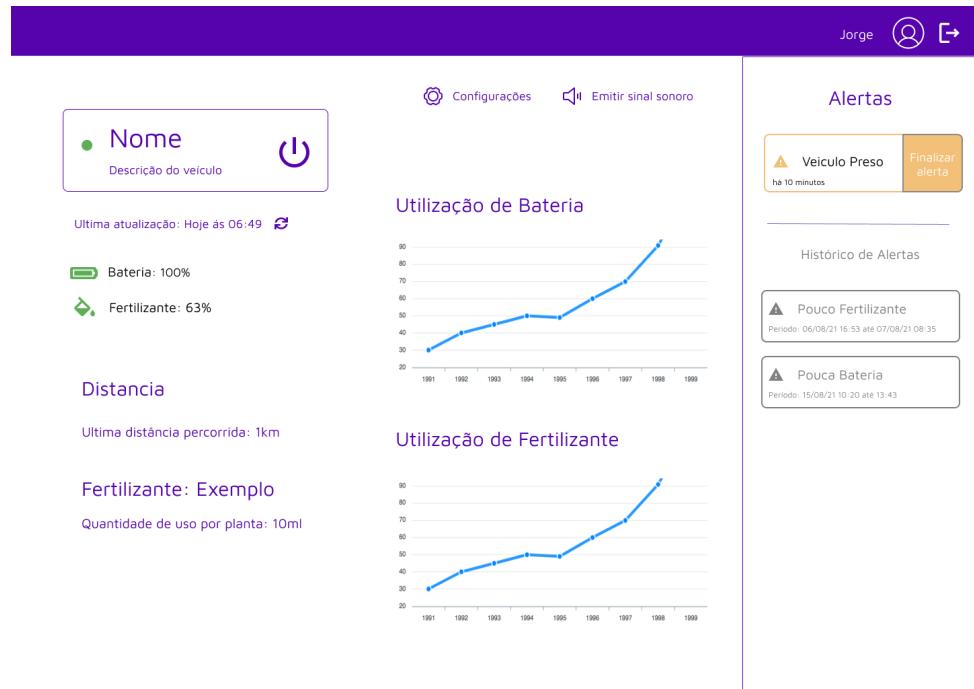


Figura 46 – Página de Veículo
Fonte: Autores.

Editar Veiculo

Código do Produto:
J K R 3

Nome:

Descrição:

Fertilizante a ser aplicado:

Quantidade de fertilizante por planta:

[Apagar Veiculo](#) [Cadastrar](#)

Figura 47 – Página de Editar Veículo
Fonte: Autores.

Recuperar Senha

Email

[Recuperar Senha](#)

Figura 48 – Página de Recuperar Senha
Fonte: Autores.

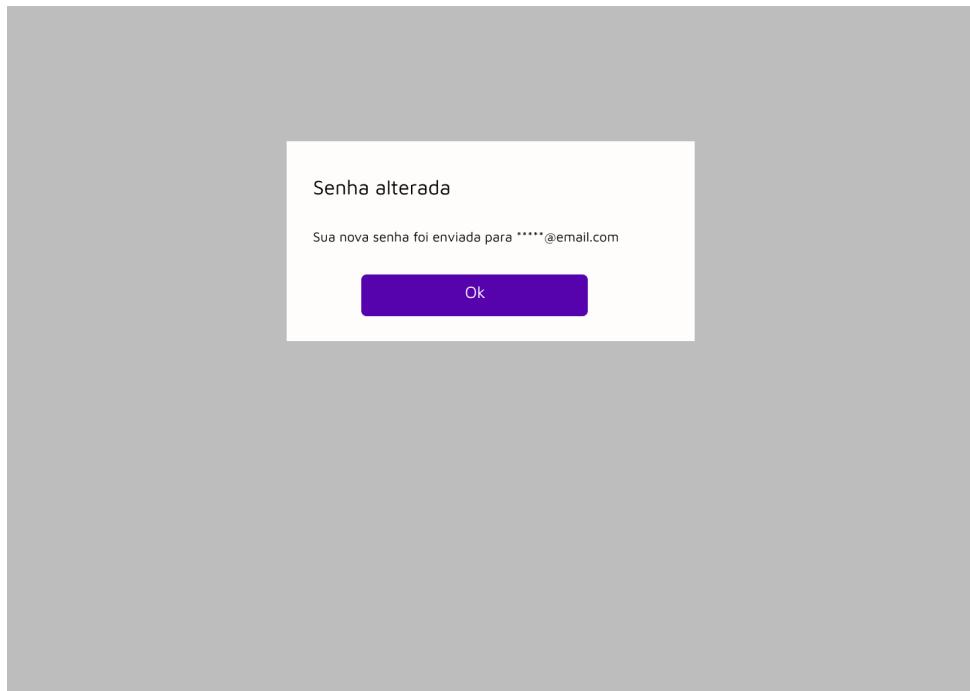


Figura 49 – Alerta de recuperação de senha Desktop
Fonte: Autores.

Alterar Senha

Para maior segurança troque
sua senha por uma nova.

Nova senha:

Repetir senha:

Figura 50 – Página de Alterar Senha Desktop
Fonte: Autores.

Novo Usuário

Nome:

Email:

Senha:

Repetir Senha:

Cadastrar

Figura 51 – Página de Cadastro de Usuário Desktop
Fonte: Autores.



Editar Usuário

Dados Pessoais

Nome:

Email:

Atualizar dados

Alterar senha

Nova senha:

Repetir senha:

Alterar senha

Figura 52 – Página de Editar de Usuário Desktop
Fonte: Autores.

APÊNDICE G – Memorial da Solução de Elétrica

G.1 Central de Controle

G.1.1 Raspberry Pi 3 Model B+

A Raspberry Pi 3 Model B+ é um microcontrolador que apresenta, dentre vários recursos de hardware, um microprocessador de quatro núcleos de 1,4 GHz e 64 bits, 1 GB de memória RAM, assim como Wi-Fi e Bluetooth ([RASPBERRY PI ORG, 2016](#)), destacando-se pelo seu alto poder de processamento quando comparado a outros microcontroladores como Arduino e ESP32. Por meio da instalação de um sistema operacional baseado em Linux, é possível ter acesso a uma vasta gama de linguagens de programação e recursos computacionais que empregam a utilização de uma arquitetura de 64 bits. Com relação às características elétricas, a Raspberry Pi 3 Model B necessita de uma alimentação de 5 V e 2,5 A.

O principal motivo para a escolha da Raspberry Pi para o projeto foi a necessidade de implementar algoritmos de processamento de imagem/vídeo com o objetivo de identificar a presença de mudas de morango abaixo do StrongBerry com o auxílio de uma câmera e, assim, acionar o aspersor apenas na plantação, desligando-o quando não houver mudas para serem fertilizadas. Esses algoritmos são implementados em Python utilizando a biblioteca OpenCV, que é uma biblioteca livre para uso acadêmico e comercial, tendo como foco o desenvolvimento de aplicações para a área de visão computacional ([OPENCV ORG, 2021](#)). Para a utilização dessa biblioteca, foi escolhido o sistema operacional Raspberry Pi OS, que é baseado no Linux Debian, apresentando compatibilidade com várias das mais utilizadas linguagens de programação, tais como Python, C e Java ([RASPBERRY PI ORG, 2016](#)). Outro motivo crucial para a escolha da Raspberry Pi 3 Model B+ é a compatibilidade com os protocolos de comunicação I2C, SPI e USB, assim como a presença de pinos digitais de entrada e saída (GPIO).

Além da conexão da câmera à Raspberry Pi para identificação das mudas de morango, também são conectados outros componentes, como mostra o esquemático presente na Figura 81. Os dados obtidos pelos sensores de temperatura (BMP280) e de fluxo (YF-S201) são transmitidos à ESP32LoRa por meio do protocolo MQTT para serem disponibilizados ao usuário via API. Os motores dos eixos do StrongBerry também estão conectados à Raspberry Pi. Eles são importantes no processo de troca de fileira de plantação, e a comunicação entre os microcontroladores é fundamental nesse processo, o qual

está explicado em detalhes no Apêndice G.4.

G.1.2 ESP32 LoRa

Esse módulo contém o microcontrolador ESP32, mais um transceptor LoRa (Long Range) e um display Oled integrados em uma mesma placa de circuito. LoRa é uma tecnologia de rede de área ampla de baixa potência (LPWAN) que proporciona comunicação a longas distâncias por meio de ondas de rádio, mais especificamente entre as frequências de 868 MHz a 915 MHz.

A ESP32 LoRa foi escolhida para o projeto por conta da sua compatibilidade com os protocolos de comunicação I2C, SPI e UART, assim como a capacidade de comunicação wireless por WiFi e Bluetooth. Além disso, por meio da tecnologia LoRa, é possível transmitir e receber dados a distâncias de até 2,8 km em área aberta, sendo que, dependendo da antena utilizada, essa distância pode ser ainda maior, ultrapassando os 4 km. Também são conectados à ESP32LoRa os sensores de bússola HMC5883L, ultrassom HC-SR04 e transdutor digital de indutância LDC 1101, assim como mostra o esquemático representado na Figura 82. A ESP32LoRa no StrongBerry tem como funções realizar a leitura dos dados dos sensores e enviá-los a um gateway que funciona como um receptor LoRa e, então, essas medições são disponibilizadas em uma API para que o usuário fique informado sobre todo o processo de fertilização. Além dos dados medidos pelos sensores citados, a ESP32LoRa estabelece uma comunicação por protocolo MQTT com a Raspberry Pi para a realização da troca de fileira de plantação e também para receber dados dos sensores de temperatura, fluxo de fertilizante e de nível de bateria.

Por fim, a ESP32LoRa também realiza o controle de velocidade e direção dos motores das rodas do StrongBerry por meio da conexão com drivers. A direção é controlada de forma digital, sendo possível definir o giro dos motores nos sentidos horário e anti-horário, assim como realizar a parada dos motores, e o controle de velocidade é feito por modulação PWM, em que os pulsos digitais são gerados por software. Dessa forma, a ESP32LoRa apresenta como principais funções disponibilizar dados de fertilização ao usuário e realizar o controle de movimento e direção do StrongBerry de forma autônoma com auxílio de sensores.

G.2 Sensoriamento

G.2.1 Transdutor digital de indutância

A detecção por indutância permite identificar a presença de materiais condutores sem necessidade de contato físico por meio de um campo magnético. O funcionamento deste transdutor se inicia quando uma corrente alternada percorre um indutor espiral,

criando um campo magnético AC. No momento em que um objeto condutor se aproxima da região de atuação deste indutor, o campo magnético induz uma corrente circular (Corrente de Foucault) na superfície do objeto, Figura 53.

Essa corrente induzida depende da distância até o objeto, da composição e do tamanho do indutor, e que por sua vez, produz seu próprio campo magnético na superfície do objeto condutor. Esse novo campo magnético se opõe ao campo original, enfraquecendo-o e resultando em uma redução da indutância original do sistema. Desta forma, a perda de indutância pode ser analisada para identificar a presença de um objeto condutor.

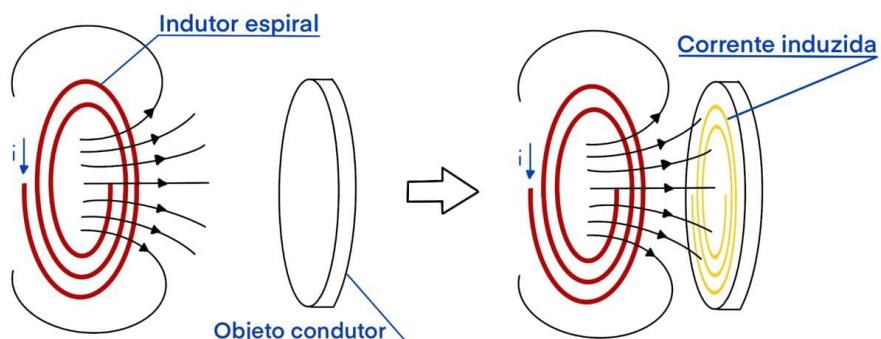


Figura 53 – Campo magnético criado pela espiral circular indutora atuando sobre um objeto indutor na formação de uma corrente induzida.

Fonte: Autores.

Neste projeto existe a necessidade de calcular a distância percorrida pelo veículo com a finalidade de identificar a sua posição dentro da plantação. Para isso, usaremos os transdutores indutivos para detectar a rotação das rodas do veículo e a partir desses dados calcular a distância percorrida.

O transdutor digital escolhido para a aplicação foi o **LDC1101**, que é adequado para aplicações que envolvem contagem de eventos em ambientes com interferências como terra, água, óleo e poeira, sendo muito utilizado na área industrial e automotiva. Suas principais especificações para o projeto são:

- Tensão de operação: 1,8 V a 3,3 V
- Frequência do sensor: 500 kHz a 10 MHz
- Resolução para Indutância: 16 ou 24-Bit
- Corrente em modo ativo: 1,9 mA
- Interface de comunicação: SPI

O circuito integrado **LDC1101** pode ser encontrado em módulos comerciais como o **LDC1101 Click** e **LDC1101EVM** que já incluem o circuito oscilador LC e a espiral indutora para realizar a detecção de objetos magnéticos.

Este transdutor possui duas configurações de operação: detecção axial e contagem de eventos. Para a função empregada neste projeto a configuração de contagem de evento, que consiste na medição de rotações, é a mais adequada. Nela, o sensor LDC mede a variação periódica de indutância gerada por um objeto, como a engrenagem presente no exemplo da Figura 54. Nesta configuração, o cálculo do número de eventos é feito a partir da análise da oscilação da saída do LDC em que cada um dos picos de tensão, resultantes da alteração da indutância no indutor em espiral, indicam a passagem do objeto detectado.

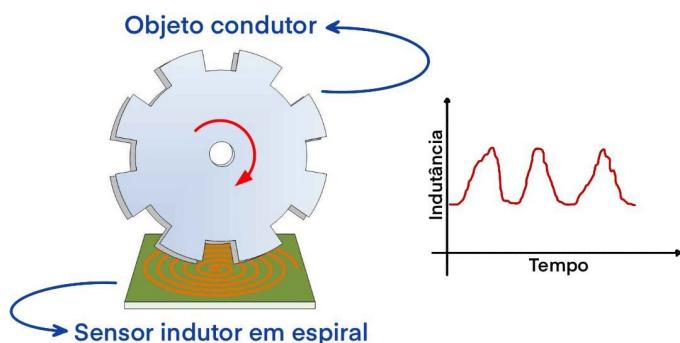


Figura 54 – Exemplo da configuração de contagem de evento com uma engrenagem atuando sobre o sensor indutor em espiral.

Fonte: Autores.

Com o intuito de analisar o comportamento do sensor foram realizados testes usando o módulo de avaliação **LDC1101EVM** conectado a um computador pela entrada micro-usb e executando o software **LDC1101EVM GUI** disponibilizado pela Texas Instruments. Durante os testes foram aproximados em cerca de 2 cm da bobina do transdutor dois objetos condutores, uma garrafa térmica metálica e uma moeda, e os dados obtidos na saída foram transferidos para o MatLab para a análise.

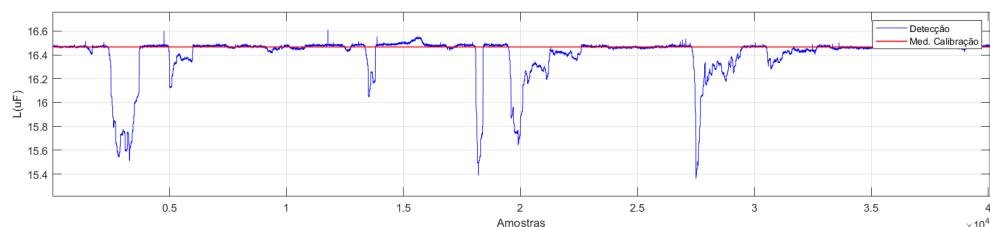


Figura 55 – Análise do comportamento da indutância decorrente da aproximação de objetos condutores.

Fonte: Autores.

Observando o gráfico da Figura 55 podemos identificar o momento em que os objetos foram aproximados assim como distinguir qual a resposta gerada pela garrafa e pela moeda.

Contudo, para o projeto físico será usado o módulo LDC1101 click pois apesar da qualidade do LDC1101EVM ele é um módulo de avaliação. O LDC1101 click faz uso de um indutor de cobre impresso em sua PCI com largura de linha de 0.1 mm, espessura de 1 oz e diâmetro externo de 14 mm.

Para o objeto condutor o seu material deve ter a maior condutividade possível para obter medições de indução otimizadas. Isso se deve porque quando maior a condutividade maior é a corrente de indução e por consequência maior é o campo magnético de oposição gerado, resultando em uma alteração maior na indutância do indutor. O gráfico da Figura 56 fornecido pela Texas Instruments apresenta a resposta do sensor em frequência para diferentes materiais ao se alterar a distância do alvo.

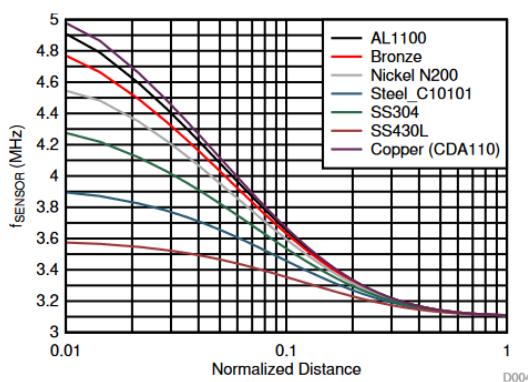


Figura 56 – Comparaçāo da resposta em frequência para diferentes alvos metálicos.

Fonte: [Texas Instruments \(2016\)](#)

Dentre os materiais mais eficazes estão o alumínio, o bronze e o cobre. Contudo, foi selecionada o alumínio, mais especificamente a liga AL6061, devido ser um material de baixo custo, leve, forte e resistente a corrosão. Fatores que são importantes levando em consideração que este material formara um alvo acoplado ao aro da roda do veículo.

Sabendo as características do sensor assim como do alvo, foi usada a planilha Spiral Inductor Design fornecida pela Texas instruments para calcular os parâmetros de indutância e frequência para o sensor posicionado a 2 cm do alvo. Obtendo:

- Indutância total sem alvo: $12,107\mu H$
- Frequência de operação do sensor sem alvo: $2,276MHz$
- Indutância total da interação com o alvo: $12,021\mu H$
- Frequência de operação do sensor com interação do alvo: $2,284MHz$

G.2.2 Sensor Ultrassônico

O sensor ultrassônico usado para determinar a presença e a distância de objetos, é composto por dois transdutores: emissor e receptor. O transdutor emissor converte energia elétrica em um pulso ultrassônico e o transdutor receptor converte energia mecânica em energia elétrica. Seu funcionamento se inicia com a emissão de uma onda mecânica de alta frequência (acima de 20 kHz) pelo emissor e que ao entrar em contato com um objeto ela é refletida, sendo captada posteriormente pelo receptor, como demonstrado na Figura 57, provocando vibrações nos cristais presentes neste receptor que são convertidas em sinais elétricos que podem ser interpretados por um controlador, possibilitando desta forma calcular a distância até o objeto com base no tempo entre a emissão e a recepção da onda.

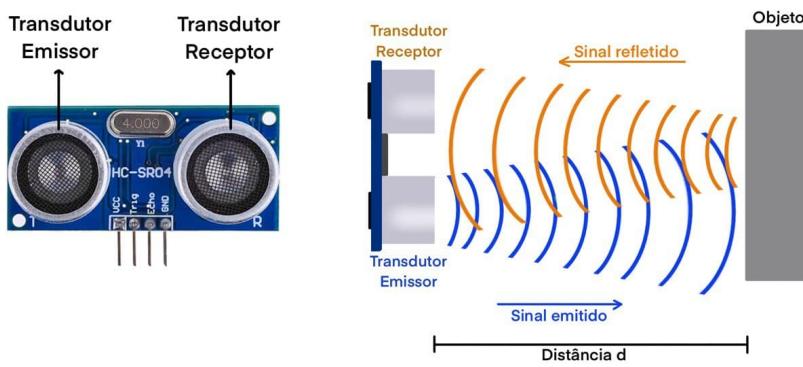


Figura 57 – Ilustração demonstrativa do funcionamento do sensor ultrassônico.

Fonte: Autores.

Quatro sensores ultrassônicos serão usados no total, localizados próximos as rodas do veículo, para medir a sua distância até o canteiro, esses dados serão processados pelo controlador para ajustar a direção e evitar a colisão do veículo. O sensor ultrassônico escolhido para a aplicação foi o **HC-SR04**, que emite ondas ultrassônicas na faixa de 40 kHz, atuando na faixa de 2 cm a 400 cm com um ângulo de abertura de 15°, apresentando uma precisão de 3 mm.

O processo operação do sensor ultrassônico é demonstrado na Figura 58, em que um controlador ao enviar um pulso de 5V por um período de 10 us para a entrada *Trig* do sensor, resulta na ativação do emissor fazendo com que sejam transmitidos 8 pulsos rápidos de 40kHz. O receptor ao detectar a onda refletida eleva a saída *Echo* para 5V por uma duração de tempo proporcional a distância percorrida pela onda.

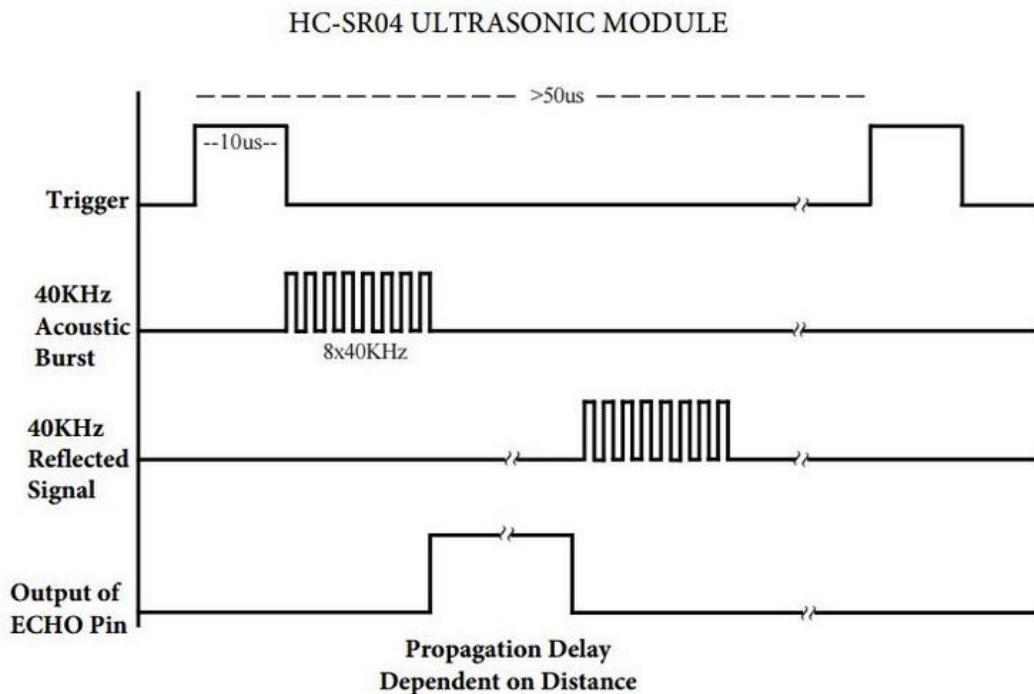


Figura 58 – Diagrama de tempo dos pulsos nas portas *Trig* e *Echo* do sensor ultrassônico.
Fonte: [OSOYOO \(2016\)](#)

Desta forma, para calcular a distância até o objeto devemos analisar a largura do pulso da saída *Echo*, que é equivalente ao tempo entre a emissão e recepção do sinal, e a velocidade do som para o ar, que é aproximadamente 344m/s. Sendo que o tempo registrado pelo sensor é o tempo que a onda levou para percorrer o trajeto de ida e volta até o objeto, logo, para calcular a distância corretamente devemos dividir esse tempo por dois. Resultado na equação a baixo.

$$\text{distância} = \frac{\text{velocidade do som} \times \text{tempo de duração da saída Echo}}{2} \quad (\text{G.1})$$

No entanto, os sensores ultrassônicos apresentam erros em suas medições que variam de acordo com a distância, umidade, absorção mecânica do material e diferenças na fabricação, desta forma podemos considerar a medição como sendo o valor da distância real somado a um erro. Para obter então uma informação precisa dos sensores é necessário traçar o perfil do erro para reduzi-lo. Para isso, [Sousa \(2016\)](#) propôs um algoritmo capaz de compensar os erros, produzindo medidas mais precisas e mitigando o erro cumulativo para o sensor HC-SR04.

O método realizado por [Sousa \(2016\)](#) consiste em aplicar análise estatística na distribuição de uma variável para verificar sua normalidade e criar uma reta de ajuste para as medições. Para isso foi proposto ele propõem a realização de leituras dos sensores HC-SR04 para avaliar e quantificar os valores de frequências e assimetria encontrados no

conjunto de medidas. Os testes realizados foram os de Kurtosis, Skewness e Shapiro-wilk, sendo o seu resultado apresentado na Figura 59.

Distância	Shapiro-Wilk	Kurtosis	Skewness
2 cm	0.539565	2.379	-2
50 cm	0.908902	-0.553	0.35
1 m	0.055131	245.837	-15.71
1,5 m	0.054151	194.743	-14.02
2 m	0.148903	33.467	-5.96
2,5 m	0.092437	71.927	-8.6
3 m	0.079250	94.894	-9.85
3,5 m	0.118296	51.754	-7.31
4m	0.123017	2473.758	-6.93

Figura 59 – Análise de normalidade para o sensor HC-SR04.
Fonte: [Sousa \(2016\)](#).

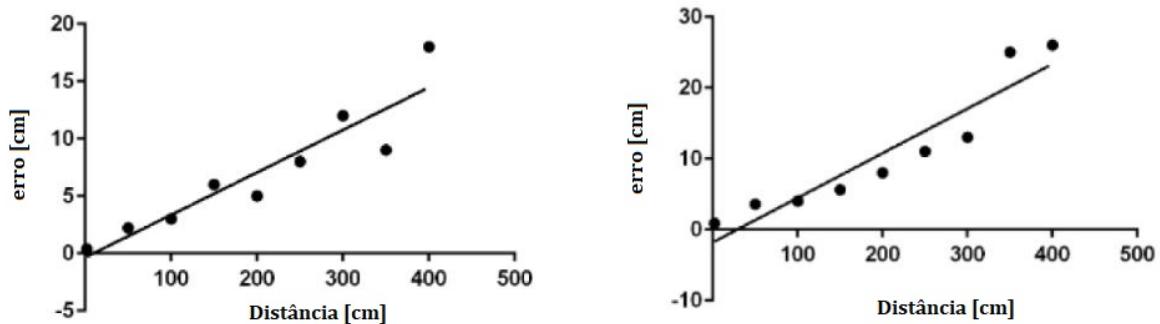


Figura 60 – Gráfico da regressão linear para dois sensores HC-SR04 diferentes.
Fonte: [Sousa \(2016\)](#).

Prosseguindo, é realizada uma regressão linear dos dados obtidos dos sensores para traçar uma curva de ajuste, Figura 60, e foi proposto o algoritmo para correção do erro de leitura do sonar através de calibragem via software e cálculo do erro estimado. A parte do algoritmo responsável pela calibragem do sensor tem como saída os coeficientes da reta **a** e **b** que são responsáveis por oferece uma estimativa para a distância real.

$$\text{distância real} = \frac{\text{distância medida} - a}{1 + b} \quad (\text{G.2})$$

Este método foi reproduzido realizando testes de leitura com o sensor ultrassônico HC-SR02, posicionando-o em frente a uma superfície plana com uma distância de: 2 cm, 10 cm, 50 cm, 100 cm e 150 cm. Apesar da distância máxima de leitura do sensor ser de 400 cm foi escolhido limitar os testes em 150 cm pois a maior distância a ser medida em

nossa aplicação é o espaçamento entre os eixos do veículo que é de 90 cm. A distância entre o sensor e a superfície foi aferida com o uso de uma trena com precisão de 1 mm.

Para cada distância testada foram coletadas 100 leituras pelo sensor. O código usado para a simulação foi disponibilizado pelo site [RASPBERRY PI TUTORIALS \(2016\)](#) e nele foi adicionando um *loop* com contador para armazenar as 100 leituras conforme demonstrado no anexo D. Os resultados foram organizados em gráficos, apresentados na Figura 61, para observar a distribuição das leituras realizadas pelo sensor ultrassônico.

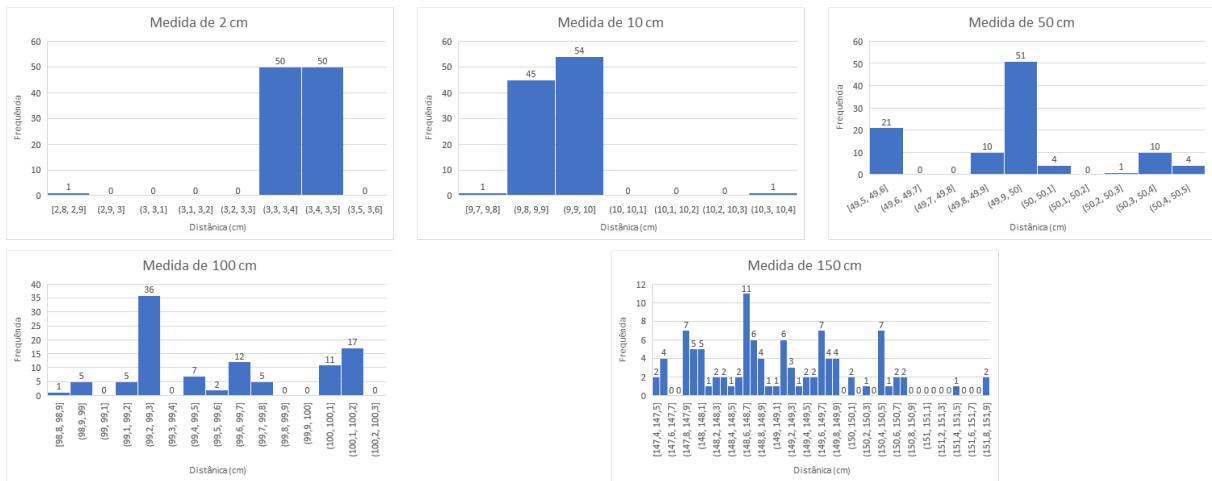


Figura 61 – Resultado da leitura do sensor HC-SR04 para diferentes distâncias
Fonte: Autores.

Analizando os resultados, nota-se que o erro aumenta proporcionalmente com a distância, devido o funcionamento deste dispositivo ser baseado na propagação de uma onda mecânica. Além disso, na menor distância indicada pelo *datasheet* (2 cm) o sensor apresentou uma leitura centralizada em 3 cm, erro que pode ser decorrente do processo de fabricação do componente. Contudo, ao realizar a regressão linear dos resultados, Figura 62, observa-se que as informações obtidas apresentam uma ótima qualidade, tendo em visto que foram retiradas em um ambiente controlado e com as melhores condições possíveis.

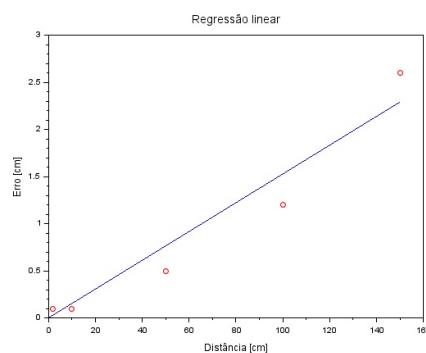


Figura 62 – Gráfico da regressão linear das leituras realizadas pelo sensor HC-SR04.
Fonte: Autores.

Em sequência, os testes foram realizados novamente, mas desta vez usando uma adaptação do código desenvolvido por [Sousa \(2016\)](#), o qual foi transcrito para python e adaptado para execução na raspberry pi. Os resultados obtidos para a grande maioria das faixas de medidas foram próximos aos obtidos anteriormente, mas para a distância mínima de 2 cm, o ajuste de erro foi capaz de reduzir o erro médio de 1,44 cm para 0,43 cm.

Apesar dos resultados similares obtidos pela medição com e sem calibração nos testes realizados em ambiente controlado, sabemos que o sensor estará exposto a condições adversas quando estiver atuando no campo, como por exemplo: a superfície de reflexão da onda mecânica será composta por terra, que apresenta um coeficiente de absorção maior, tendo sua energia dissipada em forma de energia térmica, além de que a o ângulo com que as onda incidem na superfície podem aumentar o erro na leitura, reforçando a necessidade do uso do algoritmo para a calibragem proposto ([COSTA, 2015](#)).

G.2.3 Módulo de bússola Digital

Este módulo tem como função medir a direção e magnitude do campo magnético da Terra e, no projeto, é utilizado para monitorar o sentido dos eixos X, Y e Z do StrongBerry. Essas informações são usadas para monitorar a orientação do veículo, possibilitando realizar ajustes de direção e evitar que ele saia do seu rumo. Ademais, as informações de altitude do eixo Z são monitoradas para evitar que o StrongBerry suba nos canteiros de plantação de morango.

Foi selecionado o módulo com o chip HMC5883L, devido a sua alta acurácia de 1° a 2° e alta taxa de atualização de 160Hz, apresentando também um baixo consumo em modo de medição e amplo alcance de campo magnético de ± 8 Oe, além de ter suporte para auto calibração e interface de comunicação I²C ([HONEYWELL, 2010](#)).

Algumas precauções devem ser tomadas para garantir o funcionamento adequado do módulo, como a correção da declinação magnética do local em que o veículo atuará, pois existem inconsistências entre as marcações da bússola devido a posição astronômica. No caso de Brasília o declínio é de $-21^\circ 54'$. Esse valor sempre deve ser consultado para cada local em que o StrongBerry atuará, pois assim as medições do módulo de bússola serão mais acuradas. Outro cuidado que deve ser tomado é que, devido à sensibilidade do módulo, ele deve ficar distante de metais e dispositivos que produzam campos magnéticos. No caso do StrongBerry, o HMC5883L encontra-se em um suporte separado dos outros componentes eletrônicos e longe de materiais ferromagnéticos.

G.2.4 Sensor de Temperatura

O sensor de temperatura é um sensor passivo que será usado para monitorar a temperatura interna do veículo, mais especificamente da região próxima a bateria de lítio principal. A importância do monitoramento da temperatura das baterias de lítio é destacada por [Belt et al. \(2010\)](#) que afirma que altas temperaturas ocasionam na degradação da performance das baterias, incluindo perda de capacidade e potência. Sendo que, a maior parte dos efeitos da temperatura estão relacionados com as reações químicas nas baterias e aos materiais usados em sua construção.

O aumento da temperatura nas baterias pode ocorrer por conta de fatores internos como a geração de calor associada a alta corrente no processo de transferência de carga e das reações durante o processo de carga e descarga da bateria ou por conta de fatores externos como a temperatura ambiente e a incidência de ondas de calor. ([XIAO; CHOE, 2013](#))

Um dos efeitos da alta temperatura é a aceleração do processo de envelhecimento da bateria que resulta em sua degradação, reduzindo sua performance e seu ciclo de vida. Um experimento realizado por [Ma et al. \(2013\)](#), Figura 63, mostra a perda de capacidade para uma bateria de lítio após realizar ciclos de carga e recarga sob uma temperatura de 75°C.

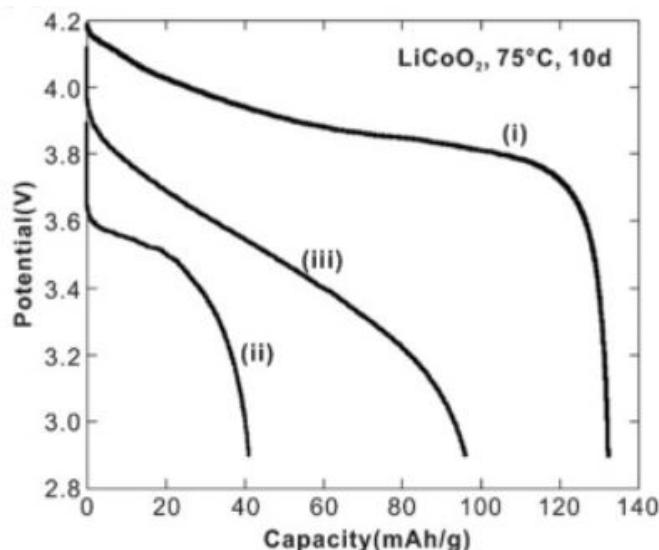


Figura 63 – Curvas da descarga de bateria: (i) após o quinto ciclo antes do envelhecimento, (ii) após o primeiro ciclo depois do envelhecimento e (iii) depois do quinto ciclo após o envelhecimento.

Fonte: [Ma et al. \(2013\)](#).

Contudo, foi constatado por [Ma et al. \(2013\)](#) que a temperatura de operação ideal para a bateria é normalmente limitada a 15-35°C.

Com posse destas informações criou-se a necessidade de aplicar um sensor de temperatura para o monitoramento das baterias. Para a escolha deste sensor o requisito para a aplicação é apresentar uma faixa de medição que contemple 10-75°C. Entre as principais opções no mercado temos o **DTH11**, **HTU21D** e **BMP280**. Dentre optou-se por fazer uso do **BMP280**, devido ao custo-benefício e a disponibilidade.

O **BMP280** é um sensor de temperatura e pressão barométrica, seu uso será feito através do módulo **GY-BMP280**. Para o projeto, não será monitorada a pressão dentro do veículo logo, esta função será desabilitada fazendo com que a medição de temperatura possa ser realizada mais rapidamente e permitindo o uso de diversos modos de sobreamostragem usados para reduzir o ruído e aumentar a precisão.([BOSCH SENSORTEC, 2015](#))

O módulo possui uma faixa de medida de temperatura de -40°C à 85°C com uma precisão de $\pm 1^\circ\text{C}$. Para o seu uso, ele deve ser alimentado com uma tensão de 3,3V e sua operação deve ser feita por um nível lógico de 3,3V. O módulo possui suporte para as interfaces de comunicação SPI e $I^2\text{C}$.

Os testes do sensor foram executados com o auxílio do código disponibilizado pelo site [PIBITS \(2015\)](#). O diagrama da montagem do circuito está apresentado na Figura 64 em que o VDD é ligado a saída de 3,3V e o GND ao terra da raspberry pi, e são usados para a comunicação os pinos serial clock (SCL) e serial data (SDA) deixando os pinos Chip Select (CSB) e Serial Data Output (SDO) desconectados, pois são usados somente para a interface de comunicação SPI.

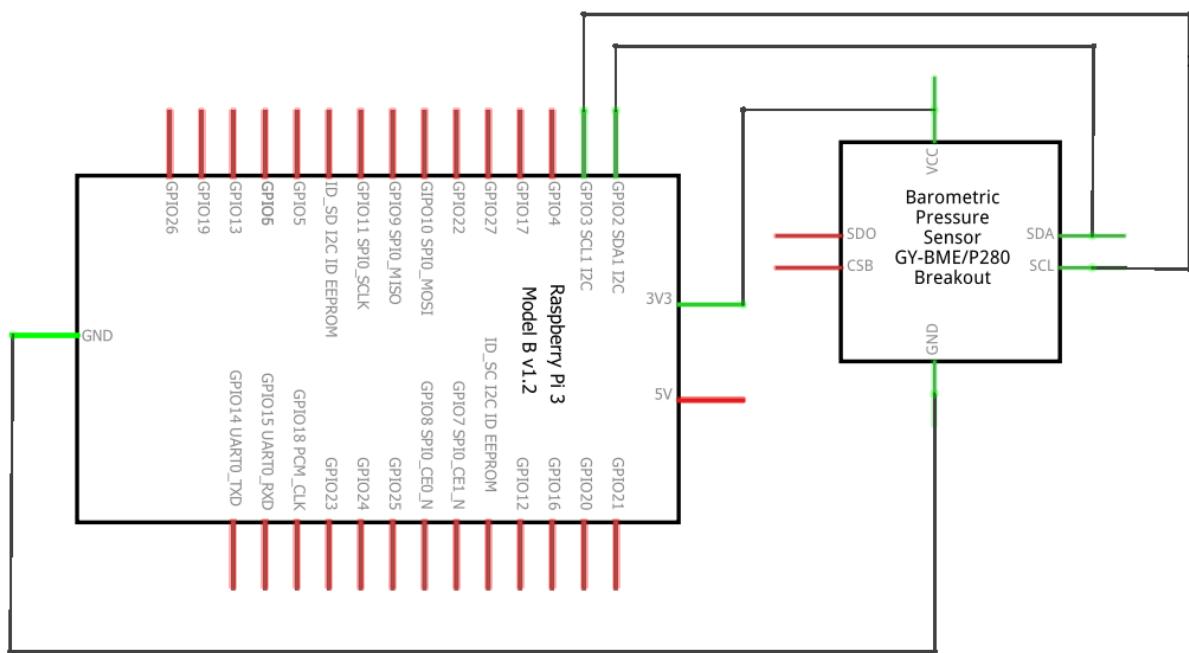


Figura 64 – Diagrama das conexões do circuito de teste para o BMP280.

Fonte: Autores.

As medições obtidas no teste se encontram na faixa de 33,67°C-31,59°C. Para então verificar a acurácia dos resultados, foi usado como base a temperatura indicada por um termômetro de rua o qual indicava 32°C. Dessa forma, o erro aproximado para o sensor foi de $\pm 1,6^{\circ}\text{C}$, valor próximo ao indicado pelo datasheet do componente de $\pm 1^{\circ}\text{C}$.

G.2.5 Medidor de Carga de Bateria

Para todo veículo autônomo é necessário realizar um acompanhamento da carga armazenada em sua bateria para prevenir ocasiões infortunas. Para o StrongBerry ter o conhecimento dessa carga é importante pois, caso esteja no fim deve-se informar o proprietário da localização do veículo em meio a plantação e garantir a segurança dos dados coletados armazenando-os no servidor.

Foi escolhido então o CI **MAX17043G+U** que realiza a medição de cargas para baterias de Li-íon. Ele realiza o monitoramento do estado de carga da bateria ao decorrer do tempo por meio de um algoritmo que simula as dinâmicas internas dentro da bateria. Uma vantagem deste CI é que os cálculos realizados por ele não acumulam erro com o decorrer do tempo, provendo assim medidas acuradas durante todo o ciclo de carga e descarga.

Um recurso disponível pelo medidor de bateria que será usado é o Alerta de Interrupção. Este recurso envia um alerta para o microcontrolador quando o estado da carga

fica a baixo o limiar definido. Quando o alerta é acionado, o CI muda para o nível lógico baixo a saída \overline{ALERT} e muda o bit ALERT no registro CONFIG para 1. Esse recurso pode ser usado então para acionar o Low Power Mode ou o Sleep Mode do sistema.

Para facilitar o uso do CI foi escolhido usar módulo desenvolvido pela SparkFun **TOL-10617 RoHS** que apresenta:

- Tensão de operação: 2.5V a 5V
- Tensão na célula e bateria: 0.3V a 5V
- Temperatura de operação: -40°C a 80°C
- Protocolo de comunicação: I2C

O seu diagrama esquemático pode ser visto na Figura 65.

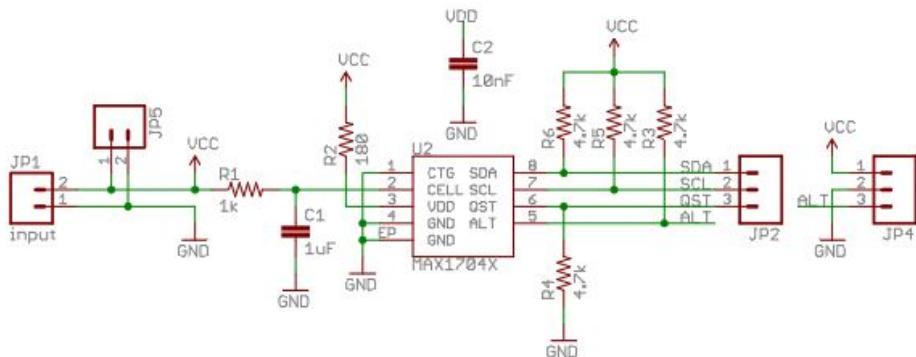


Figura 65 – Diagrama esquemático para o módulo TOL-10617 RoHS.
Fonte: Autores.

G.2.6 Indicador de Nível de Carga

O indicador de bateria é um recurso físico presente na estrutura do veículo para verificação do nível de carga. Foi escolhido o modelo L6133 da GuYu que suporta baterias de chumbo-ácido, lítio e fosfato de ferro de 6V a 67V. Este componente conta também com recursos como luz de fundo para o display, modo de economia de bateria por inatividade e botão touch para operação.

O indicador de bateria não requer um controlador. Para configura-lo, o botão configuração deve ser mantido pressionado até conectar o indicador a bateria. Após conectado, o botão deve ser liberado e em seguida pressionado novamente para selecionar a especificação da bateria: fosfato de ferro (f), lítio (l) ou chumbo (p). Por ultimo, deve-se aguardar a mudança para a próxima seleção e apertar novamente o botão configuração para definir a tensão da bateria, indicada pelo número de series. Para o caso da bateria

de lítio a tensão definida é dada por $V = \text{número de series} * 3.7$. As indicações do display podem ser vistas na Figura 66.

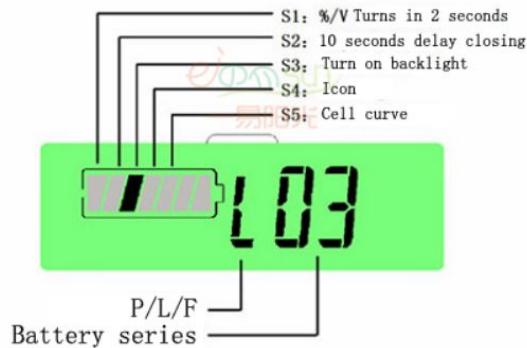


Figura 66 – Descrição dos Ícones presentes no Display LDC.

O StrongBerry terá fixado em sua estrutura dois indicadores de nível de carga, um para bateria primária na configuração: lítio (l) series 03 e um para bateria secundária na configuração: lítio (l) series 02.

G.2.7 Sensor de Fluxo

Dentre os aspectos que definem o Strongberry como um equipamento agrícola de precisão está a capacidade de realizar a aplicação de fertilizantes líquidos em dosagens controladas de forma bem distribuída em cada morangueira. Para realizar a regulagem de quanto fertilizante está sendo aplicado por muda, será usado um sensor de fluxo que, a partir dos dados fornecidos por ele será calculada a vasão, controlado o acionamento dos aspersores conforme necessário.

Para realizar esta função foi escolhido o Sensor de Fluxo **YF-S201**. O seu princípio de funcionamento é demonstrado na Figura 67 na qual é possível observar um envelope plástico contendo uma turbina embutida com ímãs nas extremidades de suas pás e um sensor de hall na cavidade superior. Neste sistema, quando o líquido flui pela tubulação do sensor, fazendo com que a turbina rote, o campo magnético é alterado e essa alteração é detectada pelo sensor de hall que em resposta envia um pulso de onda quadrada em sua saída. (ACOPTEX, 2018)

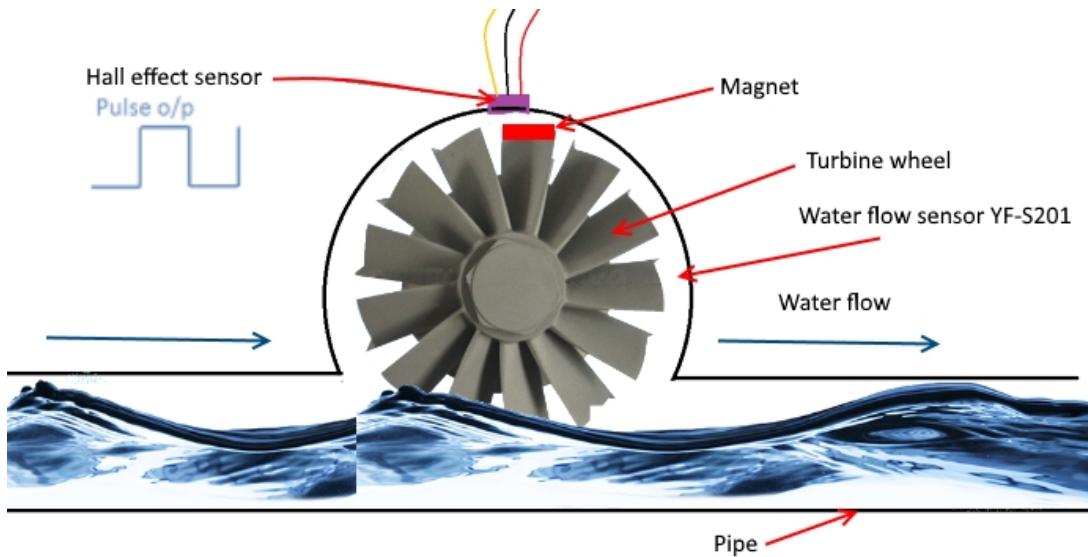


Figura 67 – Mecanismo de medição do sensor de fluxo YF0S201.

Fonte: ([ACOPTEX, 2018](#)).

A taxa de fluxo (volume de fluido por unidade de tempo) pode ser determinada analisando velocidade com que o líquido atravessa a tubulação. Levando em consideração que o sensor de hall envia um pulso a cada rotação e que o volume de líquido fluindo é constante, é possível calcular a taxa de fluxo contanto o número de pulsos. ([SEEDSTUDIO, 2019](#))

$$\text{Taxa de Fluxo (L/min)} \mathbf{Q} = \frac{F}{7,5} \quad (\text{G.3})$$

Em que F corresponde a frequência com que ocorrem os pulsos em Hz.

Além disso, sabendo a taxa de fluxo podemos escrever o volume em litros transportados em função do número de pulsos enviados.

$$\text{Volume(L)} = \frac{Q \times \text{tempo decorrido}}{60} \quad (\text{G.4})$$

$$\text{Volume(L)} = \frac{(F/5,7) \times \text{tempo decorrido}}{60} \quad (\text{G.5})$$

$$\text{Volume(L)} = \frac{\text{Pulsos}}{60 \times 7,5} \quad (\text{G.6})$$

Para testar a acurácia do sensor, foi realizado um experimento ligando-o a uma pia com o uso de uma mangueira e liberando o fluxo de água, o sensor deve ser instalado na vertical com uma inclinação máxima de 5° para obtenção de medidas acuradas ([ENERGY SAVING ELECTRONICS CO, 2017](#)). Na extremidade oposta do da tubulação do sensor foi posicionado um balde com capacidade de 10 L e com o uso de um cronômetro digital

foi medido o tempo necessário para enche-lo. O código usado para realização do teste foi uma adaptação do código disponibilizado pelo site [Raspberry Pi Tutorials \(2017\)](#), anexo Apêndice B, sendo executado por uma Raspberry Pi 3. O esquemático da Figura 68 mostra as conexões realizadas, sendo o cabo vermelho do sensor o VDD e o preto o GND ligados respectivamente a saída de 5V e ao terra do microprocessador e o cabo amarelo que é saída do PWM do sensor foi ligado a GPIO 13 usando um divisor de tensão. O divisor de tensão é necessário devido a saída do sensor ser de aproximadamente 5 V sendo que entrada GPIO suporta tensões até 3,3 V.

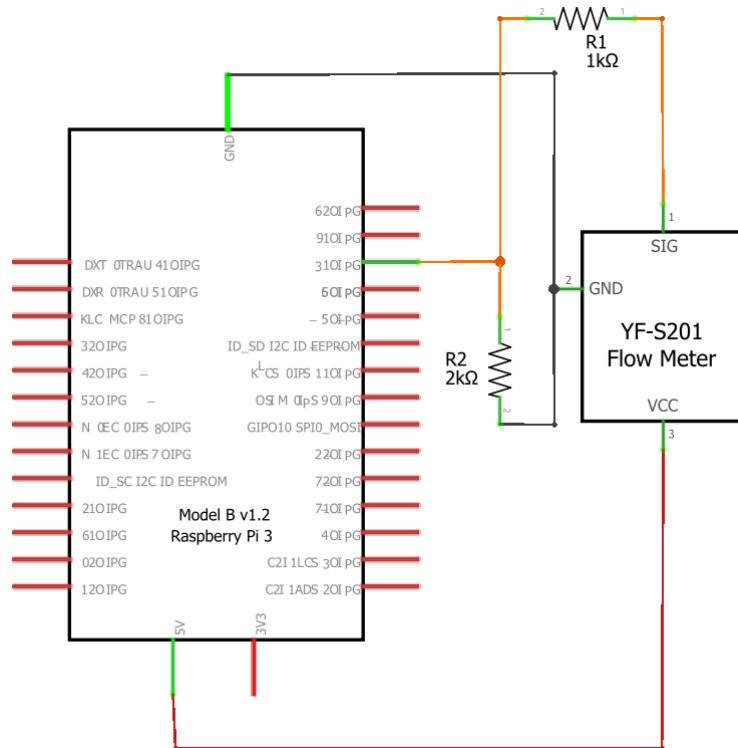


Figura 68 – Diagrama das conexões do circuito de teste para o sensor de fluxo YF-S201.
Fonte: Autores.

Os testes foram repetidos 3 vezes e a tabela abaixo mostra os resultados obtidos pelo sensor e pelo cálculo manual.

Tabela 22 – Dados experimentais sobre o fluxo de água.

Método	Taxa de Fluxo [L/min]	Volume [L]
Sensor	7,133	9,63
Cálculo Manual	7,407	10

Como podemos observar, o sensor apresentou uma boa performance com uma acurácia de 96%. Entretanto, em experimentos similares realizados por [Pereira, Hopp e Wisintainer \(2017\)](#), nos mostram que a acurácia deste sensor possui uma relação direta

com a velocidade do fluxo, atuando melhor com acurácia de 99% em fluxos alto e menor em fluxos baixos 80%. Ademais, como pode ser visto na Figura 69 se somado o fluxo baixo com um volume de líquido pequeno o erro do sensor aumenta drasticamente.

Volume (liters)	Flow kind	Average value read (liters)	Accuracy rate (%)
3	High	3.03	99%
3	Medium	2.92	97%
3	Low	2.05	68%
5	High	5.28	95%
5	Medium	4.90	98%
5	Low	3.76	75%
10	High	9.97	99%
10	Medium	9.43	94%
10	Low	7.97	80%

Figura 69 – Resultados obtidos do experimento usando o sensor de fluxo YF0S201.

Fonte: [Pereira, Hopp e Wisintainer \(2017\)](#).

G.2.8 Câmera

Para a filmagem e identificação das mudas de morango, foi escolhida a webcam GOtech Office HD 720p, pois ela é uma câmera capaz de fornecer imagens em alta definição e pode ser conectada à Raspberry Pi por meio de uma porta USB. A câmera é utilizada para filmar a parte de baixo do StrongBerry e, a partir dessa filmagem, é realizado um processamento de imagem/vídeo em tempo real por meio de um código em Python implementado na Raspberry Pi, o qual utiliza algoritmos da biblioteca OpenCV para segmentação de imagem por cor, que, por sua vez, é de extrema utilidade para a realização da tarefa de identificar mudas de morango.

Há várias formas de realizar segmentação e identificação de objetos em imagem/vídeo, muitas das quais utilizam algoritmos de machine learning ([BORA D. J., 2015](#)), porém, para o projeto, foi escolhida a segmentação por cor, pelo fato de que as mudas de morango podem ser facilmente identificadas pela coloração verde de suas folhas. O processo de segmentação por cor consiste em separar a cor especificada, no caso o verde, das outras cores da imagem, o que torna possível a identificação das mudas de morango. Porém, as imagens providas pela câmera estão no espaço de cor RGB (Red Green Blue), que, pela forma em que as cores são representadas, não é adequado para a realização da segmentação por cor. Dessa forma, é de suma importância a escolha de um espaço de cor mais apropriado.

No caso, foi escolhido o espaço de cor HSV (Hue Saturation Value), no qual a imagem é representada segundo informações de matiz, saturação e brilho. A partir do

cilindro presente na Figura 70, é possível entender melhor como esse tipo de representação de cores funciona. A matiz (Hue) representa as cores e seus valores variam de 0 a 360° , onde o vermelho está em $0/360^\circ$, o verde está em 120° e o azul está em 240° . Entre esses valores, há as variações e misturas de cores. Por outro lado, a saturação (Saturation) representa o quanto pura a cor é representada, variando de 0 a 100%. Quanto maior o valor de saturação, a cor (especificada pela matiz) se apresentará mais viva. Por fim, o brilho (Value) também varia de 0 a 100% e pode ser entendido como a intensidade de luz (brilho) iluminando a cor (BORA D. J., 2015).

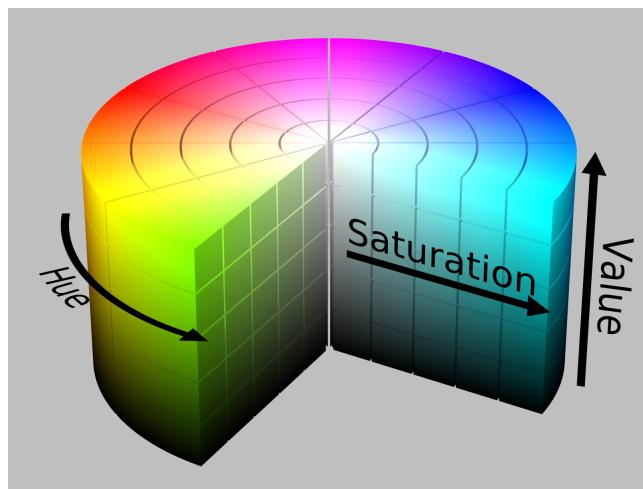


Figura 70 – Cilindro de representação de cores HSV.

Fonte: [Wikipedia \(2015\)](#).

O código para detecção de mudas de morango está presente no repositório de sistemas embarcados (vide Apêndice R), em que, resumidamente, as imagens da câmera são transformadas de RGB para HSV, então são extraídas as partes da imagem que estão dentro dos valores limites HSV correspondentes ao verde, sendo que os valores limites utilizados foram (25, 52, 72) e (102, 255, 255). É importante notar que, para a biblioteca OpenCV, os valores de matiz, saturação e brilho estão em intervalos diferentes dos citados anteriormente, sendo eles, de 0 a 179 para matiz e de 0 a 255 para saturação e brilho. Depois dessa extração, a imagem resultante é dilatada para que as partes verdes se agrupem em um mesmo espaço e, caso a imagem apresente um número de pixels verdes acima de 10% do total de pixels da imagem, a Raspberry Pi envia uma tensão de açãoamento ao módulo relé, o qual abre a válvula solenoide para realização da fertilização das mudas de morango. Esse valor de 10% foi escolhido de forma a evitar detecção de falsos pixels verdes ao longo da execução do código, os quais podem aparecer de forma escassa.

G.3 Sistemas de Atuadores

G.3.1 Motor DC MB24012

Para tração do StrongBerry, são utilizados 4 motores DC MB24012, sendo 1 para cada roda, como descrito anteriormente. Para a definição do motor, levamos em conta o peso total estimado do veículo de 90 kg, o diâmetro da roda de 0,402 m, a velocidade máxima que o veículo deve atingir de 0,5 m/s.

Começamos definindo o perímetro:

$$\text{perímetro} = \pi \times \text{DiâmetroRoda} \Rightarrow \pi \times 0,402 \quad (\text{G.7})$$

$$\text{perímetro} = 1,26m \quad (\text{G.8})$$

Com o perímetro e a velocidade que o veículo deve atingir, podemos definir as rotações por minuto que o motor deve ser capaz de fornecer.

$$RPM = \frac{\text{Velocidade}}{\text{Perímetro}} \Rightarrow \frac{0,5}{1,26} \times 60 \quad (\text{G.9})$$

$$RPM = 23,81 \quad (\text{G.10})$$

Outra informação importante a definição do nosso motor é o torque, considerando que a velocidade do nosso veículo seja muito baixa, é preciso um motor que contenha um torque bastante alto para realizar o seu movimento. Para isso calculamos a força necessária como visto na equação:

$$F = \frac{\text{Massa} \times \text{Velocidade}}{\Delta \text{Tempo}} \Rightarrow \frac{90 \times 0,5}{1} \quad (\text{G.11})$$

$$F = 45N \quad (\text{G.12})$$

Com a força calculada, é possível dimensionar o torque necessário para o motor, conforme a equação:

$$Torque = Força \times RaioRoda \Rightarrow 45 \times \frac{0,402}{2} \quad (\text{G.13})$$

$$Torque = 9,045Nm \quad (\text{G.14})$$

Com isto, identificamos a necessidade de um motor com torque de 9,045 Nm que fornecesse um RPM de no mínimo 23,81.

Com as especificações definidas, optamos pelo motor DC de modelo MB24012, conforme descrito anteriormente, que possui:

- Tensão: 12 V DC;
- 40 RPM;
- Corrente (nominal): 4 A;
- Corrente (Máxima): 10 A;
- torque (nominal): 6 Nm;
- Torque (Máximo): 35 Nm;

G.3.2 Motor com Caixa de redução ROBOCORE-1228

O StrongBerry contará com 4 motores com caixa de redução do modelo ROBOCORE-1228, um em caixa da eixo, para realização da rotação em 90° das rodas.

Para definir as especificações deste motor, consideramos a massa do braço que ele deverá mover de 15 kg, o RPM calculado anteriormente de 23,81 e o raio da roda de 0,201 m, assim como anteriormente. A partir destas informações, podemos então encontrar a frequência, sendo ela:

$$Freq = \frac{RPM}{60s} \Rightarrow Freq = 0,40Hz \quad (G.15)$$

Com a frequência, podemos achar a velocidade angular conforme a equação:

$$\omega = 2 \times \pi \times Freq \Rightarrow 2 \times \pi \times 0,40Hz \quad (G.16)$$

$$\omega = 2,5132rad/s \quad (G.17)$$

Com isso, podemos calcular o torque necessário para rotacionar o braço, sendo ele:

$$Torque = Massa \times Raio \times Aceleração \Rightarrow 15 \times 0,201 \times 0,5 \quad (G.18)$$

$$Torque = 1,50Nm \quad (G.19)$$

Através das especificações descritas, definimos a escolha do motor DC com caixa de redução ROBOCORE-1228, que possui as características:

- Tensão: 12 V;
- 1600 RPM;
- Corrente (Máxima Eficiência): 1,76 A
- Corrente (stall): 14 A;
- Torque (máxima eficiência): 1,2 kgf.cm
- Torque (Stall): 6,8 kgf.cm
- Potência (Máxima eficiência): 16,5 W

Com uma redução leve, compacta e versátil, o motor se adapta facilmente a projetos de alta precisão, com torque máximo de saída de 85 kgf.cm por conta de sua caixa de redução.

G.3.3 Drivers de controle de velocidade PWM

Com o objetivo de realizar o controle de direção e velocidade dos motores das rodas e dos eixos do StrongBerry, foi escolhido o driver VNH2SP30. De acordo com o Datasheet do fabricante ([STMICROELECTRONICS, 2008](#)), esse driver funciona com tensões de 5,5 V a 16 V, com uma corrente máxima de até 30 A, sendo capaz de fornecer 14 A de forma contínua. O driver ainda disponibiliza proteção contra sobreaquecimento, sobretensão e subtensão. Mais especificamente, será utilizada a placa de circuito SparkFun Monster Moto Shield, que contém 2 drivers VNH2SP30 e, assim, é possível controlar até 2 motores DC com a mesma placa de circuito. O controle de direção é feito por nível lógico pelos pinos CW1, CW2, CCW1 e CCW2, sendo 5 V o nível lógico alto. Os pinos CW1 e CW2, quando ativos, fazem os motores 1 e 2 girarem no sentido horário; os pinos CCW1 e CCW2, por outro lado, fazem os motores 1 e 2 girarem no sentido anti-horário. Quando ambos os pinos CW1 e CCW1 estão ativos ou em nível lógico baixo, o motor 1 para de girar, e o mesmo ocorre com os pinos CW2 e CCW2. A Tabela 23 resume esse funcionamento. Já o controle de velocidade é feito nos pinos PWM1 e PWM2 para os motores 1 e 2 por modulação PWM, em que a velocidade de rotação do motor é proporcional ao ciclo de trabalho do PWM.

Tabela 23 – Tabela verdade do controle da direção de giro do motor pelo driver VNH2SP30

CW	CCW	Giro do motor
0	0	Motor parado
0	1	Sentido anti-horário
1	0	Sentido horário
1	1	Motor parado

São conectados dois Monster Moto Shield na ESP32LoRa para controle dos quatro motores das rodas e outros dois na Raspberry Pi 3B para controle dos quatro motores dos eixos. Todos os sinais de controle são disponibilizados pelos pinos dos microcontroladores por meio de programação, ou seja, todo o controle de direção e velocidade dos motores é realizado de forma autônoma pelos microcontroladores. Como a tensão de saída dos pinos da ESP32LoRa e da Raspberry Pi 3B é de 3,3 V, fez-se necessário o uso do conversor de nível lógico TXS0108E, o qual é responsável por converter a tensão dos pinos de 3,3 V para 5 V. Os quatro Monster Moto Shield são conectados a uma bateria de 12 V, a qual é capaz de fornecer a potência necessária para os motores.

É importante destacar que os motores das rodas laterais do StrongBerry devem ser conectados a um mesmo driver, ou seja, os dois motores das rodas da esquerda devem ser conectados a um driver e os dois motores das rodas da direita são conectados ao outro driver. Isso deve ser seguido por conta dos possíveis ajustes de direção que podem ser realizados ao longo de uma fileira de plantação. Esses ajustes são feitos diminuindo o ciclo de trabalho do PWM de dois motores laterais e mantendo o mesmo ciclo de trabalho para os outros dois motores. Com relação aos motores dos eixos, eles não precisam ser conectados de uma maneira específica, já que todos vão funcionar da mesma maneira para girar os eixos do StrongBerry em 90° e possibilitar a sua translação para outra fileira de plantação. No Apêndice G.4 encontra-se uma explicação mais detalhada sobre o funcionamento do sistema de direção do StrongBerry.

Para a simulação do controle de velocidade PWM, utilizamos a montagem utilizando o software da Mathworks, o Simulink, onde foi possível colocar a tensão de entrada, e um vetor de velocidades, ao longo de um tempo sugerido, analisando o comportamento do controle de velocidade desejada e medido pelo sensor da simulação. A montagem realizada pode ser verificada na Figura 71.

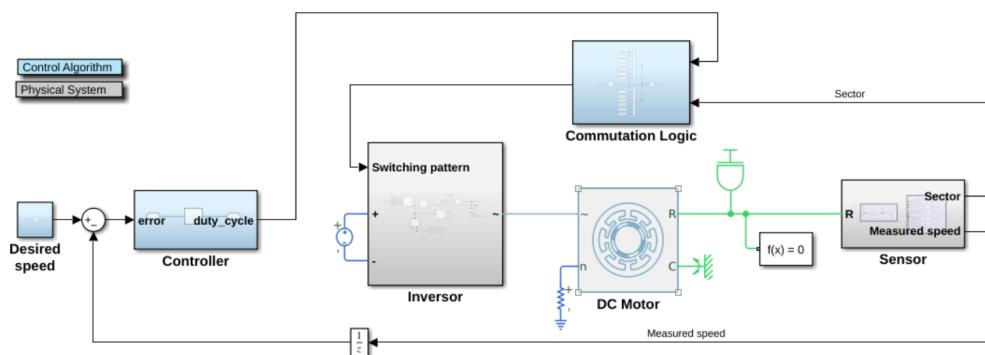


Figura 71 – Modelo da simulação do PWM
Fonte: Autores.

neste modelo, podemos escolher um vetor das velocidades desejadas no bloco "Desired speed". O bloco Controller, produz uma saída do ciclos digitais que serão vistos na

simulação, este envia o sinal do clock para o bloco "Communication Logic", que seleciona, através da combinação lógica deste vetor, o sinal que será enviado para o bloco "Inversor". Este bloco é responsável por simular a estrutura do controlador de velocidade, realizado com Mosfet's, envia o sinal da velocidade e direção de rotação do motor DC, por fim, o bloco Sensor representa a velocidade de rotação mensurada pelo motor DC. O resultado da simulação do sinal de PWM com o inversor de três fases, e da velocidade desejada podem ser percebidas pelas Figuras 72 e 73 respectivamente.

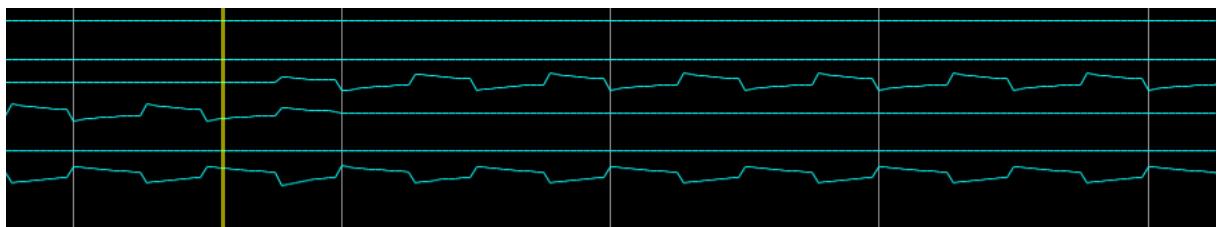


Figura 72 – Sinal de Saída do PWM.
Fonte: Autores.

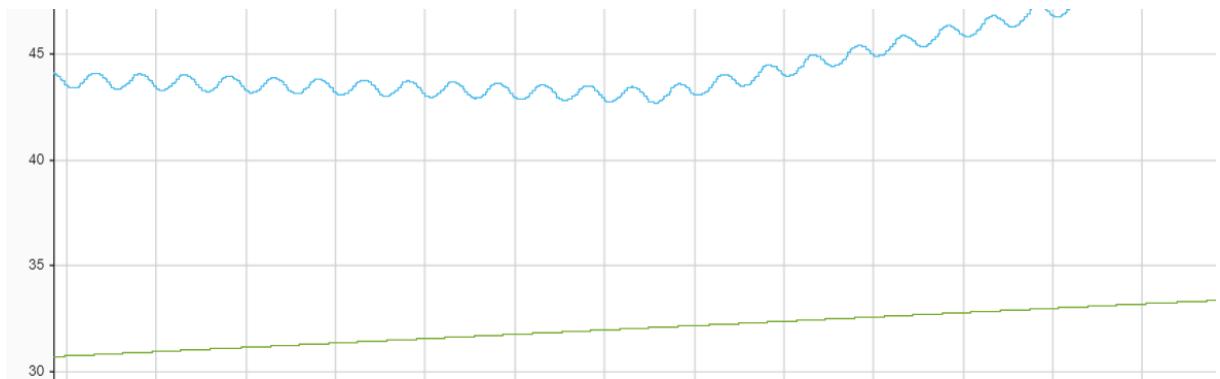


Figura 73 – Modelo da simulação da velocidade desejada e mensurada.
Fonte: Autores.

Como podemos perceber pela simulação, a velocidade mensurada, foi relativamente menor que a velocidade desejada, embora ambas apresentem o mesmo comportamento de aumentar, conforme a tensão aumenta ou diminui.

G.3.4 Válvula Solenoide

Pertencente ao sistema de fertirrigação, a válvula solenoide será usada para realizar o controle do fluxo de fluidos para os aspersores. A válvula solenoide escolhida para aplicação tem como especificação:

- Tensão de operação: 12V DC;

- Potência nominal de 5W;
- Tamanho da rosca de 1/2 Polegadas;
- Pressão de 0.02 a 0.8 Mpa;
- Temperatura do fluido de 0 a 100 graus Celsius;

A válvula Solenoide foi escolhida principalmente por ser normalmente fechada, ou seja, caso haja perda ou falta de energia o sistema se manterá fechado, impedindo a passagem do fluido, contendo uma rosca de meia polegada, o que é ideal para liberação de pequenas quantidades de fluido que deverá abrir e fechar rapidamente. Sendo bastante utilizado para sistemas de fertirrigação utilizando microcontroladores, como é o caso do projeto StrongBerry.

A válvula solenoide também conta com um bom controle do fluxo de líquido, dependendo da quantidade de líquido e pressão exercida:

- Sobre 0.02Mpa > 2 l/min;
- Sobre 0.10Mpa > 10 l/min;
- Sobre 0.30Mpa > 16 l/min;
- Sobre 0.80Mpa > 28 l/min;

Contudo, o controle realizado pelo microcontrolador é por meio de portas I/O com um limite de tensão de aproximadamente 3V, insuficiente para operar a válvula solenoide. Logo, optou-se pelo uso de um relé com tensão de operação de 3 V conectado a bateria principal para realizar a ativação do sistema. Dessa forma o StrongBerry pode controlar a saída de fluxo de forma rápida evitando o desperdício de fertilizante e aplicando somente nas áreas necessárias.

G.4 Dinâmica de Operação

As operações realizadas pelo StrongBerry podem ser divididas em três sistemas: Direção, Aspersão e Comunicação.

G.4.1 Sistema de Direção

O Sistema de Direção do StrongBerry é composto por oito motores, sendo quatro das rodas e quatro dos eixos, quatro drivers para controle dos motores, quatro sensores ultrassônicos, quatro sensores de transcondutância e um sensor de bússola. Para explicar

o funcionamento do Sistema de Direção do StrongBerry, ele foi dividido em etapas, em que cada etapa apresenta seu respectivo fluxograma de forma a exibir o comportamento tomado pelo StrongBerry durante todo o processo de fertilização da plantação de morango.

- **Etapa 1**



Figura 74 – Etapa 1 do sistema de direção do StrongBerry

Fonte: Autores.

O StrongBerry é ligado pelos botões presentes na lateral do veículo e, nesse momento, tanto os motores das rodas quanto os motores dos eixos estão parados. Então, as informações de número, tamanho e espaçamento entre as fileiras, que estão programadas no software do StrongBerry, são enviadas ao veículo. Quando o StrongBerry recebe as informações enviadas pelo Gateway, os motores das rodas começam a girar de forma a impulsioná-lo a seguir em frente, onde está localizada a primeira fileira de plantação.

- **Etapa 2**

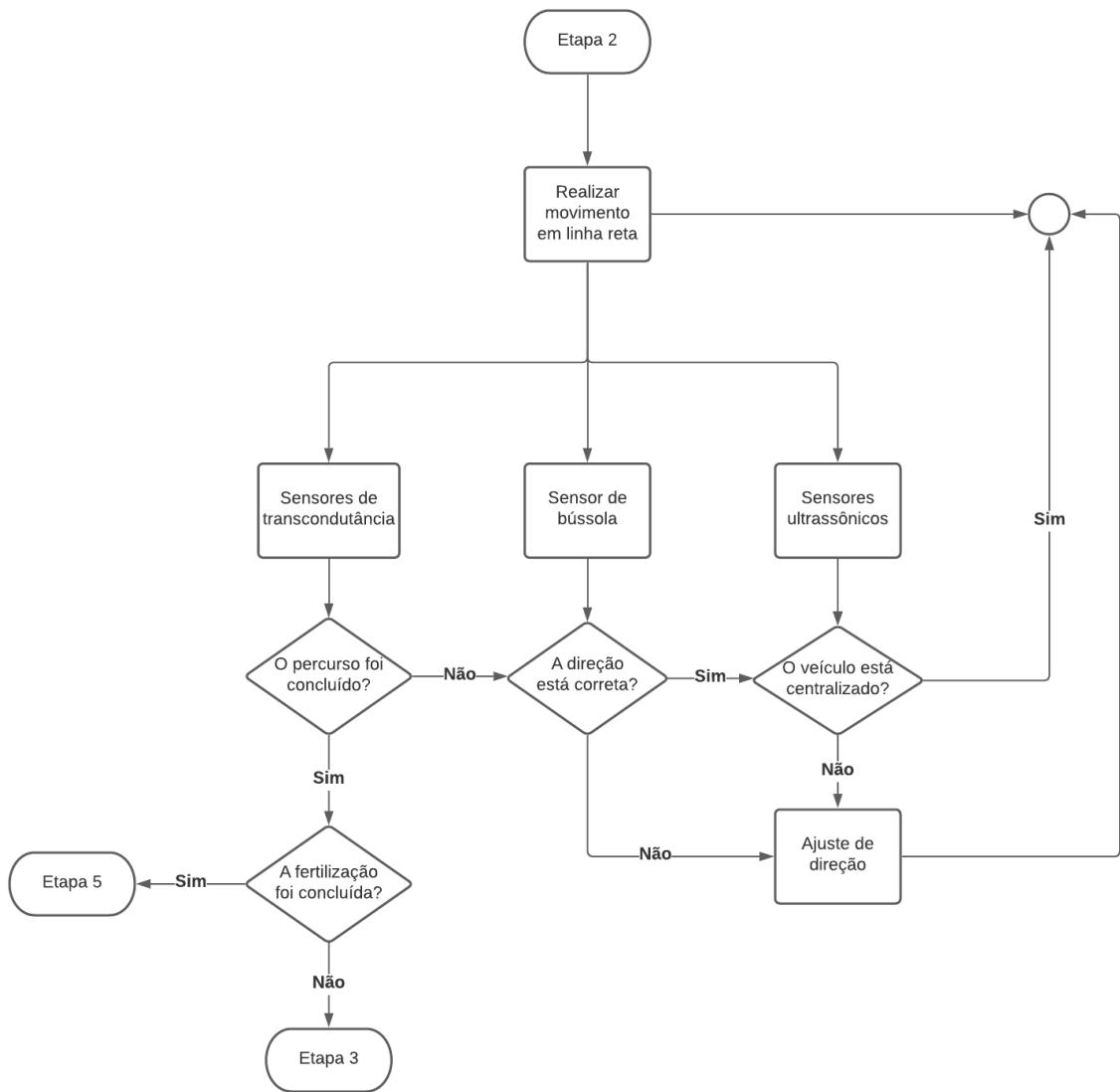


Figura 75 – Etapa 2 do sistema de direção do StrongBerry

Fonte: Autores.

O StrongBerry anda em linha reta por cima da fileira de plantação. Nesse trajeto, o sensor de bússola verifica se a direção do veículo está correta e os sensores ultrassônicos verificam se a distância entre o StrongBerry e a fileira de plantação é segura. Caso seja necessário, através da leitura dos sensores, o StrongBerry realiza ajustes na direção ao diminuir a velocidade de duas rodas laterais e manter as outras rodas na velocidade padrão. Em casos de emergência, quando as rodas não tracionam o veículo ou quando o mesmo está prestes a colidir com a fileira de plantação, todos os motores são inativados e o veículo emite um alarme sonoro avisando ao usuário que ele deve desligar o StrongBerry e retirá-lo do canteiro. Durante todo o trajeto, os sensores de transcondutância medem a distância percorrida pelo número de giros das rodas. O trajeto com os ajustes continua até a distância total da fileira de plantação do StrongBerry ser atingida. Caso essa seja a última fileira a ser fertilizada, o processo pula para a Etapa 5.

- **Etapa 3**



Figura 76 – Etapa 3 do sistema de direção do StrongBerry

Fonte: Autores.

Quando a distância final é atingida, os motores das rodas param e os motores dos eixos giram os braços do StrongBerry em 90°. Quando essa rotação é concluída, os motores das rodas impulsionam o StrongBerry para frente, e o veículo anda de lado em direção à próxima fileira de plantação. Nesse trajeto, os sensores de transcondutância medem a distância percorrida, e o trajeto continua até a distância entre duas fileiras de plantação ser atingida.

- **Etapa 4**



Figura 77 – Etapa 4 do sistema de direção do StrongBerry
Fonte: Autores.

Quando o StrongBerry se locomove até a outra fileira de plantação, os motores das rodas param e os motores dos eixos giram os braços do StrongBerry em 90° no sentido inverso ao inicial, de forma a direcionar as rodas novamente para frente. Quando a rotação é concluída, a fileira de plantação encontra-se atrás do StrongBerry e, assim, os motores das rodas o impulsionam para trás, em direção à fileira de plantação. Então, a Etapa 2 se repete.

- **Etapa 5**



Figura 78 – Etapa 5 do sistema de direção do StrongBerry
Fonte: Autores.

Por fim, quando a última fileira de plantação é fertilizada, os motores são inativados, todos os dados sobre a fertilização são enviados à API para visualização do usuário e uma mensagem é enviada à API, indicando que o processo de fertilização foi concluído com sucesso.

G.4.2 Sistema de Aspersão

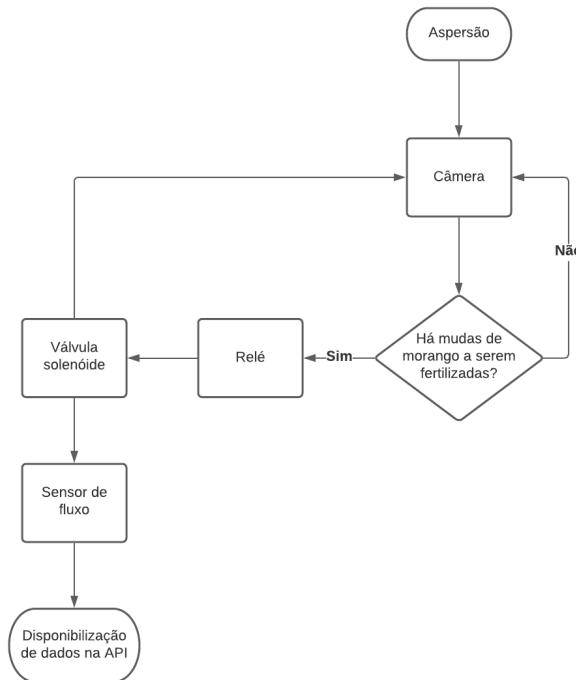


Figura 79 – Sistema de aspersão do StrongBerry

Fonte: Autores.

O sistema de aspersão do StrongBerry é composto por uma câmera, um relé de acionamento, uma válvula solenoide e um sensor de fluxo. O fluxograma presente na Figura 79 resume o funcionamento desse sistema, o qual é responsável por despejar a quantidade certa de fertilizante nas mudas de morango e cessar o fluxo de fertilizante fora das fileiras de plantação.

Mais especificamente, a câmera, que é conectada à Raspberry Pi 3B+, faz a identificação das mudas de morango pelo algoritmo descrito em detalhes na sessão de Solução Elétrica, e, quando são detectadas mudas de morango, a Raspberry Pi fornece a tensão de acionamento de 3,3 V para o relé, o qual abre a válvula solenoide e, assim, o fertilizante flui do tanque para as mudas de morango. Quando há fluxo de fertilizante, o sensor de fluxo mede a vazão e esse dado é disponibilizado ao usuário via API para que ele saiba a quantidade de fertilizante utilizado no processo de fertilização. Por fim, como a válvula é normalmente fechada, quando não há mudas de morango a serem fertilizadas, a Raspberry

Pi para de fornecer a tensão ao relé e a válvula se fecha, cessando o fluxo de fertilizante fora das fileiras de plantação.

G.4.3 Sistema de monitoramento e segurança

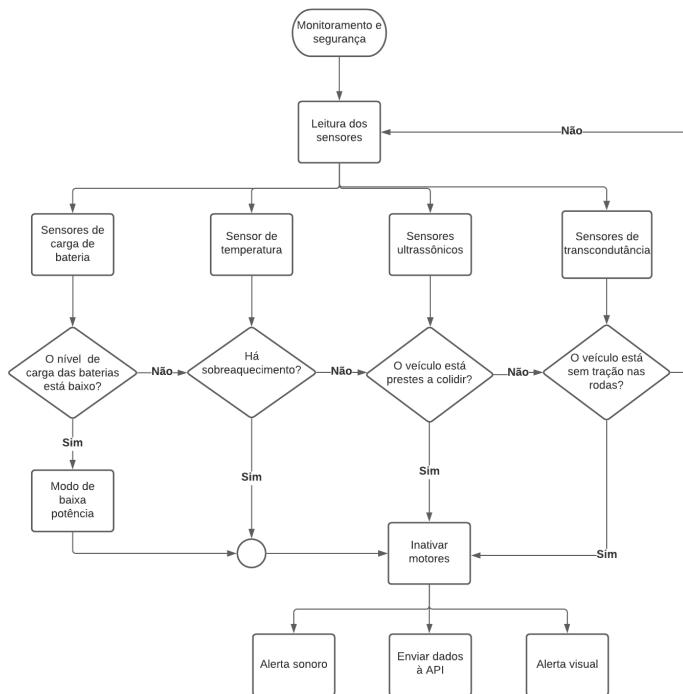


Figura 80 – Sistema de monitoramento e segurança do StrongBerry
Fonte: Autores.

O sistema de monitoramento e segurança do StrongBerry é composto por um sensor de temperatura, dois sensores de nível de bateria e um alto-falante. Esse sistema é responsável por monitorar os componentes eletrônicos do StrongBerry e enviar alerta sonoro pelo alto-falante e visual via API caso ocorra alguma situação que possa prejudicar o veículo ou a plantação. Os sensores ultrassônicos e de transcondutância também auxiliam no monitoramento do StrongBerry.

Durante o processo de fertilização, o sistema de monitoramento e segurança do StrongBerry continuamente verifica situações que podem danificar o veículo ou a plantação. A temperatura interna do veículo, mais especificamente a temperatura próxima à bateria principal, é monitorada pelo sensor de temperatura e, em caso de sobreaquecimento ($T > 65^{\circ}\text{C}$), é identificada uma situação de perigo. Os sensores de nível de bateria monitoram a carga da bateria principal e secundária e, caso sejam detectados baixos níveis de carga, a Raspberry Pi aciona o modo de baixa potência e também se identifica uma situação de perigo. Por fim, os sensores ultrassônicos identificam se o StrongBerry está prestes a colidir com a fileira de plantação e os sensores de transcondutância conseguem identificar caso o veículo esteja preso na plantação por não ter tração nas rodas. Para

todos os casos de perigo, o procedimento tomado é: os motores do StrongBerry param de funcionar, o sinal sonoro é emitido pelo alto-falante, assim como o alerta visual na API, e os dados obtidos no processo de fertilização até o momento são enviados à API.

G.5 Esquemáticos Eletrônicos

Os esquemáticos de conexões da solução de eletrônica foram divididos em dois diagramas. Essa divisão separa as conexões realizadas pelos microcontroladores Raspberry Pi 3B+ e ESP32LoRa, assim como separa os sensores do sistema de direção dos sensores do sistema de irrigação e monitoramento.

O esquemático apresentado na Figura 81, referente a Raspberry Pi, apresenta as conexões realizadas entre o microcontrolador e os componentes responsáveis pelo sistema de irrigação, alertas sonoros e visuais, controle de rotação dos motores do eixo e monitoramento da bateria.

Para fornecer energia ao sistema optou-se por usar a entrada Micro-USB presente na Raspberry Pi, por apresentar uma maior estabilidade além de possuir um regulador de tensão e um fusível de proteção próprio. Essa entrada é conectada a uma tensão de 5V fornecida pelo circuito regulador de tensão ligado a bateria secundária de 7.4V. Em contrapartida, são usados os pinos de energia de 5V e 3.3V do microcontrolador para a operação dos demais sensores e componentes eletrônicos. Com exceção dos Drivers de Controle de Velocidade PWM que devido a limitação dos pinos de energia, que fornecem até 1.5A na saída 5V, são conectados a bateria e a câmera que possui apenas uma conexão USB para comunicação e transferência de energia.

Em relação a comunicação entre a Raspberry Pi e os demais componentes eletrônicos, foram usadas as portas digitais GPIO. Em que uma porta foi programada como entrada para uso exclusivo do sensor YF-S201 para receber dados e onze portas foram programadas como saídas de uso exclusivo, sendo destas, sete para o módulo conversor de nível TXS0108E e uma para cada LED, Auto-falante, módulo relé e medidor de carga. Já para o sensor BMP280 e os medidores de carga das baterias primária e secundária temos suas conexões em comum em SCL e SDA, sendo elas utilizadas no protocolo I2C.

Para o acionamento do relé é utilizado um circuito composto por um diodo de proteção, para prevenir que correntes reversas produzidas pela bobina danifiquem o controlador, um transistor NPN que realiza o chaveamento para acionar a bobina e um diodo emissor de luz para indicar o funcionamento.

O esquemático da Figura 81 também contempla as conexões dos 4 motores de eixo com seus respectivos Drivers de Velocidade PWM, em que cada driver é responsável pelo controle de dois motores.

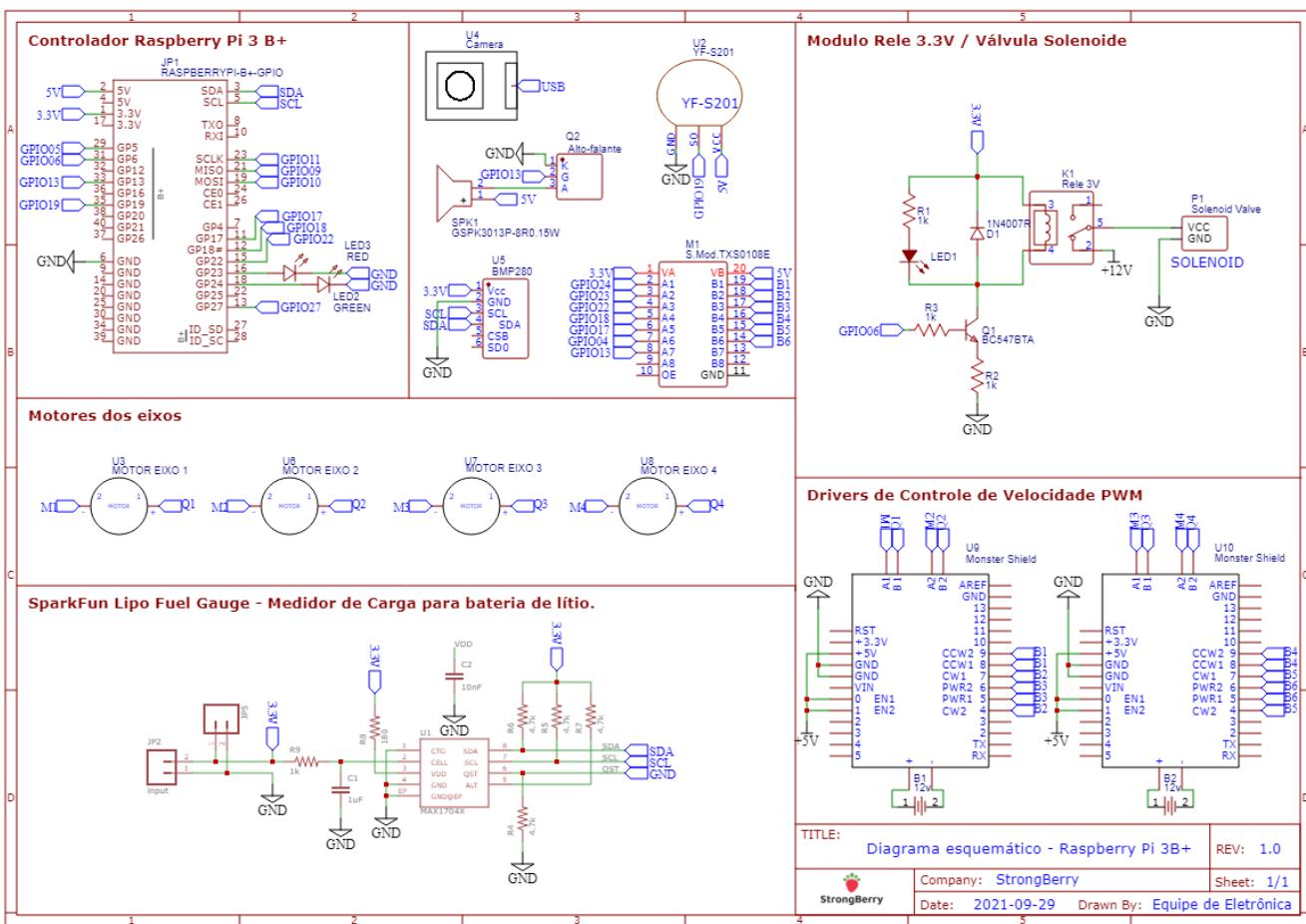


Figura 81 – Diagrama esquemático da conexão do microcontrolador Raspberry Pi 3B+

Fonte: Autores.

O esquemático presente na Figura 82 apresenta as conexões realizadas entre a ESP32LoRa e os componentes responsáveis pelo sistema de direção e envio de dados ao LoRa Gateway para disponibilização ao usuário via API. As conexões são realizadas por meio dos pinos GPIO do microcontrolador, os quais são programados de forma a garantir o correto funcionamento do sistema. A ESP32LoRa é alimentada pela bateria secundária de 7,4 V, a qual é conectada a um conversor de tensão para o fornecimento de 5 V à entrada Micro-USB do microcontrolador. A entrada Micro-USB é utilizada pois, dessa forma, é possível utilizar os pinos de 5 V da ESP32LoRa para alimentação de outros componentes.

Mais especificamente, a ESP32LoRa é conectada a quatro sensores ultrassônicos e, pelo pino GPIO2, é fornecido o pulso de entrada comum a todos os sensores, e cada saída é lida por um pino diferente. Como a ESP32LoRa funciona com tensão de 3,3 V e a saída dos sensores ultrassônicos pode chegar a 5 V, fez-se necessário o uso de divisores de tensão para evitar danos ao microcontrolador. O sensor de bússola HMC5883L é conectado nos pinos recomendados para realização de comunicação I²C e, dessa forma, a comunicação é estabelecida pela linha serial de dados (SDA) e pela linha serial de clock (SCL). São ainda conectados quatro sensores de transcondutância LDC1101 à ESP32LoRa. É estabelecida uma comunicação SPI em que são realizadas requisições síncronas aos sensores e as saídas são obtidas em pinos separados para análise individual. Os pinos utilizados pelo LoRa são conexões internas à própria placa ESP32LoRa, a qual contém o módulo LoRa integrado a ela.

Por fim, os drivers são conectados à ESP32LoRa para a realização do controle de velocidade e direção dos motores das rodas do StrongBerry. Os pinos conectados ao microcontrolador são apenas pinos de alimentação do circuito lógico e os pinos de controle, pois a ESP32LoRa não é capaz de fornecer potência suficiente aos motores. Dessa forma, os drivers são alimentados pela bateria principal de 12 V. Cada driver é responsável por controlar dois motores, sendo que o controle de direção é feito pelos pinos CW1, CW2, CCW1 e CCW2 e o controle de velocidade é realizado pelos pinos PWM1 e PWM2. Como cada par de motores funciona da mesma forma, foi preciso realizar apenas três conexões. Porém, a tensão de nível lógico alto dos drivers é de 5 V e, por isso, fez-se necessária a utilização do conversor de nível lógico TXS0108E, responsável por converter a tensão da ESP32LoRa de 3,3 V para 5 V.

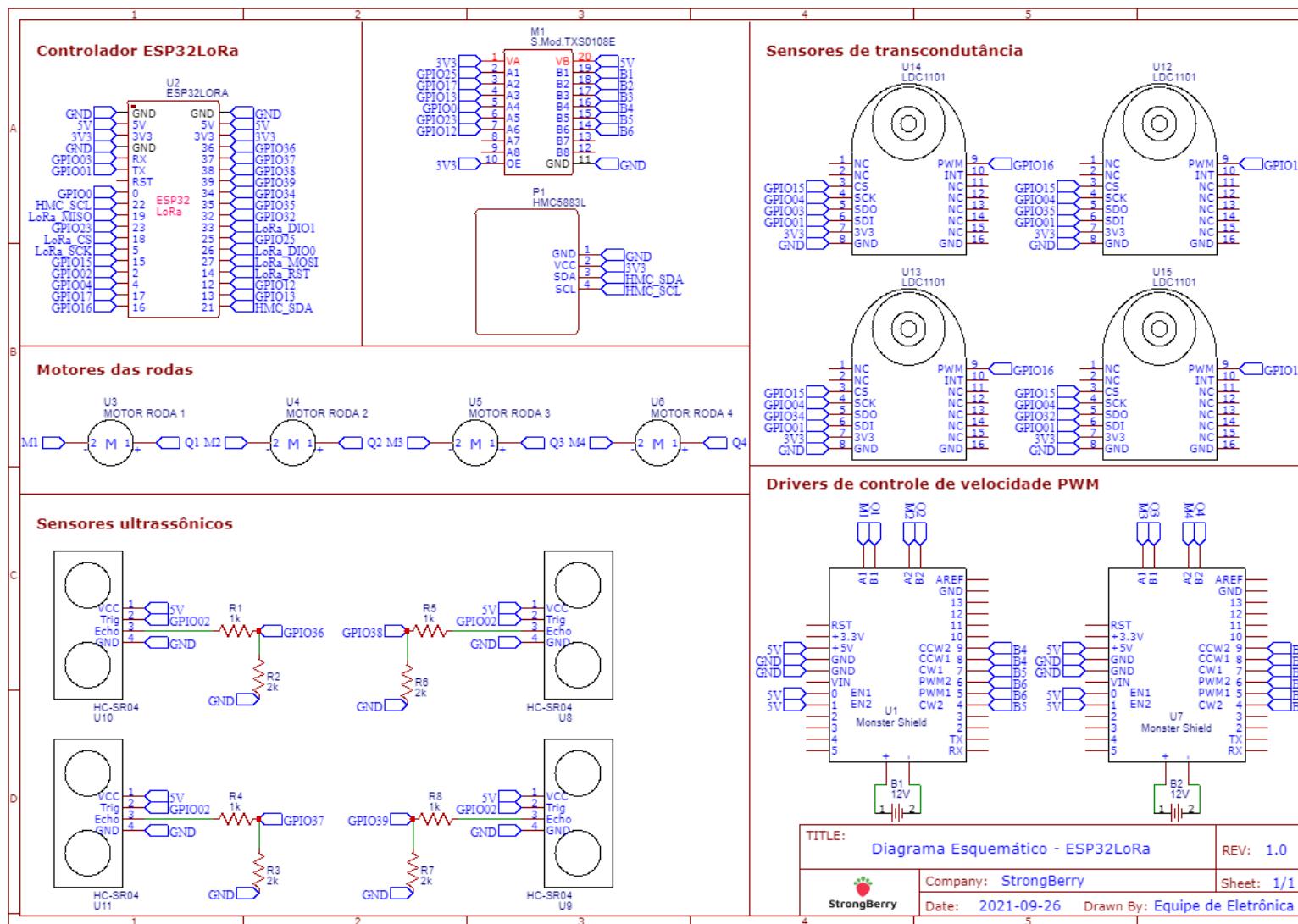


Figura 82 – Diagrama esquemático da ESP32LoRa

Fonte: Autores.

G.6 Parâmetros para confecção das PCIs

A partir do diagrama esquemático de conexões do microcontrolador Raspberry 3B+, Figura 81, apresentado no apêndice anterior foi projetada uma placa de circuito impresso no formato HAT (Hardware Attached on Top) a qual se conecta ao conjunto de 40 pinos GPIO do microcontrolador. O software utilizado para o desenvolvimento foi o EasyEDA e optou-se por usar uma placa de fibra de vidro FR-4 que que possibilita o uso de múltiplas camadas e apresenta alta resistência a calor e umidade além de uma melhor rigidez dielétrica, resistência a tração e ao cisalhamento que as outras opções como a CEM-3 e FR-2 ([TECH-CI](#),).

Para a espessura de cobre escolhida foi de 1 oz (onça), padrão usado por (LIMA, 2010). O sistema possui uma corrente total de 1,09A e de acordo com a tabela apresentada na Figura 83 para essas condições é necessária uma largura de trilha de cobre de mínimo 20 mils (0,508mm).

Largura da trilha (cobre)	Corrente [A]	Corrente [A]
	1 oz	2 oz
5 mils	0,5	0,7
10 mils	0,8	1,4
20 mils	1,4	2,2
30 mils	1,9	3,0
50 mils	2,5	4,0
100 mils	4,0	7,0

Figura 83 – Largura mínima de trilha de acordo com a corrente que deve suportar.

Fonte: [Lima](#) () .

Pelo padrão de design de placas de circuito impresso IPC 2221, o espaçamento mínimo para que o sistema fique isolado em sistemas com tensão menor que 12V é de 0,1mm para dispositivos de propósito geral e de 0.13mm para dispositivos conversores de potência. Dessa forma, apesar de 0,1mm ser o suficiente para aplicação, optou-se por usar um espaçamento de 0,13mm para aumentar a segurança ([PETERSON](#), 2020).

Outra medida de segurança tomada foi no uso de angulações de 45 graus para as vias roteadas, essa medida tem com o intuito prevenir a formação de o sinal refletido gerado em trilhas que transportam sinais de alta frequência, como o clock, evitando assim os ângulos de 90 graus, que pela teoria de antenas, aumenta a chance de ocorrer uma reflexão ([SACCO](#), 2015).

A alocação dos componentes na placa foi elaborada de forma que fosse minimizado a distância entre as conexões, posicionando os conectores próximos as bordas e priorizando

o uso da camada superior da placa para a passagem das trilhas e usando a camada inferior apenas em casos de conflito de trajetória entre trilhas.

Por fim, foram usados conectores borne KR350 de 3.5mm no fim das trilhas para realizar as conexões com os componentes que estão afastados do microcontrolador e para o posicionamento dos dois módulos medidores de carga MAX17043 e do módulo conversor de nível TXS0108E a cima do HAT, foram adicionados conectores de pino tipo macho com passo de 2,54mm.

Também foi projetada uma placa de circuito impresso para a ESP32LoRa no software EasyEDA, seguindo as conexões presentes no esquemático da Figura 82. A placa é de fibra de vidro FR-4, apresenta dimensões aproximadas de 89 mm de largura por 80 mm de altura e contém quatro furos para fixação com parafusos de 2mm de diâmetro. A vista superior da placa apresenta legendas indicando onde os componentes devem ser conectados, enquanto a vista inferior identifica os pinos de cada componente.

A ESP32LoRa e o conversor de nível lógico TXS0108E são fixados à placa em pinos específicos e os componentes que se encontram afastados do microcontrolador são conectados à placa através de conectores borne KF128 de 2,54 mm presentes nas extremidades da placa. A placa ainda contém resistores responsáveis pela realização dos divisores de tensão necessários para os sensores ultrassônicos. As conexões entre os componentes são feitas em duas camadas de cobre por meio de trilhas de 0,5 mm de largura. Ambas as camadas apresentam um terra comum com afastamento (*clearance*) de 0,25 mm e a conexão entre elas é realizada por meio de vias.

G.7 Placas de Circuito Impresso

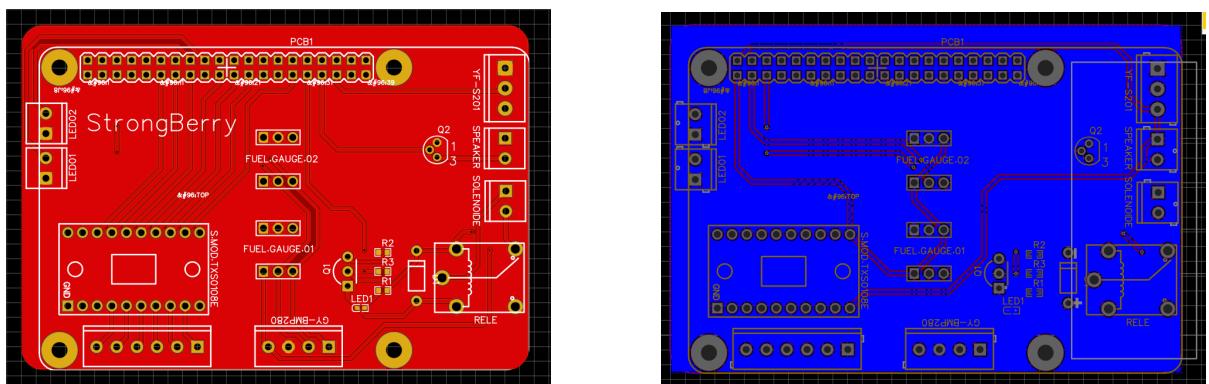


Figura 84 – Vistas superior e inferior da placa de circuito impresso desenvolvida para Raspberry Pi3 B+

Fonte: Autores.

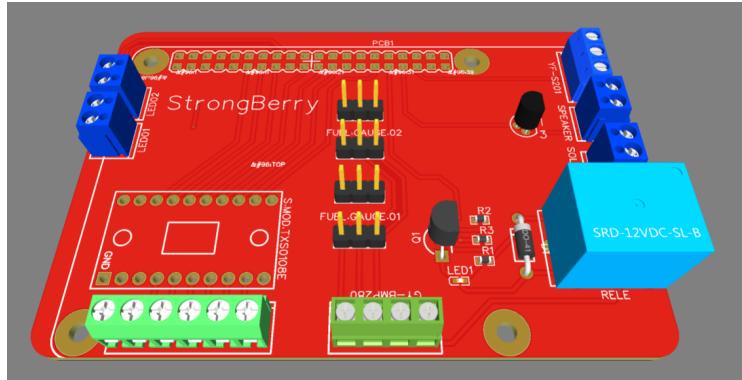


Figura 85 – Modelo 3D da placa de circuito impresso desenvolvida para Raspberry Pi3 B+.

Fonte: Autores.

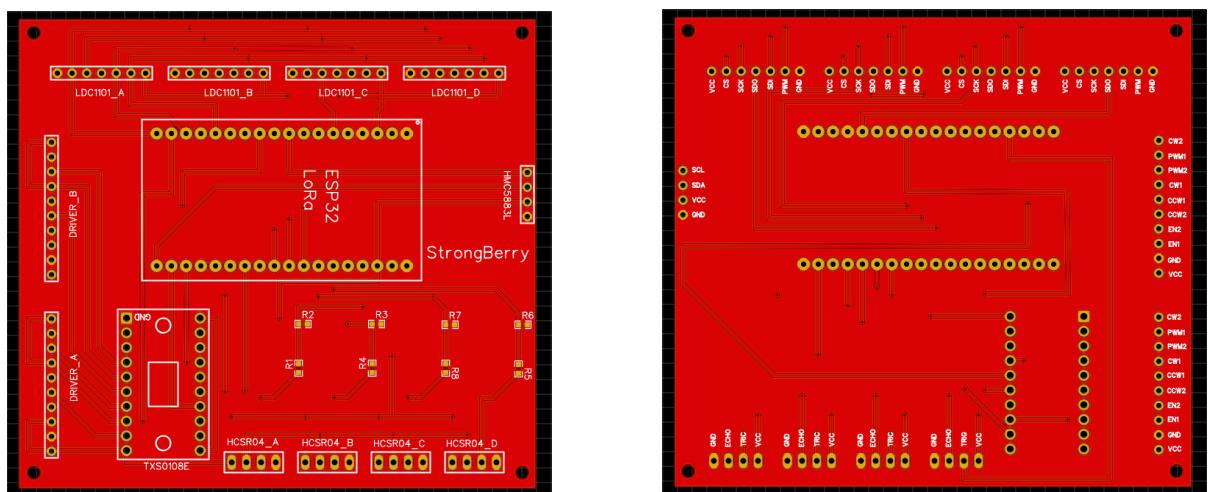


Figura 86 – Vistas superior e inferior da placa de circuito impresso desenvolvida para ESP32LoRa

Fonte: Autores.

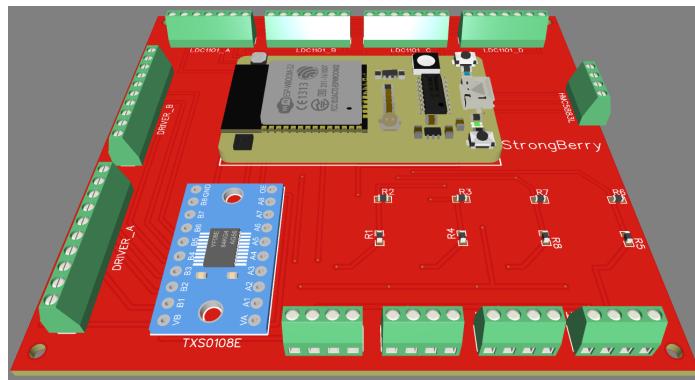


Figura 87 – Modelo 3D da placa de circuito impresso desenvolvida para ESP32LoRa

Fonte: Autores.

G.8 Alimentação

G.8.1 Dimensionamento da Bateria Principal

O dimensionamento da bateria principal considerou os dois conjuntos de motores que serão utilizados, bem como os componentes eletrônicos associados. Os padrões de movimentação e grandezas referentes aos componentes utilizados foram detalhadas e estão dispostos a seguir.

Serão utilizados 4 motores MB24012 12V, controlados por um par de drivers de controle de velocidade PWM, para a movimentação do StrongBerry. De acordo com os dados técnicos deste motor, a corrente para o torque nominal de 6N.m é de 4A, enquanto que a corrente para o torque máximo de 35N.m é de 10A. Como a relação da corrente com o torque é linear, pode-se encontrar a corrente requerida para 8N.m, o torque necessário a cada motor, por meio de interpolação linear. A corrente utilizada por cada motor é aproximadamente 4,41A. Para esse conjunto de motores, a corrente total e a potência são calculadas, respectivamente, por:

$$i_{total} = i_{motor} \times n = (4,41A)(4) \Rightarrow i = 17,64A \quad (\text{G.20})$$

Onde n é o número de motores. Aplicando (G.20) na equação da potência, temos que:

$$P = V \times i = (12V)(17,64A) \Rightarrow P = 211,68W \quad (\text{G.21})$$

A rotação do veículo nos extremos das fileiras da plantação será realizada por 4 motores 12V com redução, controlados por um par de drivers de controle de velocidade PWM. Cada motor opera com corrente de 1,76A em máxima eficiência, sendo assim, a corrente e a potência desse conjunto de motores são dadas, respectivamente, por:

$$i_{total} = i_{motor} \times n = (1,76A)(4) \Rightarrow i = 7,04A \quad (\text{G.22})$$

Onde n é o número de motores. Aplicando (G.22) na equação da potência, temos que:

$$P = V \times i = (12V)(7,04A) \Rightarrow P = 84,48W \quad (\text{G.23})$$

Os demais componentes eletrônicos que serão alimentados pela bateria principal foram dispostos na tabela a seguir em termos de suas grandezas elétricas.

Tabela 24 – Grandezas elétricas e quantidades dos componentes alimentados pela bateria principal.

Item	Quantidade	Tensão (V)	Corrente (A)	Potência final (W)
Bomba d'Água	1	12	1,58	19
Cooler Fan	2	12	200m	4,8
Válvula Solenoide	1	12	420m	5
Raspberry Pi 3 Model B	1	5	2,2	11
Webcam GOtech Office	1	5	500m	2,5
Sensor de Fluxo de Água	1	5	15m	75m
Sensor de Pressão atm	1	1,71	2,7μ	4,6μ
Total				42,3

Haja vista a máxima tensão requerida pelos componentes que serão alimentados por esta bateria, é coerente que seja escolhida uma bateria Li-ion de tensão nominal 12V. Para os componentes que necessitarem de 5V, será utilizado o Módulo Regulador de Tensão LM2596. A partir da potência total desses componentes (Tab. 24) e da tensão de 12V, a corrente foi calculada por:

$$i = \frac{P}{V}$$

Onde P é a potência total desses componentes (42,3W) e V é a tensão utilizada como referência (12V). Então,

$$i = \frac{42,3W}{12V} \Rightarrow i \cong 3,5A \quad (\text{G.24})$$

Esses últimos componentes (Tab.24) funcionarão de maneira constante durante a utilização do veículo, assim como o motor MB24012 funcionará durante toda a movimentação na direção das fileiras, enquanto o motor dedicado à rotação funcionará durante alguns segundos. Uma estimativa da utilização do StrongBerry para um ciclo de movimentação por fileira plantada, Figura 88, considerando uma fileira de 50m de comprimento com espaçamento entre fileiras de 0,8m (ANTUNES, 2011), foi realizada.

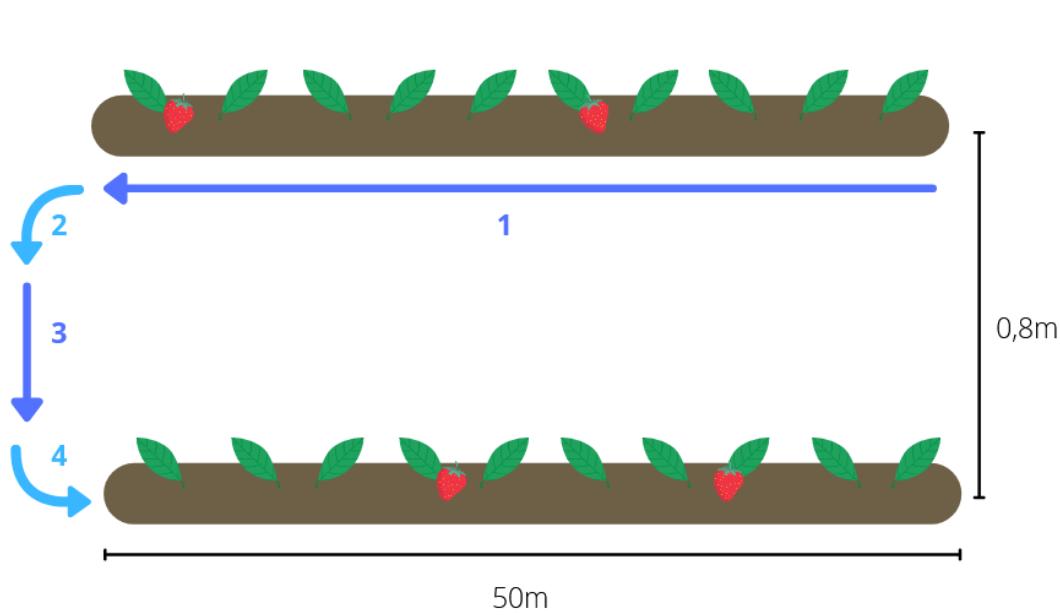


Figura 88 – Representação esquemática de um ciclo de movimentação. Fonte: Autores.

Durante a movimentação 1, o veículo fará o percurso a 0,5m/s por 50m, utilizando os motores MB24012 e os componentes da Tab.24. Assim, o tempo empregado neste movimento será:

$$t_1 = \frac{50m}{0,5m/s} = 100s \Rightarrow t_1 \cong 0,0278h \quad (\text{G.25})$$

Ao passo que a corrente será dada pela soma de (G.20) e (G.24):

$$i_1 = 17,64A + 3,5 \Rightarrow i_1 \cong 21,2A \quad (\text{G.26})$$

Durante a movimentação 2, o veículo fará a rotação em 90º utilizando os motores 12V com redução e os componentes da Tab.24. A duração desse movimento foi estimada em 10s.

$$t_2 = 10s \Rightarrow t_2 \cong 0,0027h \quad (\text{G.27})$$

A corrente foi calculada como a soma de (G.22) e (G.24):

$$i_2 = 7,04A + 3,5 \Rightarrow i_2 \cong 10,6A \quad (\text{G.28})$$

Durante a movimentação 3, o veículo fará o percurso de 0,8m a uma 0,5m/s, utilizando os motores MB24012 e os componentes da Tab.24. Assim, o tempo empregado será:

$$t_3 = \frac{0,8}{0,5m/s} = 1,6s \Rightarrow t_3 \cong 0,0004h \quad (\text{G.29})$$

A corrente é dada pela soma de (G.20) e (G.24):

$$i_3 = 17,64A + 3,5 \Rightarrow i_3 \cong 21,2A \quad (\text{G.30})$$

No que tange componentes utilizados, tempo e corrente, as movimentações 2 e 4 são idênticas, então:

$$t_4 = t_2 = 0,0027h \quad (\text{G.31})$$

$$i_4 = i_2 \quad (\text{G.32})$$

A partir das correntes calculadas para cada etapa da movimentação, pode-se calcular a corrente total requerida por um ciclo de movimentação do veículo.

$$\begin{aligned} i_{ciclo} &= \frac{(i_1 \times t_1) + (i_2 \times t_2) + (i_3 \times t_3) + (i_4 \times t_4)}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4} \\ i_{ciclo} &= \frac{(21,2A \times 0,0278h) + (10,6A \times 0,0027h) + (21,2A \times 0,0004h)}{(0,0278h + 0,0027h + 0,0004h + 0,0027h)} \\ &\quad + \frac{(10,6A \times 0,0027h)}{(0,0278h + 0,0027h + 0,0004h + 0,0027h)} \\ i_{ciclo} &\cong 19,5A \end{aligned} \quad (\text{G.33})$$

O gráfico que relaciona a corrente utilizada com o tempo de um ciclo de movimentação por fileira está disposto abaixo, Figura 89.

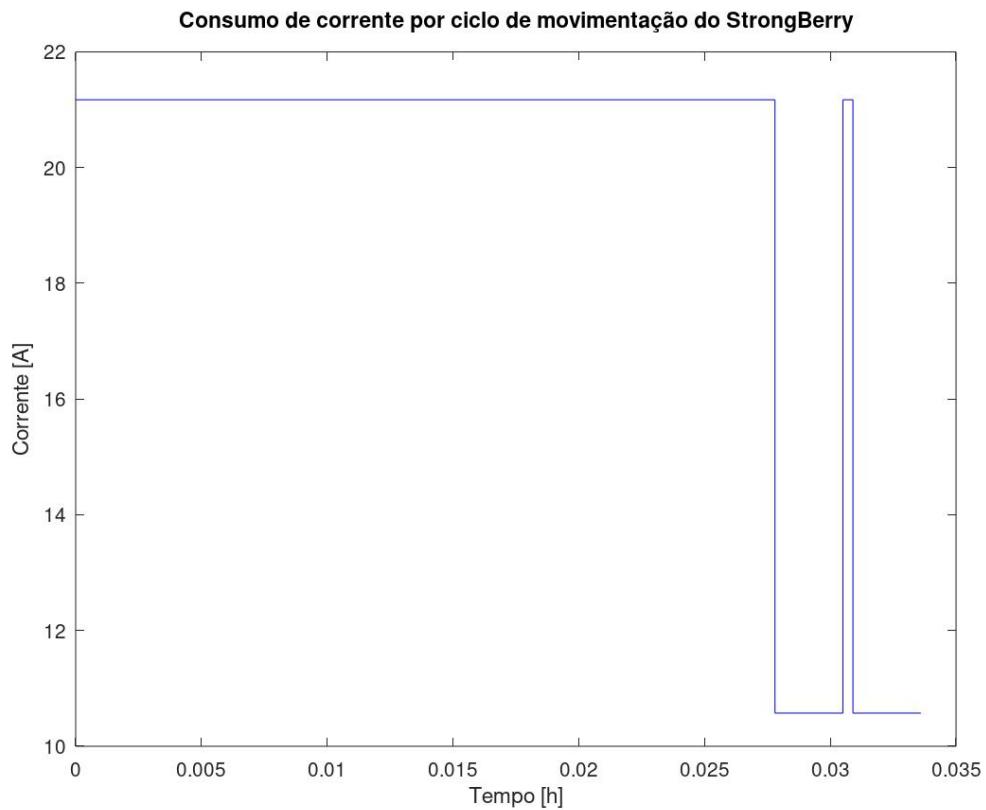


Figura 89 – Consumo de corrente por ciclo de movimentação do StrongBerry. Fonte: Autores.

O gráfico acima fornece em Ah o consumo de corrente durante um ciclo de movimentação por fileira, i.e., o que a corrente de 19,5A utilizada durante uma ciclo de movimentação, obtida em (G.33), representa em 1h de funcionamento do veículo. Esse consumo de corrente será chamado de capacidade por ciclo e é obtido pela área do gráfico (Figura 89).

$$C_{ciclo} = (21,2A \times 0,0278h) + (10,6A \times 0,0027h) + (21,2A \times 0,0004h) + (10,6A \times 0,0027h)$$

$$C_{ciclo} \cong 0,6Ah \quad (\text{G.34})$$

Levando em consideração que 1/4 de hectare comporta, em média, 40 fileiras (SENAR, 2019), entende-se que o veículo deve possuir autonomia suficiente para perpassar 40 fileiras com certa margem. Sendo assim, foi selecionada uma bateria com capacidade de carga de 35000mAh, visto que:

$$\text{Quantidade de fileiras} = \frac{\text{Capacidade da bateria}}{\text{Capacidade por fileira}}$$

$$\text{Quantidade de fileiras} = \frac{35Ah}{0,6Ah} = 53,8 \Rightarrow 53\text{fileiras} \quad (\text{G.35})$$

Para as premissas adotadas, o tempo máximo de funcionamento em horas será:

$$C_{bateria} = i_{ciclo} \times t \Rightarrow t = \frac{C_{bateria}}{i_{ciclo}}$$

$$t = \frac{35Ah}{19,5A} \Rightarrow t = 1,7h \quad (\text{G.36})$$

Terminados os dimensionamentos, foi escolhida a Samsung Li-ion Battery 12V 35000mAh, um *pack* composto por células de lítio 18650 com BMS incluso.

G.8.2 Dimensionamento da Bateria Secundária

Os equipamentos alimentados por esta bateria estão dispostos em sequência, Tab.[25](#).

Tabela 25 – Grandezas elétricas e quantidades dos componentes alimentados pela bateria secundária.

Item	Quantidade	Tensão (V)	Corrente (A)	Potência total (W)
Módulo ESP32 LoRa	1	5,00	500m	2,50
Sensor Ultrassônico HC-SR04	4	5,00	1,50m	30,0m
Acelerômetro GY 521 MPU6050	1	3,46	500μ	1,73m
Transdutor Digital de Indutância	4	3,46	2,70m	37,4m
Total				2,57

Dada a potência total dos componentes e o uso desejado, selecionou-se uma bateria Li-ion 7,4v 4400mAh. A autonomia dessa bateria para os componentes citados na Tab. [25](#) pode ser determinada calculando:

A corrente que é demandada pelos componentes,

$$i = \frac{P}{V}$$

Onde P é a potência total, retirada da Tab. [25](#), e V é a tensão nominal da bateria, 7,4V. Assim,

$$i = \frac{2,5W}{7,4V} \Rightarrow i = 0,3A \quad (\text{G.37})$$

Utilizando a capacidade de carga desta bateria,

$$C = i \times t \Rightarrow t = \frac{C}{i}$$

Logo, a autonomia da bateria, em horas, é dada por:

$$t = \frac{4,4Ah}{0,3A} \Rightarrow t \cong 14,7h \quad (\text{G.38})$$

Esse tempo de funcionamento garante 8 operações completas do veículo na lavoura considerada, conforme tempo calculado em (G.36).

G.9 Dimensionamento dos Condutores Elétricos

A partir da norma NBR 5410/2004, foi possível realizar o dimensionamento dos condutores elétricos do Strongberry. Dispõe sobre as condições a serem atendidas em instalações elétricas de baixa tensão, essa norma estabelece os critérios a serem seguidos para a escolha dos cabos a fim de garantir segurança aos usuários (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004).

Para o dimensionamento, cada conjunto de motores foi separado em um circuito. Já os componentes eletrônicos alimentados pela bateria principal (Tab. 24) foram divididos em 2 circuitos: Circuito 3 para a bomba d'água, *coolers* e válvula solenoide; e Circuito 4 para os demais componentes. Enquanto os componentes alimentados pela bateria secundária (Tab. 25) irão compor um único circuito, o Circuito 5.

- Circuito 1: motores MB24012;
- Circuito 2: motores com caixa de redução;
- Circuito 3: bomba d'água, coolers e válvula solenoide (Tab. 24);
- Circuito 4: demais componentes eletrônicos (Tab. 24);
- Circuito 5: componentes eletrônicos (Tab. 25).

Segundo a tabela 47 da norma (Figura 90), temos que os circuitos acima serão considerados de força, ou seja, a seção mínima determinada para os cabos será de 2,5mm².

Tipo de linha		Utilização do circuito	Seção mínima do condutor mm ² - material
Instalações fixas em geral	Condutores e cabos isolados	Circuitos de iluminação	1,5 Cu 16 Al
		Circuitos de força ²⁾	2,5 Cu 16 Al
		Circuitos de sinalização e circuitos de controle	0,5 Cu ³⁾
	Condutores nus	Circuitos de força	10Cu 16 Al
		Circuitos de sinalização e circuitos de controle	4 Cu

Figura 90 – Tabela 47 da norma NBR-5410/2004. Fonte: NBR-5410/2004

Em relação ao tipo de linha elétrica disposto na tabela 33 (Figura 91), o método de referência adotado será o B1 e B2, para cabos unipolares e multipolar em seção aparentemente não-circular.

5		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto aparente de seção não-circular sobre parede	B1
6		Cabo multipolar em eletroduto aparente de seção não-circular sobre parede	B2

Figura 91 – Tabela 33 da norma NBR 5410/2004. Fonte: NBR 5410/2004.

O número de condutores carregados a ser adotado em função do tipo de circuito é apresentado na tabela 46 da norma (Figura 92). Para todos os circuitos presentes no projeto, esse número será igual a 2.

Esquema de condutores vivos do circuito	Número de condutores carregados a ser adotado
Monofásico a dois condutores	2
Monofásico a três condutores	2
Duas fases sem neutro	2
Duas fases com neutro	3
Trifásico sem neutro	3
Trifásico com neutro	3 ou 4 ¹⁾
¹⁾ Ver 6.2.5.6.1.	

Figura 92 – Tabela 46 da norma NBR 5410/2004. Fonte: NBR 5410/2004.

Por fim, é necessário escolher o tipo de material para o isolamento do cabo e a temperatura máxima a que ele será exposto. Isso é feito com o auxílio da tabela 36 (Figura 93). Segundo essa tabela, a isolação feita com PVC, com condutores de alumínio e cobre, é capaz de suportar uma temperatura máxima de 70°C no condutor. Com uma

média de 30°C de temperatura ambiente e 20°C para o solo, esse material também se adequa ao campo de atuação do Strongberry.

Condutores: cobre e alumínio
Isolação: PVC
Temperatura no condutor: 70°C
Temperaturas de referência do ambiente: 30°C (ar), 20°C (solo)

Seções nominais mm ²	Métodos de referência indicados na tabela 33											
	A1		A2		B1		B2		C		D	
	Número de condutores carregados											
	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
Cobre												
0,5	7	7	7	7	9	8	9	8	10	9	12	10
0,75	9	9	9	9	11	10	11	10	13	11	15	12
1	11	10	11	10	14	12	13	12	15	14	18	15
1,5	14,5	13,5	14	13	17,5	15,5	16,5	15	19,5	17,5	22	18
2,5	19,5	18	18,5	17,5	24	21	23	20	27	24	29	24
4	26	24	25	23	32	28	30	27	36	32	38	31

Figura 93 – Tabela 36 da norma NBR 5410/2004. Fonte: NBR 5410/2004.

Tomando como base o método de referência B1 e B2, o número de condutores carregados (2), o material escolhido e a corrente do projeto, é possível encontrar na tabela 36 da norma a seção nominal para os circuitos. Uma vez que a corrente do projeto não ultrapassa o valor de 23A ou 24A para todos os circuitos, é necessário considerar a seção mínima estabelecida para circuitos de força. Assim, na Tab. 26 temos o seguinte dimensionamento para os condutores:

Tabela 26 – Seção dos cabos

Círculo	Seção nominal (mm ²)
1	2,5
2	2,5
3	2,5
4	2,5
5	2,5

Fonte: Autores.

Para o Strongberry, serão utilizados fios revestidos com as cores preta e vermelha, indicados pela NBR 5410 como condutores fase.

G.10 Diagrama Unifilar

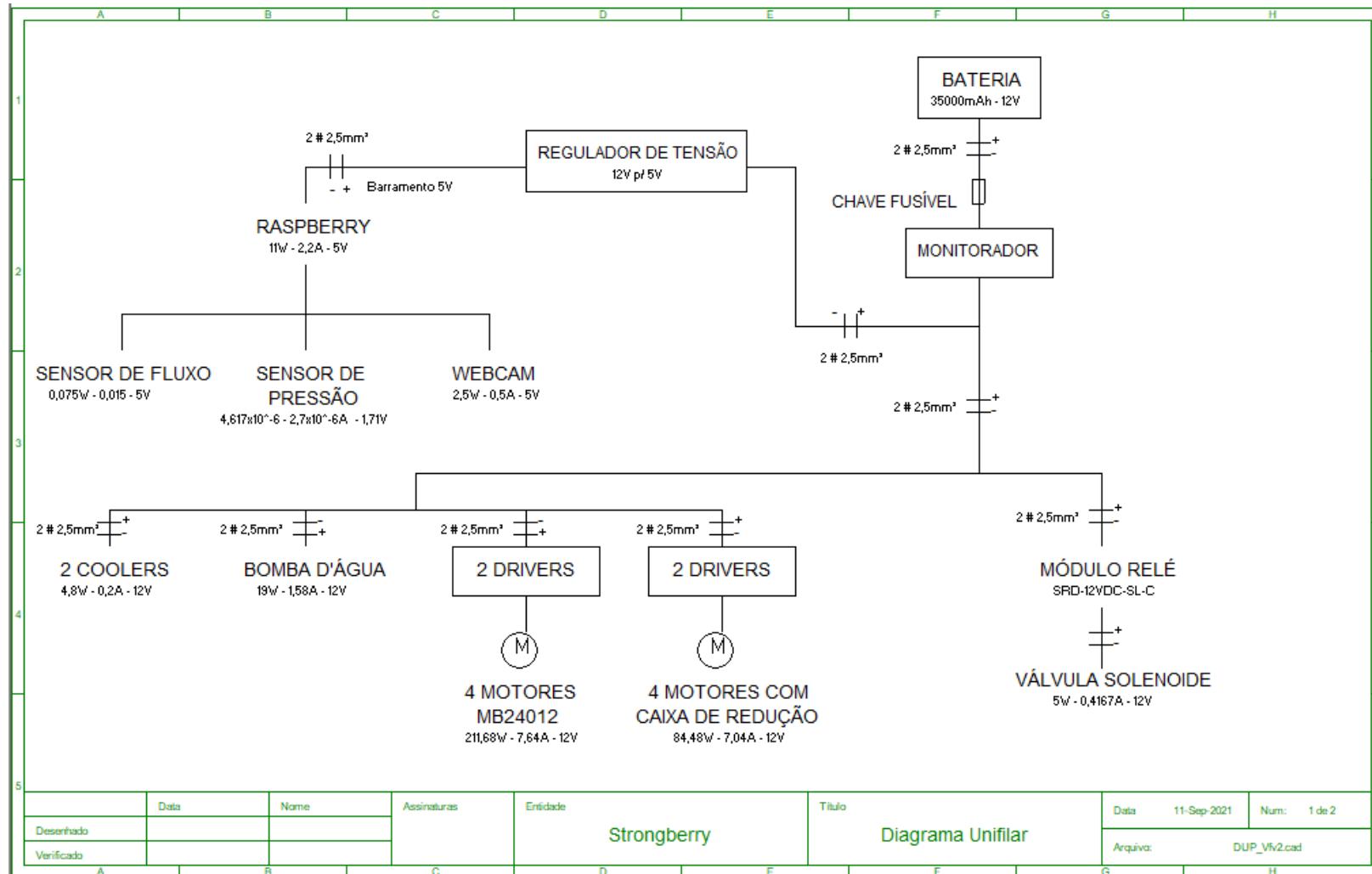


Figura 94 – Diagrama Unifilar da Bateria Principal. Fonte: Autores.

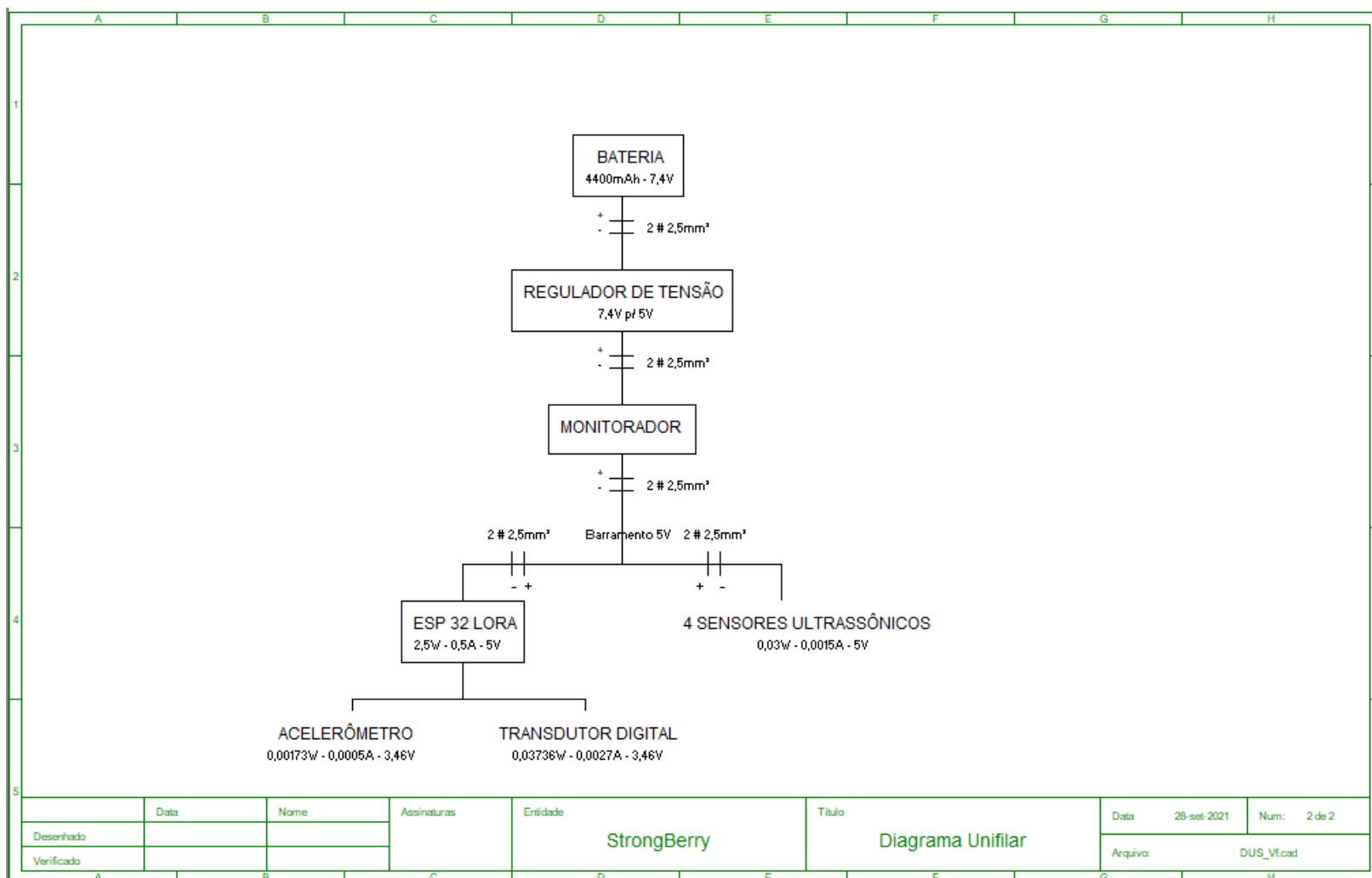


Figura 95 – Diagrama Unifilar da Bateria Secundária. Fonte: Autores.

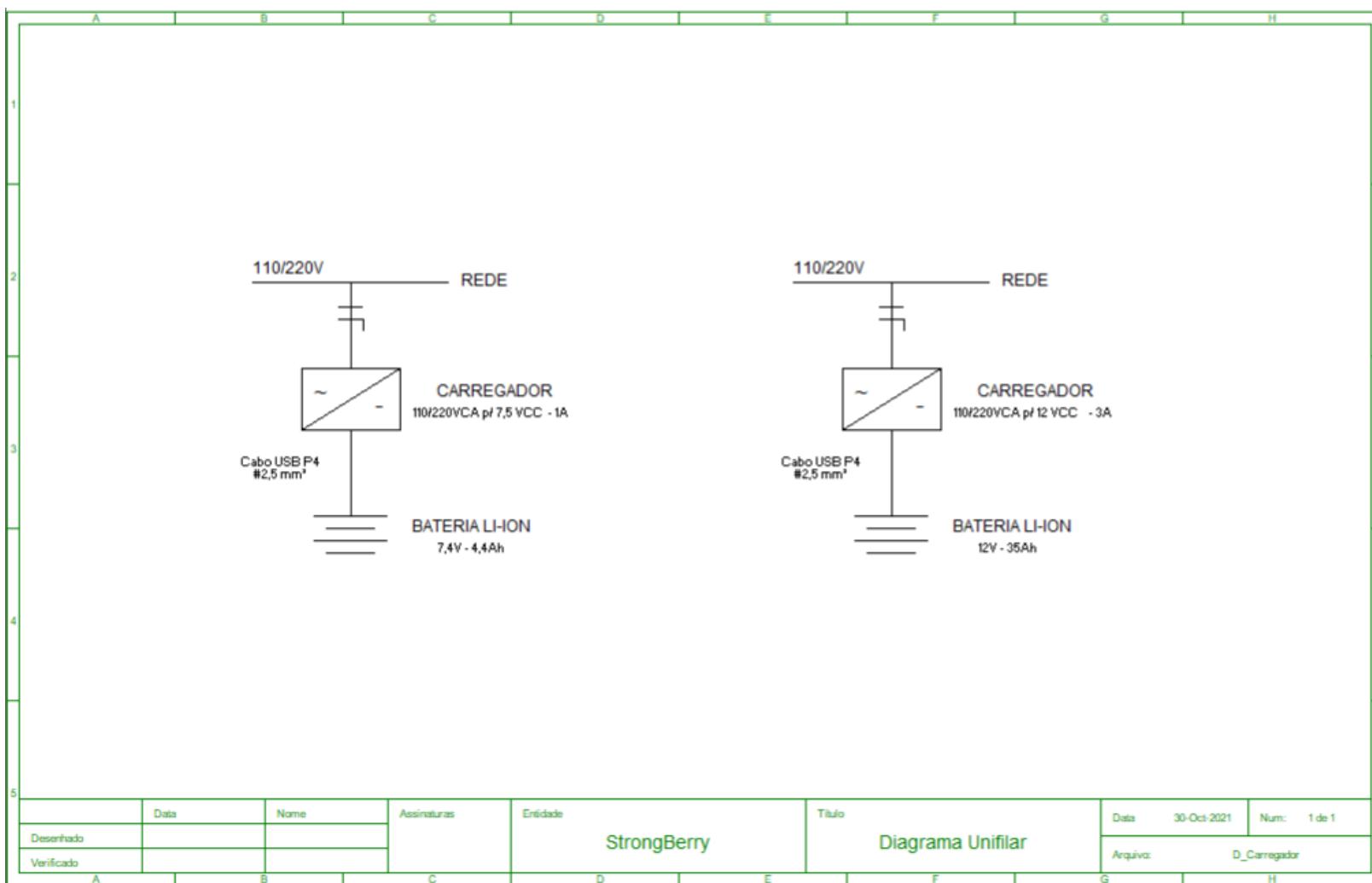


Figura 96 – Diagrama Unifilar dos Carregadores. Fonte: Autores.

G.11 Esquema Elétrico Físico

Esquema elétrico: bateria principal com componentes
1º andar

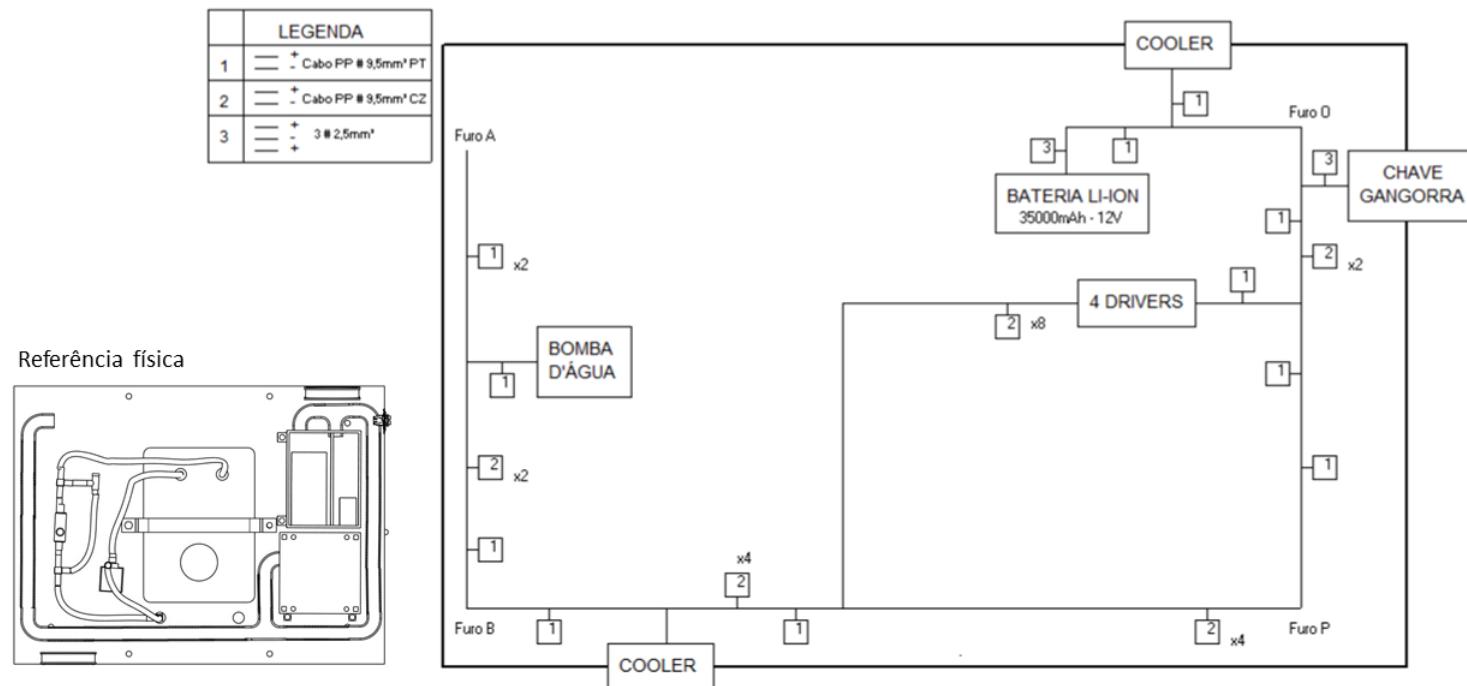


Figura 97 – Esquema Elétrico Físico da Bateria Principal. Fonte: Autores

Esquema elétrico: bateria principal com componentes
2º andar

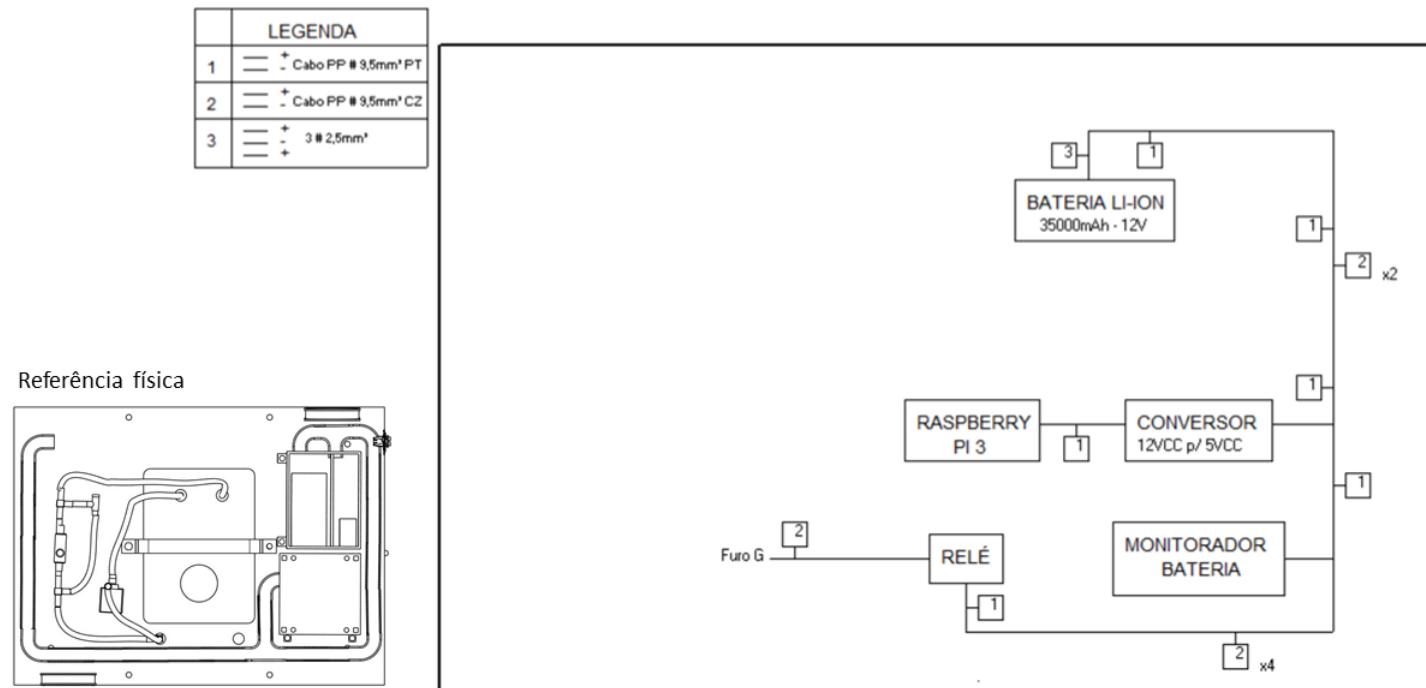


Figura 98 – Esquema Elétrico Físico da Bateria Principal. Fonte: Autores

Esquema elétrico: bateria principal com componentes Motores

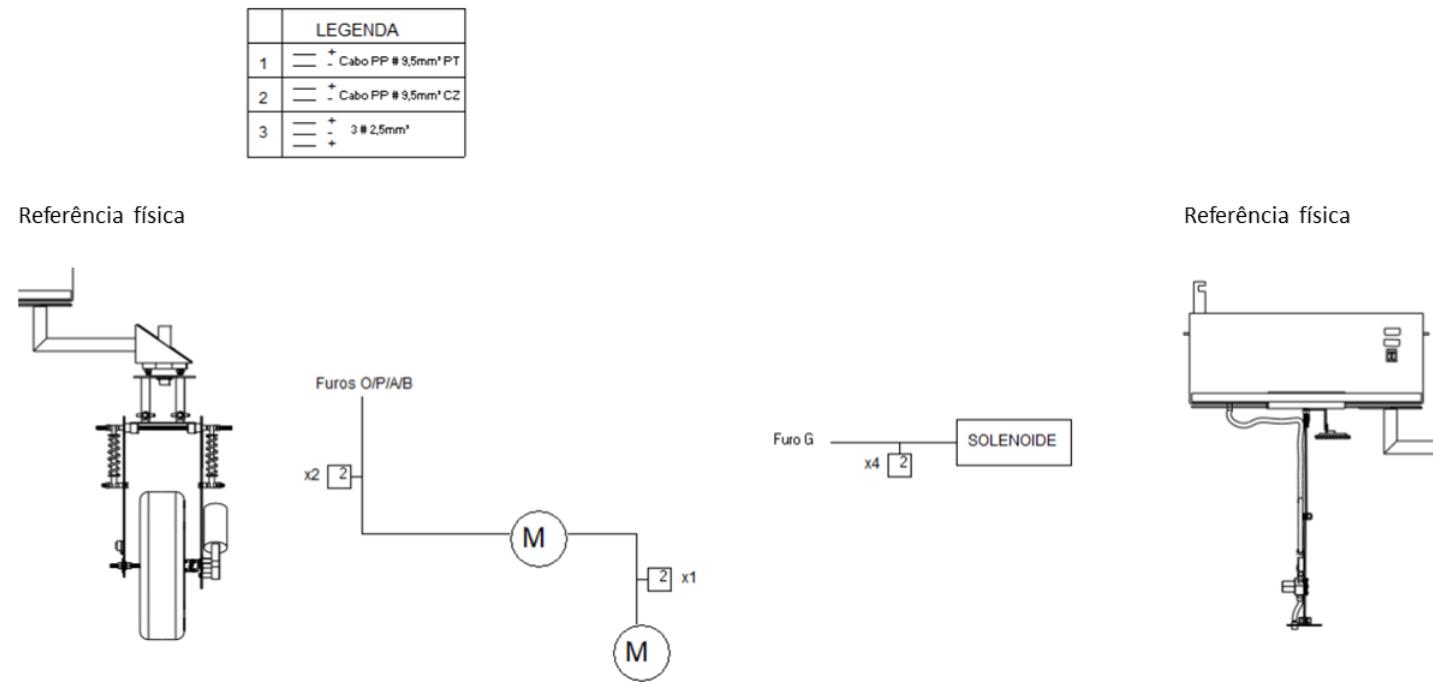


Figura 99 – Esquema Elétrico Físico do Motor e Solenoide. Fonte: Autores

G.12 Resfriamento

Como o StrongBerry poderá operar sob insolação direta e sob estufas, a transferência de calor para o interior do equipamento pode ampliar a temperatura de operação dos componentes e prejudicar seu funcionamento.

Para demonstrar o que ocorre internamente dentro da caixa em relação ao fluxo de calor interno que vai ser gerado devido ao local onde será utilizado e ao calor liberado dos componentes eletrônicos, foi realizada uma simulação com auxílio do software ANSYS no módulo fluent em 2D, que demonstra o fluxo de calor com condições de contornos simplificadas. Foi considerado que os componentes internos seriam como trocadores de calor, exceto o tanque de armazenamento de fertilizante líquido.

Foi admitido uma temperatura cerca de 5 a 10 °C acima da temperatura média de operação devido às simplificações realizadas e também porque sabe-se que não é sempre que os componentes trabalharão em condições ideais. Entretanto, é importante ressaltar que mesmo assim eles ainda podem apresentar um maior aquecimento devido ao tempo de operação.

Foi definida uma temperatura de entrada interna do ar de 25°C em razão de padronização em CNTP. Observou-se que a temperatura interna fica acima da ideal para as operações energéticas eficientes dos elementos internos, principalmente das duas baterias e da ESP32 LoRa.

Os componentes internos operam sem danos permanentes a uma certa faixa de temperatura, desta forma foi elaborada uma tabela a fim de demonstração, com valores obtidos por meio dos datasheets e artigos, no caso das baterias.

Tabela 27 – Temperatura de operação

Componentes	Temperatura de operação
ESP32 LoRa	-40 °C a 80 °C
Bateria secundária	-20 °C a 60 °C
Sensor de pressão e temperatura	-40 °C a 80 °C
Raspberry Pi 3	-40 °C a 85 °C
Bateria principal	-20 °C a 60 °C

Fonte: Datasheets

Já em relação ao resultado da simulação, ele pode ser observado a partir da Figura 100. Nele vemos onde se encontram as regiões com menor temperatura, representadas por um azul mais escuro, e as regiões de maior temperatura, representadas pela cor vermelha. Para um melhor entendimento do que é cada componente e onde ficam localizados, eles foram numerados da seguinte forma:

- 1: Tanque do fertilizante;

- 2: ESP32 LoRa;
- 3: Bateria secundária;
- 4: Sensor de pressão e temperatura;
- 5: Raspberry Pi 3;
- 6: Bateria principal.

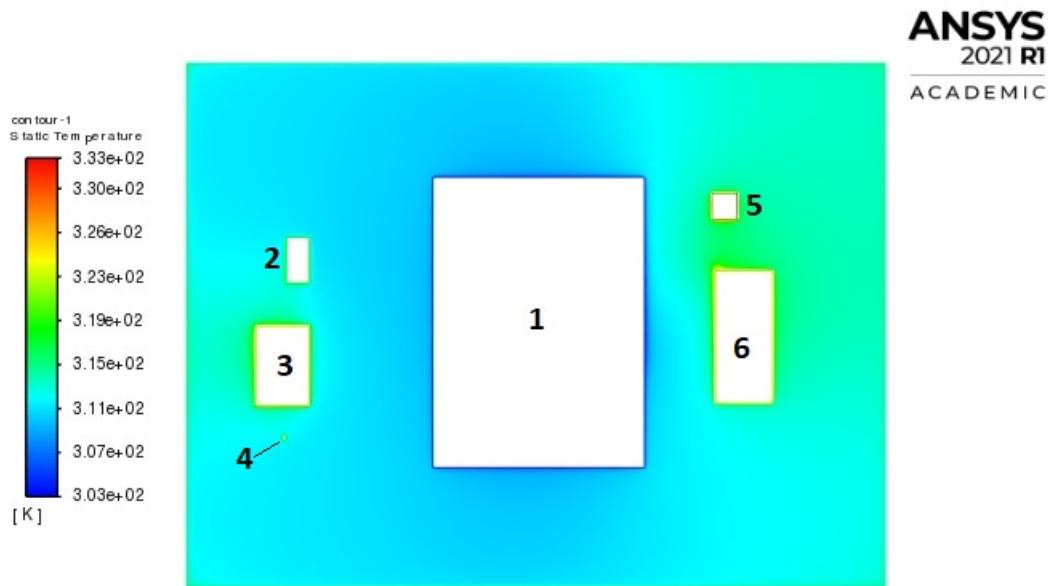


Figura 100 – Simulação ANSYS. Fonte: Autores.

A partir disso foi decidido que a melhor escolha, para não prejudicar o funcionamento e eficiência energética dos componentes, seria a instalação de dois *coolers*. Estes *coolers* ficam posicionados nas laterais, na parte interna onde ficam localizadas as aberturas para a circulação de ar.

Assim, pelos resultados analisados por meio da simulação do ANSYS, se torna necessário o uso de resfriamento forçado no interior da capa protetora, uma vez que a simulação não foi realizada em condições extremas e que houve simplificação em sua modelagem. Outra ponto importante a ser ressaltado é a posição escolhida de cada componente, definida a partir do que ficaria mais viável em relação aos condutores elétricos e ventilação.

APÊNDICE H – Escolha de materiais

H.0.1 Comparativo entre Aço e Alumínio

Tabela 28 – Comparativo entre Aço e Alumínio

Aspectos	Aço(1020)	Alumínio(6351)
Resistência mecânica [MPa]	380	300
Dureza [HB]	170	90
Módulo de elasticidade [GPa]	190	68,7
Densidade [g/cm ³]	7,87	2,71
Coef. De dilatação térmica [1/°C]	11.10 ⁻⁶	24.10 ⁻⁶
Calor específico [cal/ g °C]	0,12	0,21
Condutividade térmica a 25°C [W/ m K]	51,9	176
Resistência a oxidação sem tratamento	Bom*	Muito Bom*
Peso total (estrutura)	Regular*	Bom*
Montagem e manutenção	Regular*	Bom*
Usinagem	Bom*	Bom*
Soldagem	Muito bom*	Regular*
Durabilidade e acabamento	Regular*	Bom*
Custo médio total	Bom*	Regular*

(SIMEBRA, 2021) (MARTINELLI, 2021) (USIBRONZE, 2021)

* = A caracterização é com base em comparação direta ao outro material.

H.0.2 Matriz de decisão entre Aço e Alumínio

Com o objetivo de definir qual material a ser utilizado, foi elaborada a matriz de decisão mostrada na Tab.29

Tabela 29 – Matriz de decisão entre Aço e Alumínio

Fator	Peso	Notas do Aço(1020)	Notas do Alumínio(6351)	Ponderação do Aço	Ponderação do Alumínio
Resistência a oxidação sem tratamento	9	7	10	63	90
Resistência mecânica	8	9	8	72	64
Peso total	7,5	6	8	45	60
Soldagem	7	9	6	63	42
Usinagem	6,5	7	7	45,5	45,5
Durabilidade do acabamento	6	6	8	36	48
Módulo de elasticidade	5,5	7	5	38,5	27,5
Montagem e manutenção	5	6	8	30	40
Densidade	4	5	7	20	28
Dureza	3	8	5	24	15
Baixa condutividade térmica	2	7	5	14	10
Baixo coeficiente de dilatação	1	7	5	7	5
Total				488	475

Fonte:Autores.

As notas dadas ao materiais seguiram um critério qualitativo, dividido em Ruim, Regular, Bom e Muito bom, determinado pela comparação direta dos valores entre os dois materiais, sendo representado da seguinte maneira:

- Ruim = 0 a 3;
- Regular = 4 a 6;
- Bom = 7 a 8;
- Muito bom = 9 a 10.

Com relação ao "Peso", esse valor numérico tem como objetivo demonstrar o grau de importância do fator dentro do contexto de realização do projeto, variando de 9 (elevado grau de importância) a 1 (baixo grau de importância), cujos são definidos pelo grupo.

A matriz então consiste em fazer a multiplicação do Peso pela Nota dada ao material naquele critério (Ponderação), e por fim, é feita a soma dos produtos de cada critério no qual foi avaliado o material.

H.0.3 Comparativo dos materiais para o corpo central

Tabela 30 – Tabela de comparação dos material para corpo central

Aspectos	Aço(1020)	Alumínio(6351)	Plástico(Nylon)
Resistência mecânica [MPa]	380	300	90
Dureza [HB]	170	90	60
Módulo de elasticidade [Gpa]	190	68,7	3000
Densidade [g/cm ³]	7,87	2,71	1,14
Coef. De dilatação térmica [1/°C]	11x10 ⁻⁶	24x10 ⁻⁶	90x10 ⁻⁶
Calor específico [cal/ g °C]	0,12	0,21	-
Condutividade térmica a 25°C [W/ m. K]	51,9	176	0,23
Resistência a oxidação sem tratamento	Bom*	Muito bom*	Muito Bom*
Peso total (estrutura)	Regular*	Bom*	Muito Bom*
Montagem e manutenção	Regular*	Bom*	Muito Bom*
Usinagem	Bom*	Bom*	Muito Bom*
Soldagem	Muito bom*	Regular*	Ruim*
Durabilidade e acabamento	Regular*	Bom*	Bom*
Custo médio total	Bom*	Regular*	Bom*

(SIMEBRA, 2021) (MARTINELLI, 2021) (USIBRONZE, 2021) (UFSC, 2021)

* = A caracterização é com base em comparação direta ao outro material.

H.0.4 Matriz de decisão da estrutura central

Após levantados os aspectos dos possíveis materiais para a estrutura central, foi confeccionada uma matriz de decisão Tab.31 para avaliar quais materiais seriam utilizados no corpo central do projeto.

Tabela 31 – Matriz de decisão da estrutura central

Fatores	Peso	Aço(1020)	Alumínio(6351)	Plástico(Nylon)
Custo	3	5	2	4
Manufatura	3	5	3	4
Resistência mecânica	3	5	4	2
Baixa massa	2	3	4	5
Resistência a oxidação	1	2	5	5
Isolamento térmico	1	2	3	4
Total		55	43	49

Fonte:Autores.

Através das análises e estudos, os materiais foram avaliados tendo como parâmetro de notas a seguinte estrutura:

- Ruim = 0 a 2;
- Regular = 2 a 3;
- Bom = 4 a 5;

Com relação ao "Peso", esse valor numérico tem como objetivo demonstrar o grau de importância do fator dentro do contexto de realização do projeto, variando de 3 (elevado grau de importância) a 1 (baixo grau de importância) cujos são definidos pelo grupo.

Link de retorno ao capítulo [4.3.2](#)

APÊNDICE I – Simulações estruturais

I.0.1 Simulações estruturais estáticas

Nessa seção serão apresentadas as simulações estruturais preliminares realizadas no software comercial Ansys das principais peças do projeto visando avaliar se os esforços estruturais sofridos são maiores que o limite de ruptura do Aço 1020. Desse modo, iniciou-se estimando a massa da caixa de componentes central do projeto em 34kg para, em seguida, determinar as tensões normais na estrutura.

Desse modo, para realizar tal análise os conceitos de mecânica dos materiais apresentados pelos autores em (BEER et al., 2015) e (MEGSON, 2016) para embasar os cálculos realizados. O primeiro conceito importante é o de tensão normal, representado pela Eq. I.1, que consiste na razão entre a força aplicada e a área de aplicação de tal força.

$$\sigma_n = \frac{F}{A_{aplicação}} \quad (\text{I.1})$$

Como algumas peças a serem analisadas dispõem de furos é preciso considerar o fator de concentrador de tensão K_t para obter a tensão normal máxima na peça. Desse modo, a relação entre o fator de concentrador de tensão e as dimensões do furo é obtida empiricamente (MEGSON, 2016), mas é possível estimá-lo com base nos dados experimentais por meio da Eq. I.2 (MCGINTY,).

$$K_t = 3 - 3.14\left(\frac{d}{W}\right) + 3.667\left(\frac{d}{W}\right)^2 - 1.527\left(\frac{d}{W}\right)^3 \quad (\text{I.2})$$

em que d é o diâmetro do furo e W é a largura do objeto que contém o furo.

O critério de falha de Von-Mises determina que um componente está seguro enquanto o valor máximo da energia de distorção por unidade de volume no material for menor que a energia de distorção necessária para o escoamento do material (BEER et al., 2015). Esse conceito é ilustrado pela Eq. I.3.

$$\sigma_a^2 - \sigma_a \sigma_b + \sigma_b^2 < \sigma_Y^2 \quad (\text{I.3})$$

Outro fenômeno físico que deve ocorrer em alguns componentes é a flambagem. A flambagem em colunas ocorre quando a carga axial é aplicado sobre a estrutura, de modo, que ocorra flexão aproximando o comportamento estrutural de uma coluna. O

parâmetro a ser analisado na flambagem é a carga critica. A carga critica diz respeito ao fator multiplicativo de carga dado pela Eq. I.4 (MEGSON, 2016).

$$P_{cr} = \frac{n^2 \pi^2 EI_{min}}{2L^2} \quad (\text{I.4})$$

em que n é o número de modos de flambagem, E é o modulo de elasticidade do material, I_{min} é o momento de inercia de área em torno do menor eixo e L é o comprimento característico da coluna.

I.0.1.1 Simulação estática do tubo em L

Os tubos em L são as peças que estão diretamente conectadas ao corpo central da estrutura e que a conecta aos sistemas de propulsão e manobrabilidade, a localização de tal peça no projeto é ilustrada na Figura 101.

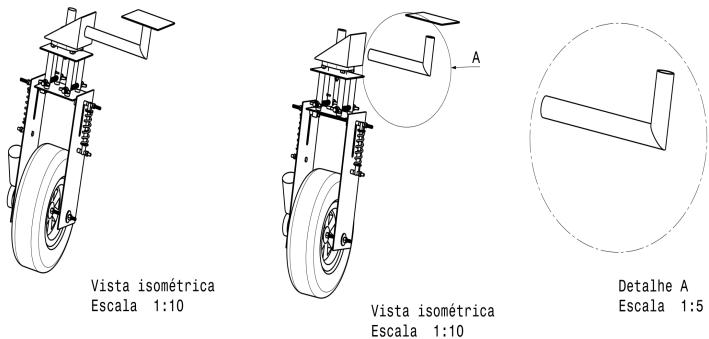


Figura 101 – Esquemático da localização do tubo em L.

Fonte: Autores.

Nessa simulação considerou-se engastado a extremidade da direita e o carregamento, equivalente a estimativa de peso da caixa central, foi aplicado na outra extremidade. Desse modo, a Figura 102 ilustra tais condições.

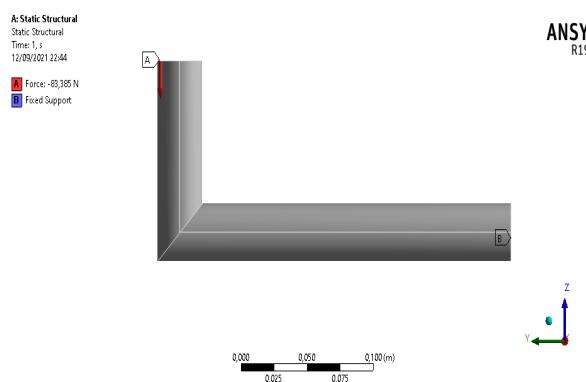


Figura 102 – Condição de contorno para o tubo L.

Fonte: Autores.

Portanto, as Figuras. 103 e 104 apresentam os resultados da tensão normal máxima no eixo Y e do critério de falha de Von Mises. Desse modo, conclui-se que o dimensionamento feito apresenta um comportamento adequado e as tensões são inferiores à tensão de escoamento do aço escolhido.

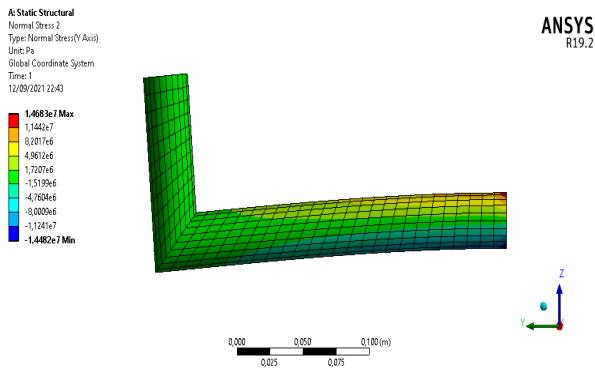


Figura 103 – Tensão normal máxima no tubo L.
Fonte: Autores.

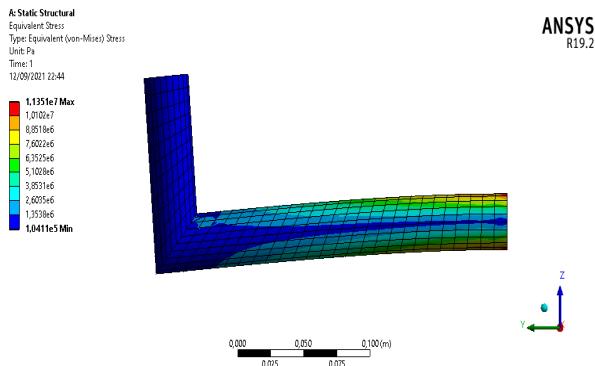


Figura 104 – Critério de falha de Von Mises para o tubo L.
Fonte: Autores.

I.0.1.2 Simulação estática do suporte interno

O suporte interno consiste na chapa de aço que conecta o motor elétrico inferior ao sistema de manobrabilidade (amortecedores e motor superior), vide Figura 105.

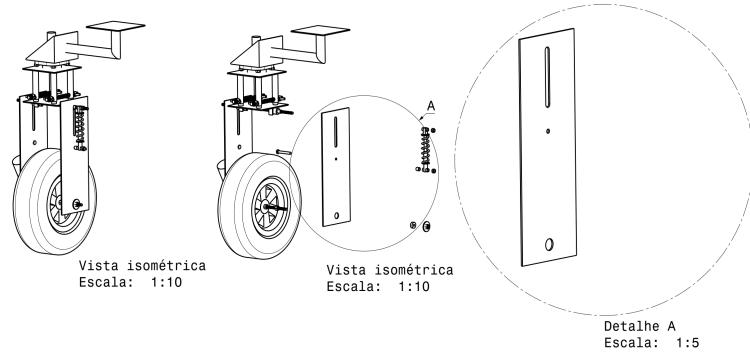


Figura 105 – Esquemático da localização do suporte interno.

Fonte: Autores.

Portanto, para realização da simulação considerou-se a superfície interna do furo circular como engastada devido a presença do motor e das rodas. Logo, a Figura 106 apresenta as condições de contorno da simulação.

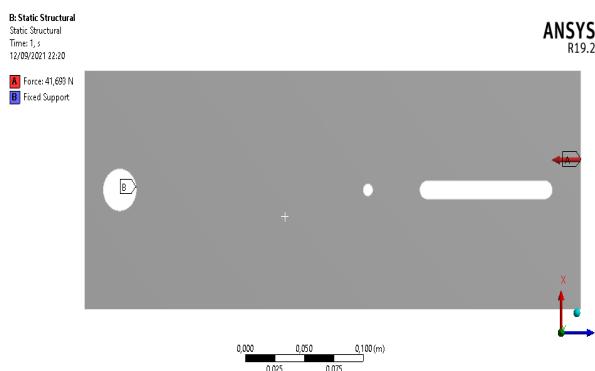


Figura 106 – Condição de contorno no suporte interno.

Fonte: Autores.

Portanto, as Figuras. 107 e 108 apresentam os resultados da tensão normal máxima no eixo Y e do critério de falha de Von Mises. Desse modo, conclui-se que o dimensionamento feito apresenta um comportamento adequado e as tensões são inferiores à tensão de escoamento do aço escolhido.

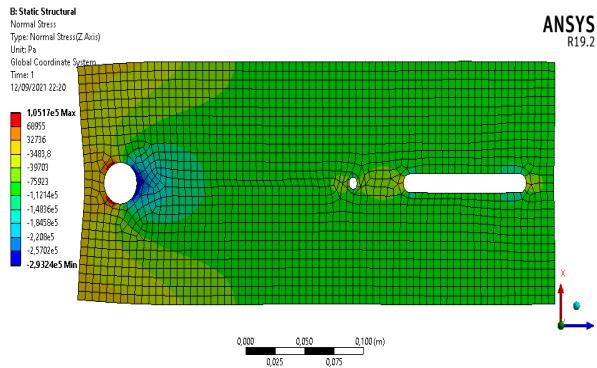


Figura 107 – Tensão normal máxima no suporte interno.

Fonte: Autores.

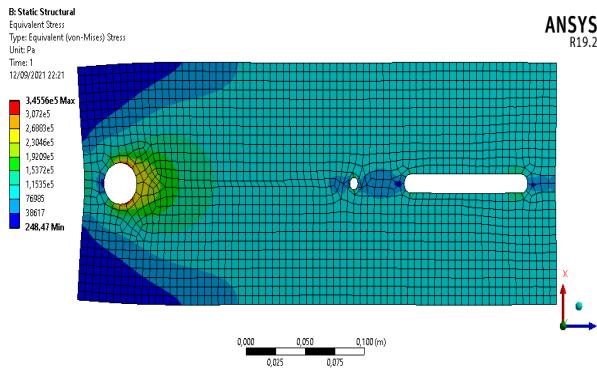


Figura 108 – Critério de falha de Von Mises para o suporte interno.

Fonte: Autores.

I.0.1.3 Simulação estática do suporte externo

O suporte externo é a peça equivalente a apresentada anteriormente, mas do outro lado da roda. Portanto, a metodologia de simulação é análoga. Portanto, a Figura 106 apresenta as condições de contorno da simulação.

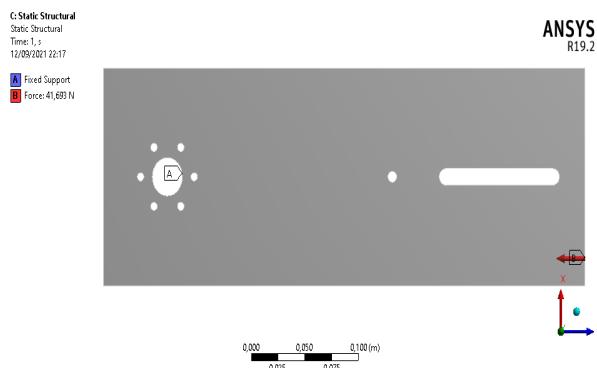


Figura 109 – Condição de contorno no suporte externo.

Fonte: Autores.

Por fim, as Figuras. 110 e 111 apresentam os resultados da tensão normal máxima no eixo Y e do critério de falha de Von Mises.

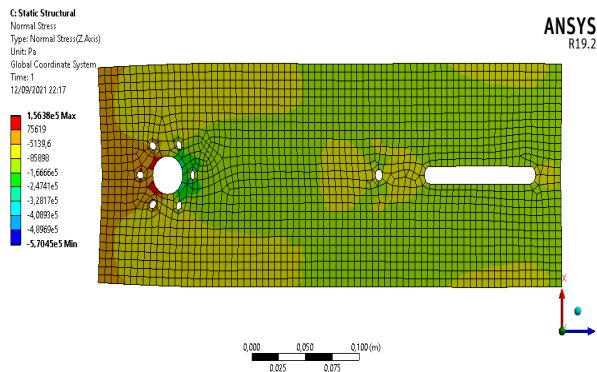


Figura 110 – Tensão normal máxima no suporte externo.
Fonte: Autores.

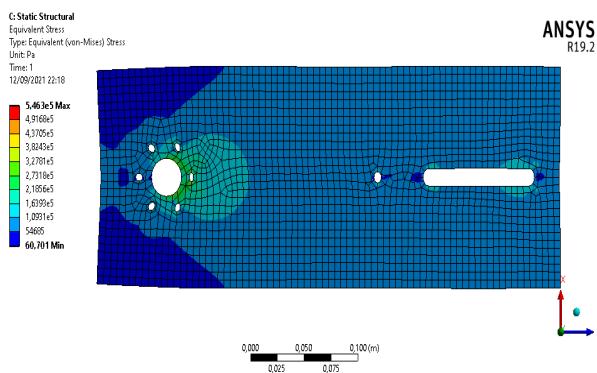


Figura 111 – Critério de falha de Von Mises para o suporte externo.
Fonte: Autores.

I.0.1.4 Simulação estática do suporte telescópico

O suporte telescópico é uma peça estrutural o qual suporta o motor para manobra do conjunto e apoia o sistema de molas, vide Figura 112.

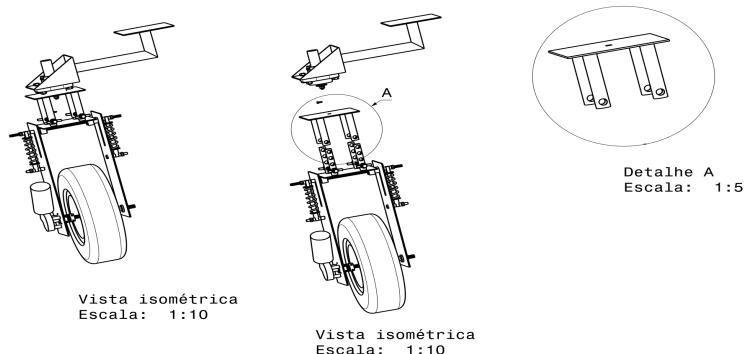


Figura 112 – Esquemático da localização do suporte telescópico.
Fonte: Autores.

Para simulação estática é considerado as hastes do sistema engastada e sobre a placa de apoio é aplicado a força peso do veículo com um fator de segurança de 1.5. A Figura 113 apresenta as condições de contorno para a carga peso distribuída sobre o sistema.

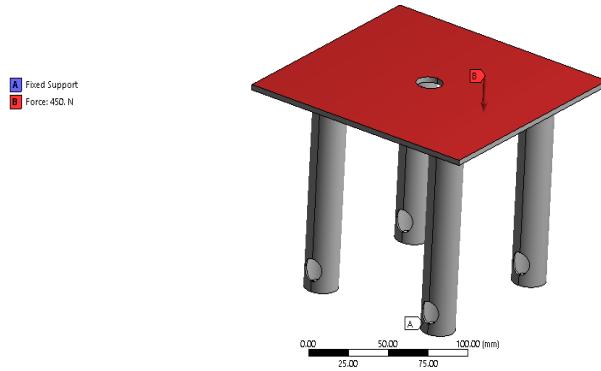


Figura 113 – Condição de contorno para carga distribuída.

Fonte: Autores.

A tensões atuantes na estruturas são abaixo da tensão de escoamento do aço utilizado, deste modo o dimensionamento feito apresenta uma estrutura confiável. Sendo a tensão máxima na direção Z igual a 4,35 MPa, tensão máxima de Von Mises igual a 8,6 MPa e deslocamento máximo de 0,016 mm, conforme a Figura 114.

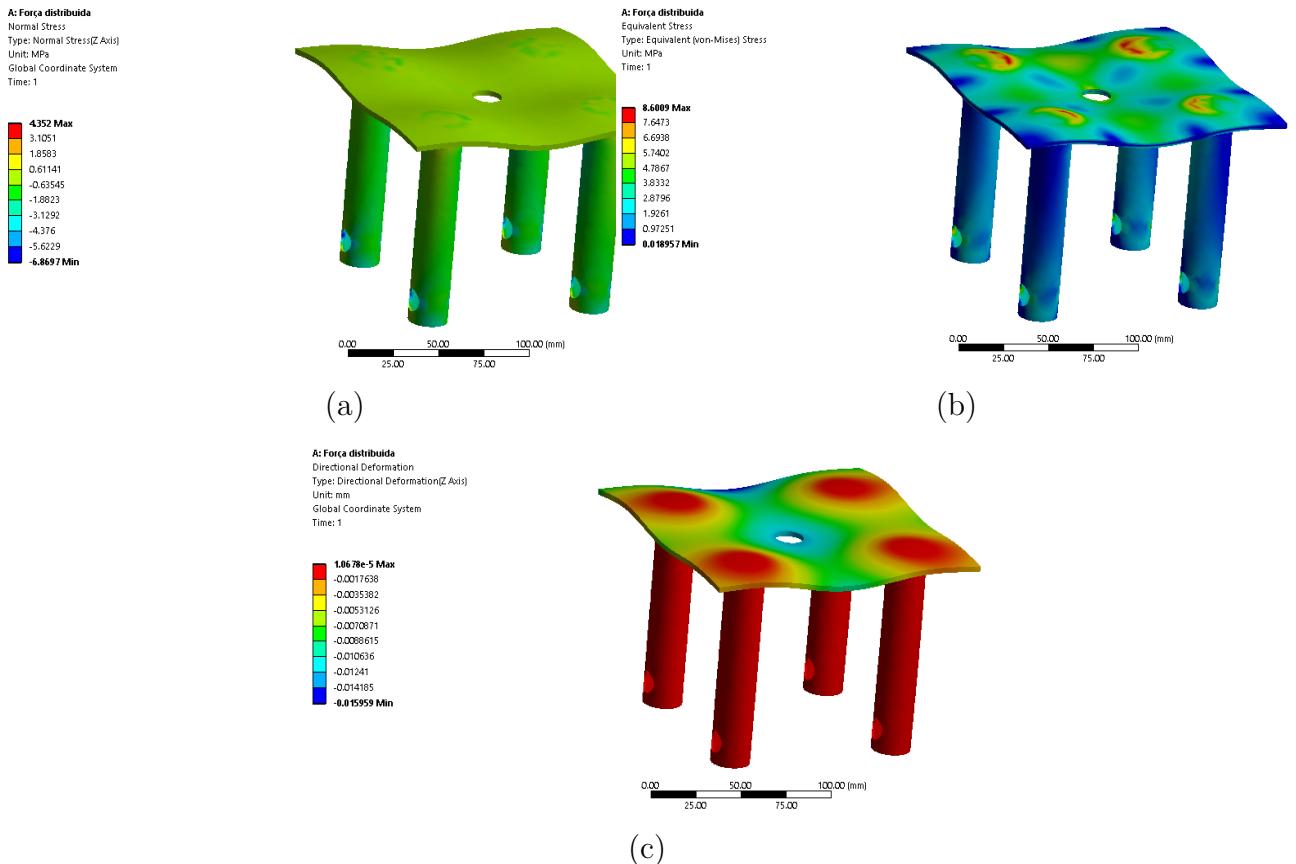


Figura 114 – Simulação suporte telescópio (a) Campo de tensão na direção Z. (b) Campo de tensão de Von Mises. (c) Campo de deslocamento. Fonte: Autores.

Outro força atuante no suporte em questão é o momento torsor enquanto os motores de manobra estão operando. A Figura 115 apresenta as condições de contorno aplicadas.

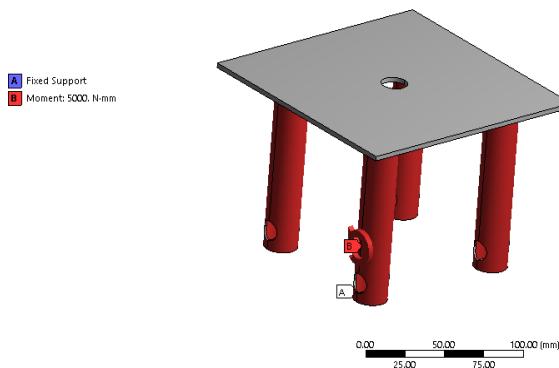


Figura 115 – Condição de contorno com momento torsor.
Fonte: Autores.

A tensões sofridas pela estrutura apresentam tensão máxima inferior a tensão de escoamento do aço utilizado. A tensão normal máxima na direção Z é igual a 2,07 MPa, a

tensão de Von Mises é igual a 2,02 MPa e a tensão máxima de cisalhamento é igual 1,04 MPa, conforme a Figura 116

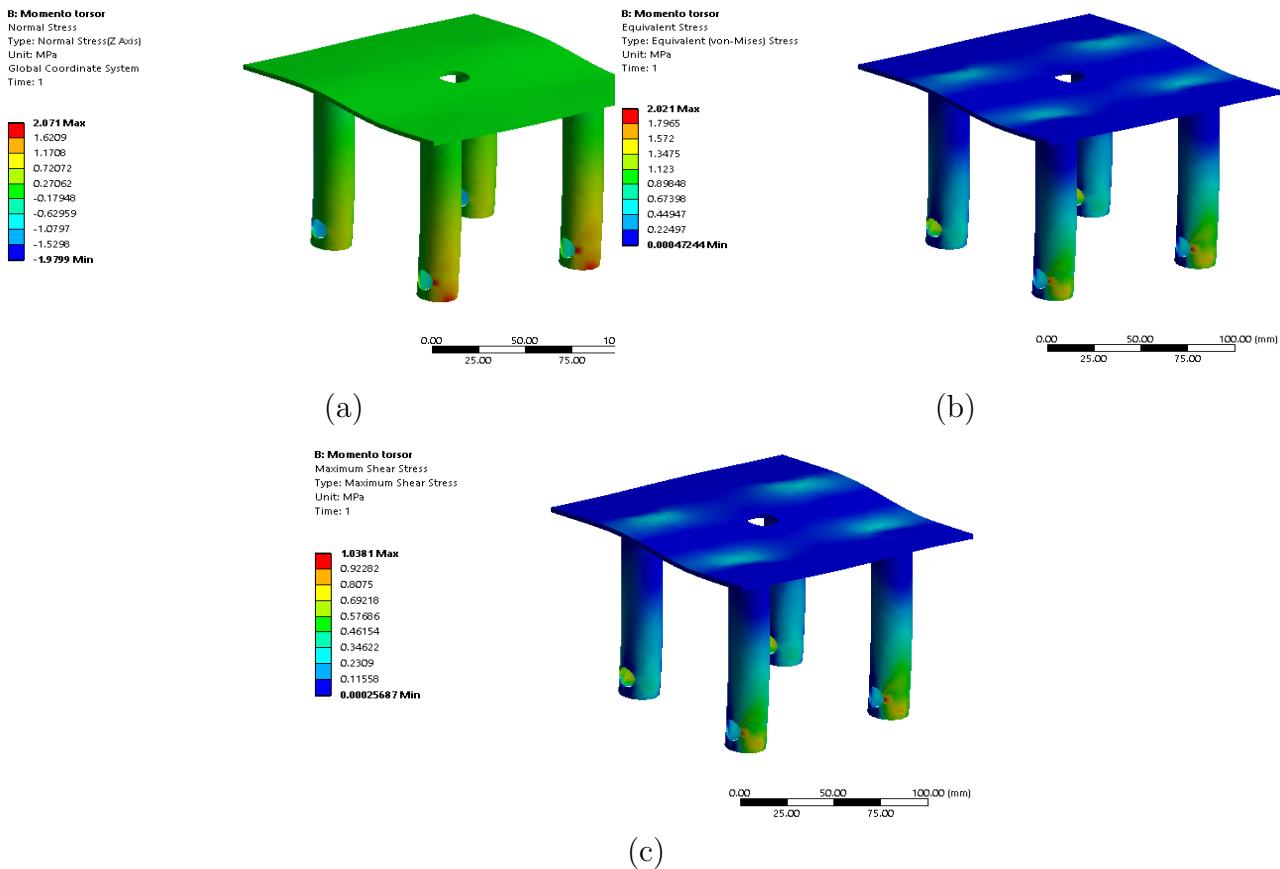


Figura 116 – Simulação suporte telescópio (a) Campo de tensão na direção Z. (b) Campo de tensão equivalente de Von Mises. (c) Tensão normal máxima de cisalhamento.

Fonte: Autores.

A partir das simulações desenvolvidas constata-se que o suporte telescópio opera em regime elástico, uma vez que, as tensões sofridas por esta estrutura não superam o escoamento do material utilizado.

[Link de retorno ao capítulo 4.3.3](#)

I.0.1.5 Simulação de flambagem do suporte telescópio

A flambagem ocorre quando considera-se a força peso distribuída axialmente às hastes, conforme apresenta a Figura 117, em que a carga compressiva é aplicada. A estrutura é modelada como coluna ideal de Euler, por não estar sujeito a carregamentos transversais.

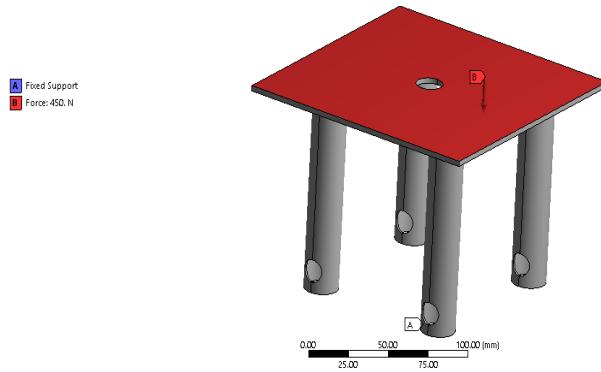


Figura 117 – Condição de contorno com momento torsor.

Fonte: Autores.

Foram analisados os 3 primeiros modos de flambagem, os quais tem carga crítica de 1161,2 N, 1820,9 N e 2442,9 N respectivamente. A Figura 118 apresenta os modos de flambagem da estrutura.

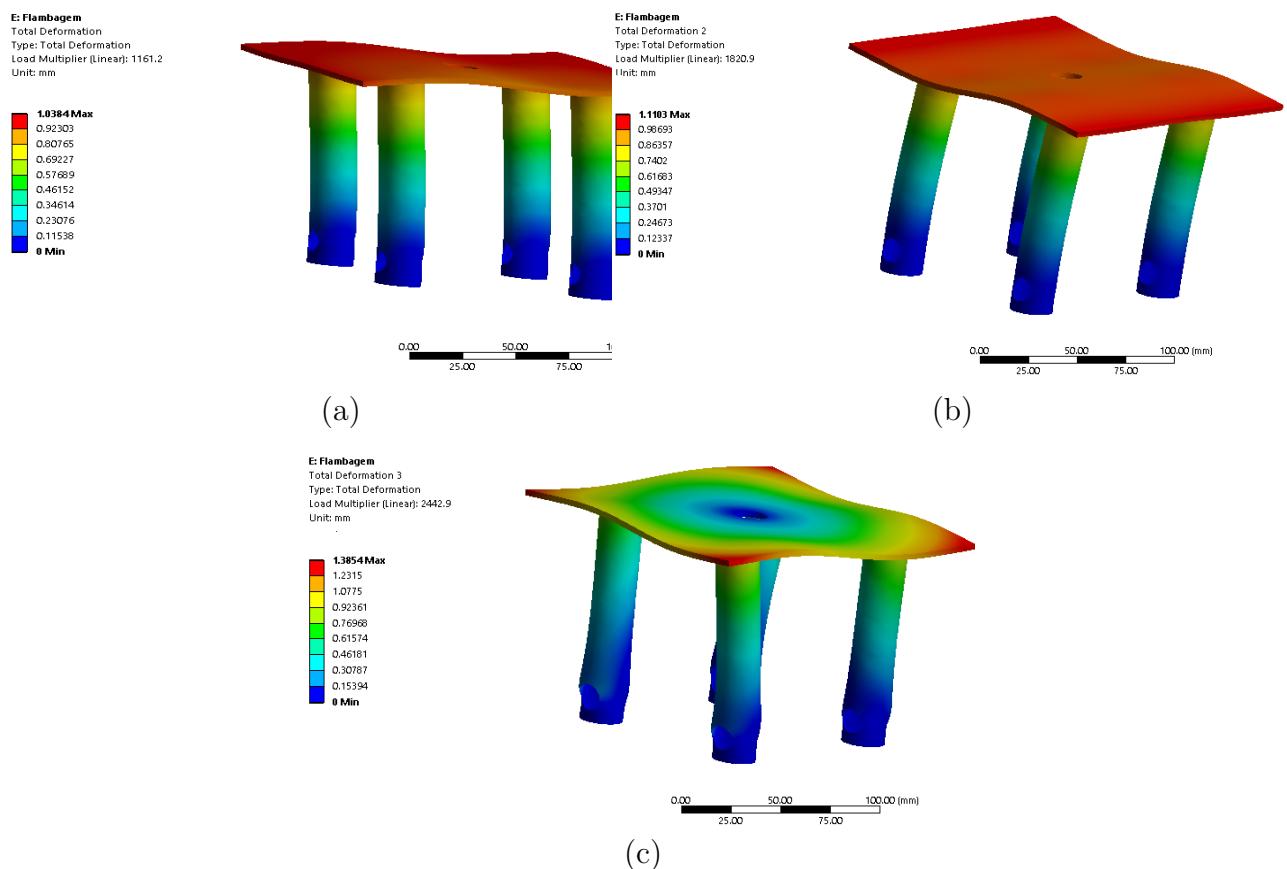


Figura 118 – Modos de flambagem (a) Primeiro modo de flambagem. (b) Segundo modo de flambagem. (c) Terceiro modo de flambagem.

Fonte: Autores.

I.0.2 Simulações estruturais dinâmicas

I.0.2.1 Análise modal

Analise modal provê as frequências naturais da estruturas, a qual, quando excitada nessas frequências ocorre o fenômeno de ressonância. Tal fenômeno leva a amplitude de deslocamentos durante a excitação que aumentam de forma exponencial que consequentemente eleva a tensão de forma exponencial até o colapso (EWINS, 2000; AVITABILE, 2018; INMAN, 2013). A Tabela 32 apresenta as frequências naturais da estrutura.

Tabela 32 – Frequências naturais.

Modo	Frequência Natural [Hz]
1	60,47
2	61,00
3	105,33
4	106,42
5	130,02
6	132,94
7	154,25
8	169,97
9	171,19
10	185,50

Fonte:Autores.

As frequências naturais obtidas são superiores a frequência de projeto adota de 2 Hz. A estrutura, deste modo, está seguro para operação sem risco de que haja ressonância ou haja deslocamentos suficientes para desconectar cabos e fiações do sistema embarcado.

I.0.2.2 Reposta do sistema

A partir das frequências naturais encontradas acima é determinado a resposta do sistema amortecido e comparar com o sistema não amortecido. Para a modelagem é simplificado o veículo como um sistema massa, mola, amortecedor, além disso, é considerado uma força de 15 N agindo no sistema o qual o representa forças oriundas do movimento em solo irregular. A massa do sistema considerado é 110 kg a partir da qual é possível normalizar a formar conforme a Eq. I.5.

$$f_0 = \frac{F}{m} \quad (\text{I.5})$$

Sendo o fator de amortecimento, $\xi = 0,3$, é determinado a frequência de amortecimento, ω_d :

$$\omega_d = \sqrt{1 - \xi} \quad (\text{I.6})$$

A partir de então é definido o deslocamento $x(t)$ conforme a Eq.I.7.

$$x(t) = e^{-\xi\omega_d t} (A \cos \omega_d t + B \sin \omega_d t) + ((\omega_n^2 - \omega^2) \cos \omega t + 2\xi\omega\omega_n \sin \omega t) \quad (\text{I.7})$$

As constantes A, B e C são determinados como:

$$A = x_0 - \frac{f_0(\omega_n^2 - \omega)}{(\omega_n^2 - \omega^2)^2(2\xi\omega\omega_n)^2} \quad (\text{I.8})$$

$$B = \frac{\xi\omega_n}{\omega_d} \frac{f_0(\omega_n^2 - \omega)}{(\omega_n^2 - \omega^2)^2(2\xi\omega\omega_n)^2} - \frac{f_0 2\xi\omega^2 \omega_n}{\omega_n [(\omega_n^2 - \omega^2)^2 + (2\xi\omega\omega_n)^2]} + \frac{v_0}{\omega_d} \quad (\text{I.9})$$

$$C = \frac{f_0}{(\omega_n^2 - \omega^2)^2(2\xi\omega\omega_n)^2} \quad (\text{I.10})$$

Deste modo é comparado as respostas sem amortecimento e amortecido do sistema estrutural em função do tempo, conforme a Figura 119.

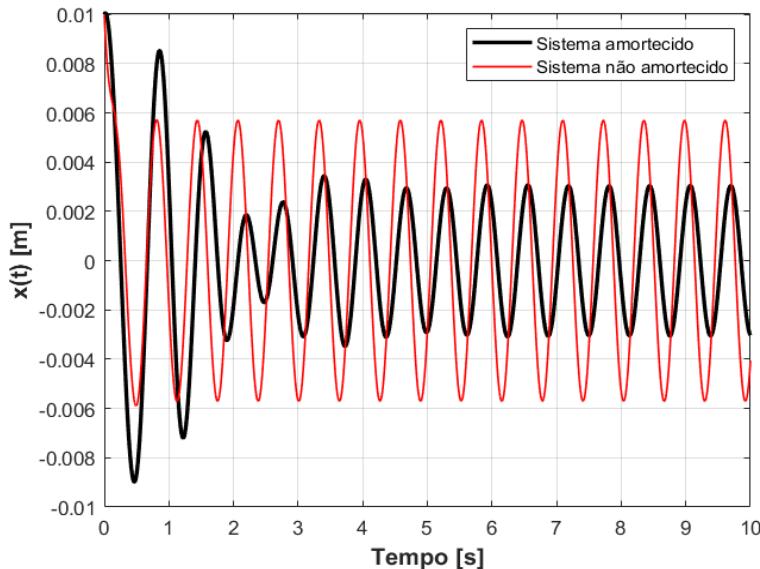


Figura 119 – Resposta da estrutura amortecida e não amortecida.

Fonte: Autores.

Pelo gráfico acima nota-se que o sistema não amortecido há deslocamentos elevados que se mantém com o tempo. Para o sistema amortecido a resposta do sistema é suavizada, o deslocamento tem amplitude menor, uma vez que, o sistema de amortecimento projetado dissipava energia atendendo assim as necessidades do projeto.

1.0.2.3 Resposta harmônica do suporte telescópio

Analise dinâmica em questão foi aplicado sobre o suporte uma força senoidal de magnitude de 450 N que a partir de então, foi analiso o espectro de densidade de tensão conforme a Figura 120.

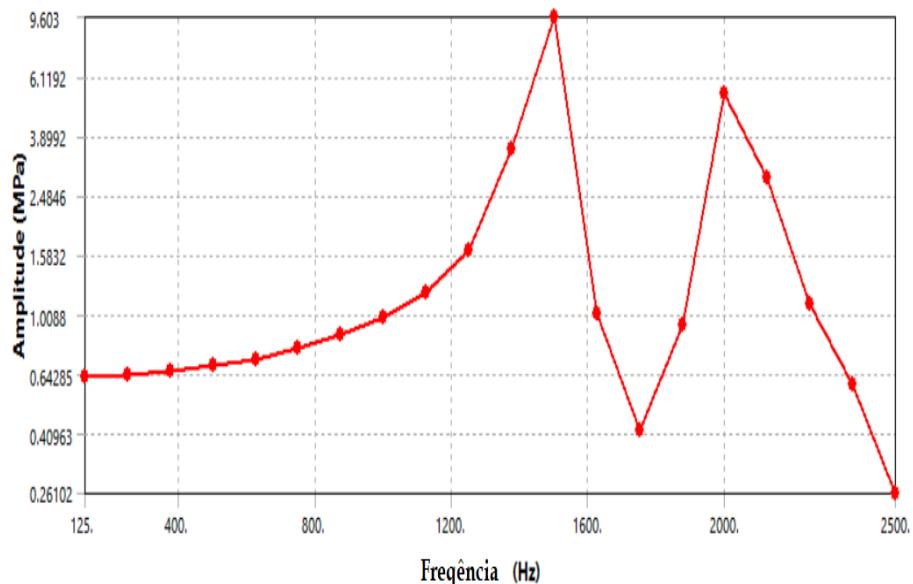


Figura 120 – Espectro de densidade de deslocamento. Fonte: Autores

Os picos e vales do gráfico acima indicam freqüências naturais do componente suporte telescópio. A tensão para excitações nessas freqüências serão máximas sobre o componente, contudo, as tensões máximas ocorrem num espectro de freqüência superior a freqüência em que a estrutura poderá ser excitada. Outro, fator que indica a segurança do sistema são os níveis de tensão que são abaixo da tensão de escoamento do material empregado.

[Link de retorno ao capítulo 4.3.4](#)

APÊNDICE J – Simulações hidráulicas

J.0.1 Simulação do circuito proposto

Em posse dos parâmetros da bomba, o circuito de funcionamento proposto foi representado no FluidSim da empresa Festo™ a fim de simular o circuito a ser implementado aplicando os parâmetros conhecidos, podendo então obter uma resposta próxima à realidade.

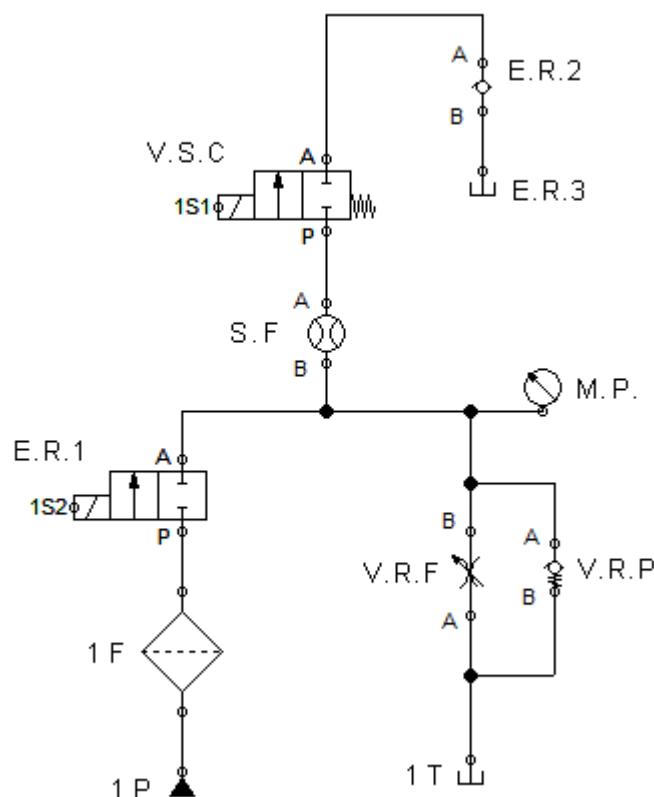


Figura 121 – Circuito hidráulico no software FluidSim. Fonte: Autores.

Primeiramente, foi confeccionado o circuito no software citado a cima como mostrado na Figura 121. Observação importante, no Fluid.Sim, algumas representações dos equipamentos não são fieis a Norma ISO 1219-2(Norma de Simbologia Gráfica de sistemas Hidráulicos e Pneumáticos) (COMPANY, 2021) , com isso, as figuras mostradas a seguir provenientes do software, não estão em total acordo com a norma e foram utilizados E.R (Elementos Representativos) para a representação de elementos que não são contemplados pelo software e/ou não constam na norma de representação.

Após representado no software, deve-se especificar os parâmetros a serem abordados na simulação.

Segundo as informações presentes no anúncio da bomba escolhida, devido suas dimensões e fonte de alimentação, ela tem uma vazão de 850l/h, que convertendo, equivale a 13,3 l/min ([HAINKE, 2021](#)).

Com relação à pressão de trabalho, o anúncio não informa, mas é algo passível de ser calculado por meio do conhecimento da Potência do equipamento de da vazão em l/min, já calculada.

Para o cálculo da potência, utiliza-se a equação: ([FIALHO, 2007](#)) pág.58

$$N = nt \times \frac{Q \cdot P}{600} \quad (\text{J.1})$$

onde:

$$N = U \times i$$

e:

- N = Potência[W];
- P = Pressão [bar];
- Q = vazão [l/min];
- 600 = fator de conversão;
- U = Tensão [Volt];
- i = Corrente [Ampere];
- nt = rendimento total do circuito que varia de 0,75 a 0,90*.

* : O Rendimento total é produto do Rendimento Volumétrico(nv) pelo Rendimento Mecânico-Hidráulico (nmh), onde nv varia de 0,91 a 0,93 e nmh varia de 0,82 a 0,97. ([FIALHO, 2007](#)) pág.59

Considerando um valor de $\eta_t = 0,75$ (menor valor de rendimento possível para o sistema, considerando o pior para a bomba e a linha de pressão, já que essas informações não são repassadas pelo fabricante da bomba, impossibilitando determinar o rendimento da linha), foram obtidos os seguintes valores:

- N = 0,019 kW

- $P = 1,14$ bar

O valor de P obtido anteriormente, se refere ao valor de Pressão Nominal (PN) da bomba. Para os efeitos de consideração de perdas de carga no sistema, deve-se utilizar o valor de Pressão Estimada de Trabalho (Pt_b), que pode ser obtida pela seguinte equação; (FIALHO, 2007) pág.43

$$Pt_b = PN - 0.15 \times PN \quad (J.2)$$

Onde o valor de 0,15, representa uma perda máxima de carga estimada, que varia de 10 a 15 por cento, então considerando o pior dos casos, utiliza-se esse valor.

Tendo posse do valor de pressão gerado pela bomba já considerando a perda de carga, é possível estimar a perda de carga no sistema, utilizando as seguintes equações: (FIALHO, 2007) pág.(88, 81,79)

$$VP = w \times \frac{Lt \times p \times v^2}{dt} \times \frac{5}{10^{10}} \quad (J.3)$$

onde:

- VP = Perda de Carga [bar];
- w = fator de atrito;
- Lt = comprimento total da tubulação[cm]*;
- p = massa específica [kg/m³];
- dt = diâmetro interno da tubulação [cm];
- 5/10¹⁰ = Fator de conversão.

e;

$$w = \frac{90}{Re} \quad (J.4)$$

onde;

- Re = Número de Reynolds;

que é obtido por meio de;

$$Re = \frac{v \times dt}{u'} \quad (J.5)$$

onde;

- v = velocidade do fluido para a tubulação [cm/s];
- μ' = Viscosidade do fluido em Stokes [St];

Chegando por fim em;

$$v = 121,65 \times Ptb^{1/33} \quad (\text{J.6})$$

Os cálculos foram efetuados chegando aos seguintes resultados para os seguintes dados de entrada utilizando água como fluido de trabalho:

- $PN = 1,14$ bar;
- $dt = 1,27$ cm;
- $\mu' = 0,0001002$ St; ([USP, 2021](#))
- $Lt = 170$ cm (comprimento de mangueiras mais o comprimento de cotovelos curtos, que são considerados de acordo com o diâmetro do mangueiramento); ([FIALHO, 2007](#)) pág.86

Os resultados obtidos foram:

- $Ptb = 0,97$ bar;
- $v = 121,53$ cm/s;
- $Re = 1540350,3$ ($Re > 2300$ = Escoamento Turbulento);*
- $w = 5,84 \cdot 10^{-5}$; $VP = 0,00005247$ bar. * ([FIALHO, 2007](#)) pág.80 Concluímos que a perda de carga no sistema elaborado, pode ser ignorada nas análises do sistema, por ele ser um sistema de baixa pressão.

Após determinada a pressão de funcionamento da bomba, e tendo em posse o valor da vazão, esses dados podem ser incorporados a simulação no Fluid.Sim no elemento de bomba, como mostrado na Figura 122.

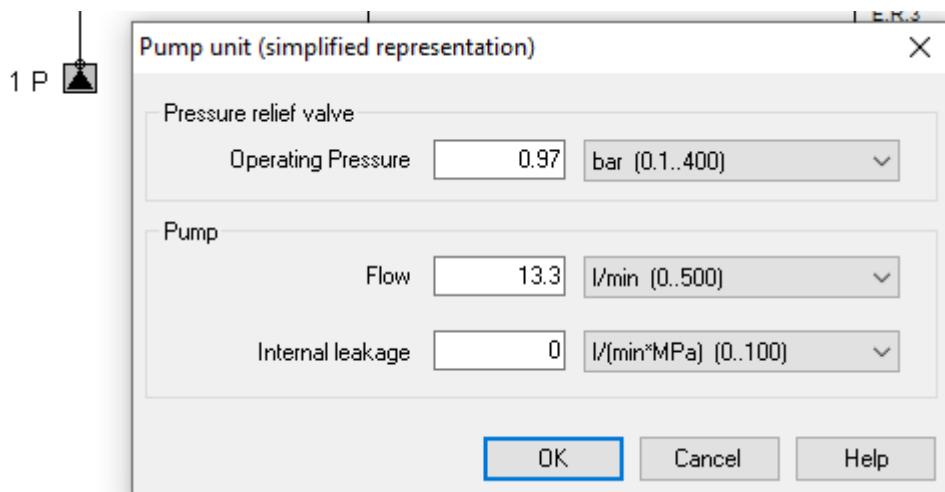


Figura 122 – Regulagem da bomba no software. Fonte: Autores.

A parte '*Internal Leakage*' (Vazamento Interno) não é considerada na simulação pois este valor é considerado para bombas que possuem em sua construção, uma válvula de alívio de pressão, caso a linha de saída tenha uma restrição total, o que não é o caso da bomba utilizada no sistema.

Após aplicado os parâmetros de bomba, é executada a simulação afim de verificar o funcionamento do circuito, verificar a pressão na linha, a vazão e fazer a regulagem das válvulas que compõem o sistema. A Figura 122 mostra o circuito após dado o comando de execução. Pode-se ver na imagem, setas preenchidas em preto sobre as linhas. Essas setas representam a direção de escoamento do fluido dentro do sistema. O E.R.1, é um elemento utilizado no circuito para representar o momento em que o sistema de controle liga a bomba, pois no software, não é possível comandar o ligar e desligar da bomba, algo que no sistema real, será realizado pelo sistema quando o equipamento for ligado e desligado, mesmo que, no sistema real, a bomba será de funcionamento contínuo. Após colocada a rotina de funcionamento do equipamento, a bomba entrará em ação e o fluido irá percorrer o caminho representado pela Figura 123 acima, que permite a recirculação contínua do fertilizante dentro do reservatório 1T. Não é possível colocar uma ligação entre o reservatório 1T e a bomba 1P na simulação, mas no circuito real, o reservatório possui um orifício de saída para a bomba, e um orifício de retorno do sistema. O elemento M.P (Medidor de Pressão) é utilizado para verificar a pressão presente na linha principal (linha representada com direcionamento de fluxo na Figura 123), essa pressão pode ser regulada com a abertura e fechamento da V.R.F (Válvula Reguladora de Fluxo) onde, quanto maior a abertura dessa válvula, menor a pressão na linha principal por onde o fluido percorre, podendo também ocorrer o oposto, onde caso a V.R.F seja completamente fechada, pode ocorrer o rompimento das ligações entre as mangueiras e os elementos do circuito, pulverização no momento errado e danificação dos elementos presentes na linha, embora esses fenômenos, neste caso, sejam pouco prováveis devido a baixa pressão de

operação, mas o fenômeno de queima da bomba devido ao não escoamento do fluido, é muito provável de ocorrer mesmo nessa situação, por isso, foi elaborado um sistema de segurança, caso o operador feche completamente o V.R.F.

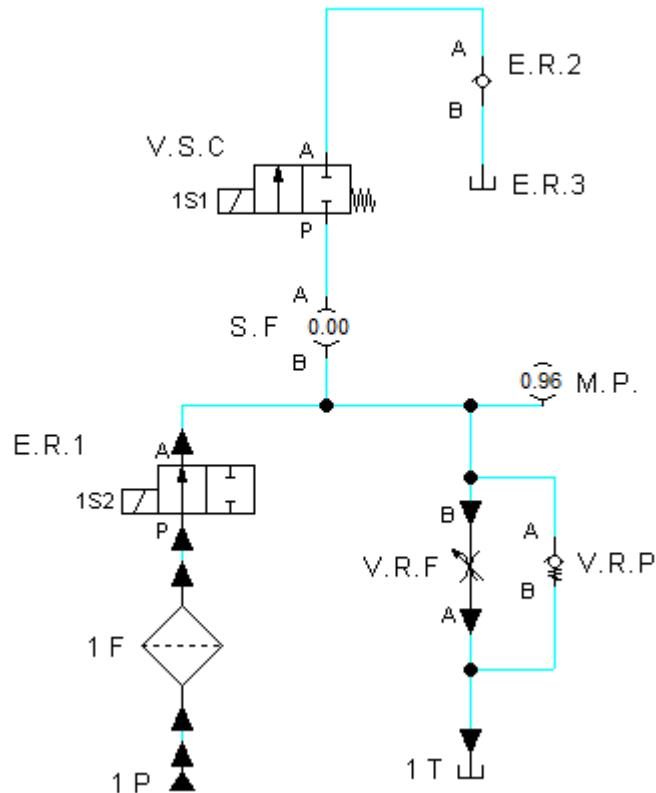


Figura 123 – Circuito em execução sem atuação da solenoide. Fonte: Autores.

O sistema de segurança contra danos a bomba, consiste na utilização da V.R.P (Válvula Reguladora de Pressão) em paralelo a V.R.F, pois caso o operador realize o fechamento igual a 15 por cento do curso da V.R.F, a pressão na linha será capaz de vencer a força da mola presente dentro da V.R.P, permitindo que o fluido escorra pela linha secundaria sem que a pressão se iguale a gerada pela bomba. Esse fenômeno pode ser visto nas Figuras 124 e 125 a seguir.

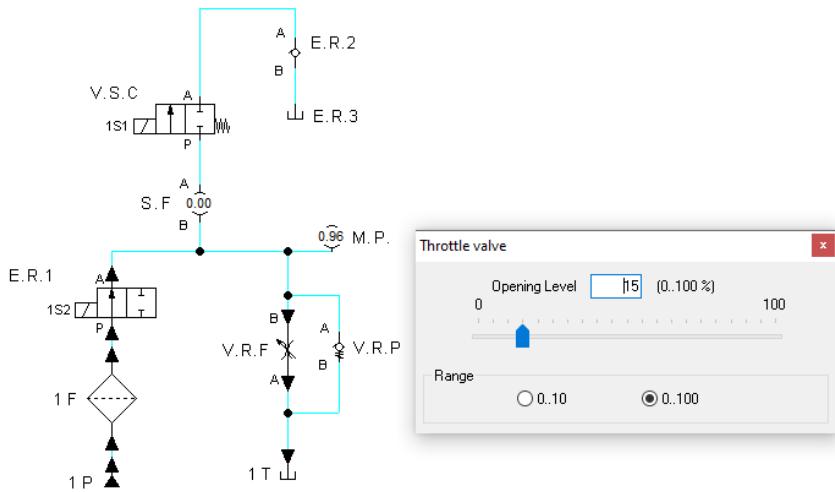


Figura 124 – Atuação do circuito de segurança. Fonte: Autores.

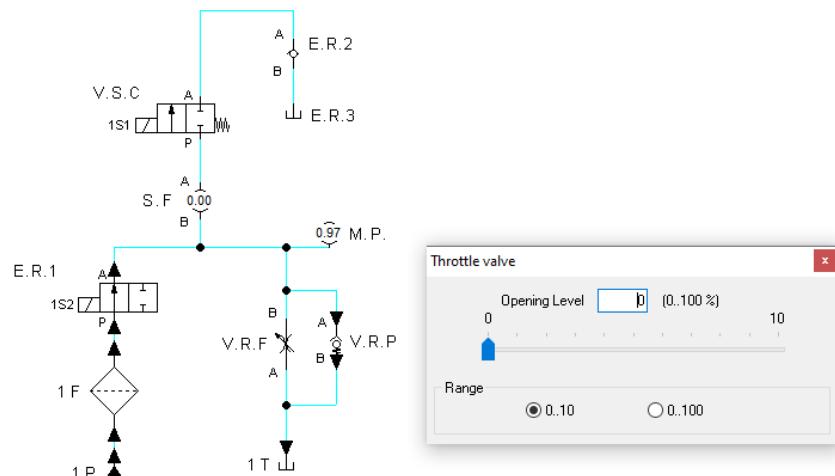


Figura 125 – Atuação do circuito de segurança. Fonte: Autores.

Note que, a partir do momento que a V.R.F. é regulada em 0 por cento do seu curso, a pressão na linha varia e se iguala a pressão da bomba, fazendo com que a V.R.P., regulada para 0,965 bar, aproximadamente, reaja e permita a passagem do fluxo pela linha paralela a V.R.F. como pode ser visto pelas setas preenchidas na cor preta.

Quando a linha secundária, linha de pressão que tem como primeiro elemento o S.F (Sensor de Fluxo), ela é composta de S.F., a V.S.C(Válvula Solenoide de Controle), pelo E.R.2 (Elemento Representativo 2) que tem como função representar o aspersor, e o E.R.3 (Elemento Representativo 3) que tem como objetivo representar o meio externo/morangueira.

O fluido irá percorrer essa linha a partir do momento em que a V.S.C. for aberta, via comando elétrico do sistema de controle, após ter a confirmação de que há uma morangueira na direção da saída do aspersor. A quantidade de fertilizante que será liberada

para a morangueira irá depender do tempo que a válvula solenoide irá permanecer aberta, visto que o a vazão na linha é conhecida pois é medida pelo S.F., permitindo até mesmo variar a quantidade de fertilizante a ser pulverizada na morangueira.

A representação de funcionamento do sistema pode ser contemplada na Figura 126 a seguir.

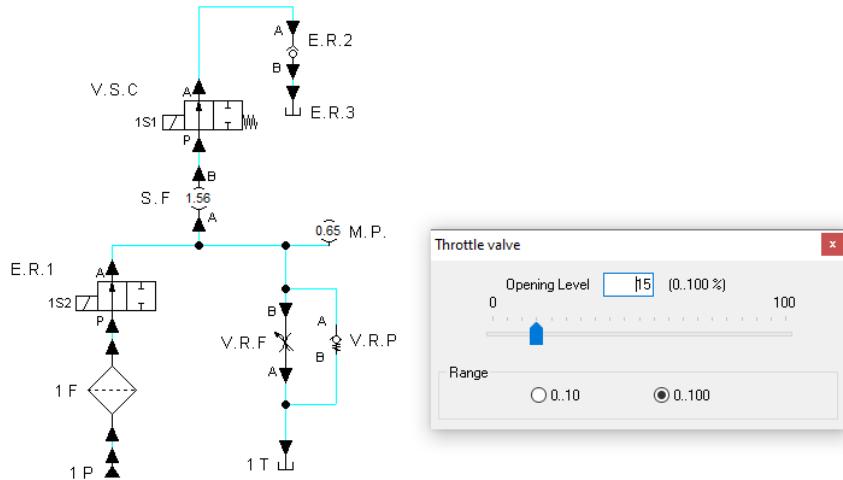


Figura 126 – Circuito em execução com atuação da solenoide. Fonte: Autores.

Pode se ver que, quando a V.S.C entra em atuação, o fluido tende naturalmente a seguir em direção ao aspersor, devido à pressão no E.R.3 ser menor que a pressão na V.R.F, pois é possível ver na simulação uma redução de aproximadamente 0,31 bar na linha principal, por meio da leitura do M.P presente na linha. A simulação também mostra que a linha secundária apresenta uma vazão de 1,56 l/min, ou 0,026 l/min, isso para uma regulagem de 15 por cento do curso total da V.R.F. Também foi simulado para o caso de a V.R.F esteja completamente fechada, e completamente aberta. Os resultados podem ser vistos nas Figuras. 127 e 128.

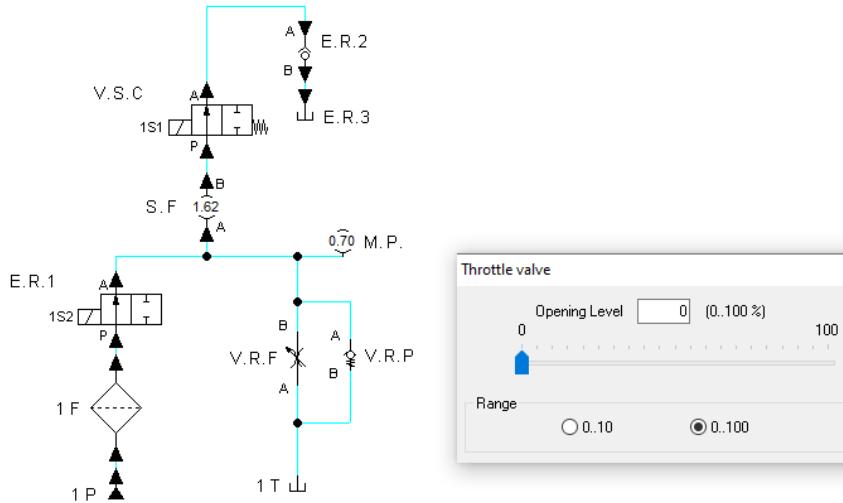


Figura 127 – Circuito em execução com atuação da solenoide e restrição de fluxo. Fonte: Autores.

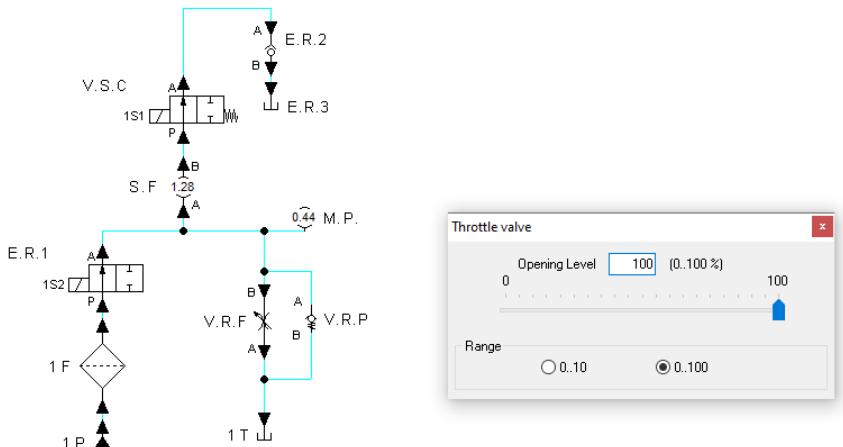


Figura 128 – Circuito em execução com atuação da solenoide e sem restrição de fluxo. Fonte: Autores.

É possível de ver que com a V.R.F completamente fechada, quando a V.S.C abre, o fluido tende a ir quase que completamente para a linha secundária (parte fica preso nos mangueiramentos), pois não há nenhuma restrição de escoamento neste caminho, aumentando assim o a vazão na linha para 1,62 l/min e uma pressão de 0,70 bar.

Já com a V.R.F completamente aberta, a vazão na linha do aspersor (secundária) tende a diminuir, pois o fluido já está escoando com um certo dinamismo na linha de retorno(principal), o que pode ser notado que a pressão na linha principal reduz para 0,44 bar. Os resultados obtidos de vazão na linha de saída para o aspersor, em qualquer uma das situações extremas de operação(V.R.F completamente aberta ou fechada), oferece uma vazão na faixa de 1,28 l/min a 1,62 l/min, o que é uma vazão mais do que suficiente para a pulverização do fertilizante.

Para fins de maior entendimento da dinâmica das vazões no circuito, foi adicionada ao circuito da simulação um outro sensor de fluxo, na linha de retorno ao reservatório, os resultados podem ser vistos nas Figuras 129, 130 e 131.

[Link de retorno ao capítulo 4.3.6.1](#)

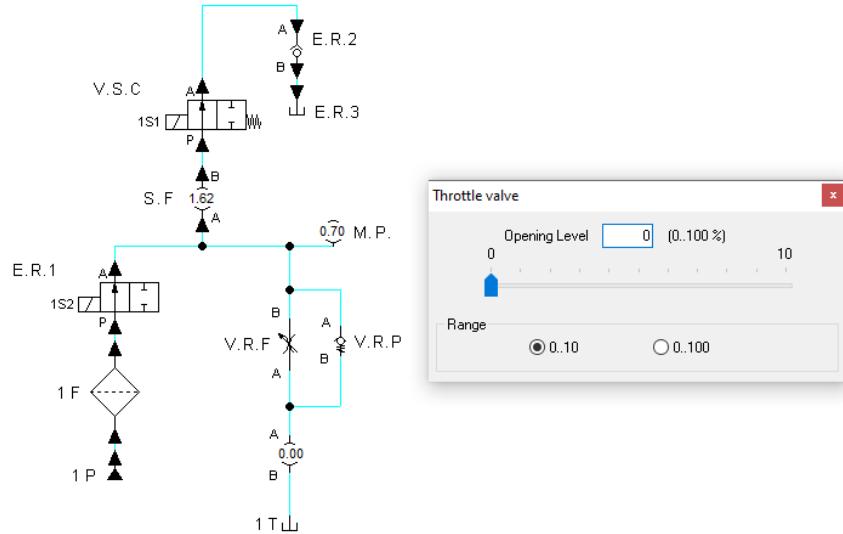


Figura 129 – Circuito em execução com atuação da solenoide e restrição de fluxo com outro sf. Fonte: Autores.

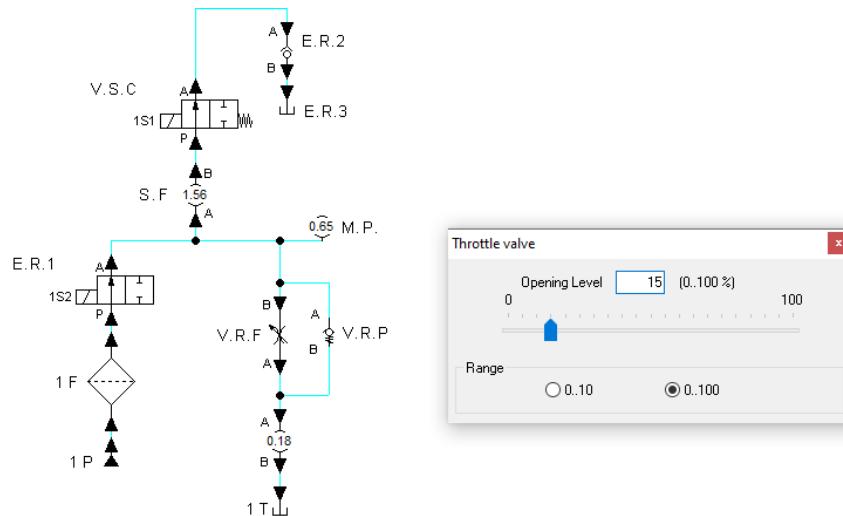


Figura 130 – Circuito em execução com atuação da solenoide com restrição de fluxo parcial e com outro sf. Fonte: Autores.

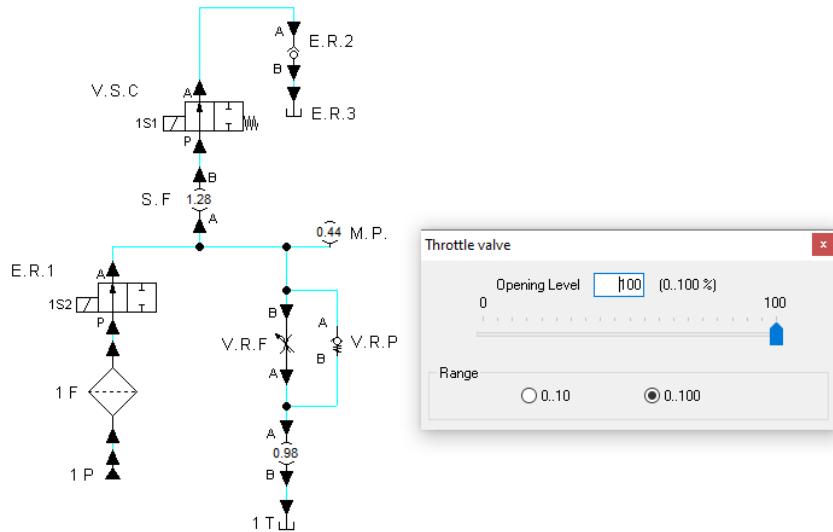


Figura 131 – Circuito em execução com atuação da solenoide e sem restrição de fluxo com outro sf. Fonte: Autores.

J.0.2 Simulação do Bico pulverizador

Com o objetivo de escolher o bico pulverizador que melhor se adequa, foi elaborada a Tab.33

Tabela 33 – Comparativo entre tipos de bico. Fonte: Autores

Bico	Tipo de jato	Ângulo de pulverização	Vazão nominal	Característica
ATR Brown	Cônico vazio	80°	0,48[l/min]	Distribui o produto de forma circular, com poucas gotas no centro do cone. Utilizados em pulverizadores de barra e em turboatomizadores.
ATR Red	Cônico sólido	60°	1,38[l/min]	Distribui o produto de forma circular, com distribuição no centro também. Mais utilizados em áreas de alta densidade foliar.

Tabela 33 continuação da tabela

API 110-02	Plano	110°	0,80[l/min]	A saída é um "V" invertido formado por uma elipse. A disposição é maior no centro se dissipando nas extremidades. Mais utilizados em equipamentos de pulverização de barra. Necessitando o cruzamento dos jatos para a perfeita uniformização da distribuição do produto.
API 110-04	Plano	110°	1,60[l/min]	Apresenta distribuição uniforme ao longo de toda a faixa de aplicação, não precisando de sobreposição para uniformizá-la. Mais utilizados em pulverizadores costais e em pingente, para aplicações localizadas.

A realização da simulação do pulverizador depende dos valores encontrados na simulação da mangueira do sistema de pulverização. Para a realizar a simulação foi utilizado o Software ANSYS fluent 2020 R2.

O domínio da geometria foi criado através CAD do pulverizador e simplificado para fins da redução do gasto da memória computacional. A geometria foi feita no modelo 2D, respeitando as dimensões do modelo 3D.

ANSYS
2020 R2

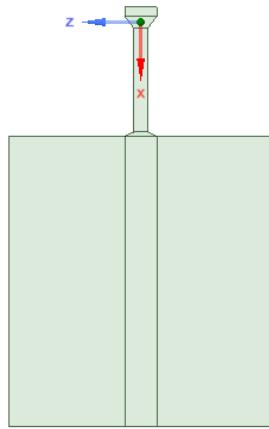


Figura 132 – Geometria 2D pulverizador. Fonte: Autores.

Para a obtenção da malha, foi realizado um estudo de convergência de malha, para obter os resultados condizentes com a realidade do escoamento do fertilizante.

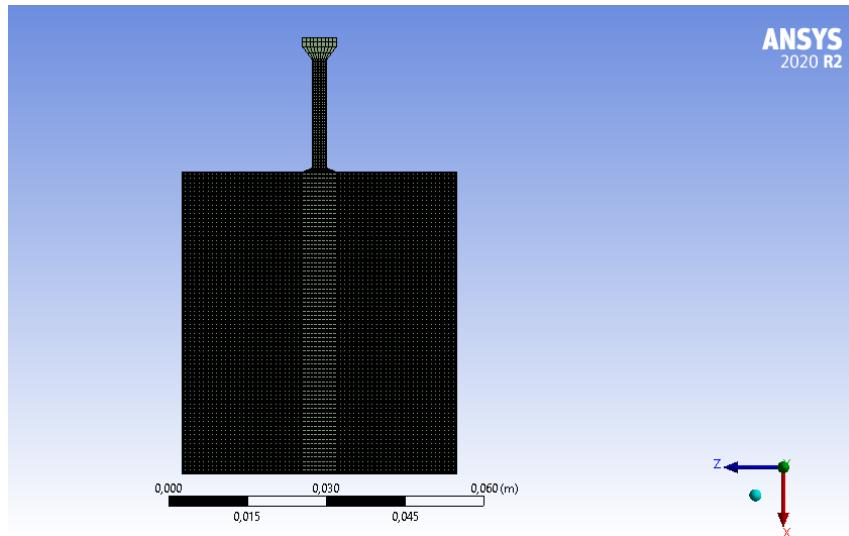


Figura 133 – Discretização do domínio do pulverizador. Fonte: Autores.

Foram selecionadas quatro condições de contorno, sendo um inlet e três outlet, devido a saída para a atmosfera. Para a realização da simulação, foi realizado o cálculo da vazão mássica para utilizá-la como input.

$$\dot{m} = \rho V_{\text{avg}} A_c \quad (\text{kg/s}) \quad (\text{J.7})$$

obtendo assim o valor de 0,06648 kg/s.

Já na saída foram determinados as condições de contorno baseada na pressão atmosférica. O fluido de trabalho utilizado foi a água a uma densidade de $998,2 \text{ kg/m}^3$, a aguá é utilizada devido os fertilizantes serem misturados a ela.

Após 1500 iterações a simulação atingiu sua convergência e foram obtidos os seguintes resultados:

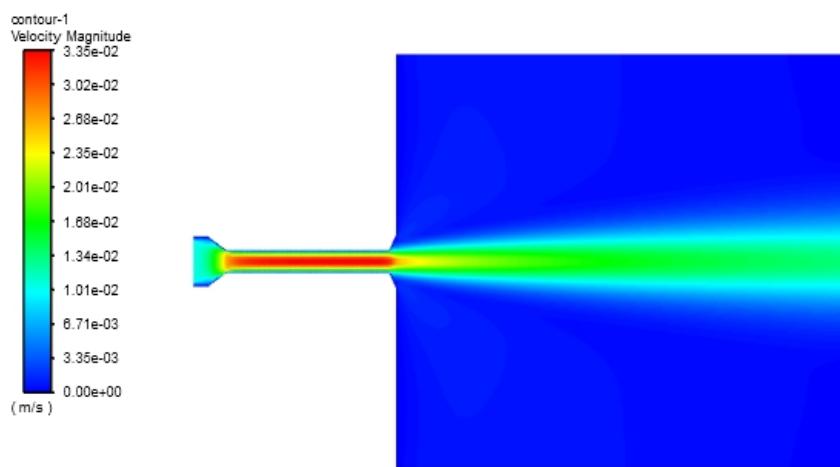


Figura 134 – Velocidade do Pulverizador. Fonte: Autores.

O comportamento do fluido no pulverizador condiz com a realidade física de escoamentos laminares, o que é esperado para um fluido de velocidade e pressão baixos. A velocidade na saída se encontra a $0,00235 \text{ m/s}$ e cerca de $0,0030 \text{ m/s}$ na altura da folhagem. Essa velocidade é adequada para não danificar a folhagem, além da baixa pressão apresentada abaixo. Devido a possibilidade da alteração da altura, esses valores podem ser alterados conforme o ideal para o usuário.

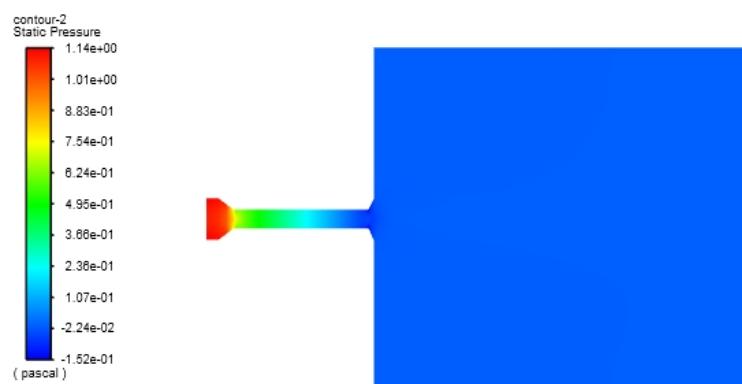
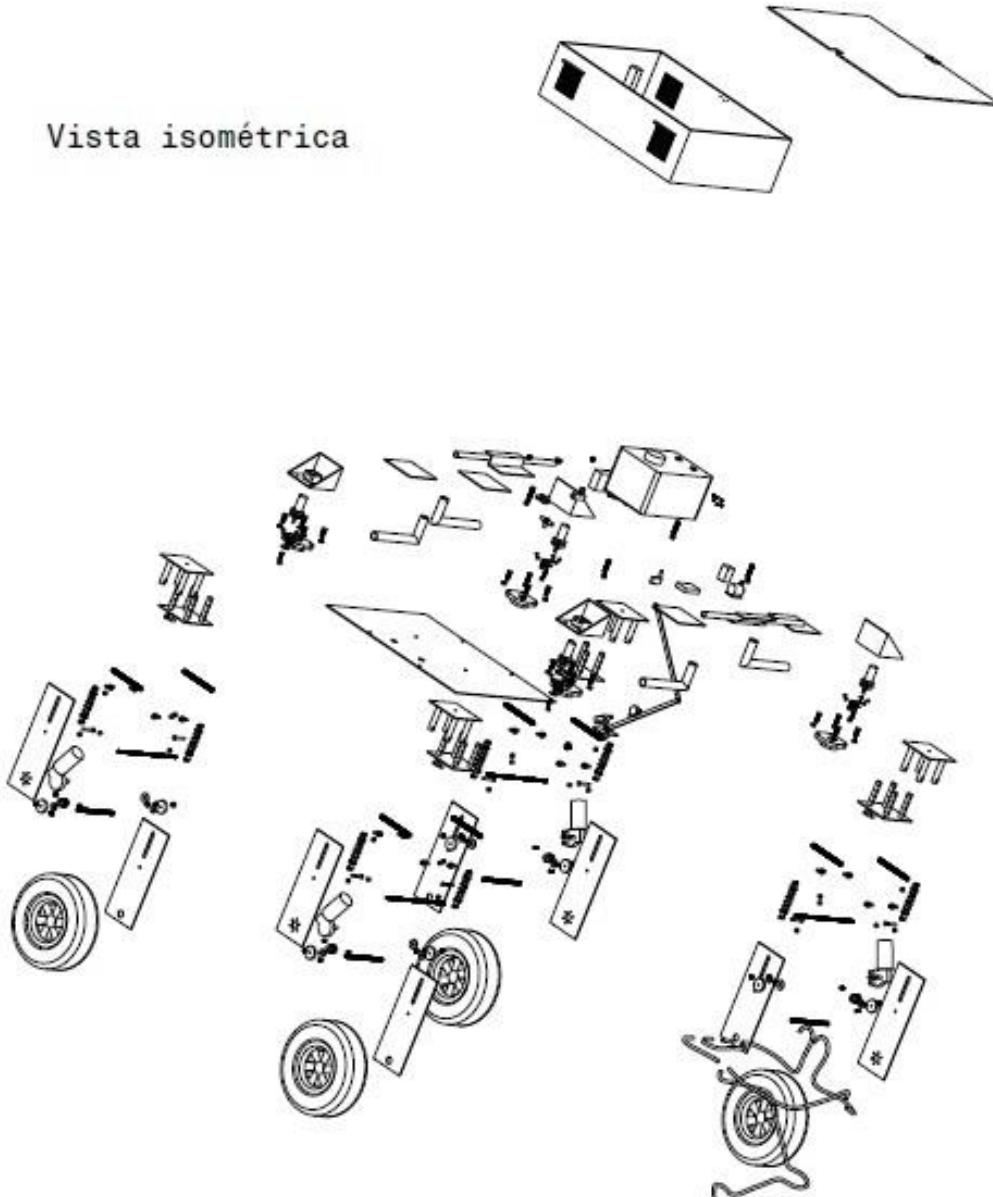


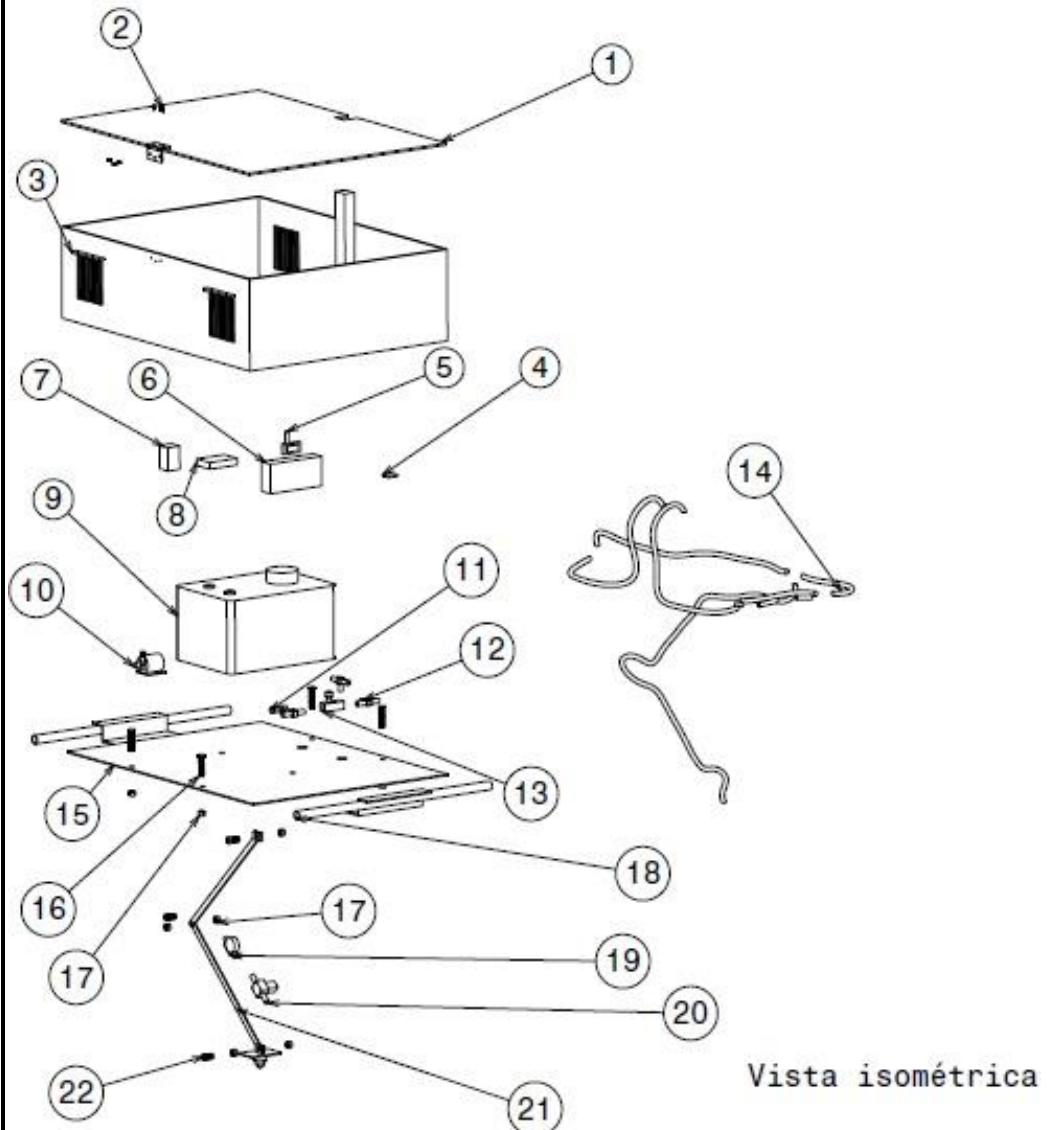
Figura 135 – Pressão estática do Pulverizador. Fonte: Autores.

APÊNDICE K – Desenhos Técnicos

Vista isométrica

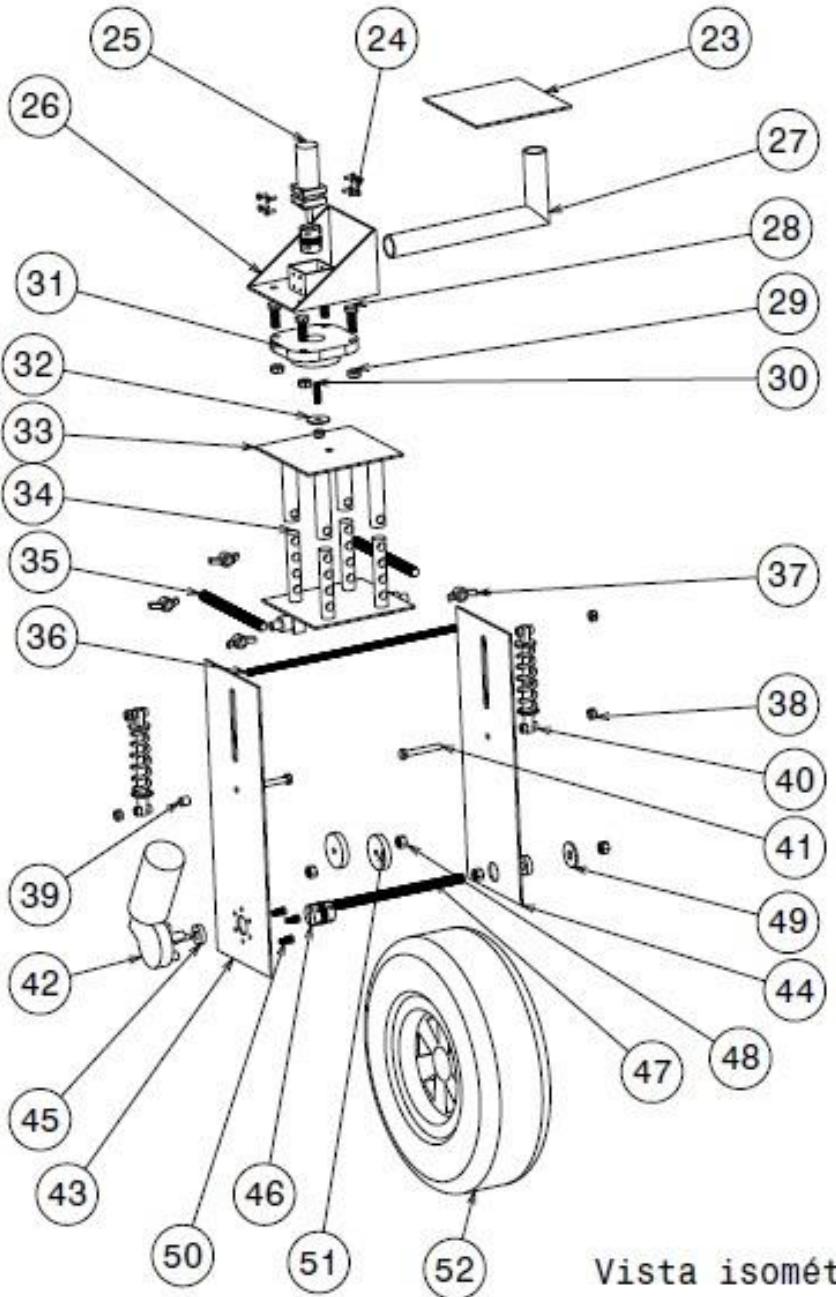


	Titulo: Vista Explodida Completa Modelo 3D: André N. Delgado	Des.nº: 1/36
Brasília – DF	Detalhamento: André N. Delgado	Escala: 1:25
A4	Revisão: Fernando M., Lucas Araujo, Mateus Sant'anna	Unidade: mm
Data: 11/09/2021	Mat.:	Peso: 100 kg



Nº DO ITEM	DESCRICAÇÃO	QUNATIDADE
1	Tampa da caixa	1
2	Parafuso fenda auto atarraxante ø 3,9(Nº7) -8mm	6
3	Caixa de proteção	1
4	ESP-32	1
5	Lora	1
6	Bateria de íon-lítio principal	1
7	Bateria de íon-lítio auxiliar	1
8	Raspberry	1
9	Tanque reservatório 325mmx230mmx185mm (12L)	1
10	Bomba do tipo turbina com conectores fêmeas ø12-20mm	1
11	Válvula Reguladora de Pressão ½" (By pass) com conectores fêmeas ø12-20mm	1
12	Conector em T ½"	3
13	Válvula Reguladora de Vazão ½" com conectores machos ø12-20mm	1
14	Mangueiras de ½" (1m)	1
15	Chapa do assoalho central	1
16	Parafuso sextavado rosca interna ø 12 - 50mm	4
17	Porca sextavada M12 chave 19	10
18	Suporte de transporte manual (montado)	2
19	Sensor de fluxo com conectores fêmeas ø12-20mm	1
20	Válvula solenoide de ½" com conectores fêmeas ø12-20mm chapa de suporte e 4 parafusos chato de fenda simples ø3,9-8mm	1
21	Suporte do aspersor (montado)	1
22	Barra rosada para o suporte do aspersor ø 12mmx30mm	3

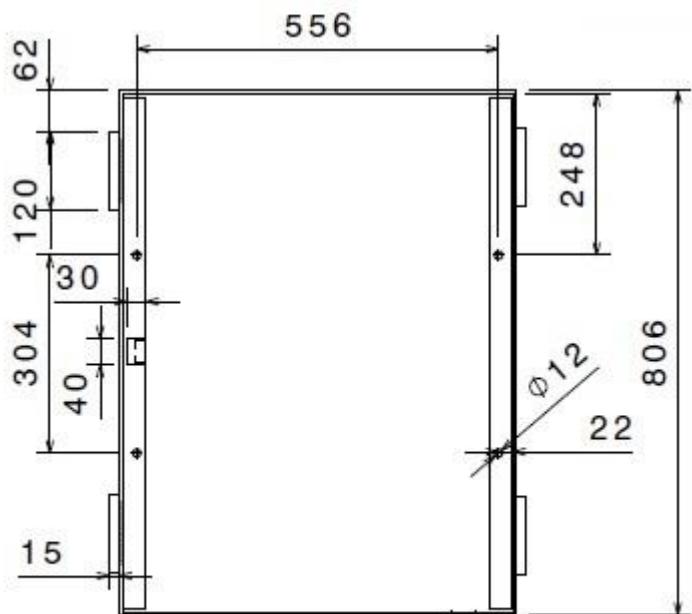
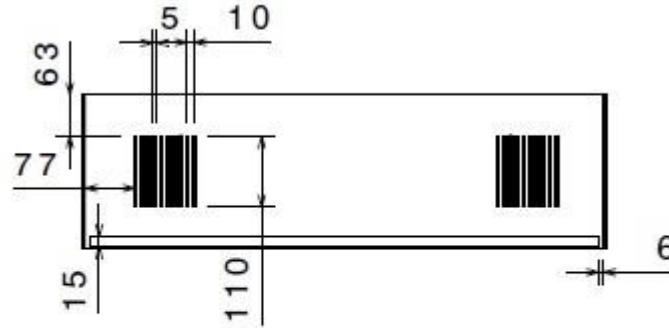
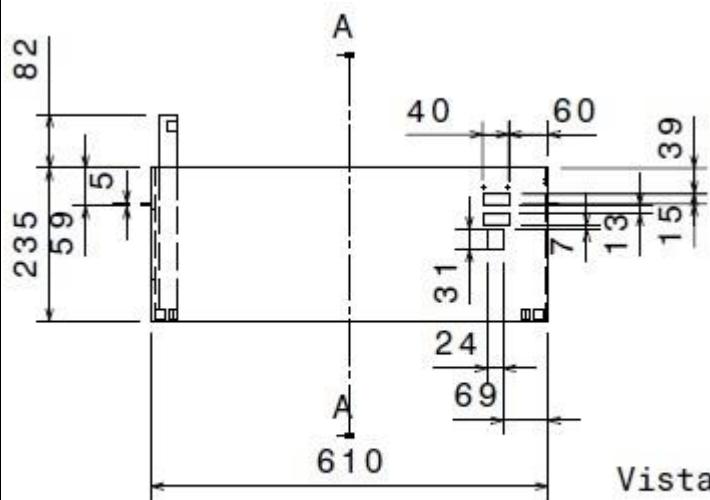
	Titulo: Vista Explodida Corpo central	Des.nº: 2/36
	Modelo 3D: André N. Delgado	
Brasília – DF	Detalhamento: André N. Delgado	Escala: 1:15
A4	Revisão: Fernando M., Lucas Araujo, Mateus Sant'anna	Unidade: mm
Data: 08/09/2021	Mat.:	Peso: 29 kg



Vista isométrica

Nº DO ITEM	DESCRÍÇÃO	QUNATIDADE
23	Placa de conexão Tubo/ Assoalho	1
24	Parafuso sextavado ø 4 – 12mm	8
25	Motor DC superior de rotação do braço	1
26	Placa de conexão e suporte do motor superior (montada)	1
27	Tubo de conexão Caixa Central/ Braço de apoio	1
28	Parafuso sextavado ø 10 – 30mm	4
29	Porca ø10 – Chave 17	4
30	Eixo de rotação do conjunto Braço/roda ø 8 – 30mm	4
31	Rolamento SKF F4BSS	1
32	Arruela de pressão ø 9,57 -17,27mm	1
33	Suporte telescópico (parte superior) (montado)	1
34	Suporte telescópico (parte inferior) (montado)	1
35	Barra rosada para regulagem de altura ø 12-180mm	2
36	Barra rosada de fixação dos amortecedores ø 8-320mm	1
37	Porca Borboleta ø 12- A50 mm	4
38	Porca sextavada ø 8- Chave 13	5
39	Espaçador do amortecedor	2
40	Amortecedor com mola	2
41	Parafuso sextavado ø 8 – 60mm	2
42	Motor elétrico inferior	1
43	Suporte da roda e motor (Lado externo)	1
44	Suporte da roda e motor (Lado interno)	1
45	Rolamento Blindado SKF	2
46	Acoplamento de eixo 8x8 mm	1
47	Eixo da roda ø 8 - 220mm	1
48	Porca sextavada ø 8 – chave 13	4
49	Arruela lisa de aba larga A-8,3mm e B-24mm	1
50	Parafuso sextavado ø 6 – 16mm	3
51	Apoio interno ao eixo da roda	2
52	Conjunto roda e pneu	1

	Titulo: Vista Explodida Braço de apoio (x4)	Des.nº: 3/36
	Modelo 3D: André N. Delgado	
Brasília – DF	Detalhamento: André N. Delgado	Escala: 1:10
A4	Revisão:Fernando M., Lucas Araujo, Mateus Sant'anna	Unidade: mm
Data: 08/09/2021	Mat.:	Peso: 17,775 kg



Titulo: Capa protetora

Des.nº: 4/36

Modelo 3D: André N. Delgado



Brasília – DF

Detalhamento: André N. Delgado

Escala: 1:10

A4

Revisão: Fernando M., Lucas Araujo, Mateus Sant'anna

Unidade: mm

Data:

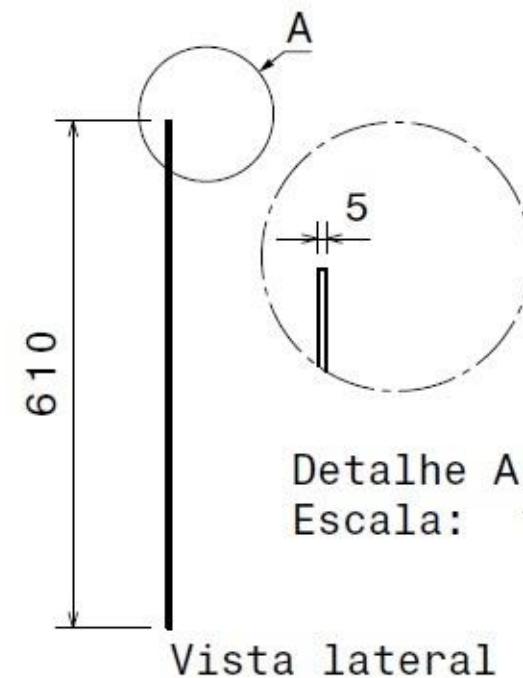
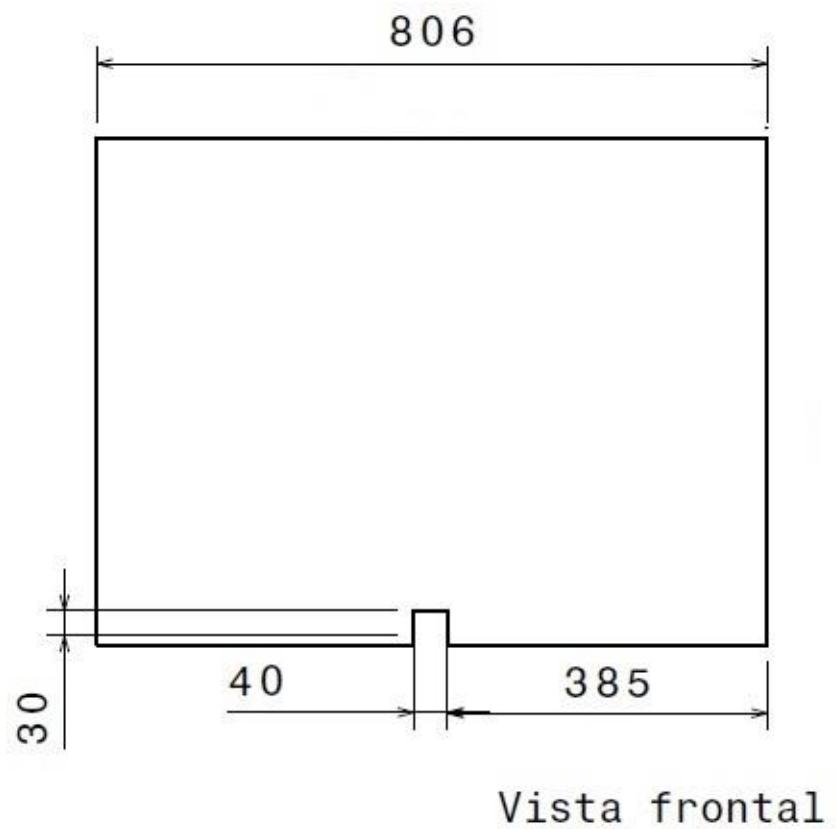
23/10/2021

Mat.: Plástico (Nylon)



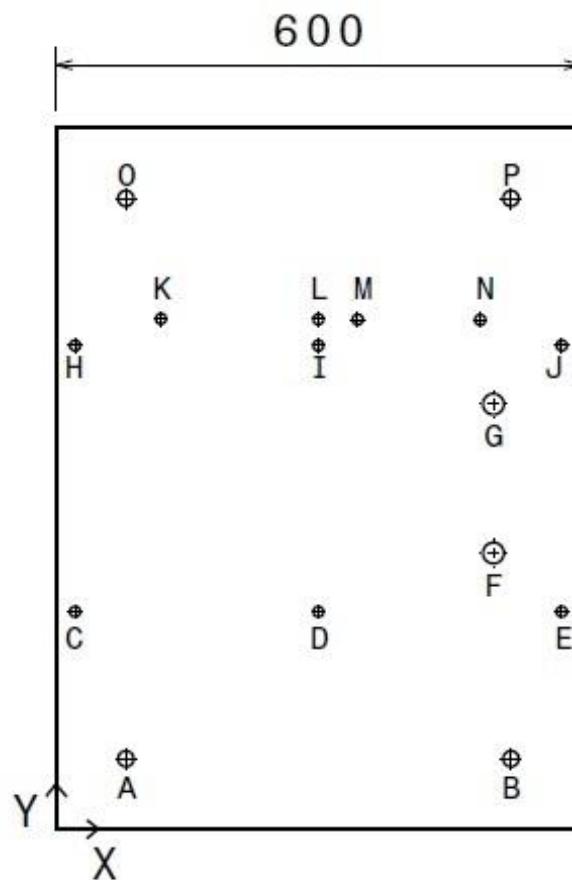
Peso:

4 kg

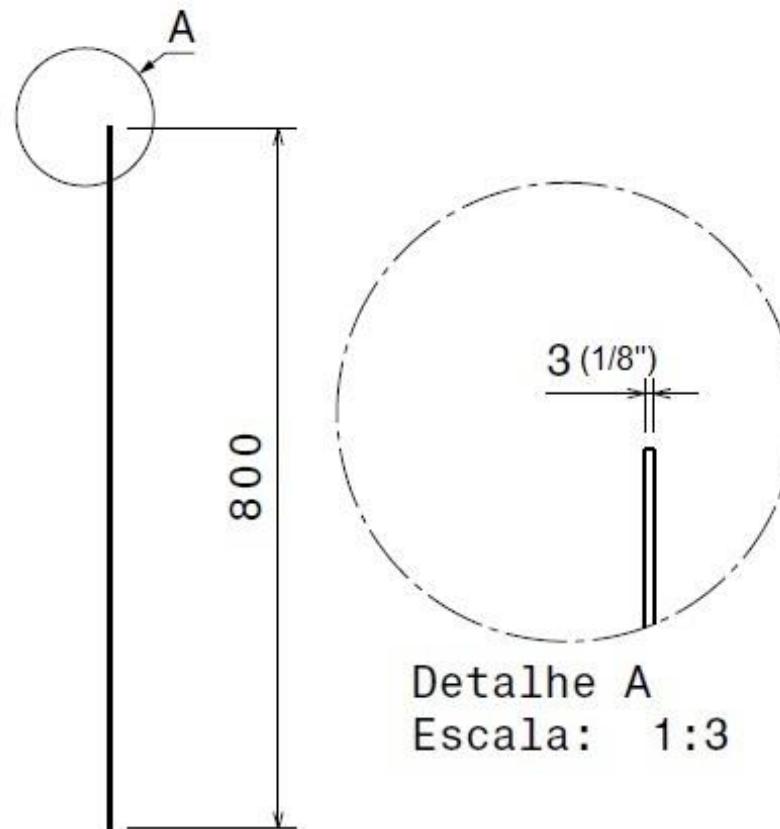


Detalhe A
Escala: 1:5

	Título: Tampa da capa protetora	Des.nº: 5 /36
	Modelo 3D: André N. Delgado	
Brasília – DF	Detalhamento: André N. Delgado	Escala: 1:10
A4	Revisão: Fernando M., Lucas Araujo, Mateus Sant'anna	Unidade: mm
Data: 08/09/2021	Mat.: Plástico (Nylon)	Peso: 800 g



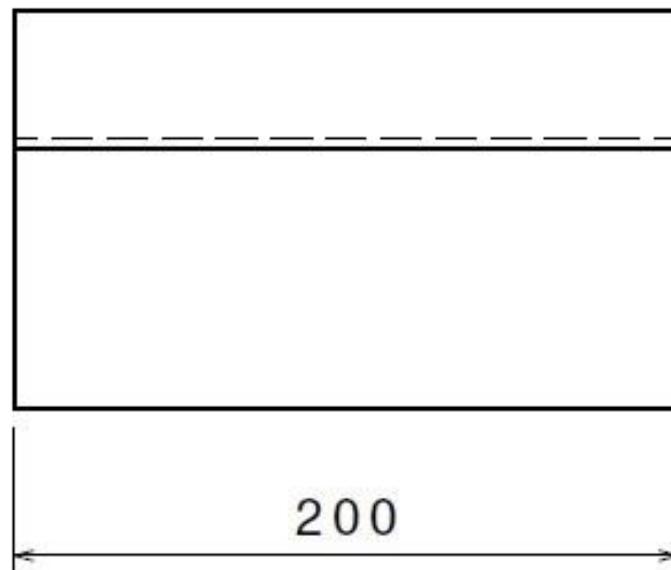
Vista frontal



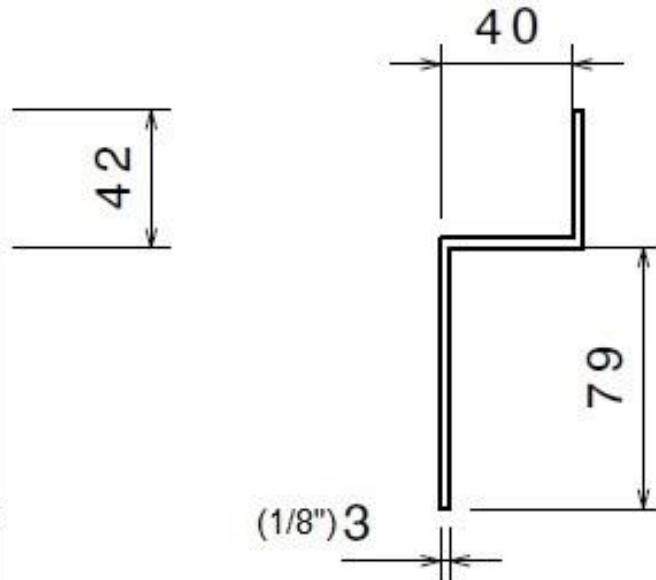
Vista lateral

Furos			
Ref.	X (mm)	Y (mm)	Diâmetro (mm)
A	80	80	20
B	520	80	20
C	22	248	12
D	300	248	12
E	578	248	12
F	500	315	24
G	500	485	24
H	22	552	12
I	300	552	12
J	578	552	12
K	120	583	12
L	300	583	12
M	345	583	12
N	485	583	12
O	80	720	20
P	520	720	20

	Titulo: Chapa base (estrutura central)	Des.nº: 6/36
Brasília – DF	Modelo 3D: André N. Delgado	
A4	Detalhamento: André N. Delgado	Escala: 1:5
Data: 23/10/2021	Revisão: Fernando M., Lucas Araujo, Mateus Sant'anna	Unidade: mm
	Mat.: Aço 1020	Peso: 10 kg



Vista frontal



Vista lateral



Brasília – DF
A4
Data:
08/09/2021

Título: Suporte de transporte (Placa)

Modelo 3D: André N. Delgado

Detalhamento: André N. Delgado

Revisão: Fernando M., Lucas Araujo, Mateus Sant'anna

Mat.: Aço 1020

Des.nº: 7/36

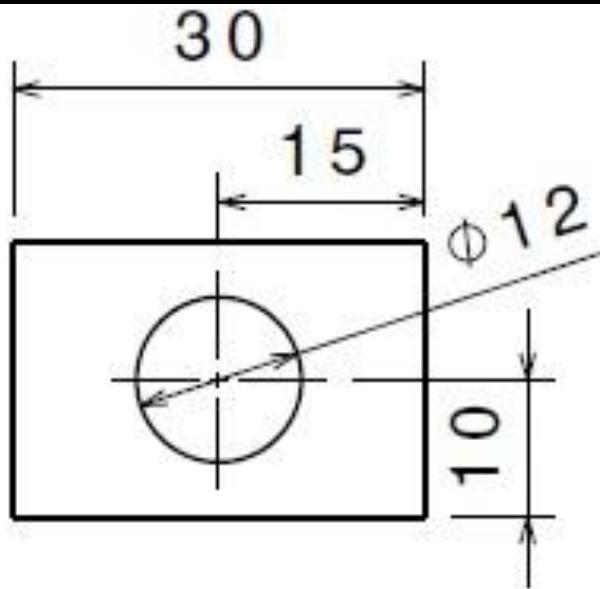


Escala: 1:3

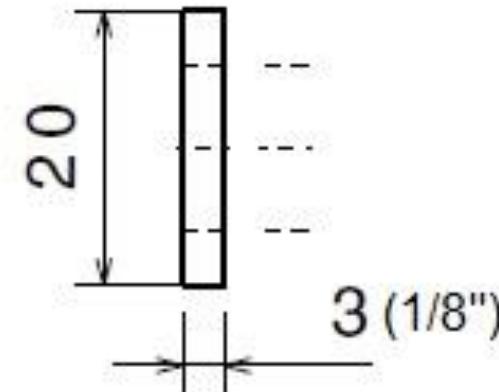
Unidade: mm

Peso:

755 g



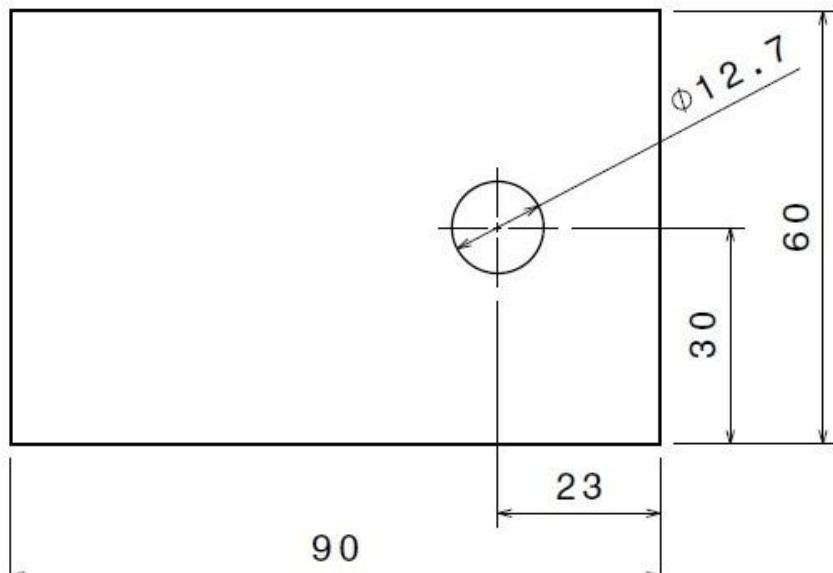
Vista frontal



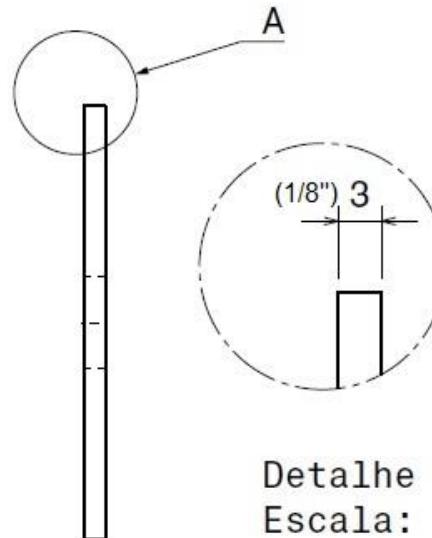
Vista lateral



Título: Suporte do aspersor	Des.nº: 8/36
Modelo 3D: André N. Delgado	
Brasília – DF	Detalhamento: André N. Delgado
A4	Revisão: Fernando M., Lucas Araujo, Mateus Sant'anna
Data: 23/10/2021	Unidade: mm Mat.: Aço 1020 Peso: 16 g



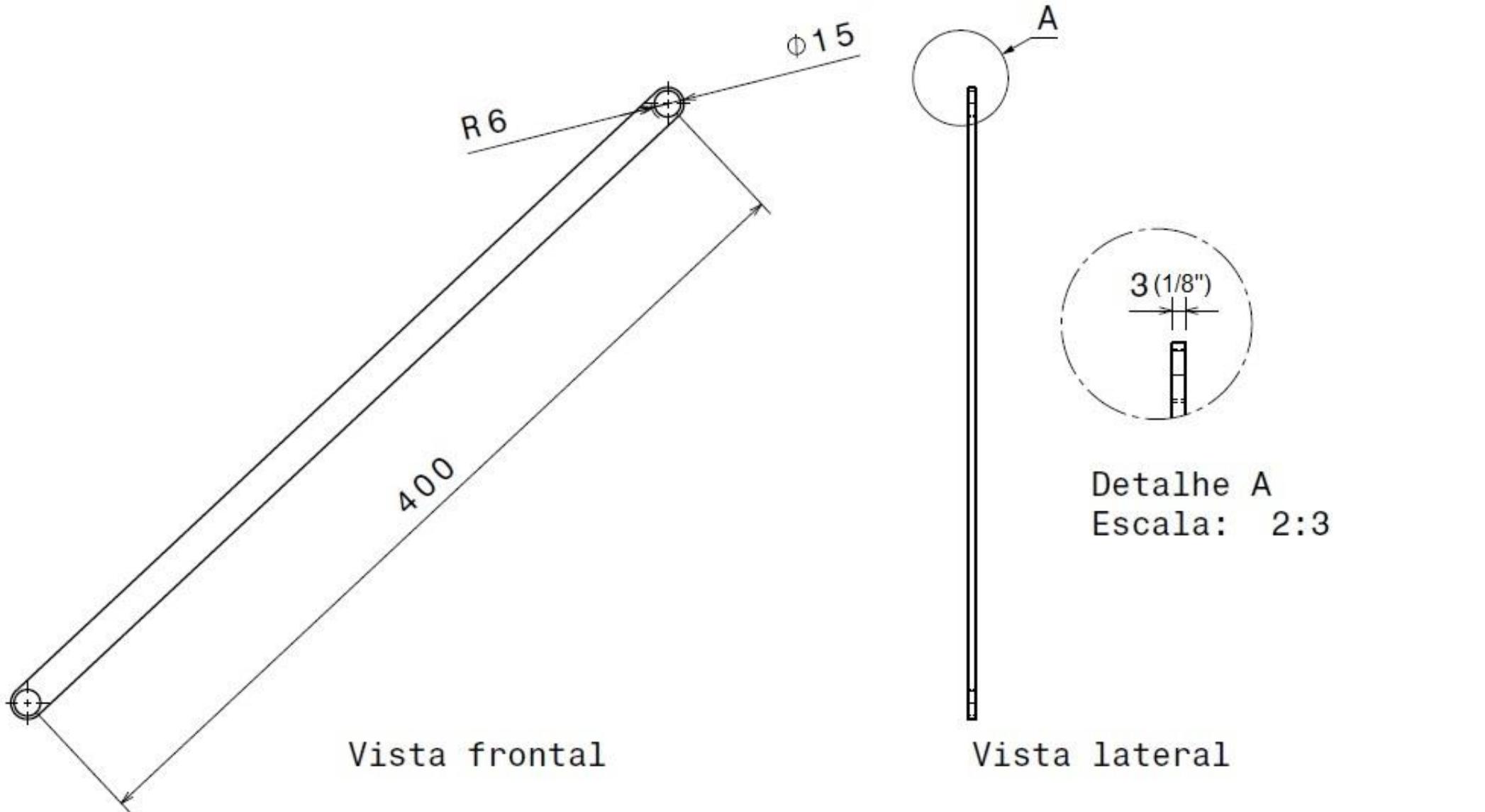
Vista frontal



Vista lateral

Detalhe A
Escala: 2:1

	Título: Suporte do bico do aspersor (placa)	Des.nº: 9/36
	Modelo 3D: André N. Delgado	
Brasília – DF	Detalhamento: André N. Delgado	Escala: 1:1
A4	Revisão: Fernando M., Lucas Araujo, Mateus Sant'anna	Unidade: mm
Data: 23/10/2021	Mat.: Aço 1020	Peso: 127 g



Brasília - DF

A4

Data:
23/10/2021

Título: Suporte do bico do aspersor (haste)

Modelo 3D: André N. Delgado

Detalhamento: André N. Delgado

Revisão: Fernando M., Lucas Araujo, Mateus Sant'anna

Mat.: Aço 1020

Des.nº: 10 /36

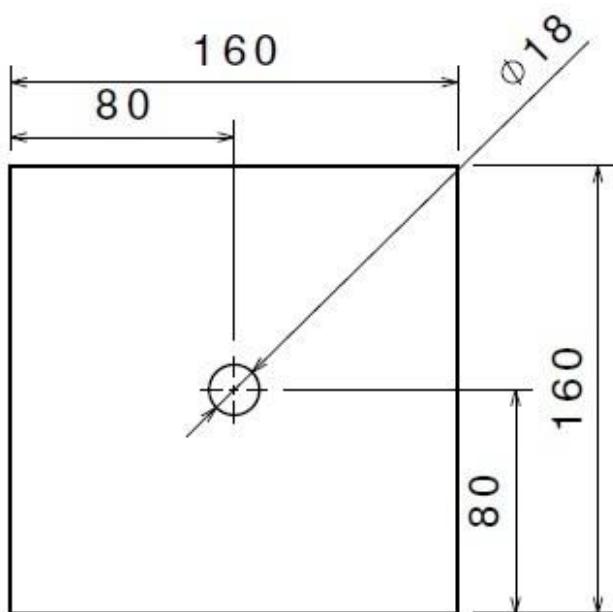


Escala: 1:3

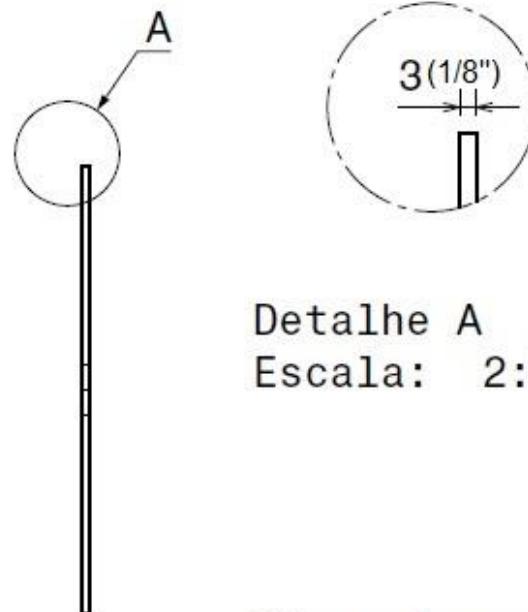
Unidade: mm



Peso:
14 g



Vista frontal



Detalhe A
Escala: 2:3

Vista lateral



Brasília – DF

A4

Data:
23/10/2021

Título: Chapa de conexão (Braços/Corpo central)

Modelo 3D: André N. Delgado

Detalhamento: André N. Delgado

Revisão: Fernando M., Lucas Araujo, Mateus Sant'anna

Mat.: Aço 1020

Des.nº: 11 /36

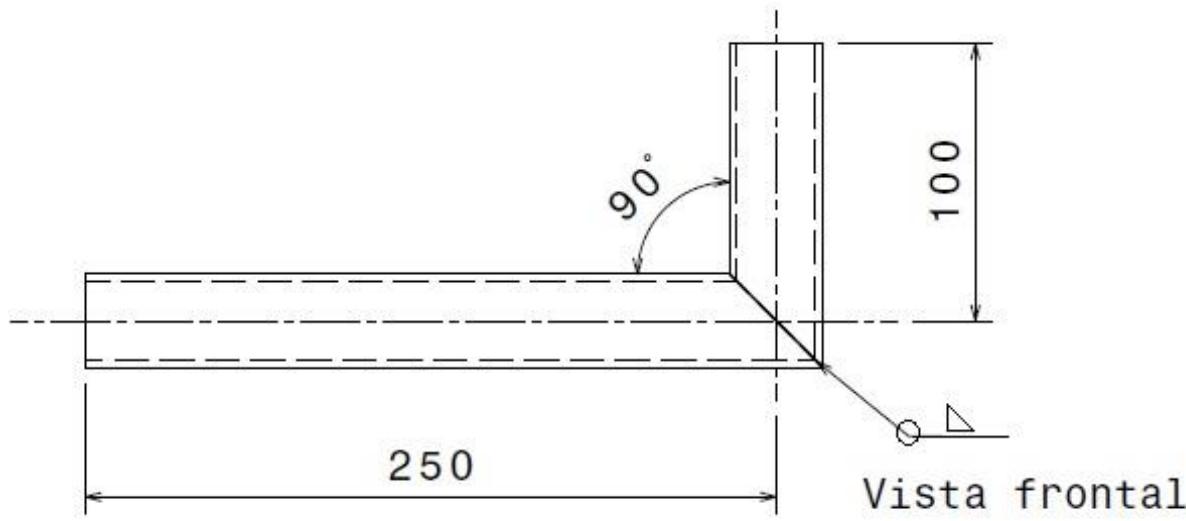


Escala: 1:3

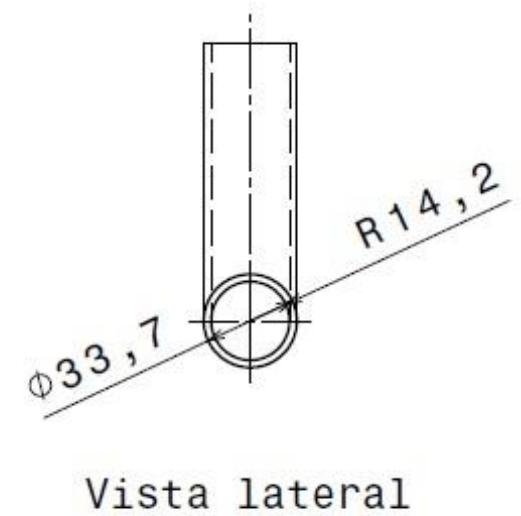
Unidade: mm

Peso:

604 g



Vista frontal



Vista lateral



Brasília – DF

A4

Data:
23/10/2021

Título: Tubo em L (ligação corpo central/Apoios)

Modelo 3D: André N. Delgado

Detalhamento: André N. Delgado

Revisão: Fernando M., Lucas Araujo, Mateus Sant'anna

Mat.: Aço 1020

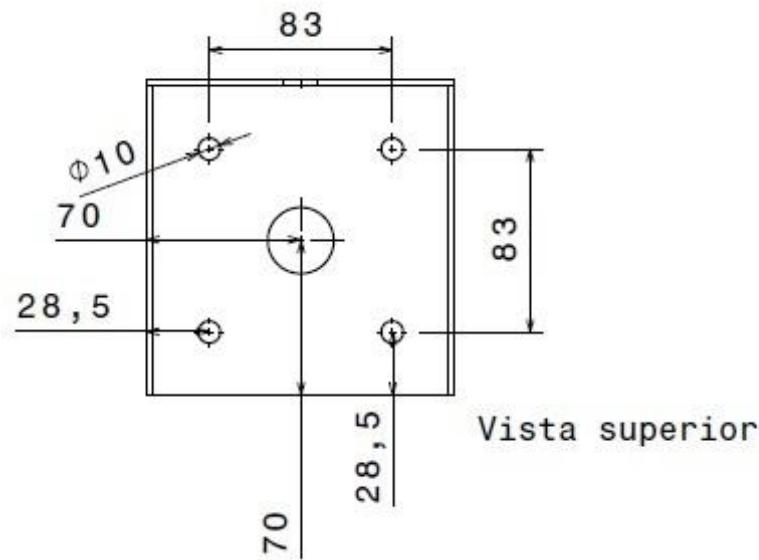
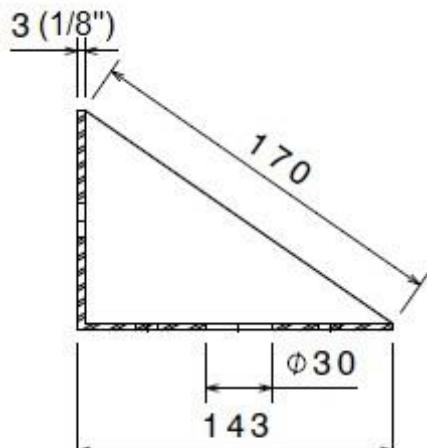
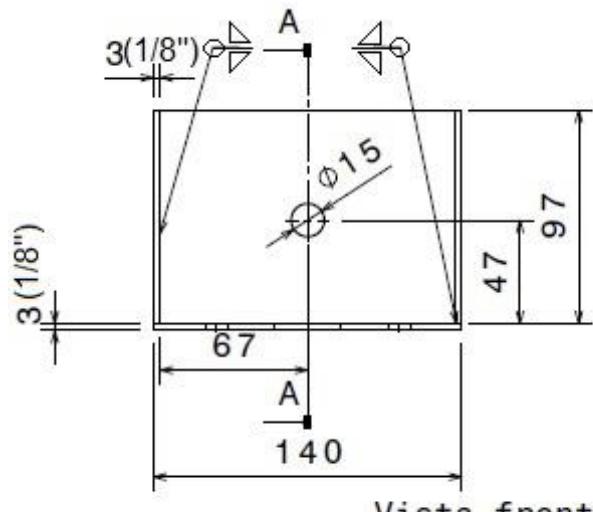
Des.nº: 12/36



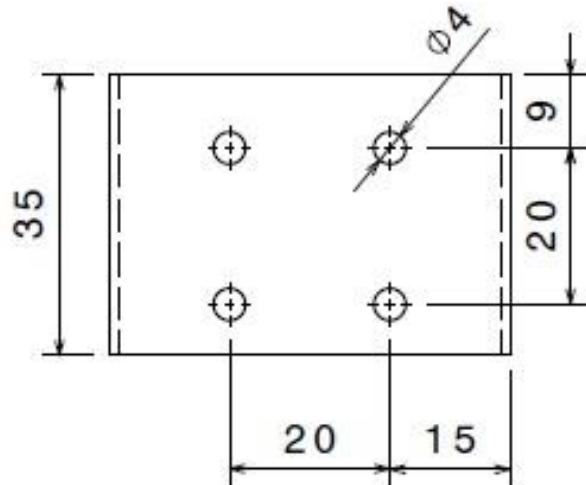
Escala: 1:3

Unidade: mm

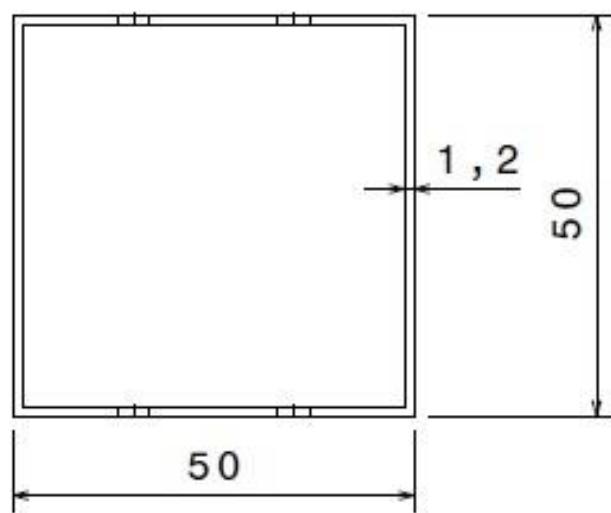
Peso:
712 g



	Título: Suporte motor superior e rolamento de mancal	Des.nº: 13 /36
Brasília – DF	Modelo 3D: André N. Delgado	
A4	Detalhamento: André N. Delgado	Escala: 1:3
Data: 23/10/2021	Revisão: Fernando M., Lucas Araujo, Mateus Sant'anna	Unidade: mm
	Mat.: Aço 1020	Peso: 1,085 kg



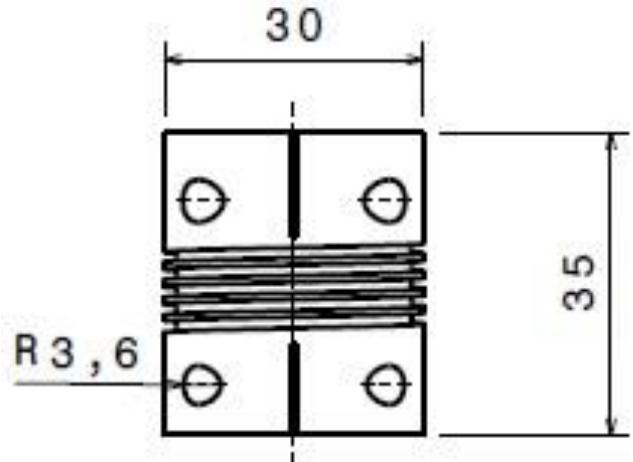
Vista frontal



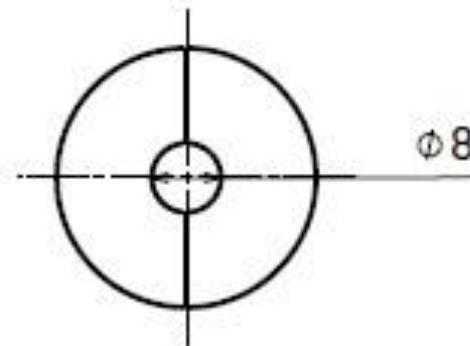
Vista superior



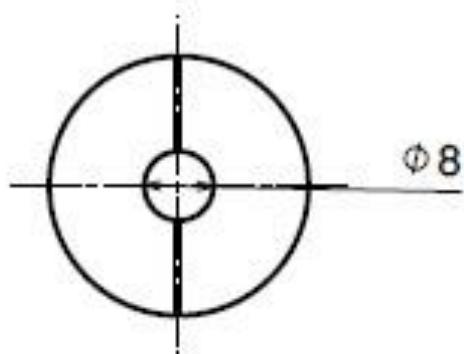
Título: Suporte do motor superior	Des.nº: 14 /36
Modelo 3D: André N. Delgado	
Brasília – DF	Detalhamento: André N. Delgado
A4	Revisão: Fernando M., Lucas Araujo, Mateus Sant'anna
Data: 23/10/2021	Unidade: mm Mat.: Aço 1020 Peso: 63 g



Vista Frontal



Vista Inferior



Vista superior



Titulo: Acoplamento de eixo 8x8

Des.nº: 15/36

Modelo 3D: André N. Delgado



Brasília – DF

Detalhamento: André N. Delgado

Escala: 1:1

A4

Revisão: Fernando M., Lucas Araujo, Mateus Sant'anna

Unidade: mm

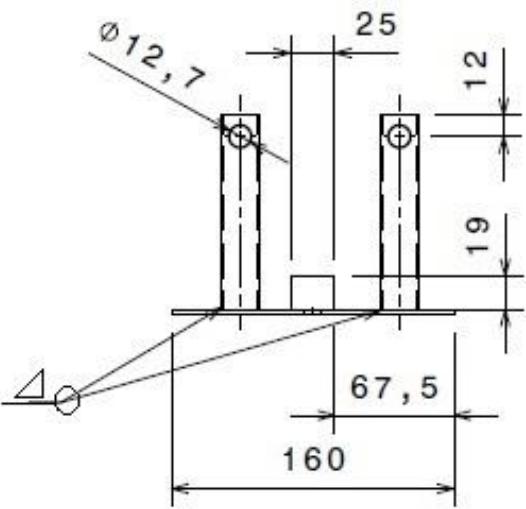
Data:

08/09/2021

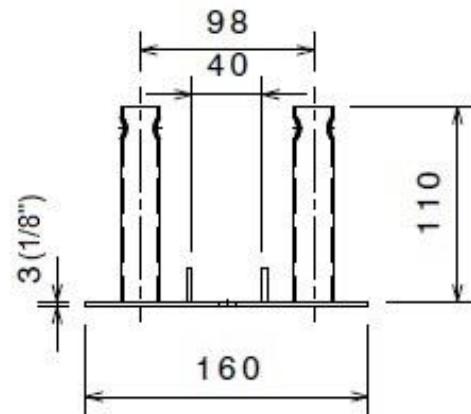
Mat.: Alumínio

Peso:

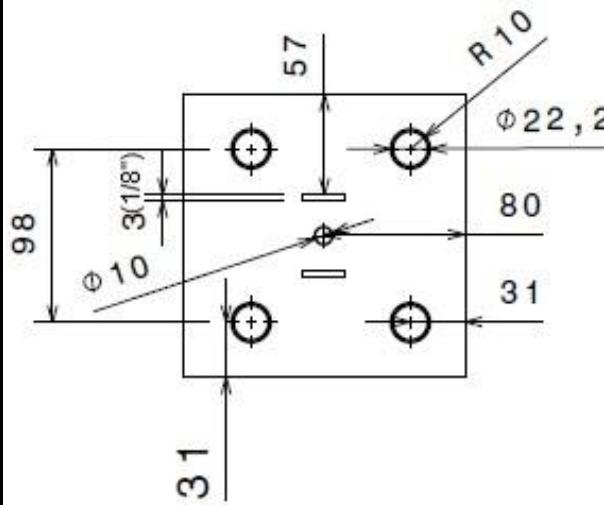
25 g



Vista frontal

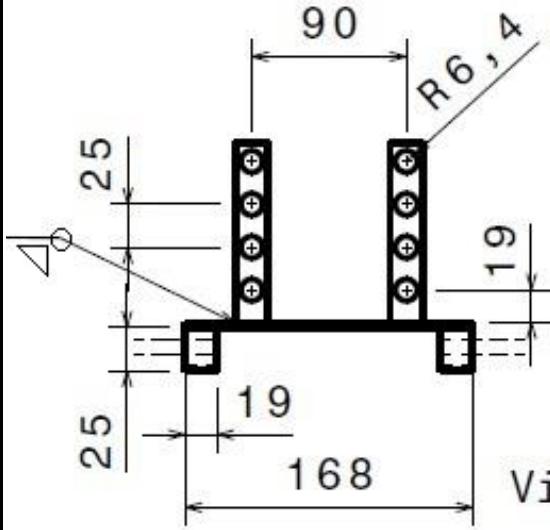


Vista lateral

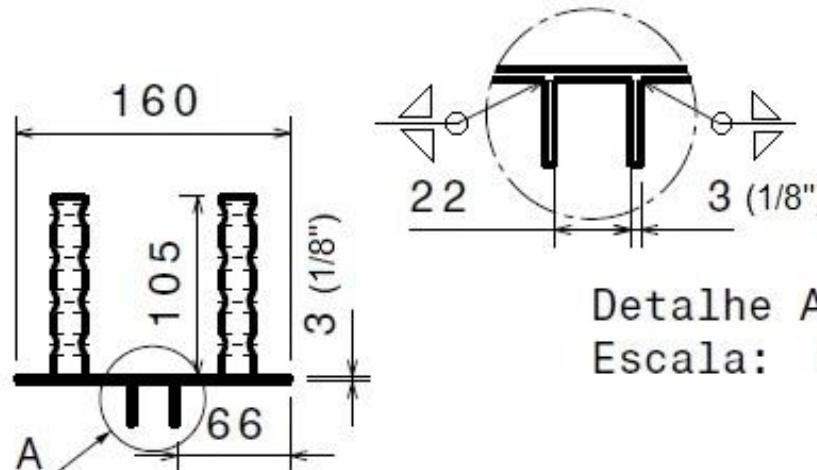


Vista superior

	Título: Suporte telescópio (Parte superior)	Des.nº: 16/36
	Modelo 3D: André N. Delgado	
Brasília – DF	Detalhamento: André N. Delgado	Escala: 1:5
A4	Revisão: Fernando M., Lucas Araujo, Mateus Sant'anna	Unidade: mm
Data: 23/10/2021	Mat.: Aço 1020	Peso: 866 g

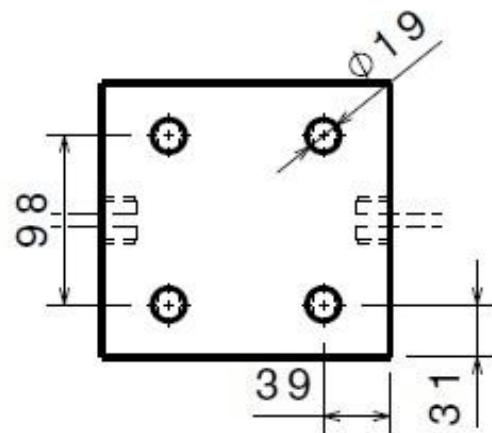


Vista frontal



Detalhe A
Escala: 2:5

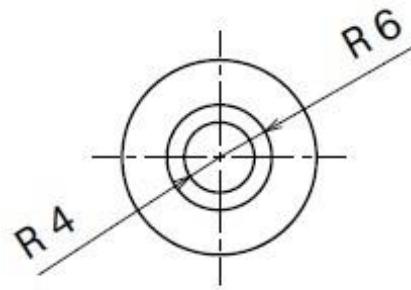
Vista lateral



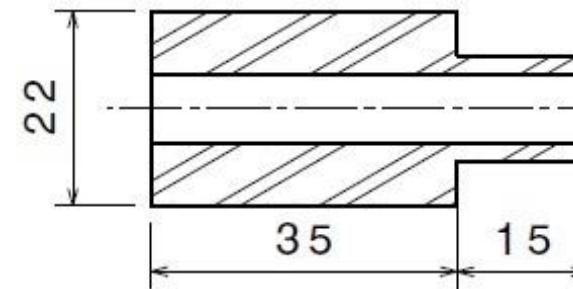
Vista superior



Título: Suporte telescópico (Base)	Des.nº: 17/36
Modelo 3D: André N. Delgado	
Brasília – DF	Detalhamento: André N. Delgado
A4	Escala: 1:5
Revisão: Fernando M., Lucas Araujo, Mateus Sant'anna	Unidade: mm
Data: 23/10/2021	Peso: 676 g



Vista frontal



Secção A-A



Brasília – DF

A4

Data:
08/09/2021

Título: Suporte da barra de fixação dos amortecedores

Modelo 3D: André N. Delgado

Detalhamento: André N. Delgado

Revisão: Fernando M., Lucas Araujo, Mateus Sant'anna

Mat.: Aço 1020

Des.nº: 18/36

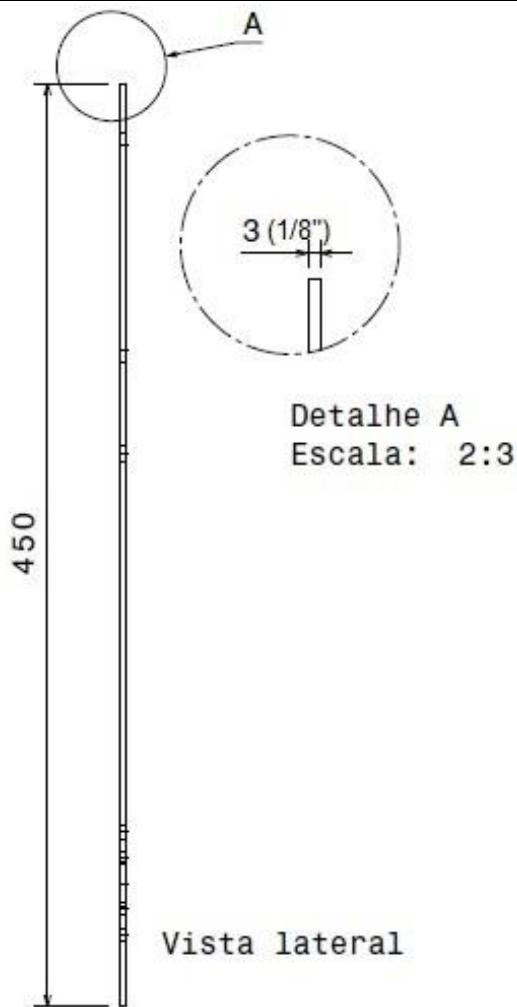
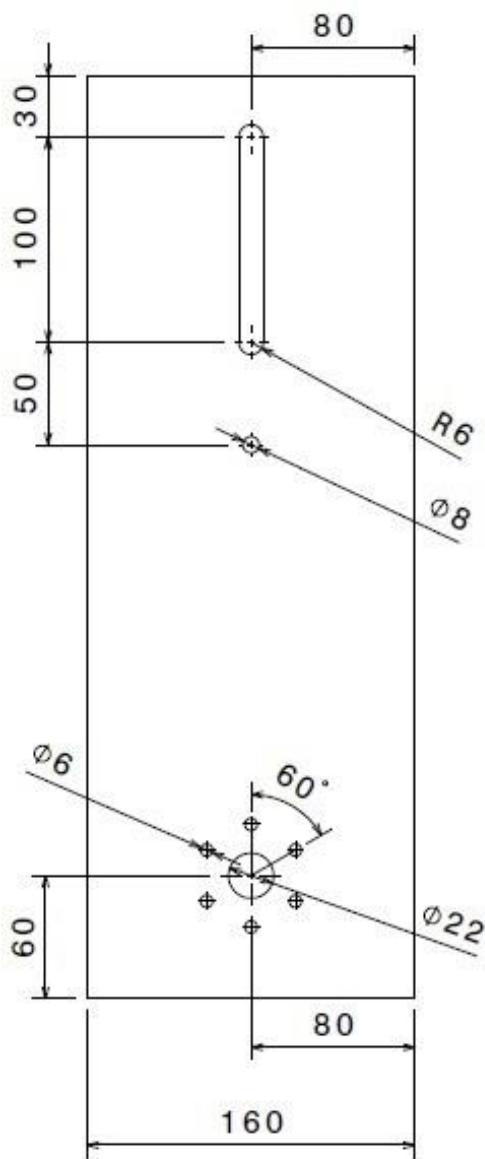


Escala: 1:1

Unidade: mm

Peso:

102 g



Título: Suporte da roda e motor (lado externo)

Des.nº: 19/36

Modelo 3D: André N. Delgado



Brasília – DF

Detalhamento: André N. Delgado

Escala: 1:3

A4

Revisão: Fernando M., Lucas Araujo, Bruna Fontes

Unidade: mm

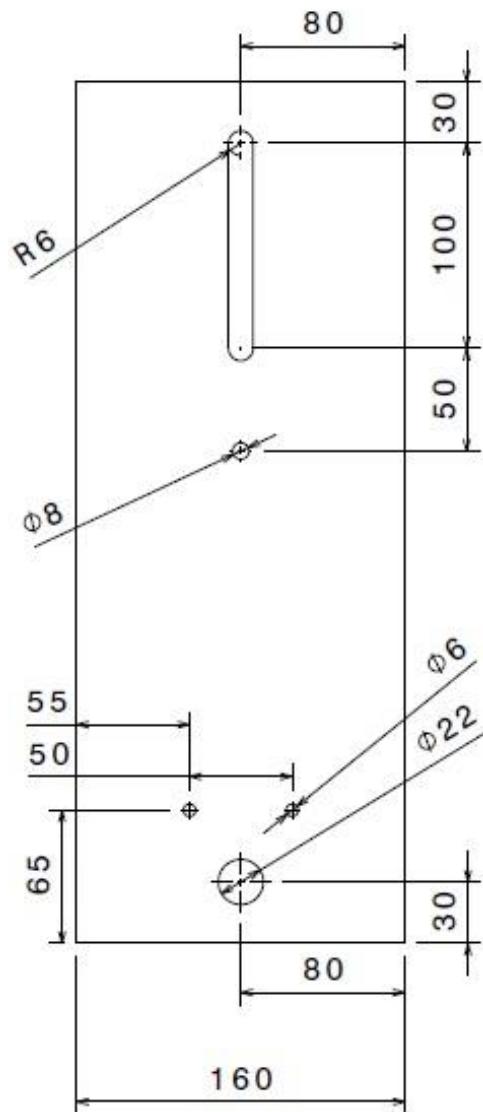
Data:

23/10/2021

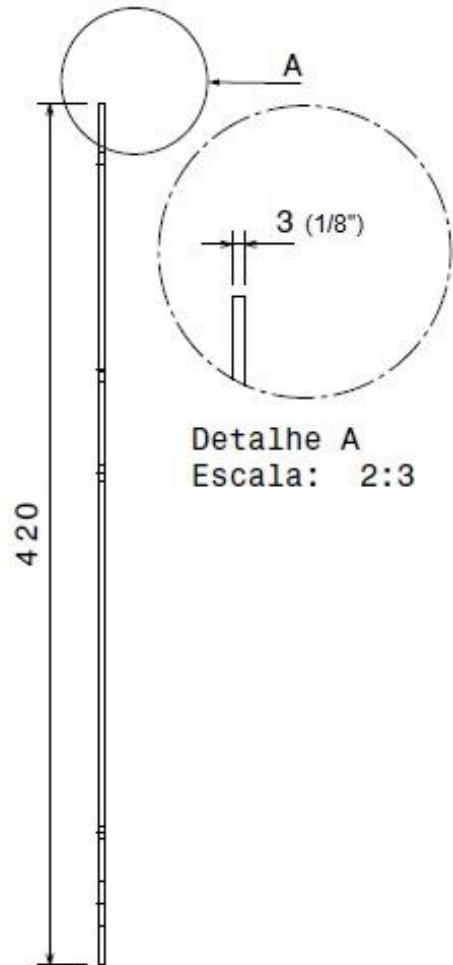
Mat.: Aço 1020

Peso:

1,647 kg



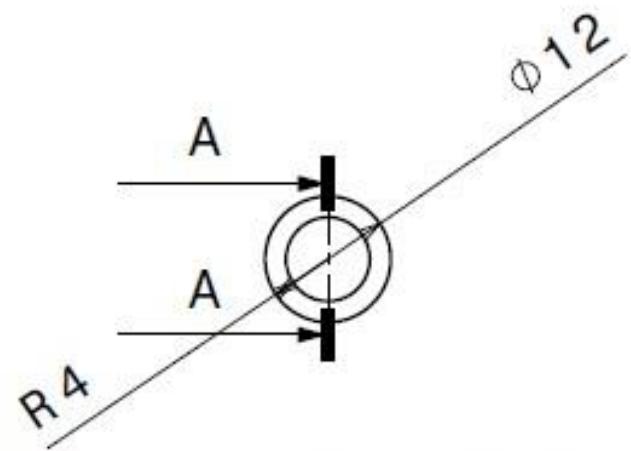
Vista frontal



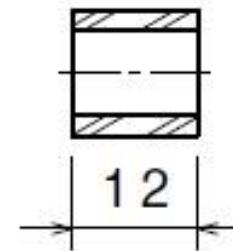
Vista lateral

Detalhe A
Escala: 2:3

	Título: Suporte da roda (lado interno)	Des.nº: 20/36
	Modelo 3D: André N. Delgado	
Brasília – DF	Detalhamento: André N. Delgado	Escala: 1:3
A4	Revisão: Fernando M., Lucas Araujo, Bruna Fontes	Unidade: mm
Data: 23/10/2021	Mat.: Aço 1020	Peso: 1,538 kg

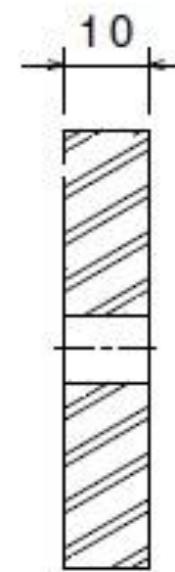
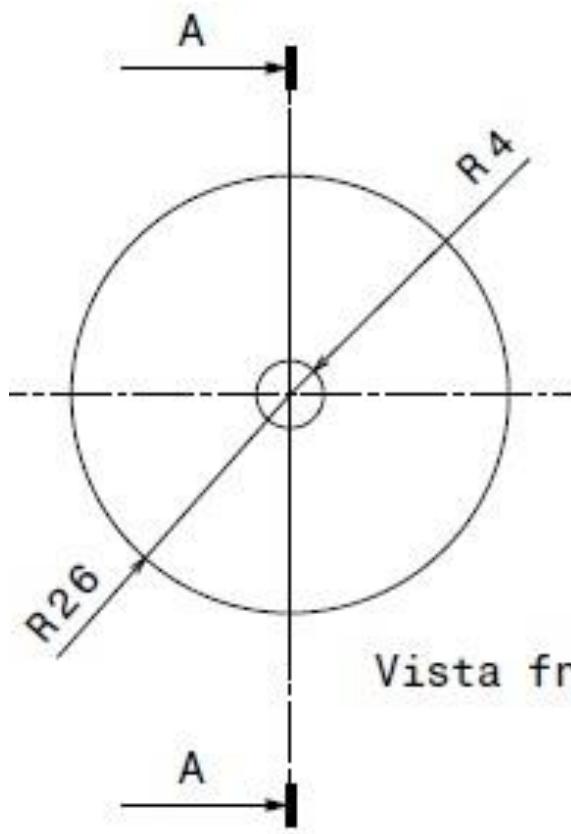


Front view



Section view A-A

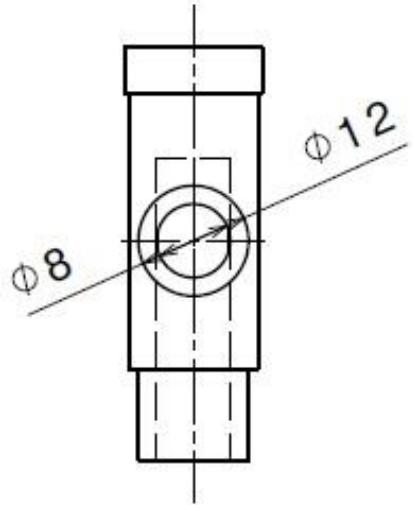
	Título: Espaçador do amortecedor	Des.nº: 21/36
	Modelo 3D: André N. Delgado	
Brasília – DF	Detalhamento: André N. Delgado	Escala: 1:1
A4	Revisão: Fernando M., Lucas Araujo, Bruna Fontes	Unidade: mm
Data: 08/09/2021	Mat.: Aço 1020	Peso: 6 g



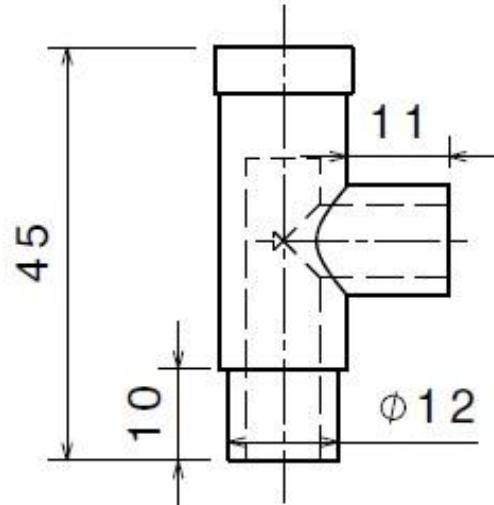
Seção A-A



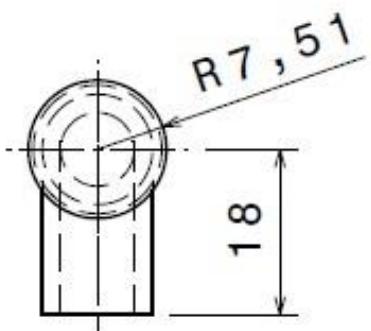
Título: Apoio interno ao eixo da roda	Des.nº: 22/36
Modelo 3D: André N. Delgado	
Brasília – DF	Detalhamento: André N. Delgado
A4	Escala: 1:1
Data: 08/09/2021	Revisão: Fernando M., Lucas Araujo, Bruna Fontes
	Unidade: mm
	Peso: 163 g



Vista frontal



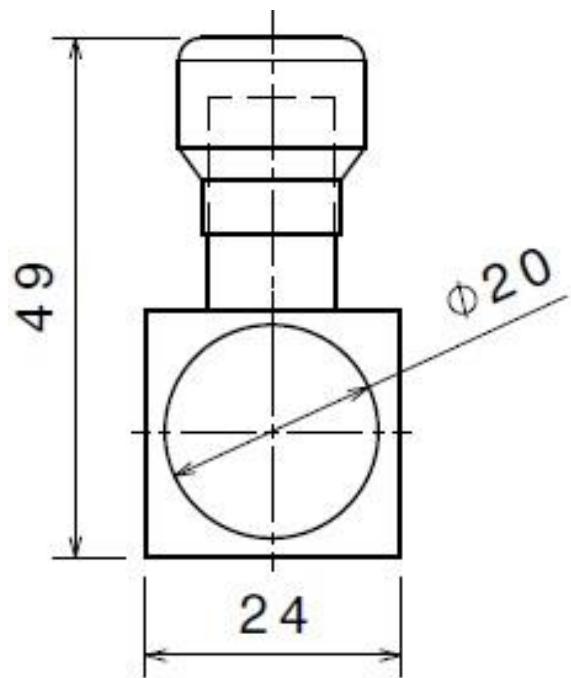
Vista lateral



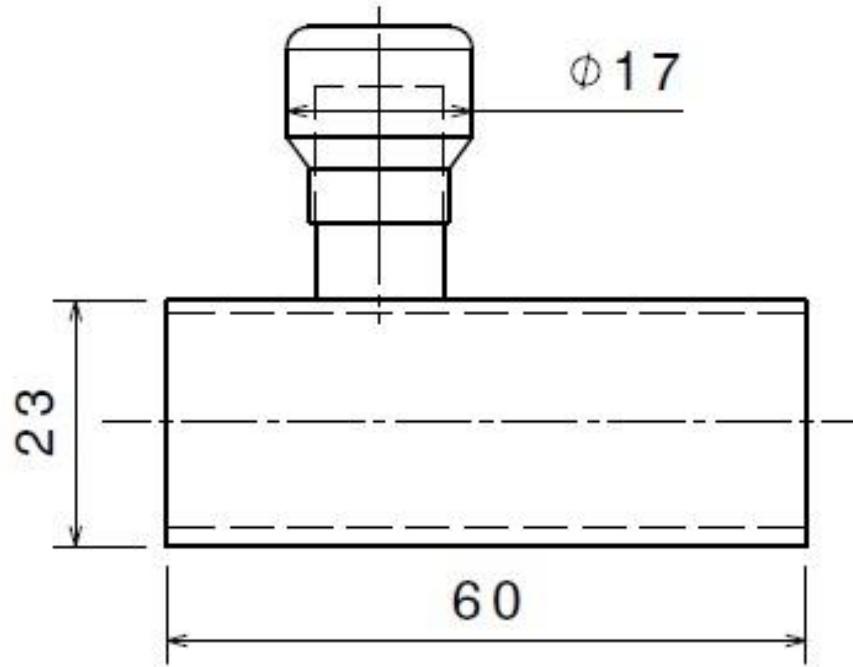
Vista superior



Título: Válvula reguladora de pressão (By pass)	Des.nº: 23 /36
Modelo 3D: André N. Delgado	
Brasília – DF	Detalhamento: André N. Delgado
A4	Revisão:Fernando M., Lucas Araujo, Bruna Fontes
Data: 23/10/2021	Mat.: Alumínio
	Escala: 1:1
	Unidade: mm
	Peso: 20 g



Vista frontal



Vista lateral



Brasília – DF
A4
Data:
23/10/2021

Título: Válvula reguladora de vazão

Modelo 3D: André N. Delgado

Detalhamento: André N. Delgado

Revisão: Fernando M., Lucas Araujo, Bruna Fontes

Mat.: Alumínio

Des.nº: 24/36



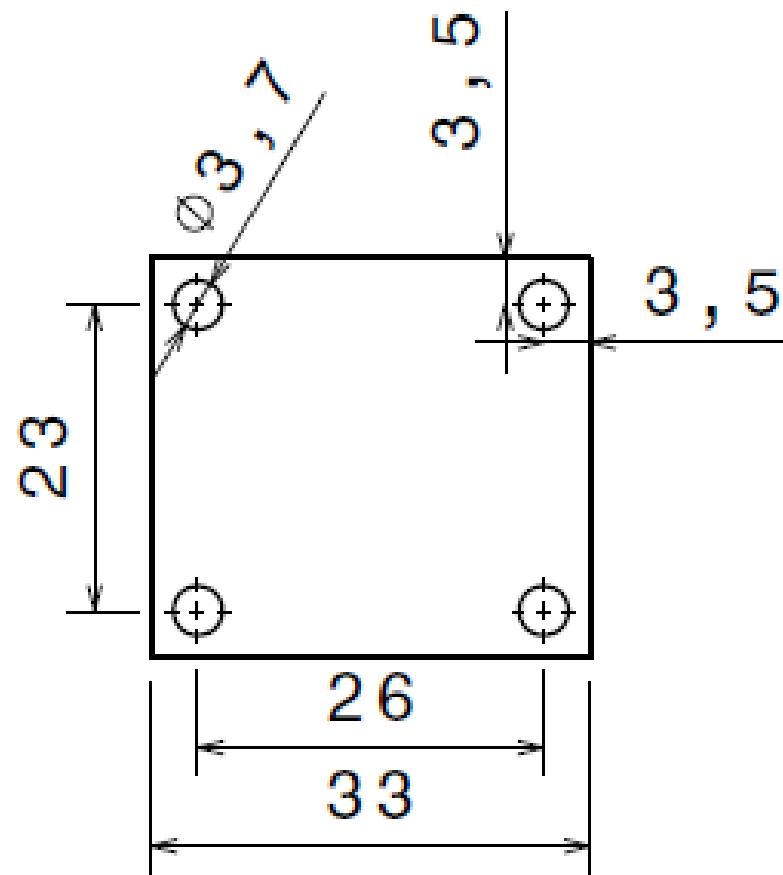
Escala: 1:1

Unidade: mm

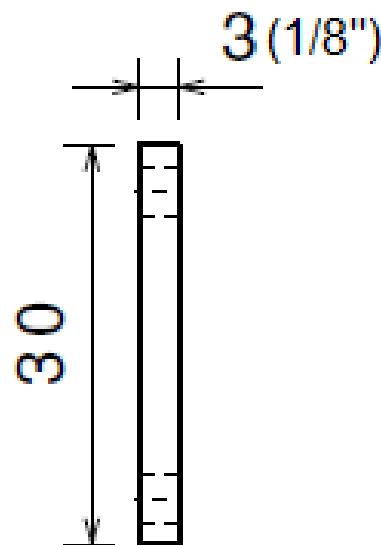


Peso:

40 g

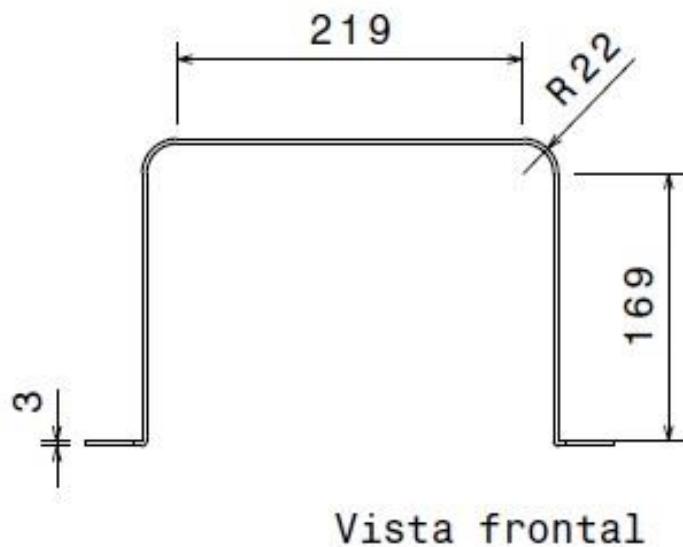


Vista frontal

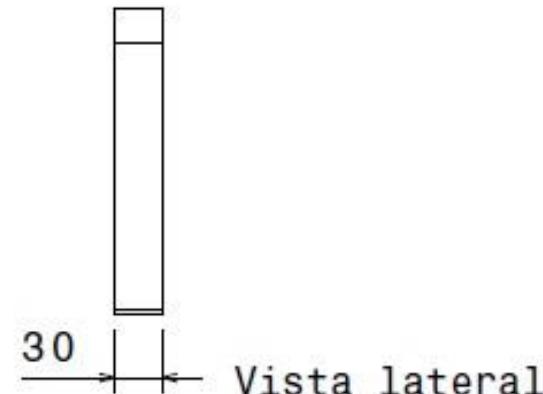


Vista lateral

	Título: Chapa de fixação da válvula solenoide	Des.nº: 25/36
	Modelo 3D: André N. Delgado	
Brasília – DF	Detalhamento: André N. Delgado	Escala: 1:1
A4	Revisão: Fernando M., Lucas Araujo, Bruna Fontes	Unidade: mm
Data: 23/10/2021	Mat.: Aço 1020	Peso: 9 g



Vista frontal



Vista lateral



Vista superior



Brasília – DF
A4
Data:
30/09/2021

Título: Chapa de fixação do tanque

Modelo 3D: André N. Delgado

Detalhamento: André N. Delgado

Revisão: Fernando B. V. Mendes

Mat.: Aço 1020

Des.nº: 25/36

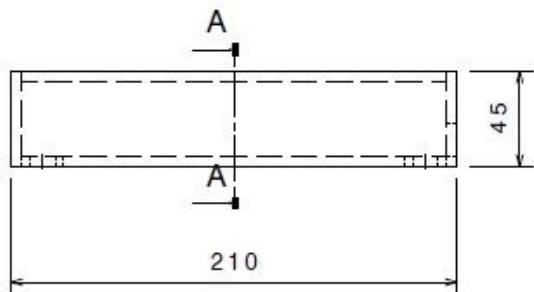


Escala: 1:5

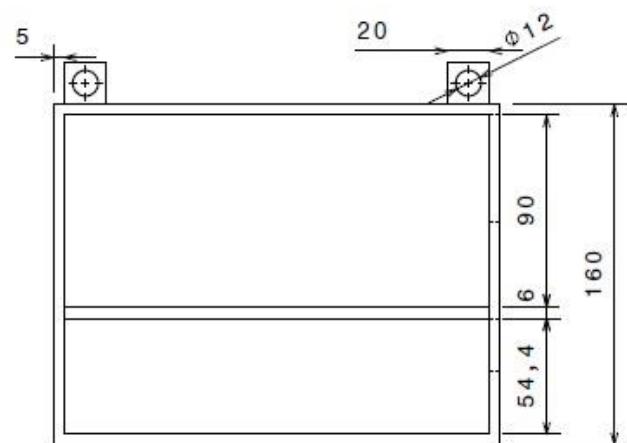
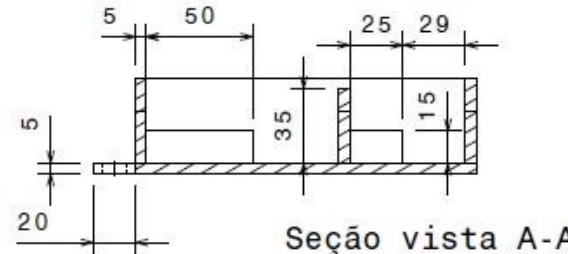
Unidade: mm

Peso:

60 g



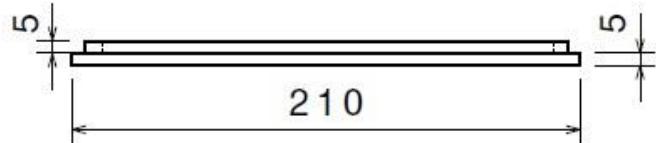
Vista frontal



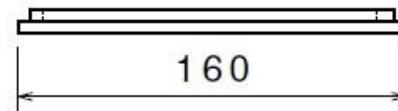
Vista superior



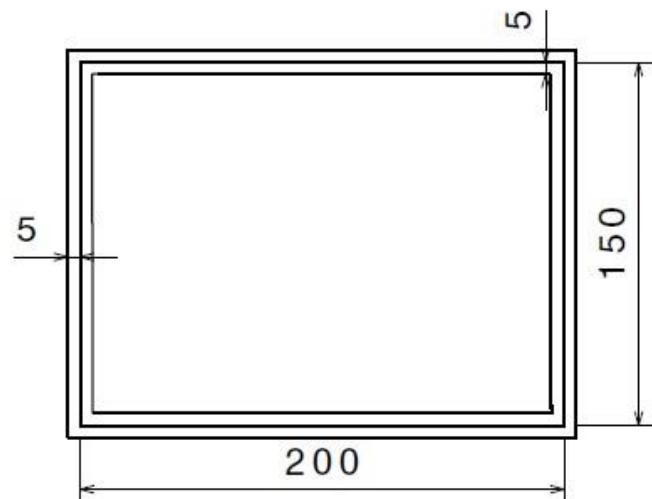
Título: Case das baterias (base)	Des.nº: 27/36
Modelo 3D: André N. Delgado	
Brasília – DF	Detalhamento: André N. Delgado
A4	Escala: 1:3
Data: 23/10/2021	Revisão: Fernando M., Lucas Araujo, Bruna Fontes
	Unidade: mm
	Peso: 418 g



Vista frontal



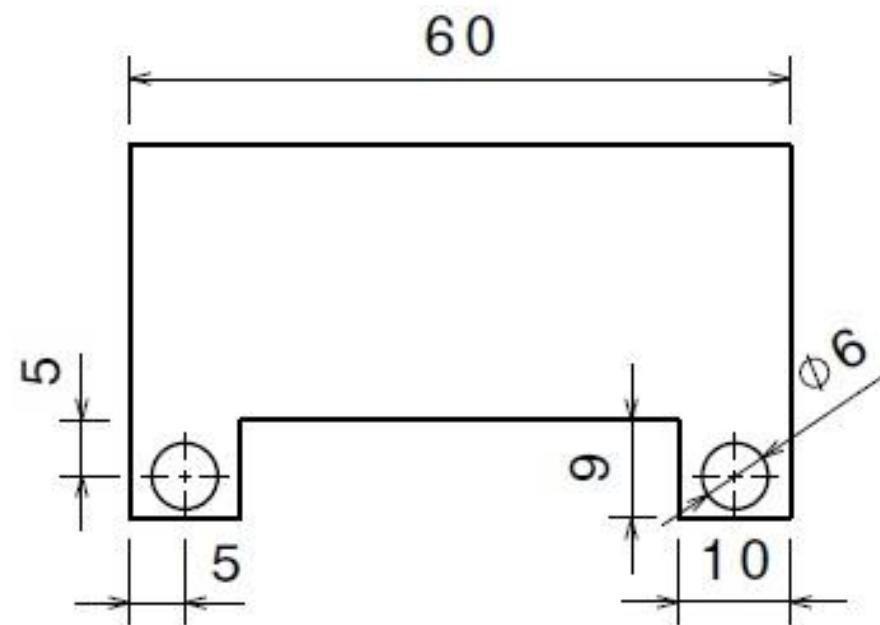
Vista lateral



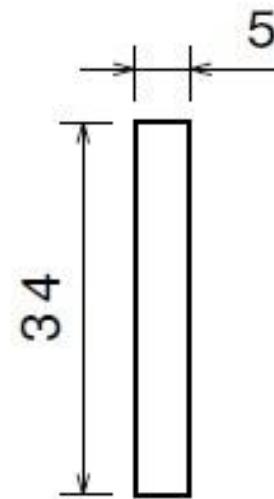
Vista inferior



Título: Case das baterias (tampa)	Des.nº: 28/36
Modelo 3D: André N. Delgado	
Brasília – DF	Detalhamento: André N. Delgado
A4	Revisão: Fernando M., Lucas Araujo, Bruna Fontes
Data: 23/10/2021	Mat.: Nylon
	Unidade: mm
	Peso: 227 g



Vista frontal



Vista lateral



Brasília – DF
A4
Data:
02/10/2021

Título: Capa do sensor ultrassônico (base)

Modelo 3D: André N. Delgado

Detalhamento: André N. Delgado

Revisão: Fernando B. V. Mendes

Mat.: Nylon

Des.nº: 29/36



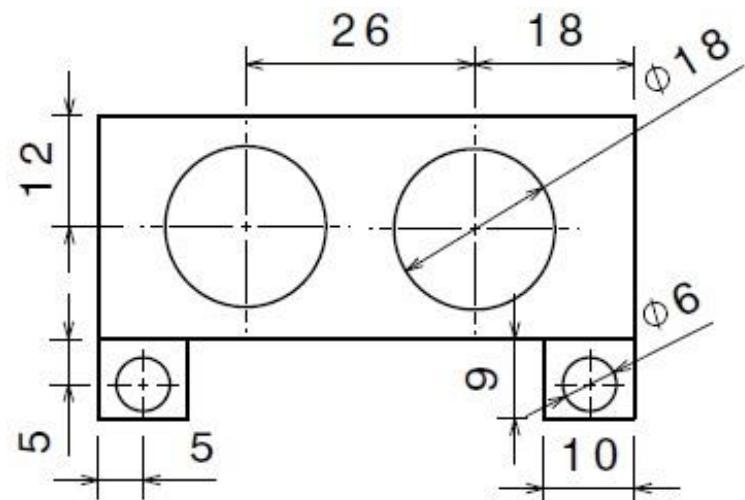
Escala: 1:1

Unidade: mm

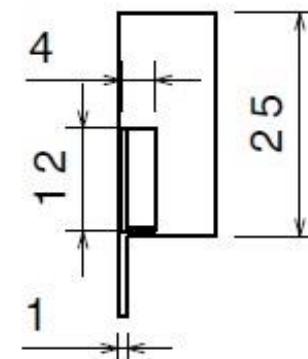


Peso:

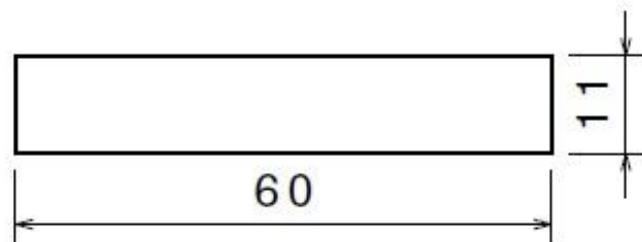
16 g



Vista frontal



Vista lateral



Vista superior



Brasília – DF
A4
Data:
02/10/2021

Título: Capa do sensor ultrassônico (tampa)

Modelo 3D: André N. Delgado

Detalhamento: André N. Delgado

Revisão: Fernando B. V. Mendes

Mat.: Nylon

Des.nº: 30/36



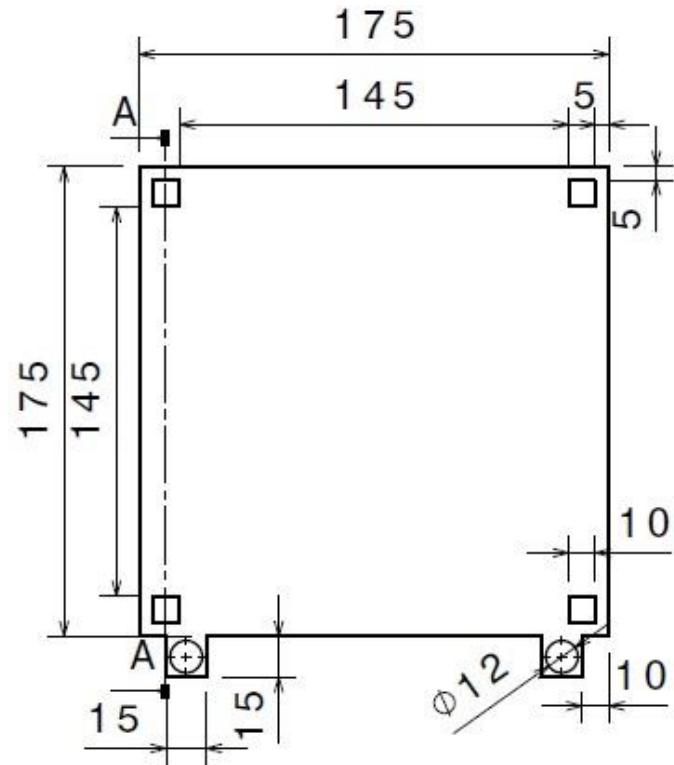
Escala: 1:1

Unidade: mm

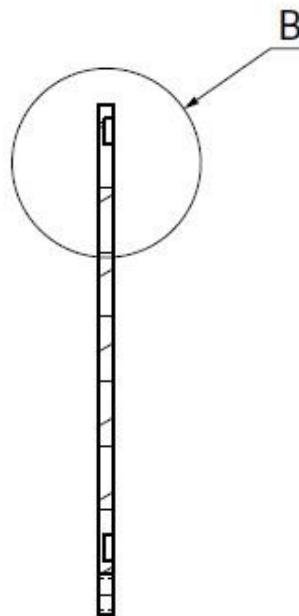


Peso:

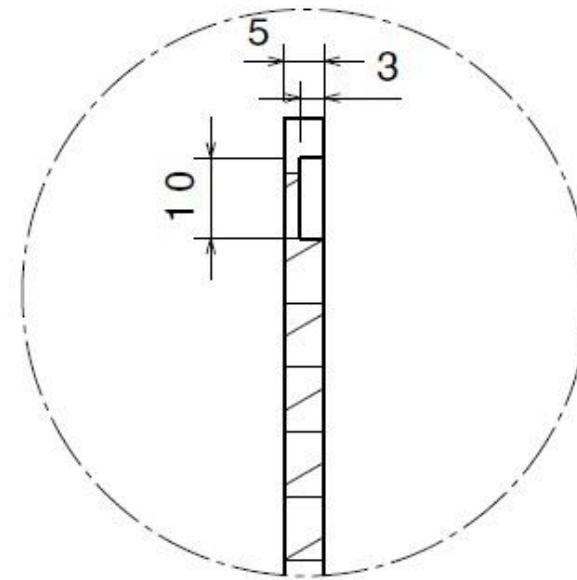
3 g



Vista frontal



Vista da seção A-A



Detalhe B
Escala: 1:1



Título: Suporte dos componentes eletrônicos (base)

Des.nº: 31/36

Modelo 3D: André N. Delgado



Brasília – DF Detalhamento: André N. Delgado

Escala: 1:3

A4

Revisão: Fernando M., Lucas Araujo, Bruna Fontes

Unidade: mm

Data:

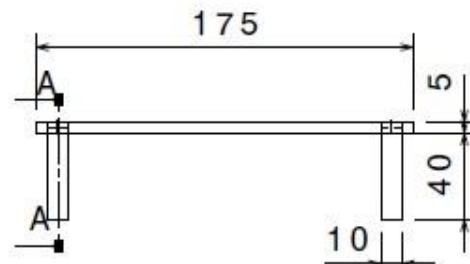
23/10/2021

Mat.: Nylon

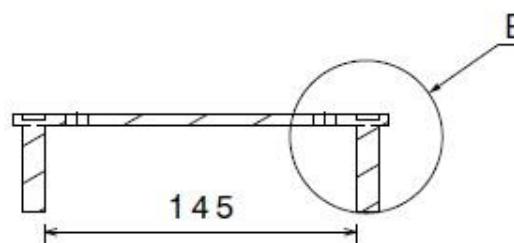


Peso:

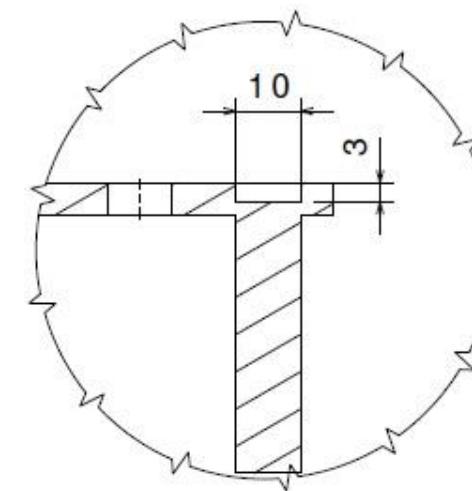
184 g



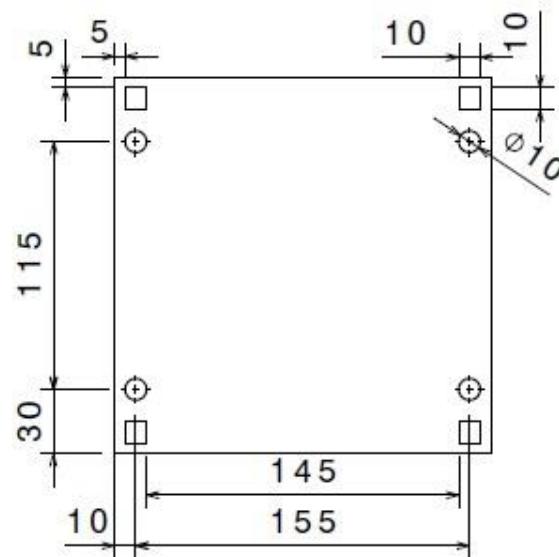
Vista frontal



Vista da seção A-A



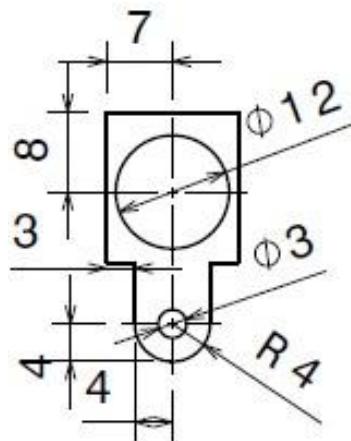
Detalhe B
Escala: 1:1



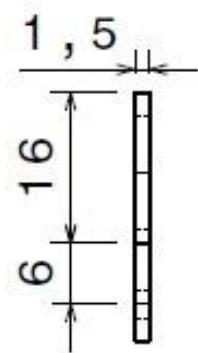
Vista superior



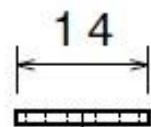
Título: Suporte dos componentes eletrônicos (modular)	Des.nº: 32/36
Modelo 3D: André N. Delgado	
Brasília – DF	Detalhamento: André N. Delgado
A4	Escala: 1:3
Data: 23/10/2021	Revisão: Fernando M., Lucas Araujo, Bruna Fontes
	Unidade: mm
	Peso: 200 g



Vista frontal



Vista lateral



Vista superior



Brasília – DF
A4
Data:
23/10/2021

Título: Suporte da câmera (adaptador)

Modelo 3D: André N. Delgado

Detalhamento: André N. Delgado

Revisão: Fernando M., Lucas Araujo, Bruna Fontes

Mat.: Alumínio 6061

Des.nº: 33/36

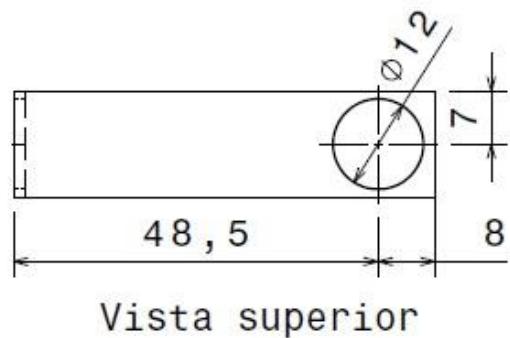
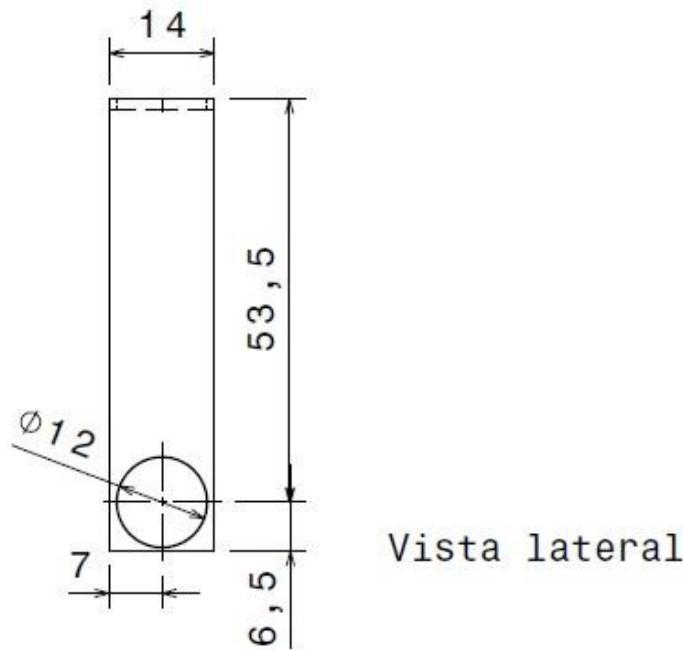
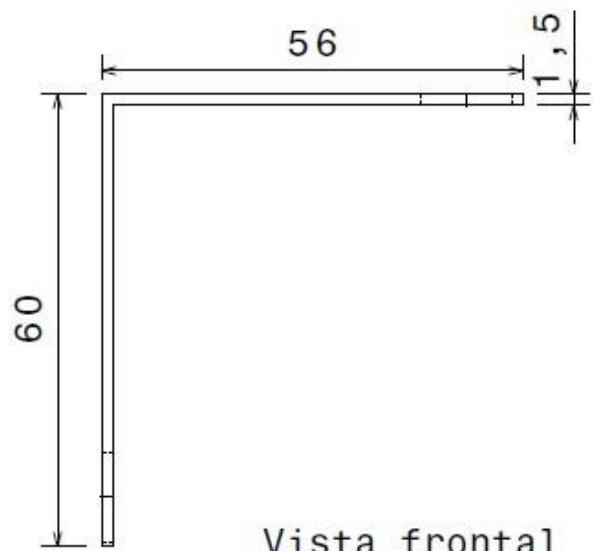


Escala: 1:1

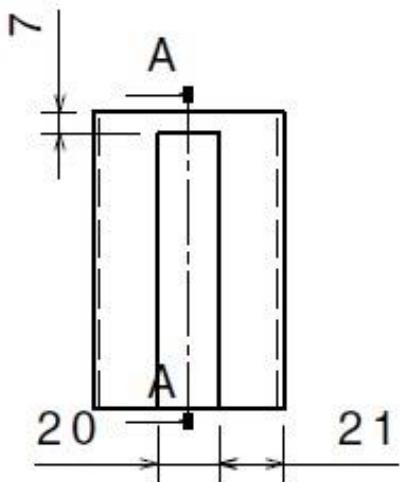
Unidade: mm



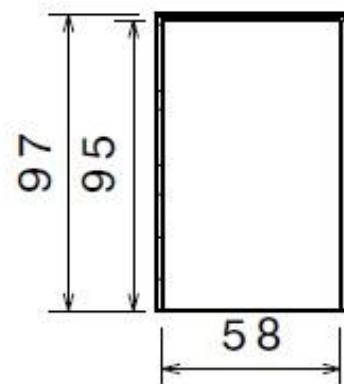
Peso:
1 g



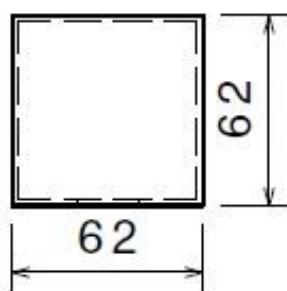
Título: Suporte da câmera (Chapa dobrada)	Des.nº: 34/36
Modelo 3D: André N. Delgado	Escala: 1:1
Brasília – DF	Detalhamento: André N. Delgado
A4	Revisão: Fernando M., Lucas Araujo, Bruna Fontes
Data: 23/10/2021	Unidade: mm Mat.: Alumínio 6061 Peso: 12 g



Vista frontal



Vista da seção A-A



Vista superior



A4

Data:
23/10/2021

Título: Capa do motor superior

Modelo 3D: André N. Delgado

Detalhamento: André N. Delgado

Revisão: Fernando M., Lucas Araujo, Bruna Fontes

Mat.: Nylon

Des.nº: 35/36



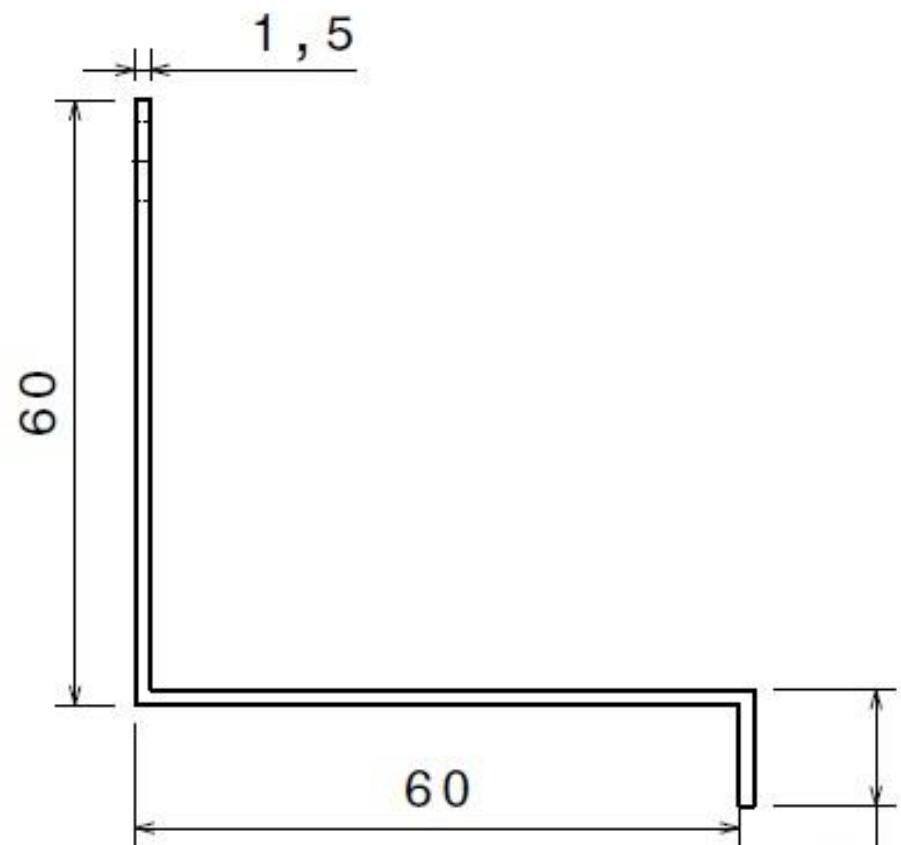
Escala: 1:3

Unidade: mm

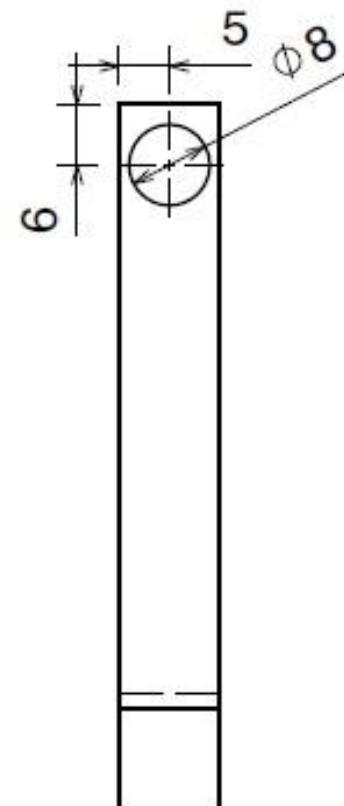


Peso:

6 g



Vista frontal



Vista lateral



Brasília - DF

A4

Data:
23/10/2021

Título: Chapa de contagem das voltas da roda

Modelo 3D: André N. Delgado

Detalhamento: André N. Delgado

Revisão: Fernando M., Lucas Araujo, Bruna Fontes

Mat.: Alumínio 6061

Des.nº: 36/36



Escala: 1:1

Unidade: mm

Peso:
5 g

APÊNDICE L – Lista de Componentes de Produção

Descrição	Dimensões (DxCxLxE) mm	Quantidade
Chapa de Aço 1020 fina a quente	3000x1200x3 (Chapa 11)	1
Chapa de Alumínio 6061	1000x500x1,5	1
Tubo de Aço 1020 industrial redondo	\varnothing 33,7x3000x2,65 (Chapa12)	1
Tubo de Aço 1020 industrial Redondo	\varnothing 22,22(7/8")x3000x0,9 (Chapa 20)	1
Tubo de Aço 1020 industrial quadrado	6000x50x1,20 (Chapa18)	1
Barra redonda de Aço 1020	\varnothing 19,05x6000	1
Barra redonda de Aço 1020	\varnothing 22,22x6000	1
Tarugo de Aço 1045	\varnothing 63,5x50	1

APÊNDICE M – Lista de Componentes de Montagem

Descrição	Dimensões (mm)	Quantidade
Chapa de fixação da válvula solenoide	33x28x3	1
Válvula solenoide	84,9x56x20	1
Válvula reguladora de pressão	45x25,5	1
Válvula reguladora de fluxo	60x50	1
Conector em T	66,4x39,6x15	3
Sensor de fluxo	60x40x14 com conexão Ø 12	1
Bomba elétrica do tipo turbina	77,2x61,55x49	1
Conector hidráulico fêmea ½"	Ø 20x20	9
Conector hidráulico macho ½"	Ø 20x30	2
Luva de redução ½" para ¼"	30	1
Bico pulverizador	Ø 17,46x34,13	1
Suporte de fixação do tanque	294x183x30	1
Reservatório plástico	325x230x185	1
Mangueira hidráulica ½"	Ø 12 x 2000	1
Case das baterias (base)	210x160x45	1
Folha de borracha (pequena)	195x54x1	1
Folha de borracha (média)	195x85x1	1
Bateria de ion-lítio (secundaria)	60x36x36	1
Bateria de ion – lítio (principal)	158x76x36	1
Sensor de temperatura	14x12x1,5	1
Case das baterias (tampa)	210x160x10	1
Suporte dos componentes eletrônicos (base)	175x175x5 com furos de Ø 12	1
Driver do motor DC	59x52x12	4
Raspberry	85x56x14	1
Conversor de nível lógico	26x15x6	2
Sensor de medição de carga	28x13x10	2
Regulador de tensão	50x23x18	2
ESP-Lora	51x25,5x6	1
PCB para Raspberry	89x60x16	1
PCB para ESP-lora	90x80x1,5	1
Folha de borracha	140x140x1	2
Suporte dos componentes eletrônicos (modular)	175x175x45	2
Câmera digital	88,9x40,6x14	1
Suporte para a câmera (adaptador)	24,2x14x1,5	1
Suporte para a câmera (chapa dobrada)	60x56x14x1,5	1

Canaleta plástica vazada com tampa	2000x80x50	1
Canaleta plástica curva de 90°	80x50	6
Canaleta plástica em T	80x50	2
Capa de proteção	800x600x230	1
Cooler elétrico	120x120x25	2
Sirene elétrica	Ø 29,5x20	1
Botão duplo	25,5x22x21	1
Display digital	53x25x2	2
Sensor de bússola	18x13x2	1
LEDs (vermelho e verde)	Ø 5x10	2
Cabos PP 2 vias Preto e cinza	Ø 9,5x5000	1
Conectores de derivação	-	4
Tags plásticas de identificação	Ø 9,5x30	10
Cabo micro usb	-	1
Suporte para sensor ultrassônico(base)	60x34x5	2
Suporte para sensor ultrassônico (tampa)	60x34x11	1
Sensor ultrassônico	45x20x13	4
Sensor de indutância	39,2x18x1,5	4
Tampa	800x600x5	1
Moldura de borracha	800x600x1	1
Capa do motor superior	97x62x62	4
Dobradiça	73x60 1,5 com furos Ø 3,5	1
Placa de aço 1020 conexão tubo/corpo central	160x160x3	4
Tubo em L	Ø 33,7x250x100	4
Placa de conexão e suporte do motor superior	143x140x97	4
Chapa da estrutura central	800x600x3	1
Chapinhas para suporte do aspersor	30x20x3	4
Rolamento SKF F4BSS	112x112x33 com Ø30 no rolamento	4
Suporte de transporte	600x121	2
Apoio telescópico (parte superior)	160x160x110	4
Apoio telescópico (parte inferior)	168x160x105	4
Rolamento Blindado	Ø12x2,5 com furo Ø8	4
Espaçados do amortecedor	Ø 12x12 com furo Ø 8	8
Chapa para contagem de voltas da roda	60x60x10x1,5 com furos Ø 12	4
Acoplamento de eixo 8x8	35x30	8
Espaçador da roda	Ø 52x10 com furo Ø 8	8
Amortecedores	150x28 com furos de fixação Ø8	8
Motor elétrico inferior	181,9x89x60	1
Chapa de suporte do motor e roda (externa)	450x160x3	4

Chapa de suporte do motor e roda (interna)	420x160x3	4
Conjunto pneu e roda	Ø410x100 com furo para eixo Ø52	4
Motor elétrico superior	117,10x38,1x38,1	4
Haste do suporte do aspersor	400x30x3 com furos Ø 12	2
Suporte do bico com chapinhas	90x60x20	1

Descrição	Comprimento (mm)	Chave (mm)/Tipo	Rosca (mm)	Quantidade
Abraçadeira rosca sem fim metálica Ø9mm	A – 0,7 B – 9	6	-	11
Abraçadeira de nylon	B – 2,5 L – 80 D – 14	-	-	12
Arruela lisa de aba larga inox 304	A – 8,4 mm B – 24mm C – 2 mm	-	-	4
Arruela de pressão inox 304	A – 9,57 mm B – 17,27 mm T – 2,99 mm	-	-	4
Arruela quadrada alumínio	40x40x3 furo Ø 8mm	-	-	4
Barra roscada (fixação da suspensão) Ø 8mm	350	-	1,25	4
Barra roscada (eixo da roda) Ø 8mm	220	-	1,25	4
Eixo de rotação do motor superior/braço de apoio	30	-	1,25	4
Barra roscada Ø8mm				
Barra roscada (apoio telescópico) Ø 12mm	180	-	1,75	8
Barra roscada (suporte do aspersor) Ø 12mm	15	-	1,75	3
Parafuso auto atarraxante Ø 3,5 (Nº6)	6,5	Fenda simples	1,3	36
Parafuso auto atarraxante (Cabeça panela) Ø 3,9 (Nº7)	9,5	Fenda simples	1,3	4
Parafuso auto atarraxante inox 304 (Cabeça panela) Ø6,3mm (Nº 14)	32	Fenda simples	1,8	8

Parafuso sextavado de rosca interna inox 304 Ø3mm (M3)	30	5,5	0,5	1
Parafuso sextavado inox 304 Ø 4mm (M4)	12	7	0,7	16
Parafuso sextavado inox 304 Ø 6 (M6)	20	10	1	28
Parafuso sextavado inox 304 Ø 8mm (M8)	60	13	1,25	8
Parafuso sextavado inox 304 Ø 10mm (M10)	35	17	1,5	16
Parafuso sextavado rosca interna Ø 12 (M12)	50	19	1,75	9
Porca sextavada Ø3mm	2,15	5,5	0,5	1
Porca sextavada inox 304 Ø 6mm (M6)	4,7	10	1	16
Porca sextavada inox 304 Ø8 mm(M8)	6,14	13	1,25	20
Porca sextavada inox 304 Ø 10mm (M10)	7,64	17	1,5	16
Porca borboleta inox 304 Ø 12mm (M12)	A – 50mm	B – 23,5 G – 8,5	1,75	16
Porca sextavada inox 304 Ø 12mm (M12)	9,64	19	1,75	16

APÊNDICE N – Manual de fabricação

,



StrongBerry

Manual de fabricação

Índice

Instruções gerais.....	2
Lista de materiais necessários.....	3
Capa de proteção.....	4
Tampa da caixa protetora.....	5
Chapa central.....	6
Apoio telescópico (parte superior).....	7
Suporte e espaçador do amortecedor.....	8
Apoio telescópico (parte inferior).....	9
Espaçador da roda.....	10
Chapa de suporte do aspersor.....	11
Haste do aspersor.....	12
Suporte do motor superior.....	13
Placa de conexão.....	14
Base tubo L.....	15
Suporte do bico aspersor.....	16
Suporte de transporte.....	17
Suporte externo da roda.....	18
Suporte interno da roda.....	19
Tubo em L.....	20
Fixação do tanque.....	21
Suporte da solenoide.....	22
Suporte da camera.....	23
Suporte dos componentes eletrônicos.....	24
Capa do sensor ultrassônico.....	25
Case das baterias.....	26
Case do motor superior.....	27
Suporte sensor de rotação.....	28
Placas de circuito impresso.....	29

Instruções gerais

Nesse documento será apresentado a rotina de produção dos componentes que formam o StrongBerry. Portanto, após o fim desse documento todas as peças necessárias para montagem do produto estarão finalizadas. Com isso, deve-se proceder com a montagem utilizando o Manual de Montagem.

Além disso, o documento contém uma lista de ferramentas/equipamentos necessários para produção de todas as peças do produto e uma lista de Equipamentos Individuais de Proteção (EPI) cuja utilização é recomendada durante os procedimentos de fabricação dos componentes.

Lista de materiais necessários

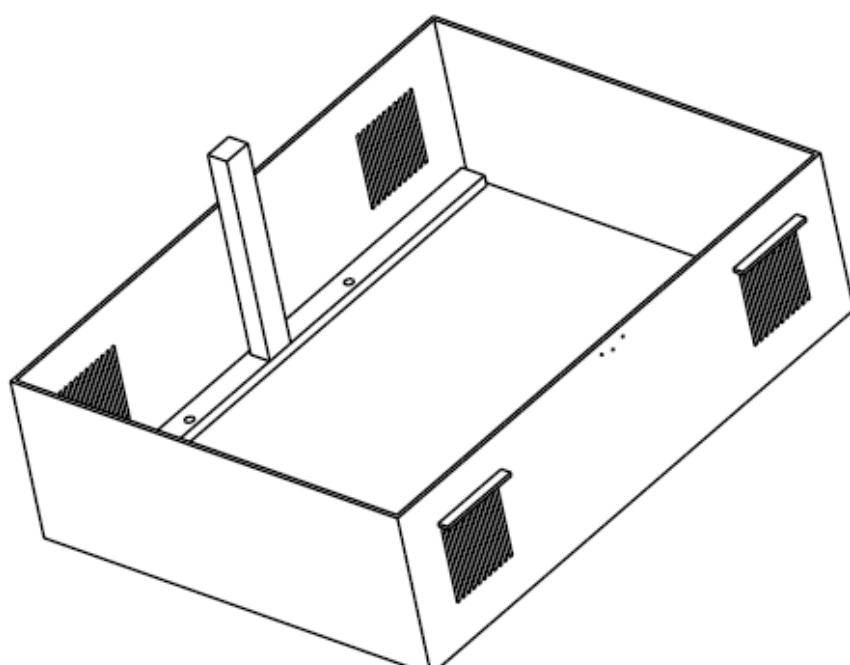
Lista de equipamentos para produção das peças:

- Maquina de corte a laser ou jato d'água
- Serra fita ou Serra tico-tico ou Cortadora do tipo rotativa
- Maquina para solda do tipo MIG/MAG
- Furadeira de bancada
- Brocas de Aço rápido (4mm,6mm, 8mm, 10mm e 12mm)
- Torno mecânico (pode ser de bancada)
- Dobradeira de chapa (manual ou automática. Superior a 200mm de largura)
- Esmerilhadeira ou Jogo de limas
- Lixa ferro grão variados
- Paquímetro
- Esquadro metálico
- Caneta marcadora
- Impressora 3D

Lista dos principais EPI's para a fabricação:

- Máscara de solda
- Luva de soldagem
- Avental de raspa ou couro para soldagem
- Óculos de proteção
- Botas com bico metálico
- Luvas de borracha
- Tampões de ouvido
- Face shield

Capa de proteção

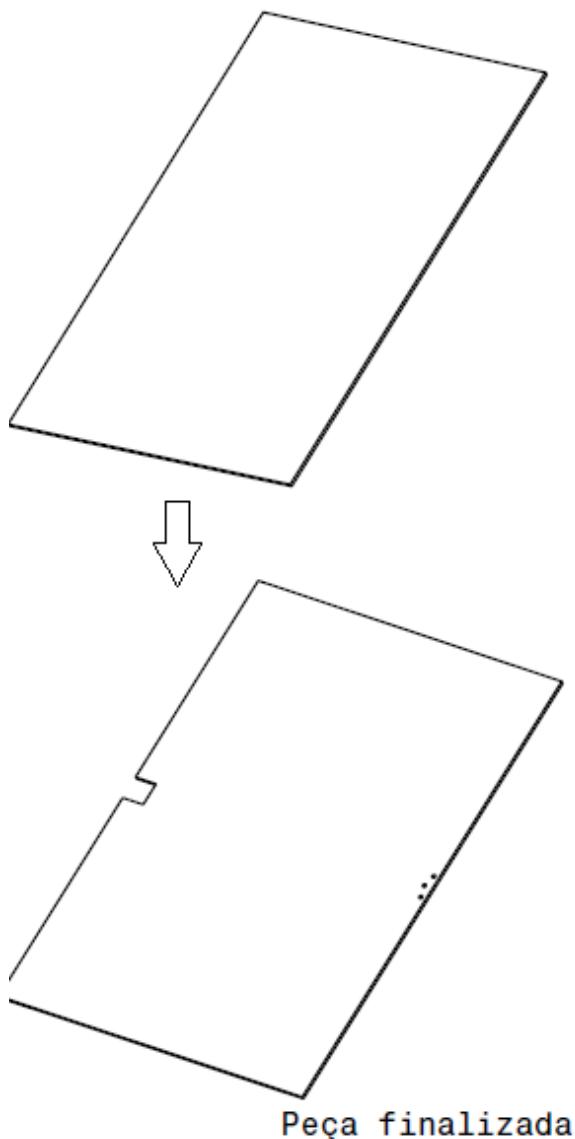


Peça finalizada

- Imprimir a peça utilizando uma impressora 3D.
- Confeccionar 1 unidade da Capa de proteção.

Tampa da caixa

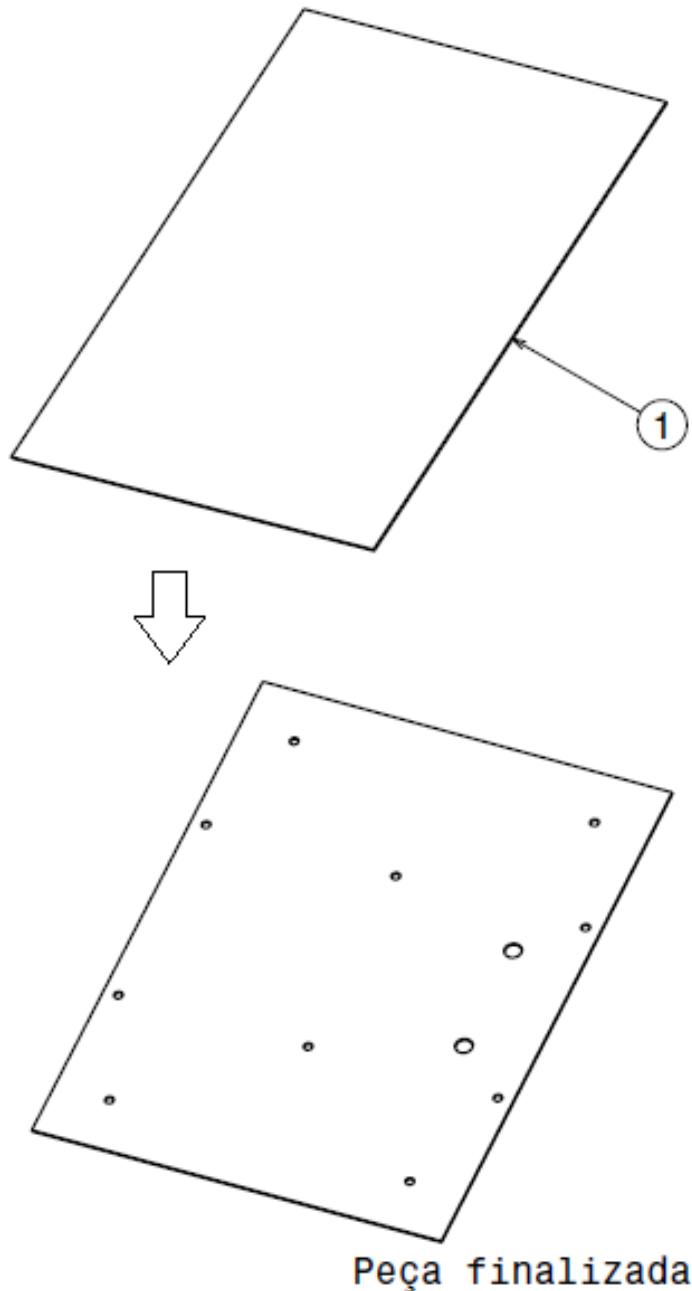
protetora



CÓD.	Descrição	Dimensões (mm)	Quantidade
1	Chapa	806,3x610x5	1

- Realizar os furos na peça 1 por meio de uma furadeira de bancada.
- Realizar o corte a laser.
- Confeccionar 1 unidade da peça.

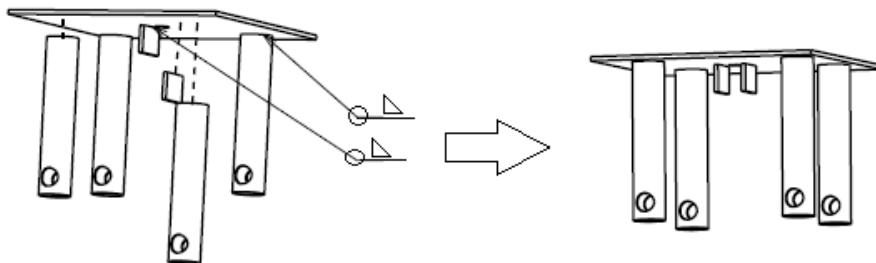
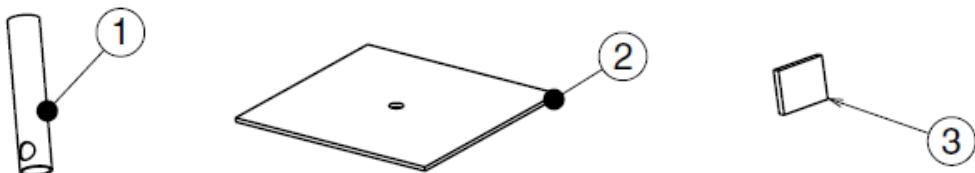
Chapa central



CÓD.	Descrição	Dimensões (mm)	Quantidade
2	Chapa	800x600x3	1

- Faça os furos na chapa utilizando uma furadeira de bancada.
- Confeccionar 1 unidade da peça.

Apoio telescópico (parte superior)

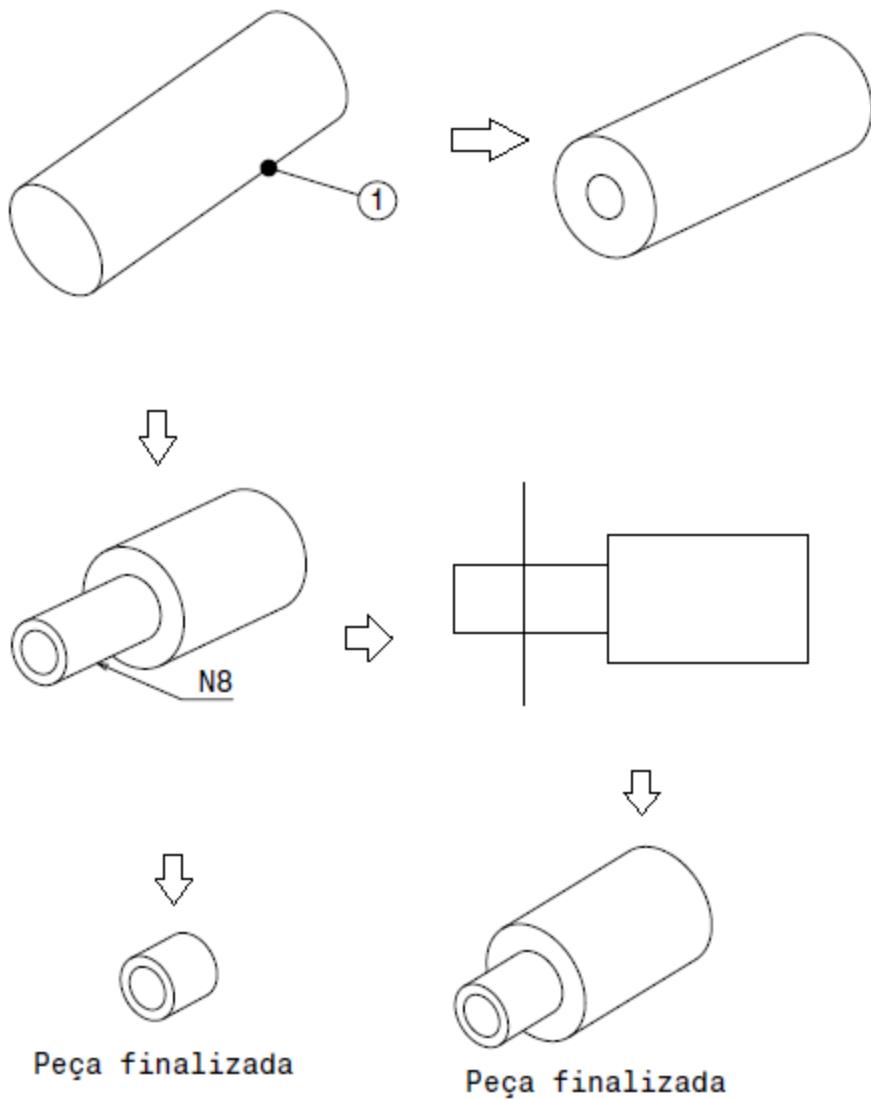


Peça finalizada

CÓD.	Descrição	Dimensões (mm)	Quantidade
1	Barra	105 com furos 12,7	4
2	Chapa 168x160x3mm	168x160x3	1
3	Chapa	30x20x3	2

- Una 1 e 2 por solda MIG em todo contorno do tubo.
- Repita o processo anterior 3 vezes.
- De modo análogo, una as peças 3 ao conjunto formado.
- Confeccionar 4 unidades da peça.
- Realizar tratamento de proteção (epóxi, pintura ou tinta óleo)

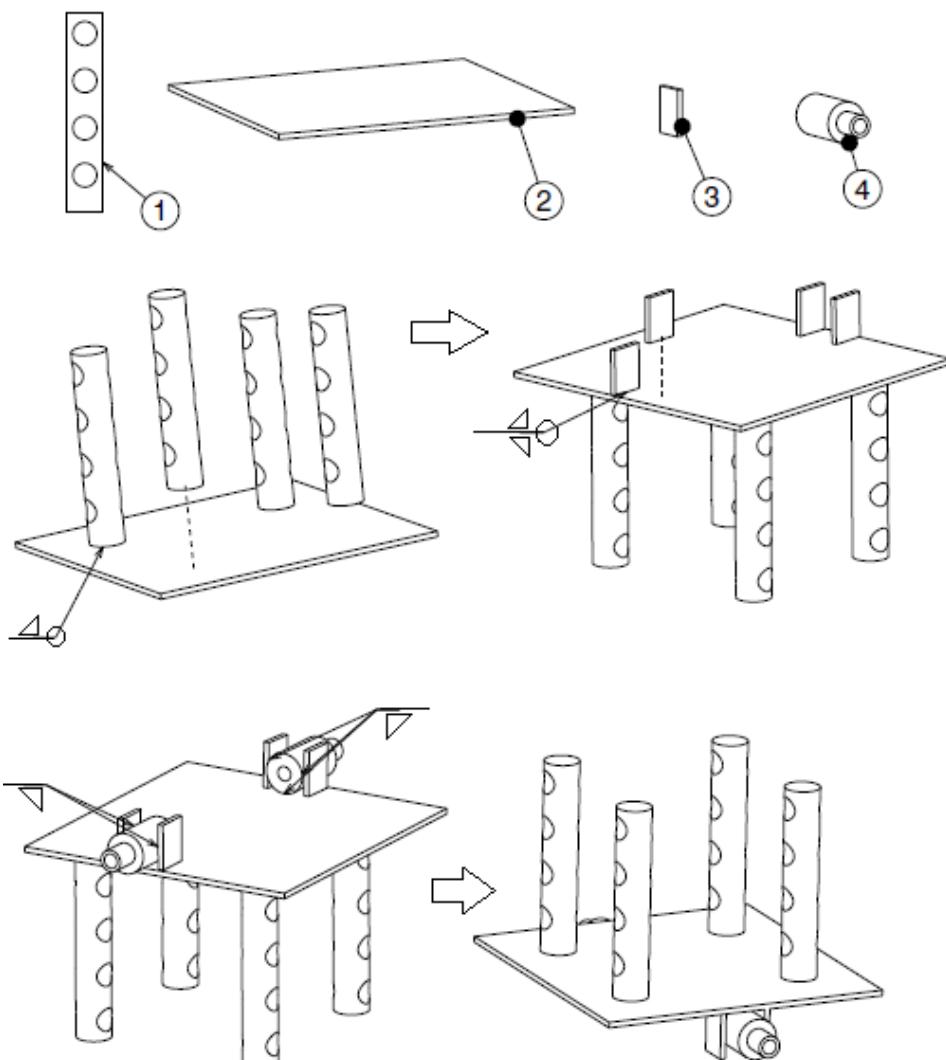
Suporte e espaçador do amortecedor



CÓD.	Descrição	Dimensões (mm)	Quantidade
1	Tarugo	$\varnothing 22,22; 50$	1

- Realizar o furo na peça 1 por meio de uma furadeira de bancada.
- Desbaixar a peça 1.
- Realizar um corte transversal na região usinada.
- Confeccionar 8 unidades da peça.

Apoio telescópico (parte inferior)

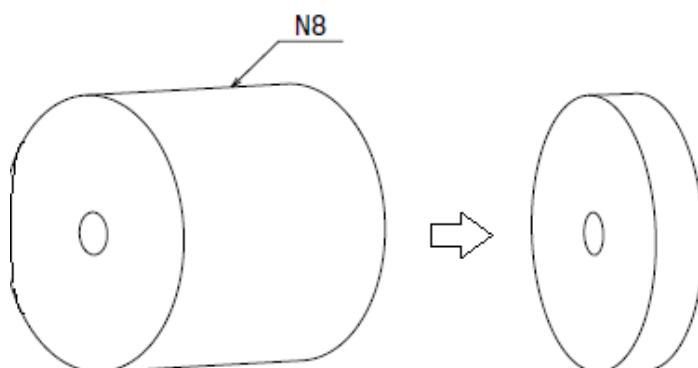
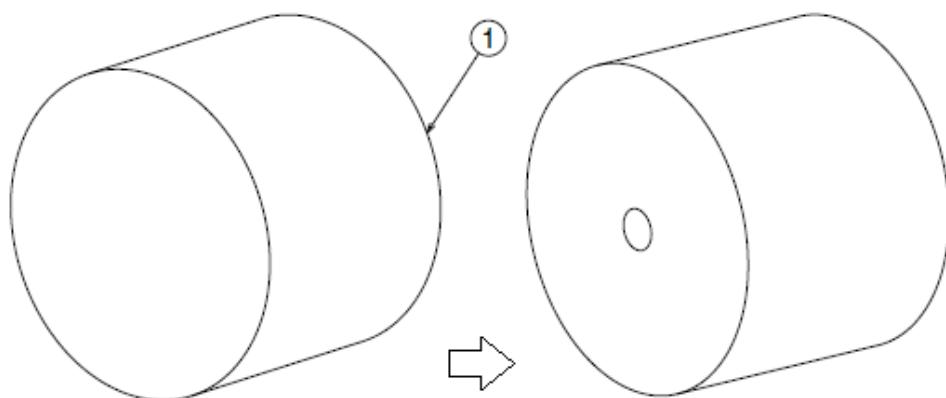


Peça finalizada

CÓD.	Descrição	Dimensões (mm)	Quantidade
1	Barra	105 com furos 12,7	4
2	Chapa 168x160x3mm	168x160x3	1
3	CHAQ11 25x19x3mm	25x19x3	4
4	Suporte do eixo de fixação dos amortecedores	50x22,22	2

- Una 1 e 2 por solda MIG em todo contorno do tubo.
- Repita o processo anterior 3 vezes.
- Realizar tratamento de proteção (epóxi, pintura ou tinta óleo)

Espaçador da roda

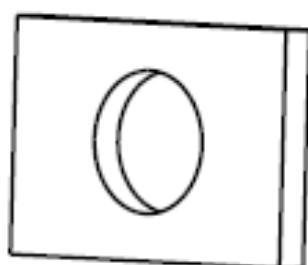
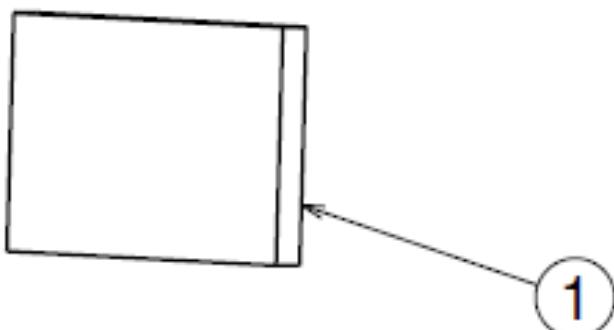


Peça finalizada

CÓD.	Descrição	Dimensões (mm)	Quantidade
1	Tarugo	$\varnothing 26$; $\varnothing 4$; 10	1

- Faça o furo central utilizando um torno mecânico.
- Confeccionar 8 unidades da peça.
- Realizar tratamento de proteção (epóxi, pintura ou tinta óleo).

Chapa de suporte do aspersor

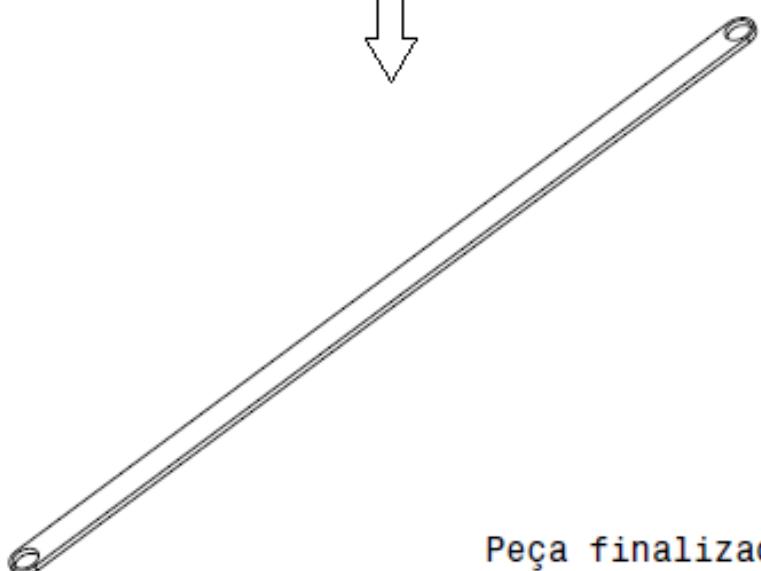
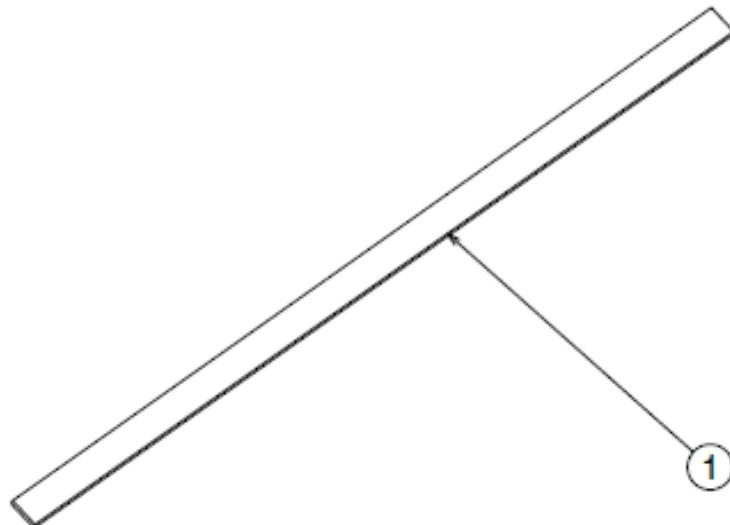


Peça finalizada

CÓD.	Descrição	Dimensões (mm)	Quantidade
1	Chapa	30x20x3; ø12	1

- Fure a peça conforme ilustrado utilizando uma furadeira.
- Confeccionar 4 unidades da peça.

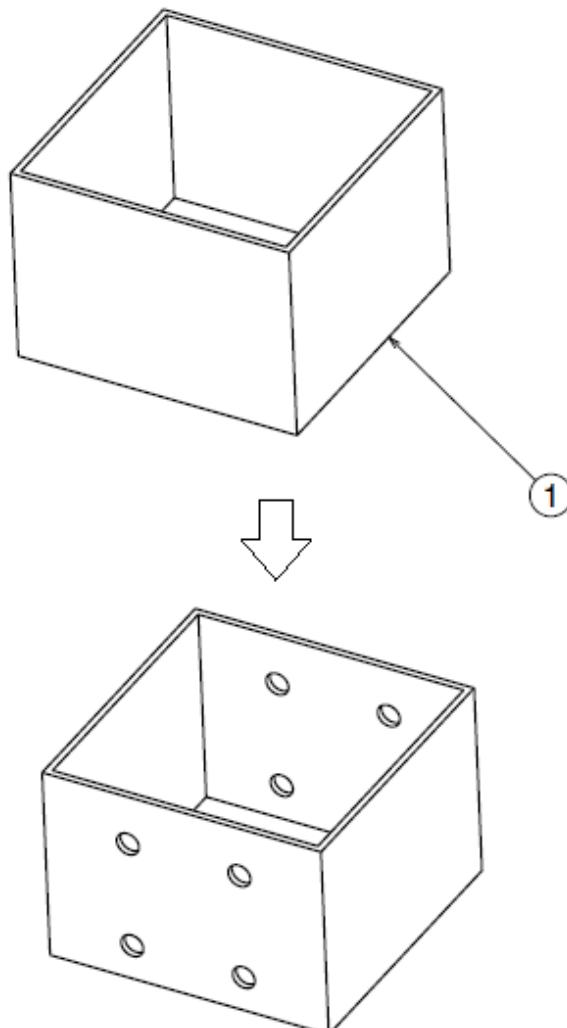
Haste do aspersor



CÓD.	Descrição	Dimensões (mm)	Quantidade
1	Chapa	400x15x3; ø12, chanfro ø30	1

- Utilizando-se de uma furadeira de bancada realize os 2 furos nas extremidades.
- Chanfrar as duas extremidades da barra.
- Confeccionar 2 unidades da peça.
- Realizar tratamento de proteção (epóxi, pintura ou tinta óleo).

Suporte do motor superior

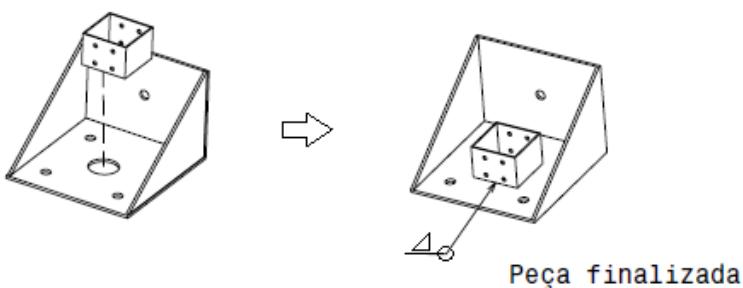
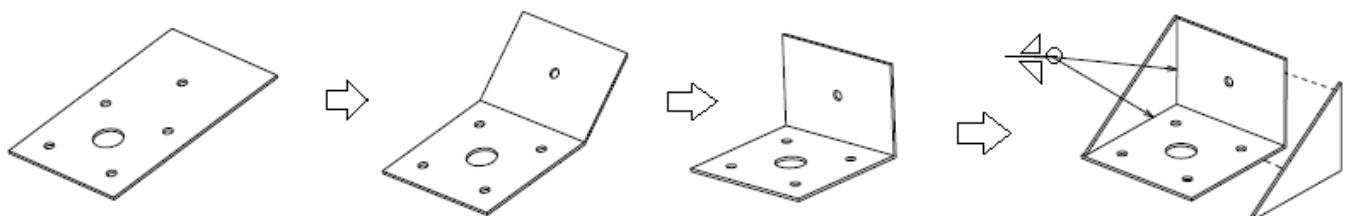
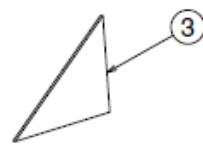
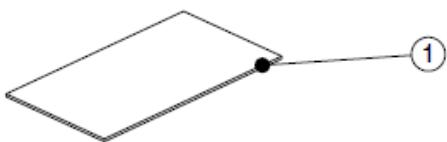


Peça finalizada

CÓD.	Descrição	Dimensões (mm)	Quantidade
1	Perfil quadrado	50x50x35; ø4	1

- Realize o corte, com a serra fita ou tico tico, do perfil quadrado de acordo com a medida especificada.
- Realizar os furos na peça 1 por meio de uma furadeira de bancada.
- Confeccionar 4 unidades da peça.

Placa de conexão

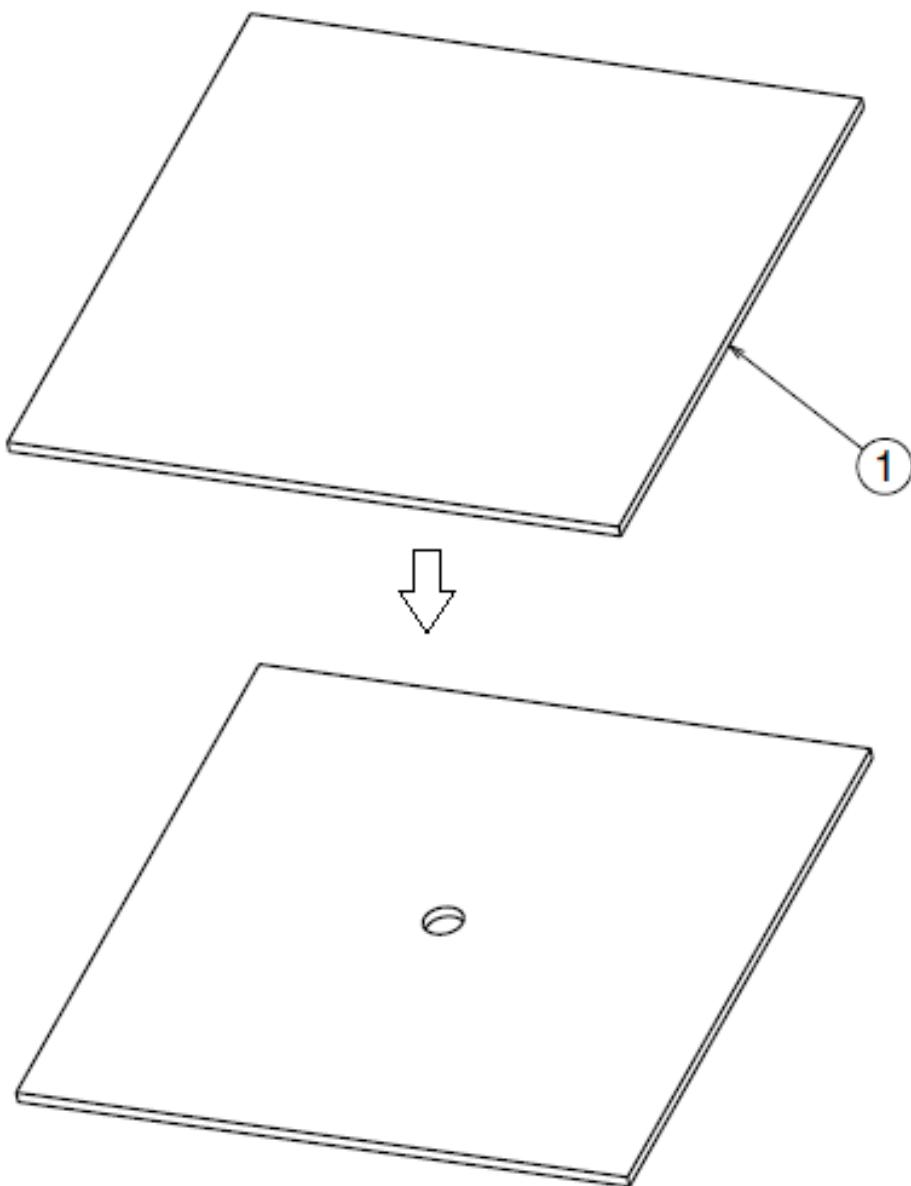


Peça finalizada

CÓD.	Descrição	Dimensões (mm)	Quantidade
1	Chapa	240x140	1
2	Suporte do motor superior	50x50x35; $\phi 4$, $\phi 10$	1
3	Chapa Triangular	143x100	2

- Realizar os furos na peça 1 por meio de uma furadeira de bancada.
- Dobrar a peça 1 na região indicada.
- Unir as peças 3 a peça 1 por solda MIG.
- Unir a peça 2 a base da peça 1 por solda MIG.
- Confeccionar 4 unidades da peça.

Base tubo L

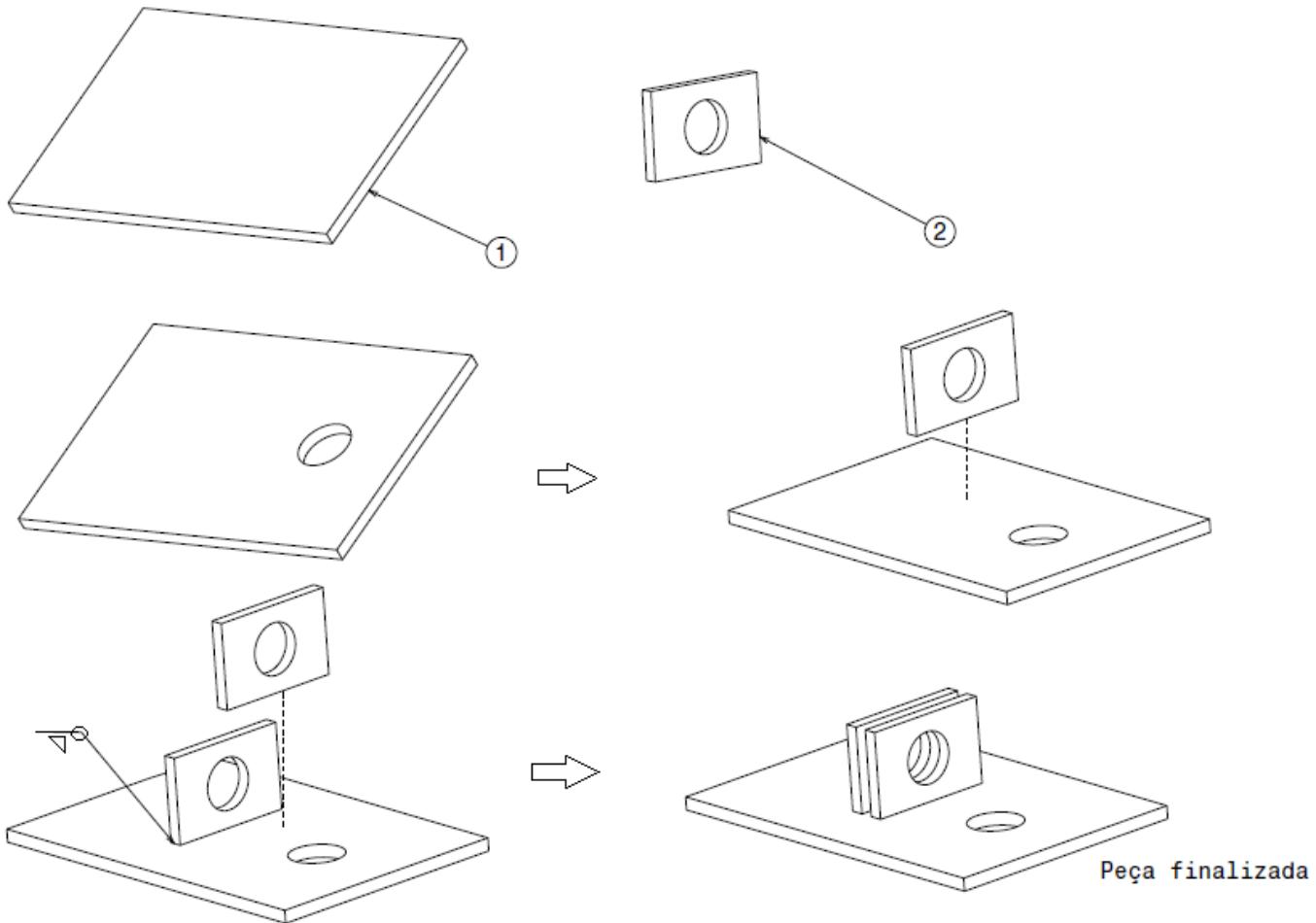


Peça finalizada

CÓD.	Descrição	Dimensões (mm)	Quantidade
1	Chapa	160x160x3	1

- Realizar o furo na peça 1 por meio de um furadeira de bancada.
- Confeccionar 4 unidades da peça.

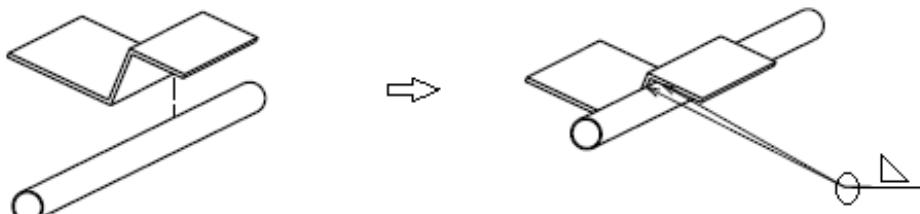
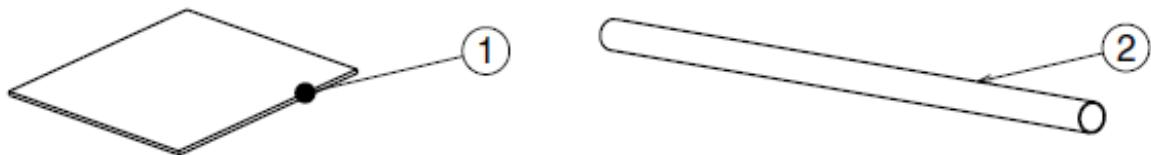
Suporte do bico aspersor



CÓD.	Descrição	Dimensões (mm)	Quantidade
1	Chapa	90x60x3	1
2	Suporte do aspersor	30x20x3; Ø12	2

- Soldar a peça 2 na peça por solda MIG.
- Confeccionar 1 unidade da peça.
- Realizar tratamento de proteção (epóxi, pintura ou tinta óleo).

Suporte de transporte

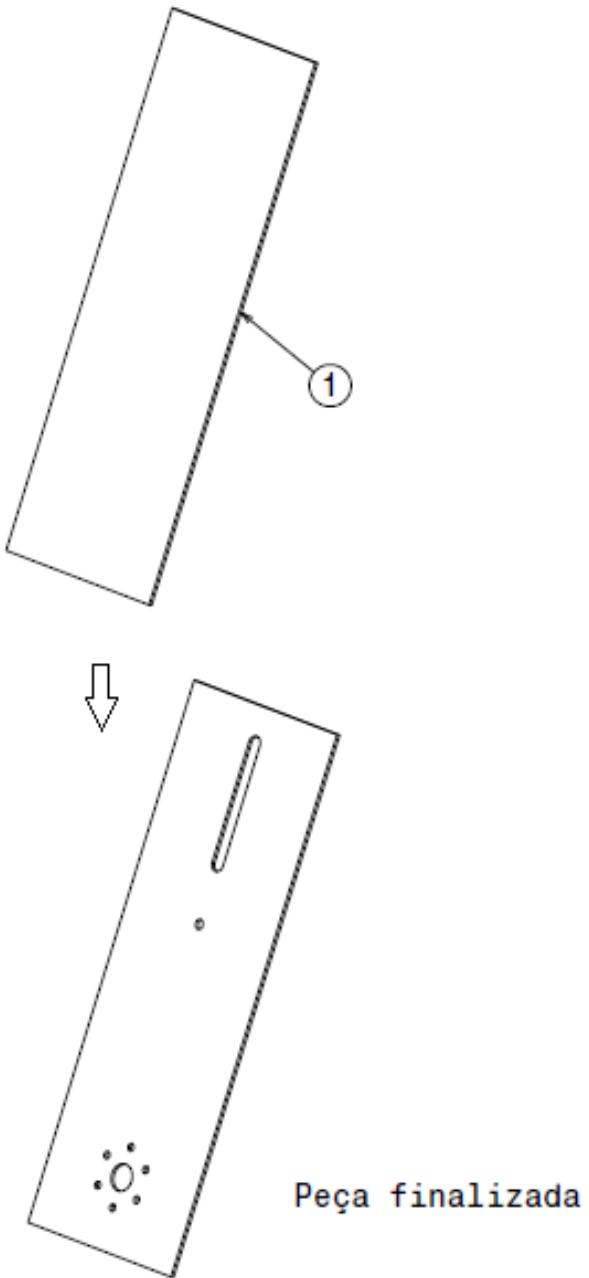


Peça finalizada

CÓD.	Descrição	Dimensões (mm)	Quantidade
1	Chapa	200x161x3	1
2	Tubo de transporte	600; R11,11;R10,21	1

- Dobrar a peça 1 conforme ilustrado.
- Unir a peça 1 a peça 2 por solda MIG nas duas faces.
- Confeccionar 2 unidades da peça.

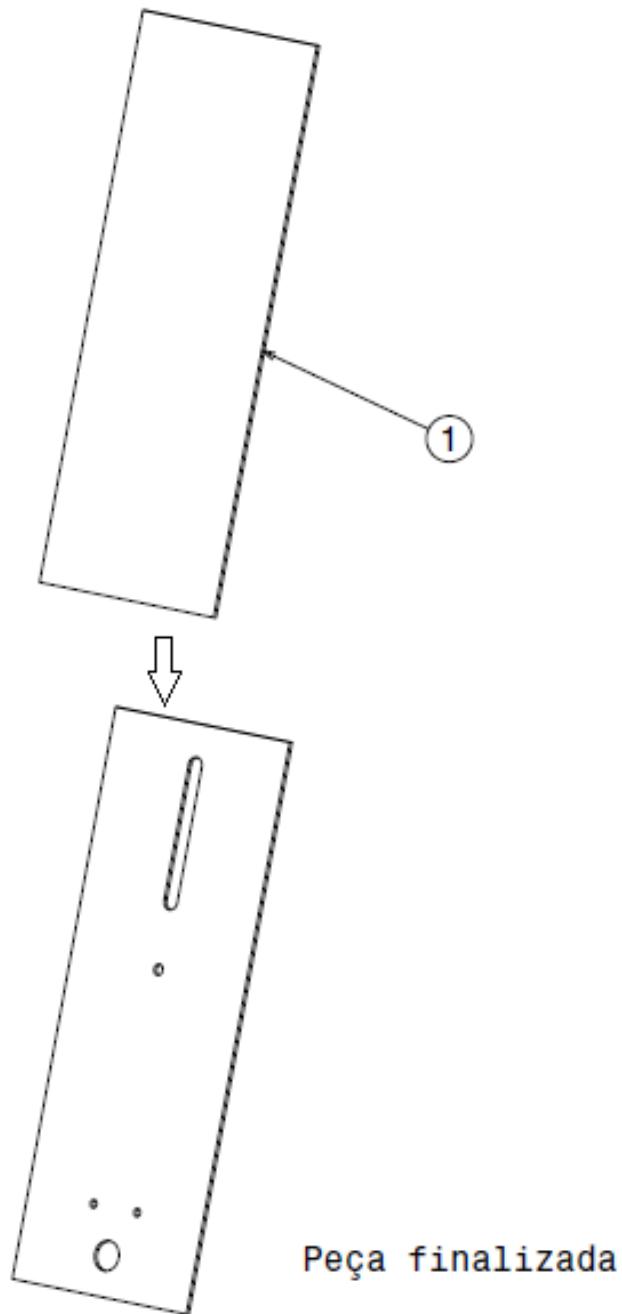
Suporte externo da roda



CÓD.	Descrição	Dimensões (mm)	Quantidade
1	Suporte externo	450x160x3	1

- Realizar os furos na peça 1 por meio de uma furadeira de bancada.
- Cortar a laser a peça 1 para fazer o rasgo.
- Confeccionar 4 unidades da peça
- Realizar tratamento de proteção (epóxi, pintura ou tinta óleo).

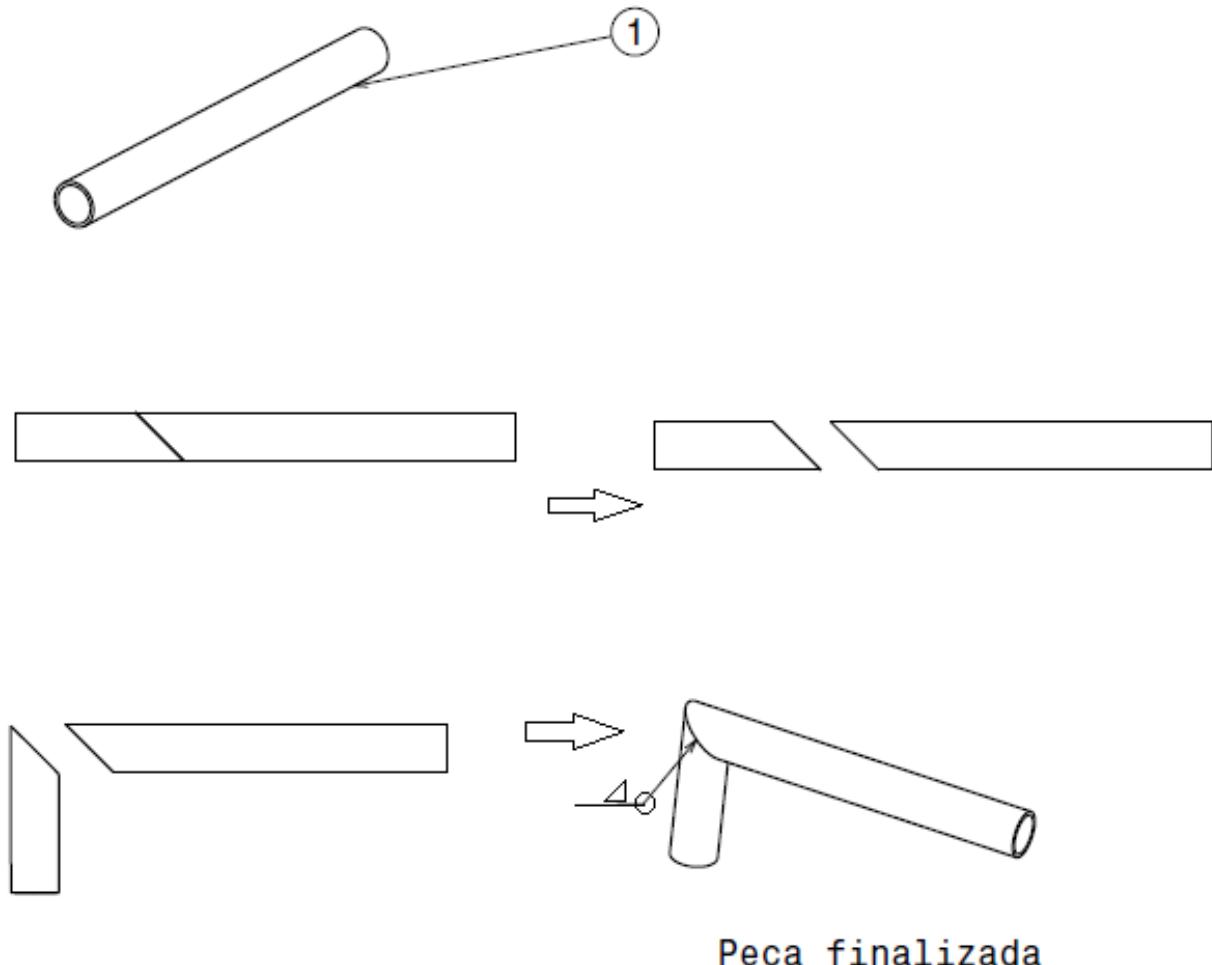
Suporte interno da roda



CÓD.	Descrição	Dimensões (mm)	Quantidade
1	Suporte externo	450x160x3	1

- Realizar os furos na peça 1 por meio de um torno mecânico.
- Cortar a laser a peça 1 para fazer o rasgo.
- Confeccionar 4 unidades da peça
- Realizar tratamento de proteção (epóxi, pintura ou tinta óleo).

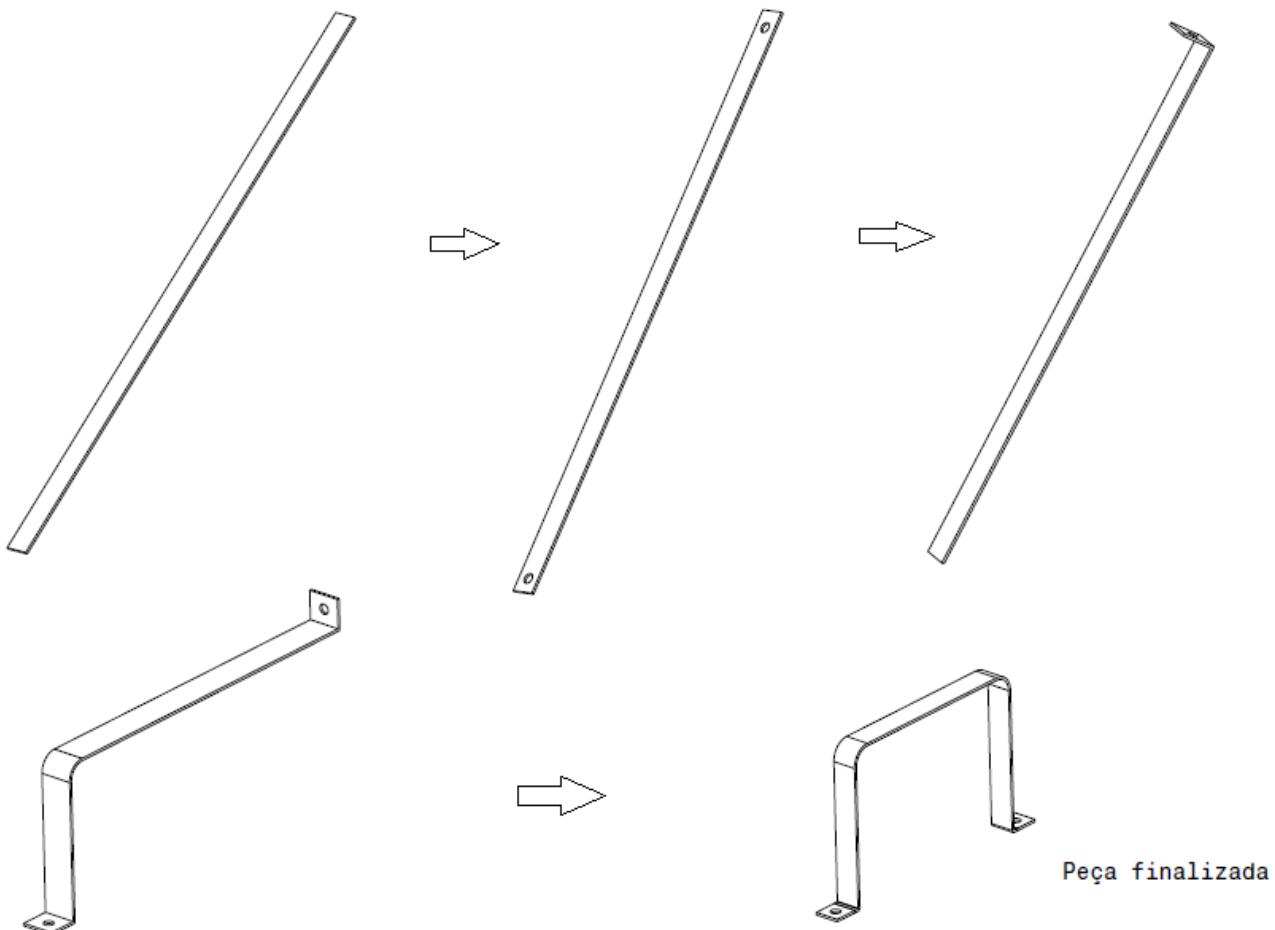
Tubo em L



CÓD.	Descrição	Dimensões (mm)	Quantidade
1	Tubo em L	350,32; Ø33,7; Ø28,4	1

- Realizar corte de 45° na peça 1.
- Unir por solda MIG as partes resultantes em ângulo de 90°.
- Confeccionar 4 unidades da peça.

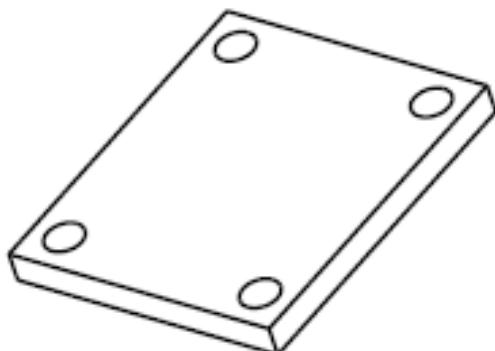
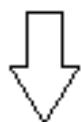
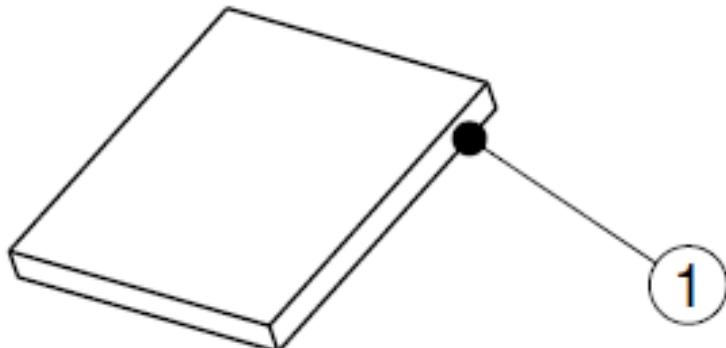
Fixação do tanque



CÓD.	Descrição	Dimensões (mm)	Quantidade
1	Chapa	717x30x3; Ø12	1

- Utilizar a dobradeira para dobrar a chapa.
- Furar a peça usando torno mecânico.
- Confeccionar 1 unidade da peça.
- Realizar tratamento de proteção (epóxi, pintura ou tinta óleo).

Suporte da solenoide

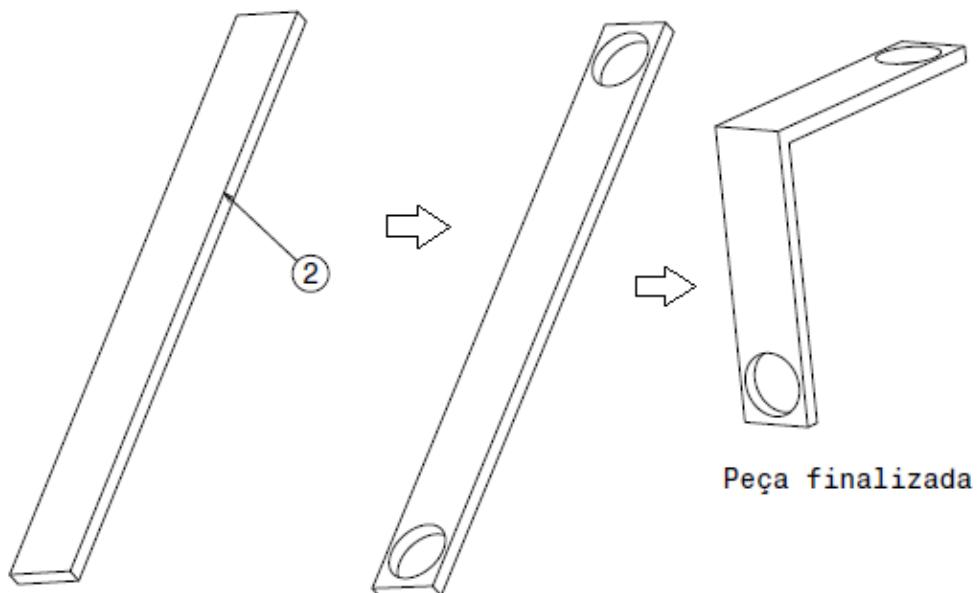
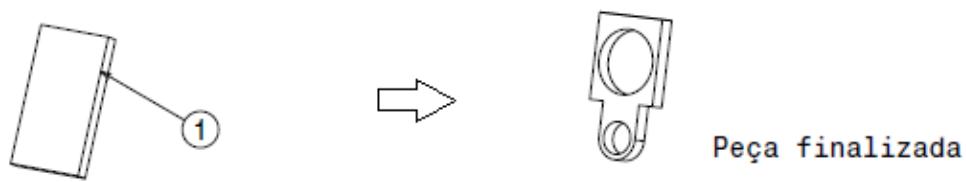


Peça finalizada

CÓD.	Descrição	Dimensões (mm)	Quantidade
1	Chapa	33x28x3; ø3,9	1

- Fazer os furos usando uma furadeira de bancada.
- Confeccionar 1 unidade da peça
- Realizar tratamento de proteção (epóxi, pintura ou tinta óleo).

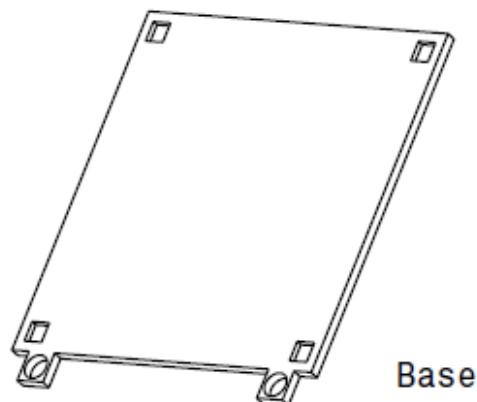
Suporte da camera



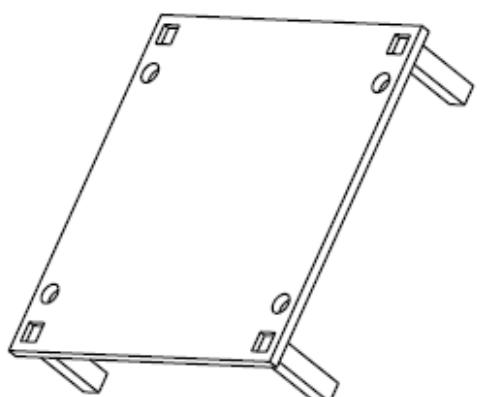
CÓD.	Descrição	Dimensões (mm)	Quantidade
1	Chapa	24x14x1,5; ø12; ø3	1
2	Chapa	116x14x1,5; ø12	1

- Dobrar a chapa em uma dobradeira
- Fazer os furos usando um torno mecânico
- Confeccionar 1 unidade de cada peça

Suporte dos componentes eletrônicos



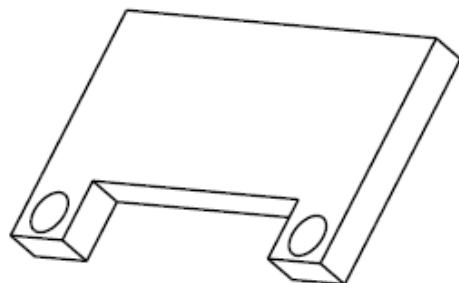
Base



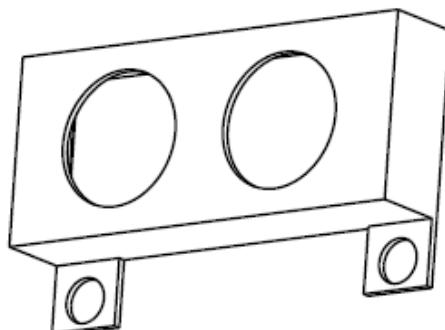
Parte modular

- Imprimir a peça utilizando uma impressora 3D.
- Confeccionar 1 unidade da Base
- Confeccionar 2 unidades da Parte modular

Capa do sensor ultrassônico



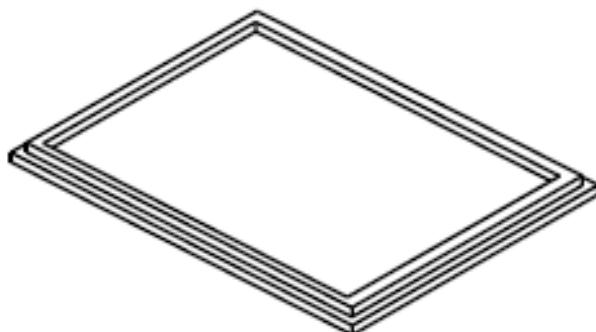
Base



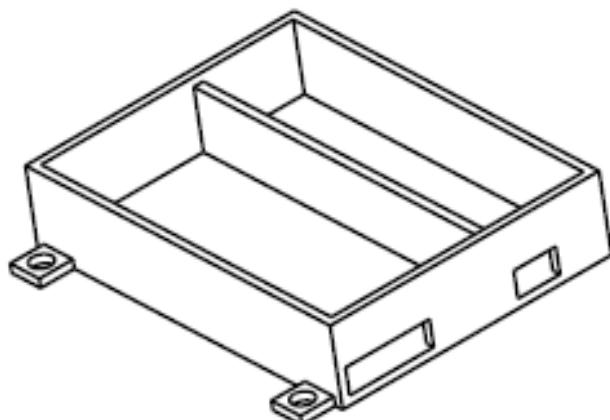
Tampa

- Imprimir a peça utilizando uma impressora 3D.
- Confeccionar 8 unidades da Base.
- Confeccionar 4 unidades da Tampa.

Case das baterias



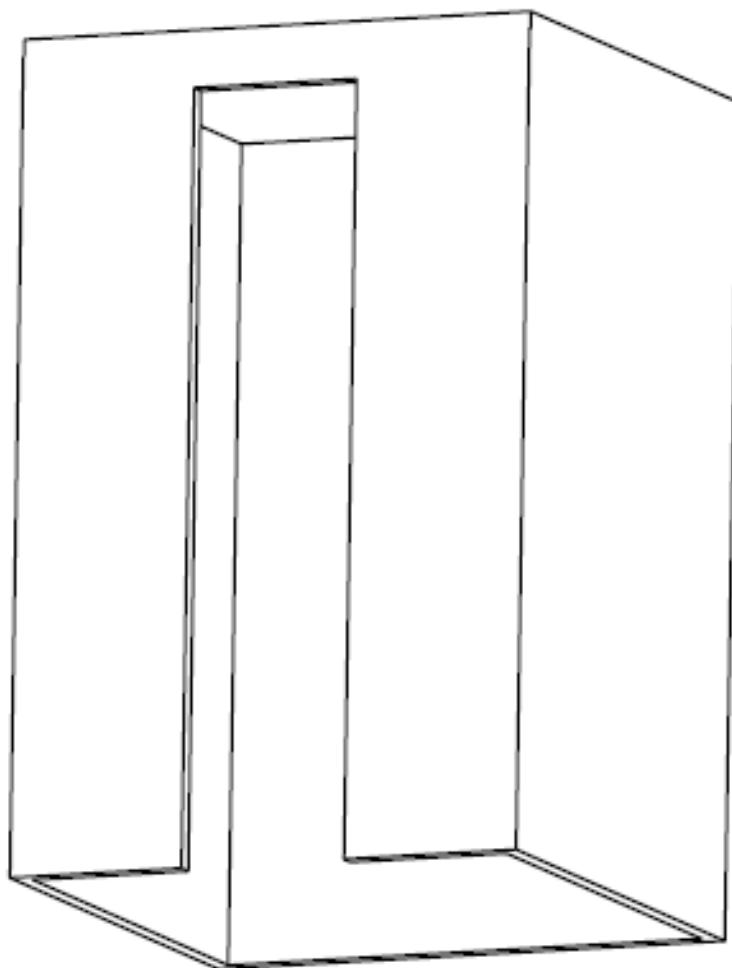
Tampa



Base

- Imprimir a peça utilizando uma impressora 3D.
- 1 unidade da Tampa
- 1 unidade da Base

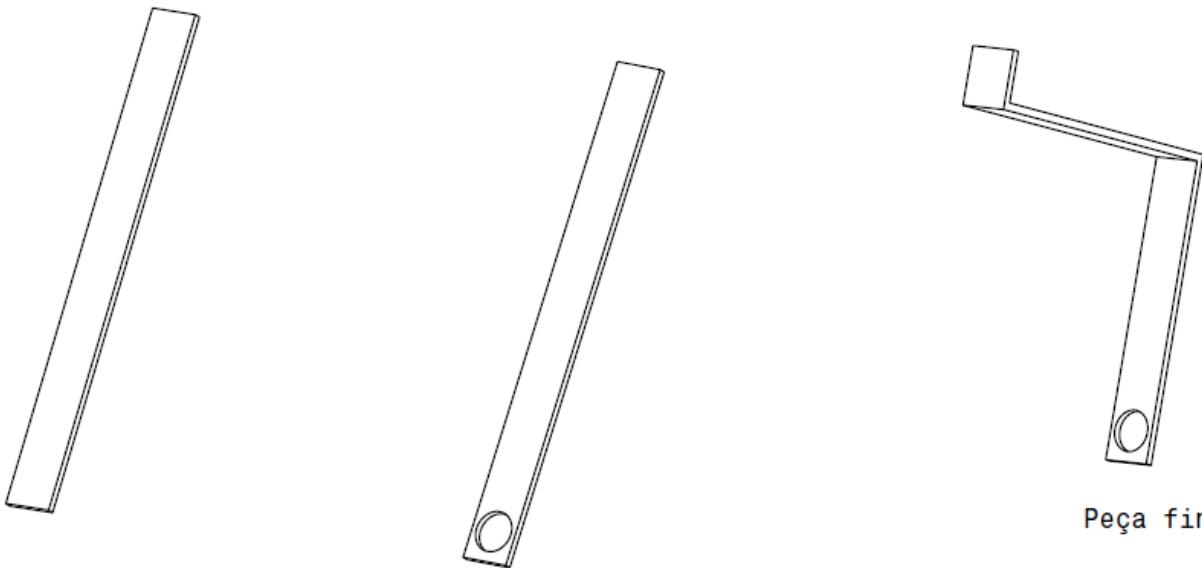
Case do motor superior



Peça finalizada

- Imprimir a peça utilizando uma impressora 3D.
- Confeccionar 4 unidades

Suporte sensor de rotação



Peça finalizada

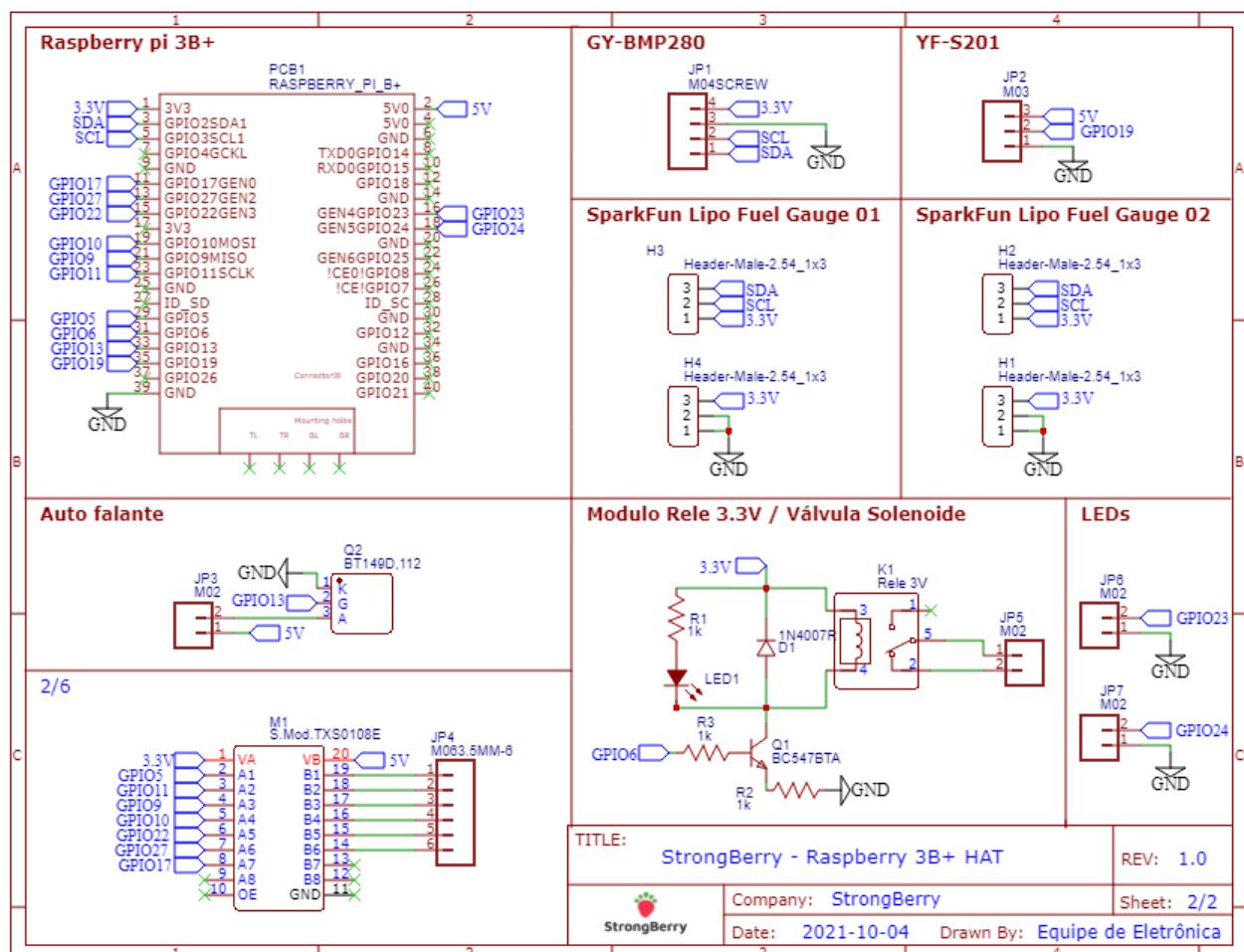
CÓD.	Descrição	Dimensões (mm)	Quantidade
1	Chapa	130x10x1,5	1

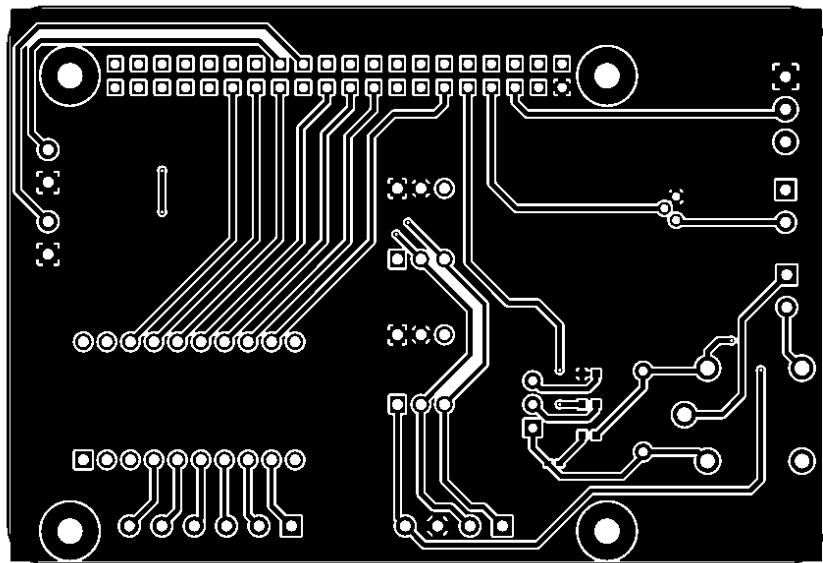
- Fazer o furo usando uma furadeira de bancada.
- Utilizar uma dobradeira para dobrar a peça 1 em ângulos de 90°.
- Confeccionar 4 peças.

Placa de Circuito impresso

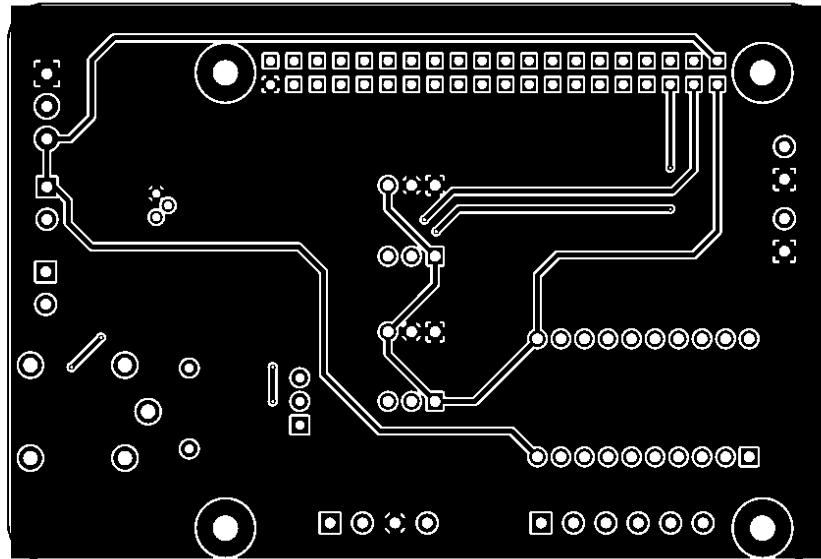
O StrongBerry conta com duas placas de circuito impresso (PCI), uma para conectar a Raspberry Pi 3B+ e outra para a ESP32, em que ambas devem ser feitas de fibra de vidro FR-04 de duas camadas utilizando uma espessura de cobre de 1 oz (onça). As trilhas devem ser de 0.5mm devido ao valor da corrente de operação e com um espaçamento mínimo para o isolamento do sistema de 0.13mm pelo padrão IPC2221. Sendo que para a PCI desenvolvida para a ESP32 esse afastamento foi aumentado para 0.54mm

PCI - Raspberry Pi 3B+

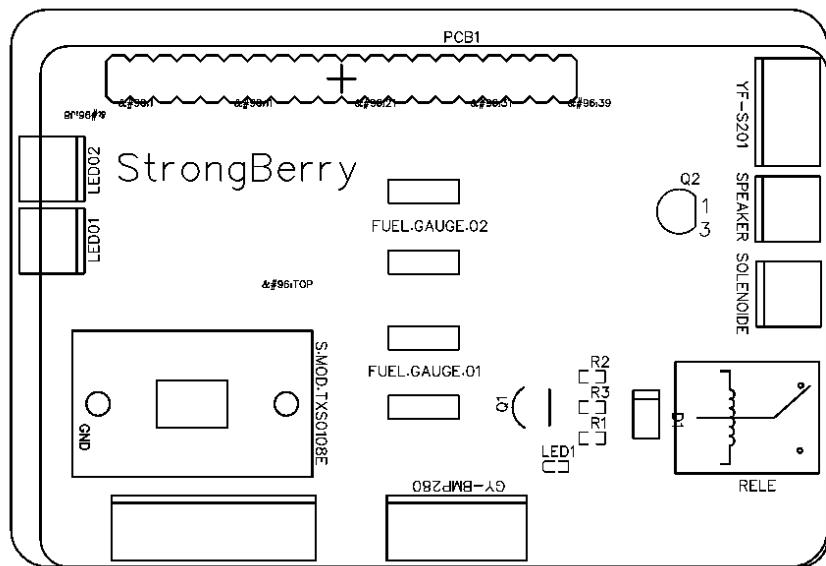




PCI - Camada superior

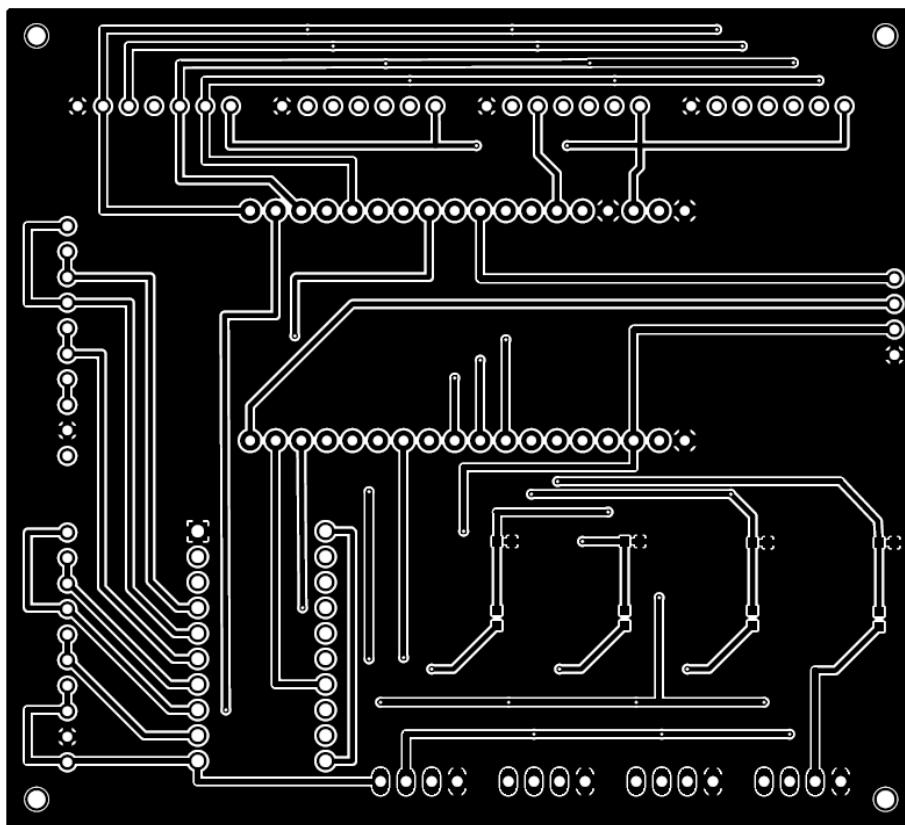
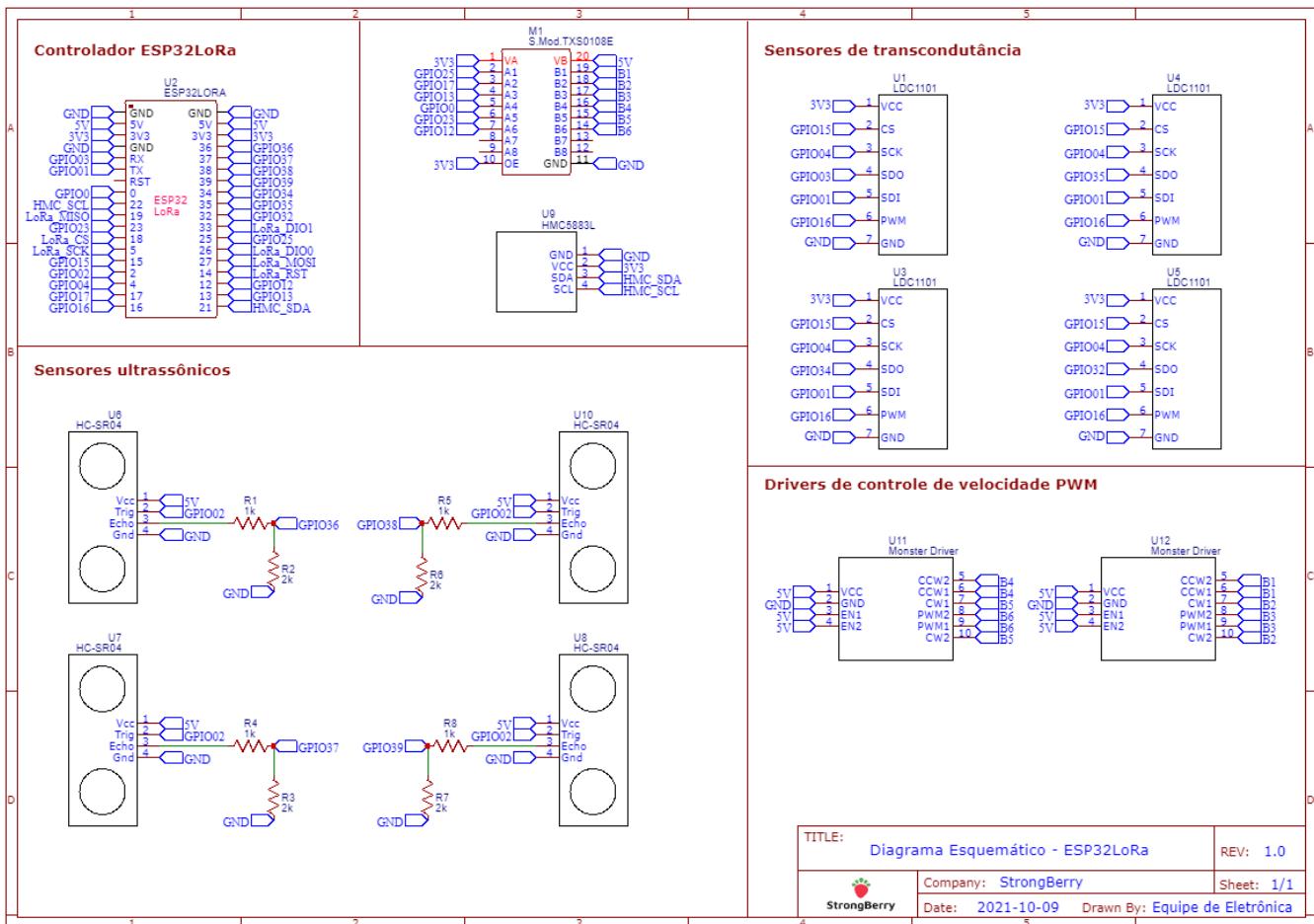


PCI - Camada inferior

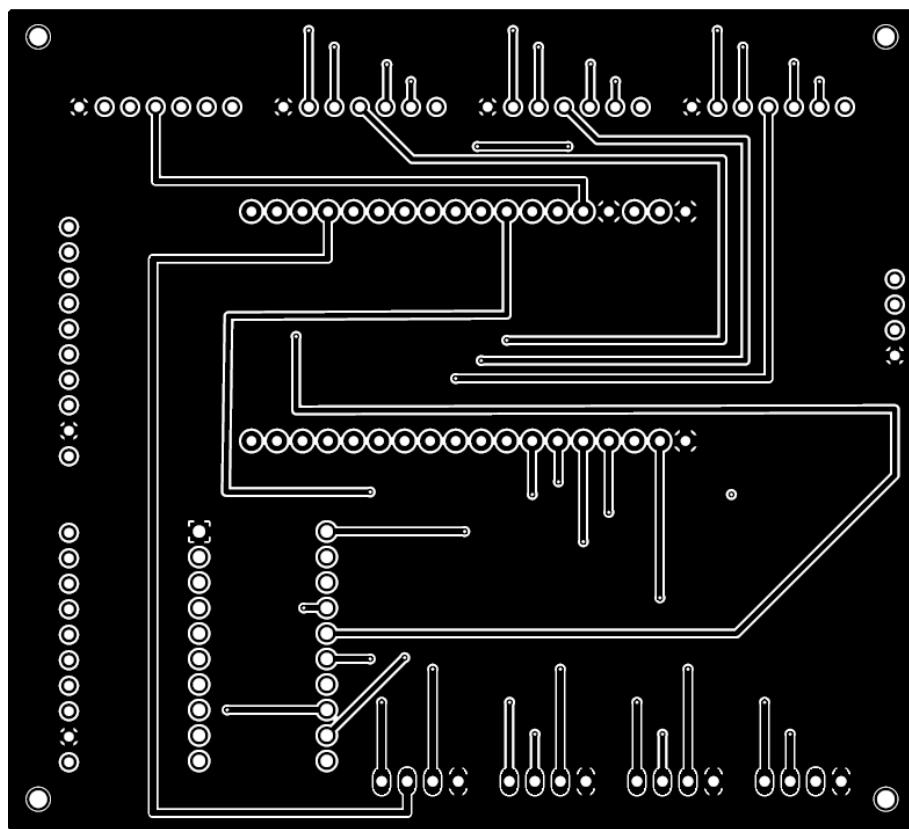


PCI - Camada Superior de Seda

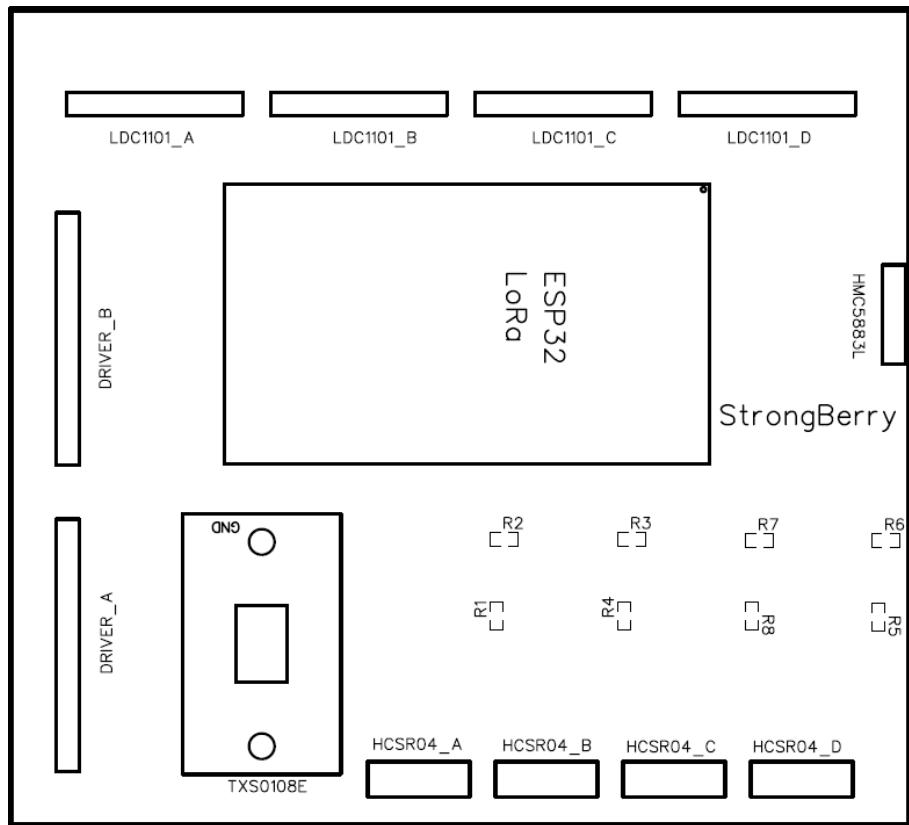
PCI - ESP32LoRa



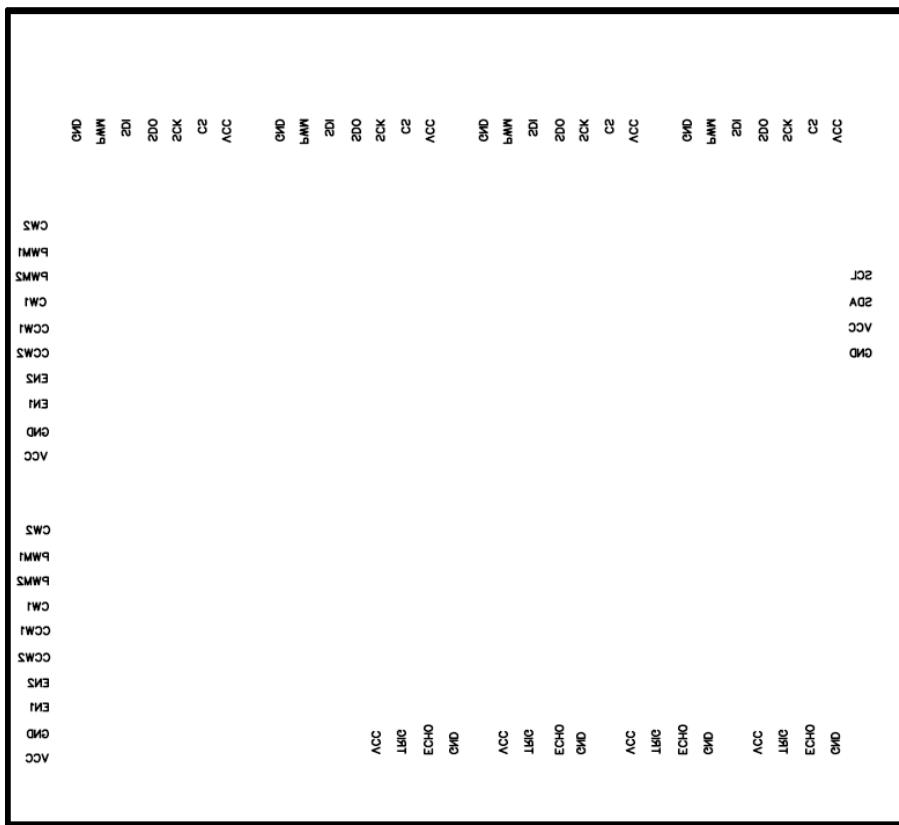
PCI - Camada superior



PCI - Camada inferior



PCI - Camada superior de Seda



PCI - Camada inferior de Seda



StrongBerry

APÊNDICE O – Manual de Montagem



StrongBerry

Manual de montagem

Índice

Apresentação.....	2
Lista de materiais necessários.....	3
Componentes estruturais.....	4
Alimentação.....	41
Componentes eletrônicos.....	47
Sistemas de software.....	60

Apresentação



Nesse documento será apresentado as instruções necessárias para a montagem do StrongBerry. A figura acima ilustra o produto montado.

Desse modo, além das instruções de montagem, esse manual contém também uma lista de ferramentas necessárias para realizar a montagem e uma lista de Equipamentos de Proteção Individual (EPI) recomendados para serem usados durante os procedimentos.

A montagem é dividida em 3 partes independentes: a montagem dos componentes estruturais, a montagem da alimentação dos componentes e, por fim, a montagem dos componentes eletrônicos.

Lista de materiais necessários

Lista de equipamento/ferramentas para a montagem:

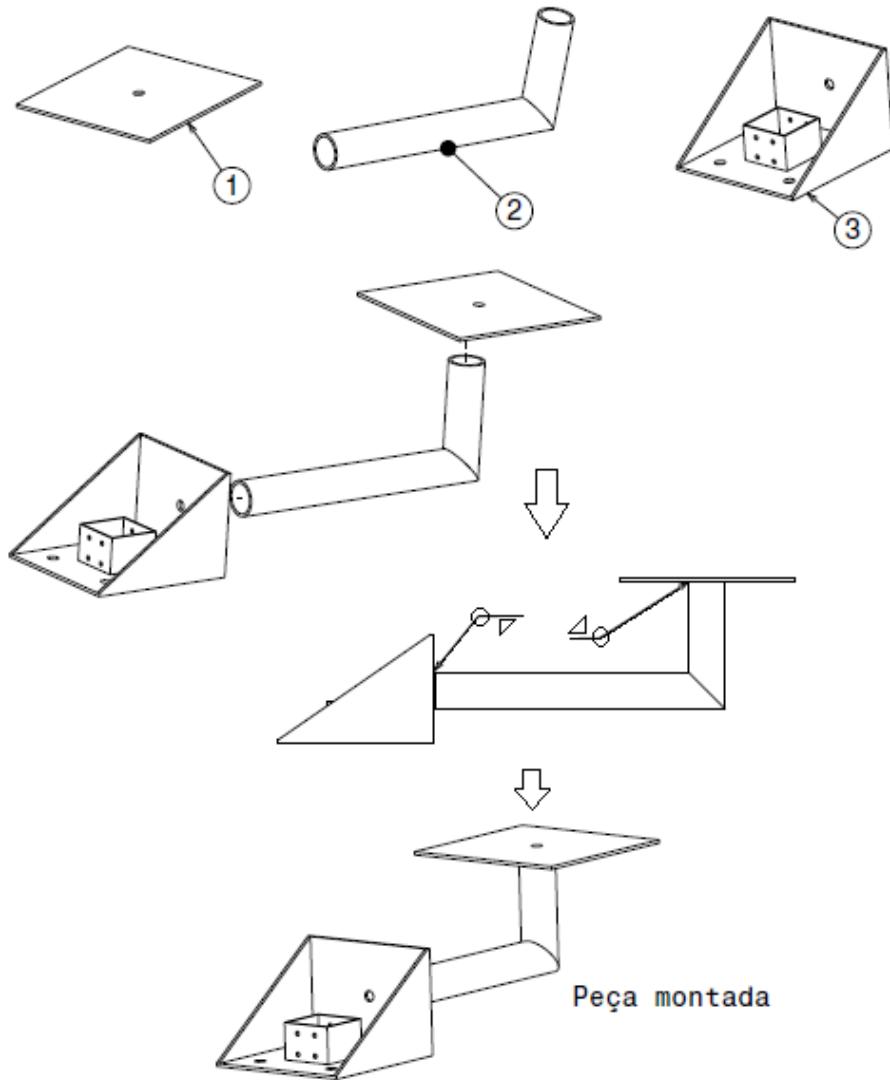
- Alicate
- Alicate de corte
- Alicate desencapador de fios
- Estilete
- Pistola de ar quente
- Decapador para cabos PP
- Multímetro
- Fio termo retrátil 2,5mm 1kV
- Ferro de solda
- Arame de solda
- Sugador de solda
- Parafusadeira ou furadeira de mão com broca de aço rápido de 2,5mm
- Conjunto de chaves de fenda
- Conjunto de chaves Philips
- Conjunto de chave Allen de pequenos tamanhos
- Conjunto de chaves fixa ou estrela “estriada” (5,5; 6; 7; 10; 13; 17 e 19)
- Cavalete de suporte
- Cola plástica
- Conectores de derivação 2,5mm
- Fita para vedação de roscas
- Fita dupla face
- Esquadro
- Caneta marcadora

EPIs recomendados para a montagem:

- Óculos de proteção
- Botas com bico de aço
- Luvas de borracha

Componentes estruturais

Braço de apoio (parte superior)

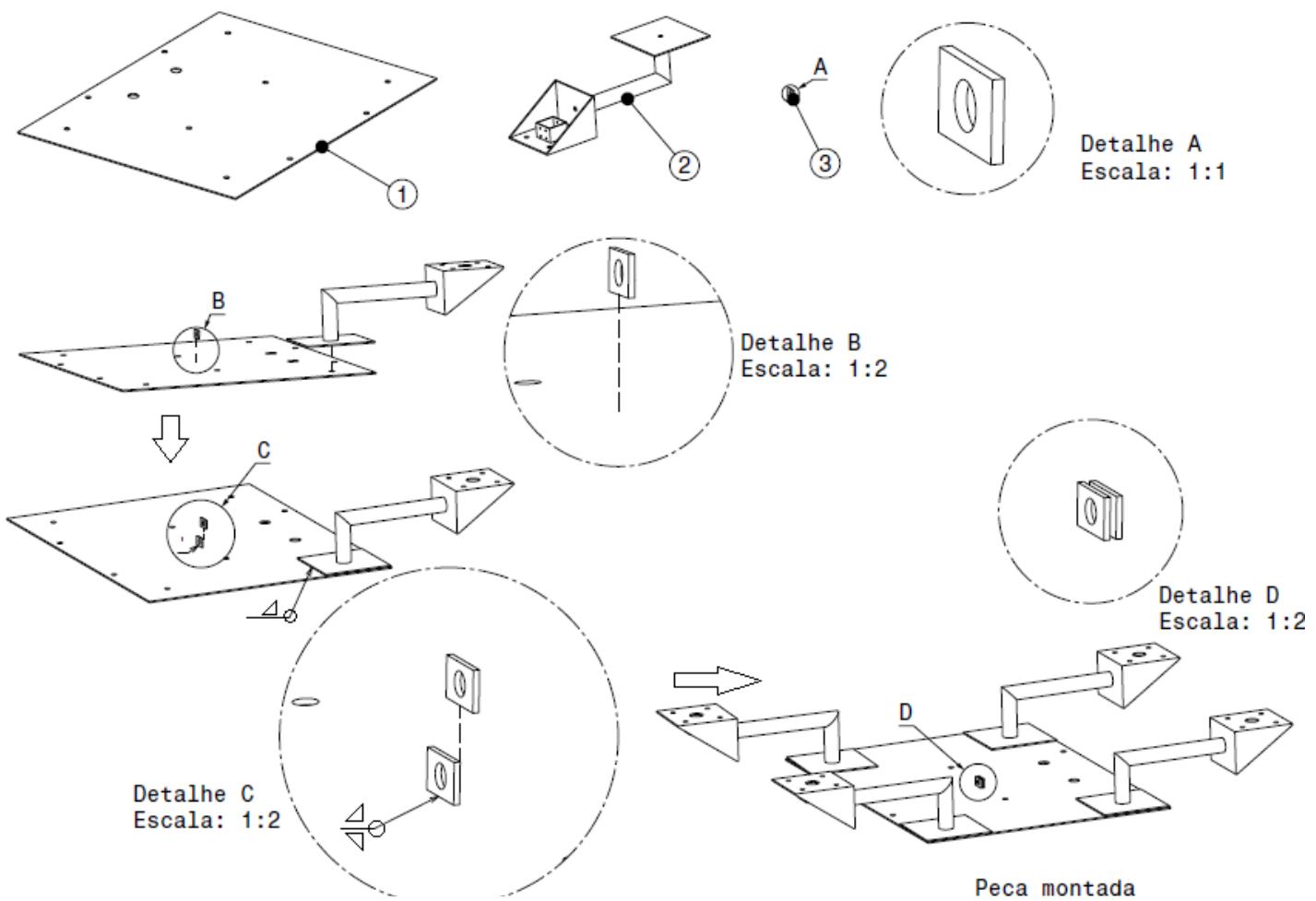


Sequência de passos:

1. Unir a peça 1 a peça 2 por meio de solda MIG.
2. Unir o conjunto anterior a peça 3 por meio de solda MIG.

Componentes estruturais

Chapa e braços de apoio

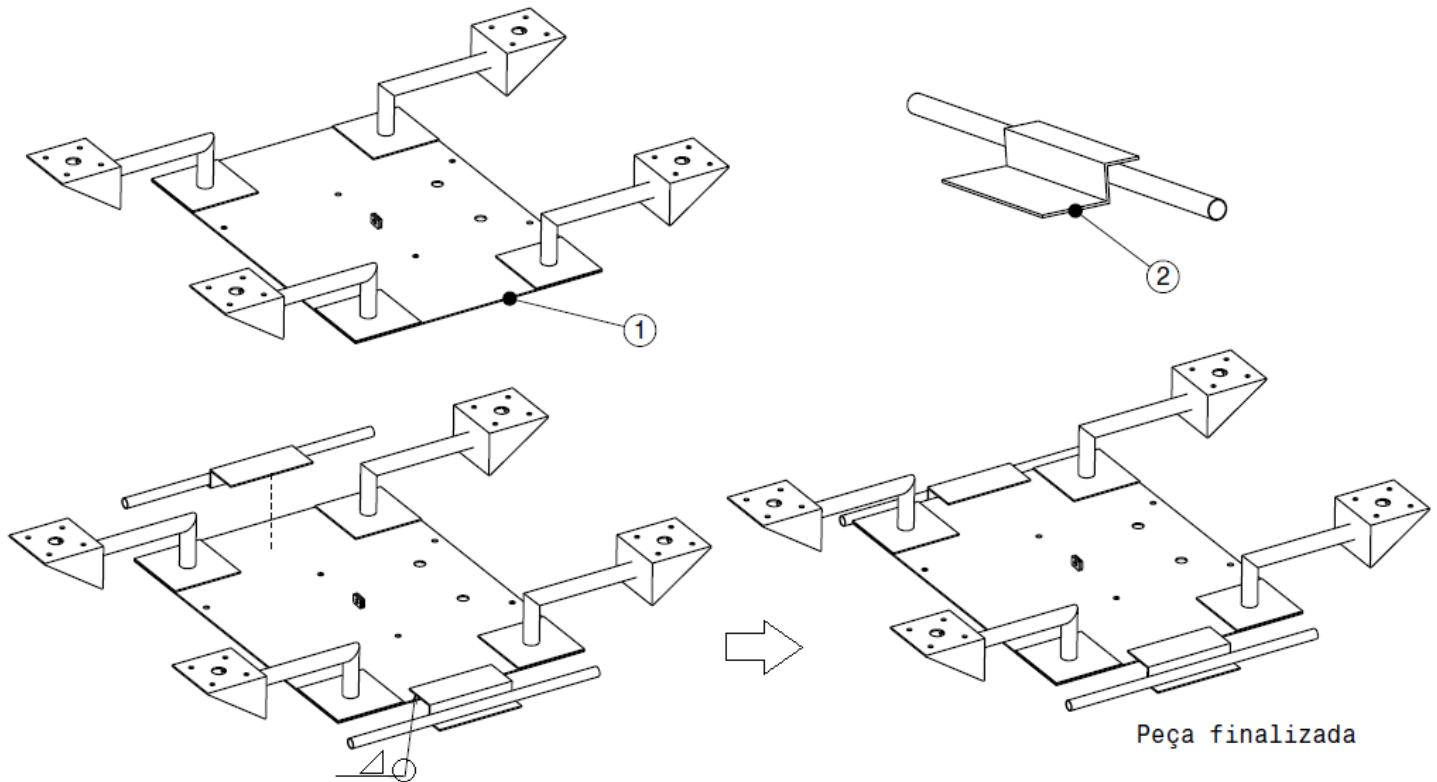


Sequência de passos:

1. Unir as duas unidades da peça 3 a peça 1 por solda MIG.
2. Una a peça 2 ao conjunto formado por solda MIG.
3. Repita o passo 2 para as outras 3 unidades da peça 2.

Componentes estruturais

Rolamentos nos braços de apoio

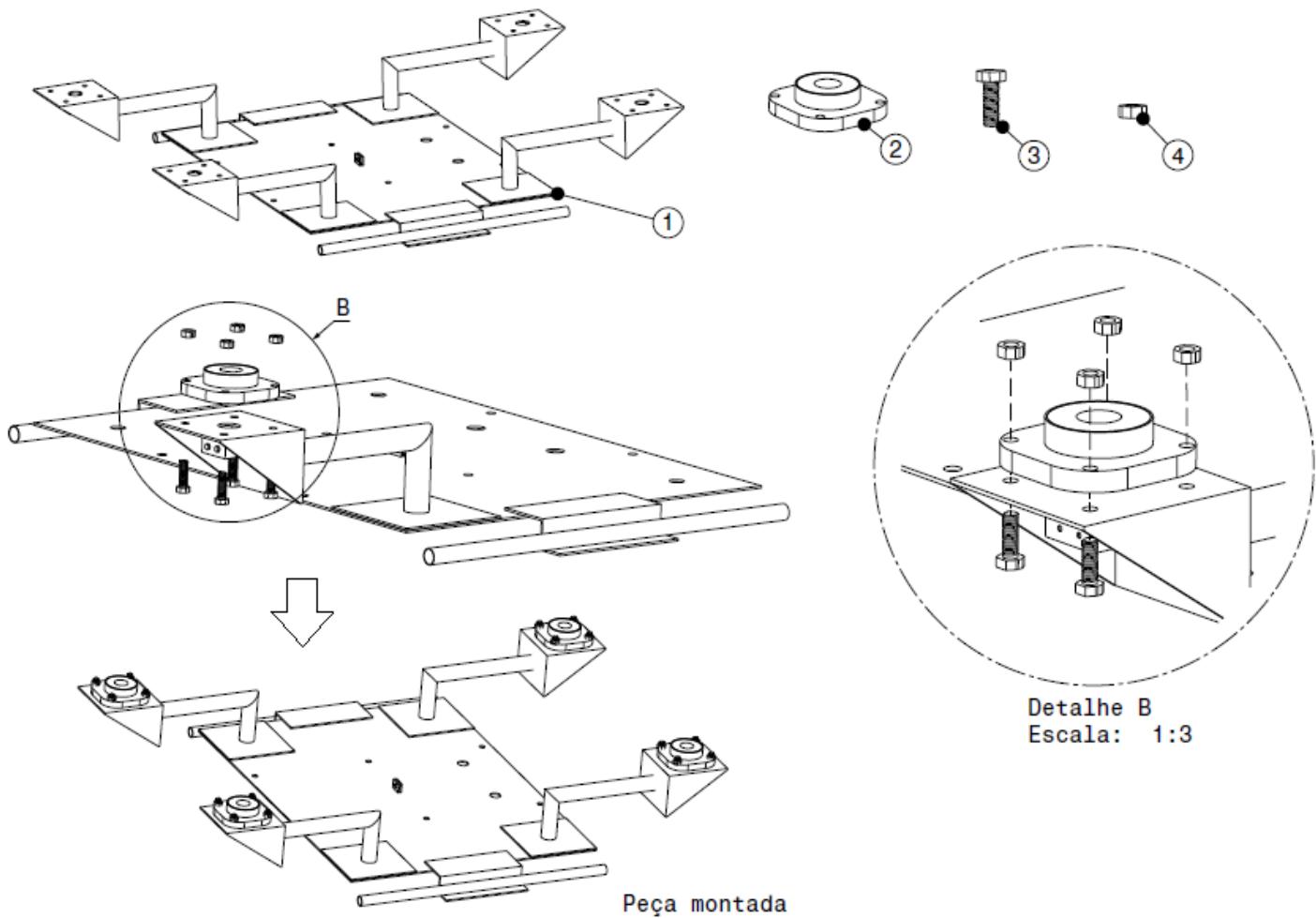


Sequência de passos:

1. Unir a peça 2 a peça 1 na região sem furos por meio de solda MIG. (certifique-se de garantir o alinhamento da extremidade do tubo com a chapa base da estrutura).
2. Repetir o passo anterior na aresta oposta.
3. Realizar tratamento de proteção (epóxi, pintura ou tinta óleo).

Componentes estruturais

Rolamentos nos braços de apoio



Lista de componentes :

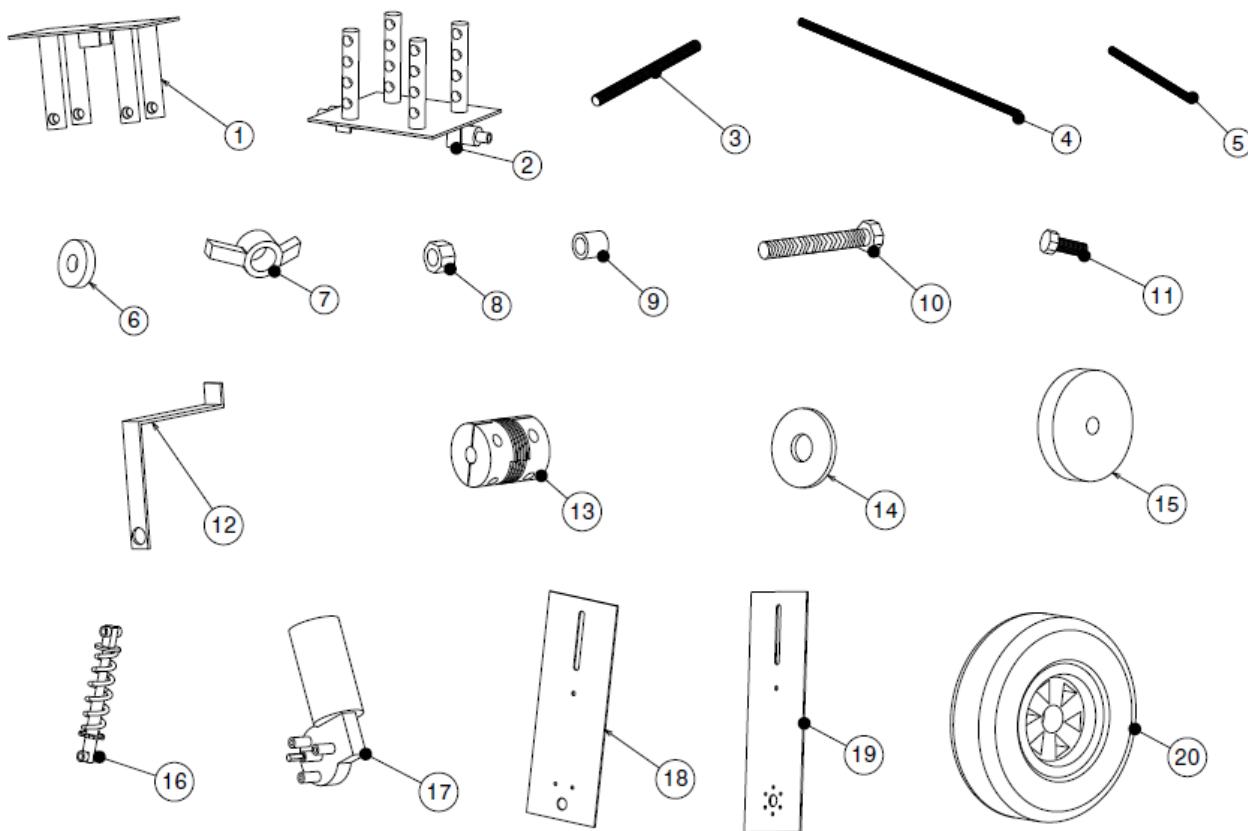
1. Estrutura montada anteriormente
2. Rolamento de mancal .
3. Parafuso M10 .
4. Porca M10.

Sequência de passos:

1. Parafusar a peça 2 na peça 1 utilizando as peças 3 e 4.
2. Repetir o passo anterior para os demais braços de apoio presentes na peça 1.

Componentes estruturais

Parte rotativa do braço de apoio

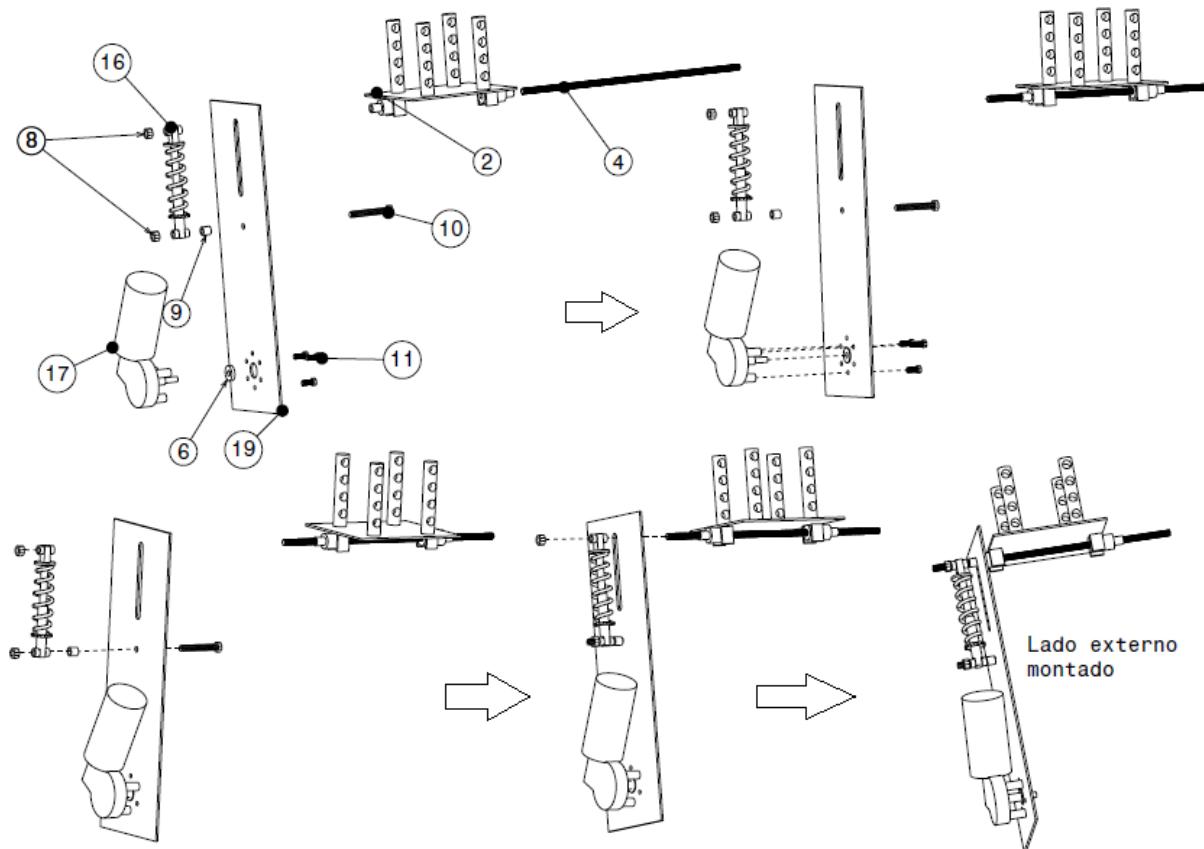


Lista de componentes:

1. Apoio telescópico (superior)
2. Apoio telescópico (inferior)
3. Barra roscada M12 180mm
4. Barra roscada M8 350mm
5. Barra roscada M8 220mm
6. Rolamento blindado
7. Porca borboleta M12
8. Porca M8
9. Espaçador do amortecedor
10. Parafuso M8
11. Parafuso M6
12. Contador de voltas da roda
13. Acoplamento de eixos 8x8
14. Arruela lisa aba larga
15. Espaçador da roda
16. Modelo de amortecedor
17. Motor elétrico inferior
18. Chapa de suporte interna
19. Chapa de suporte externa
20. Conjunto roda/pneu

Componentes estruturais

Parte rotativa do braço de apoio

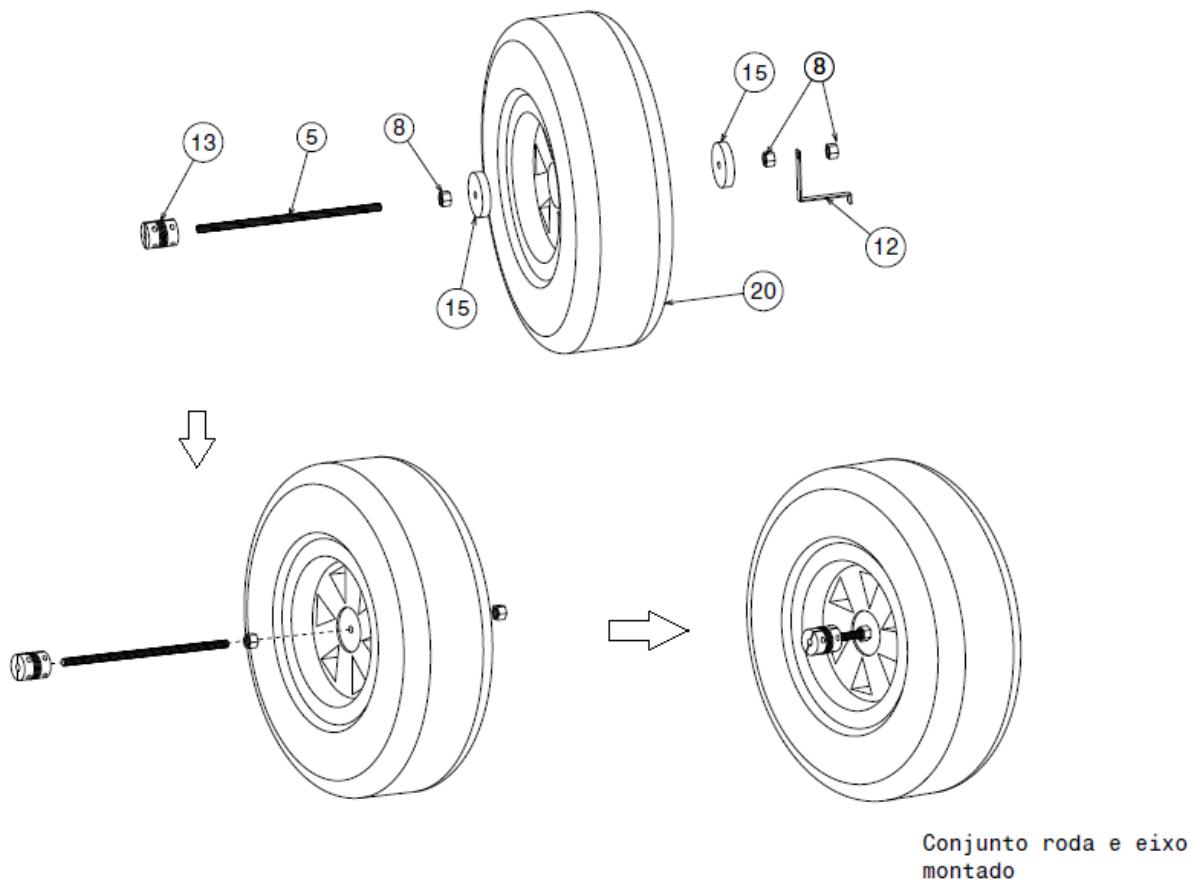


Sequência de passos:

1. Colocar a peça 4 através da peça 2 de modo que as pontas sobrando da peça 4 tenham tamanho igual.
2. Juntar a peça 6 com a peça 19 formando o conjunto base.
3. Unir a peça 17 ao conjunto base formado no passo 2 e fixar a peça com 11.
4. Colocar a peça 10 através do conjunto formado no passo anterior.
5. Unir as peças 9, 16 e 8 a estrutura formada.
6. por ultimo, por o conjunto 2 e 4 na montagem anterior.

Componentes estruturais

Parte rotativa do braço de apoio

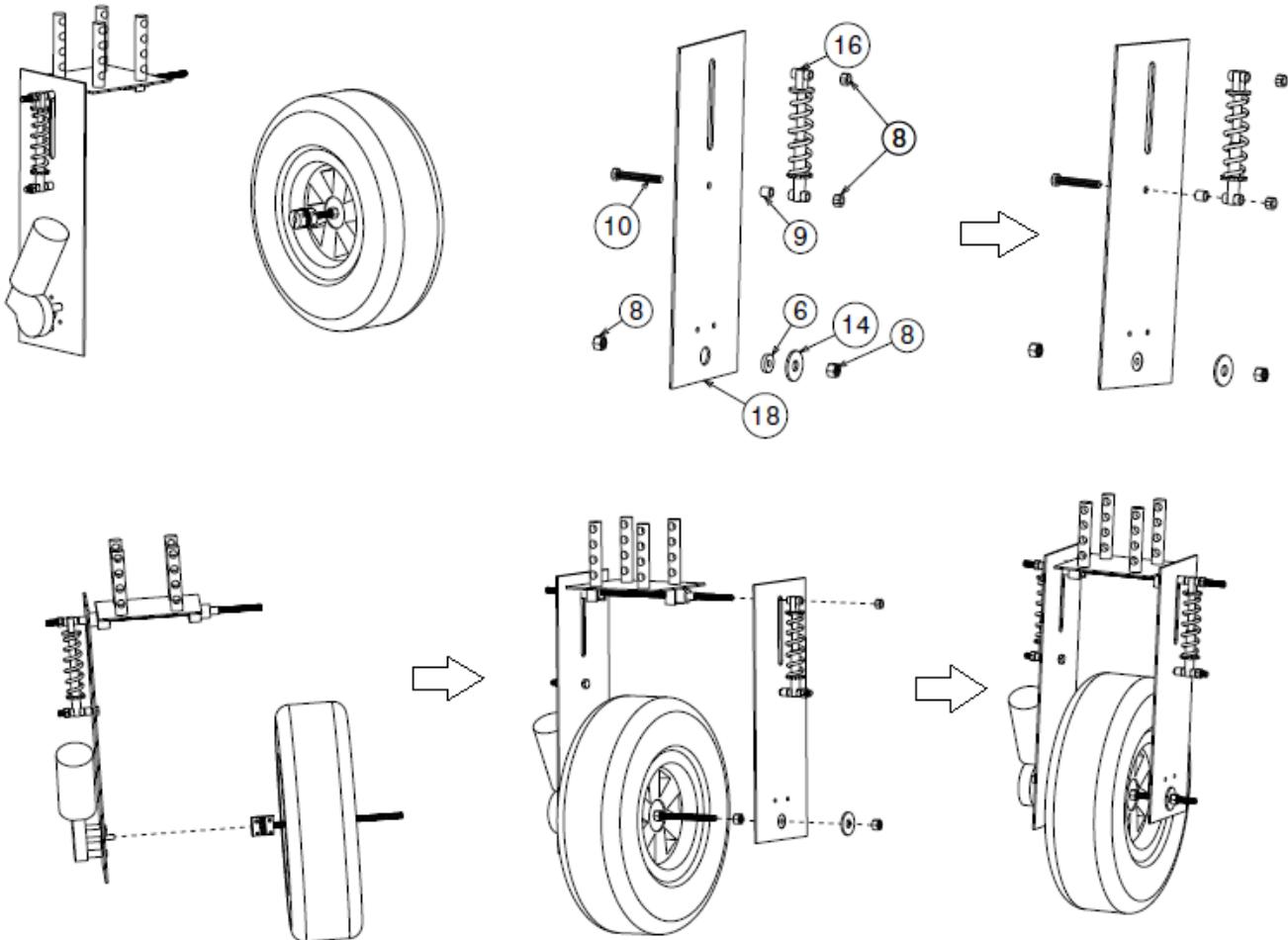


Sequência de passos:

1. Colocar a peça 15 no furo da peça 20.
2. Acoplar a peça 13 a peça 5 .
3. Juntar a peça 8 com o conjunto formado no passo anterior, em seguida, juntar com o conjunto do passo 1 e finalizar unindo com outra peça 8.
4. Passar a peça 12 pela extremidade da peça 5 e fixar com a peça 8.
5. Não dar aperto completo nas peças 8 para que possa ser feita a regulagem da posição da roda após conectada as chapas.

Componentes estruturais

Parte rotativa do braço de apoio



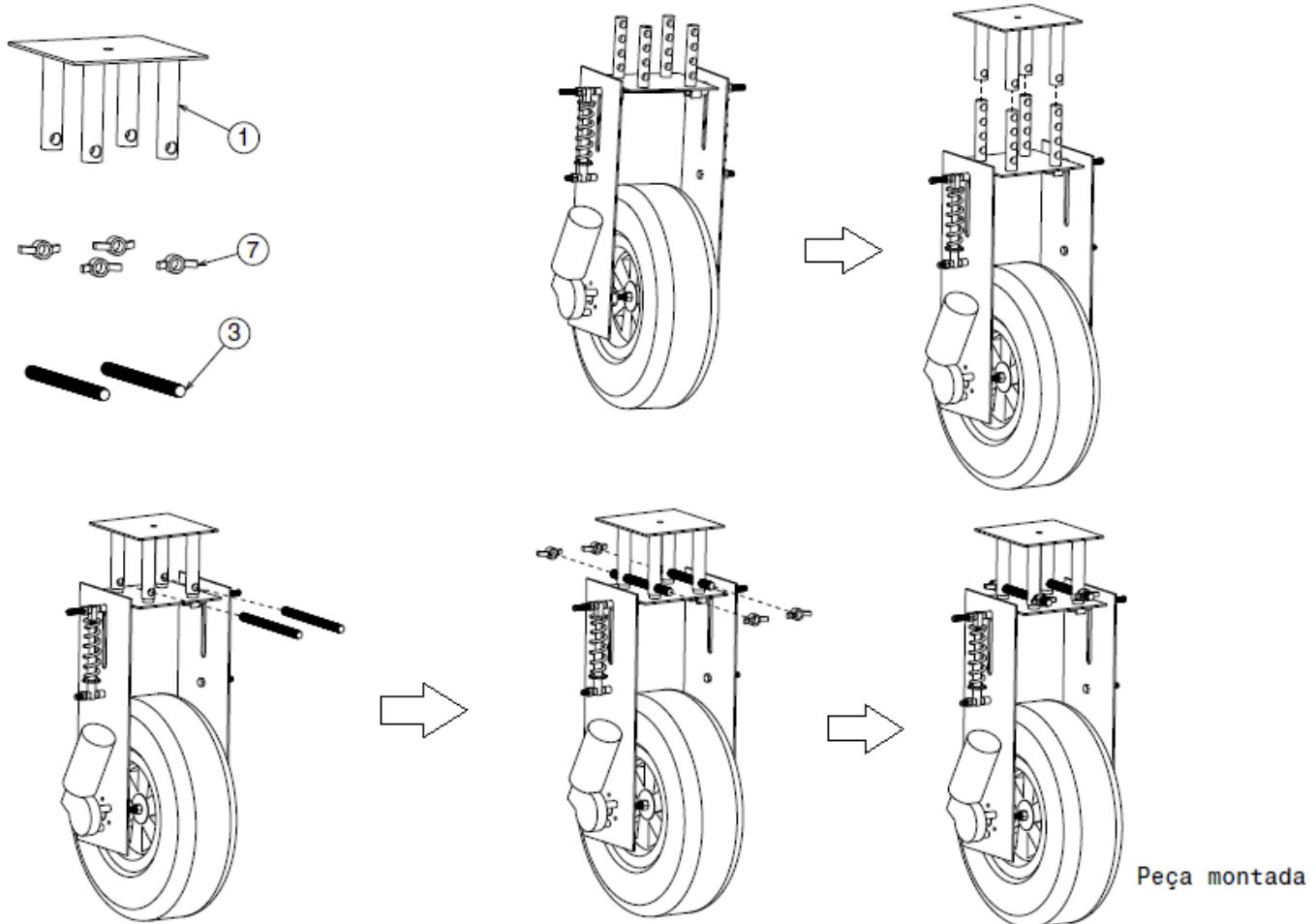
Peça semi-montada

Sequência de passos:

1. Unir a peça 6 com a peça 18.
2. Una a peça 10.
3. Una as peças 9, 16 e 8 com ao conjunto formado.
4. Conecte o conjunto formado no passo 2 com o conjunto formado no passo 3 ao conjunto roda previamente montado.
5. Passe 14 pelo eixo do conjunto roda/pneu e prenda com 8

Componentes estruturais

Parte rotativa do braço de apoio



Sequência de passos:

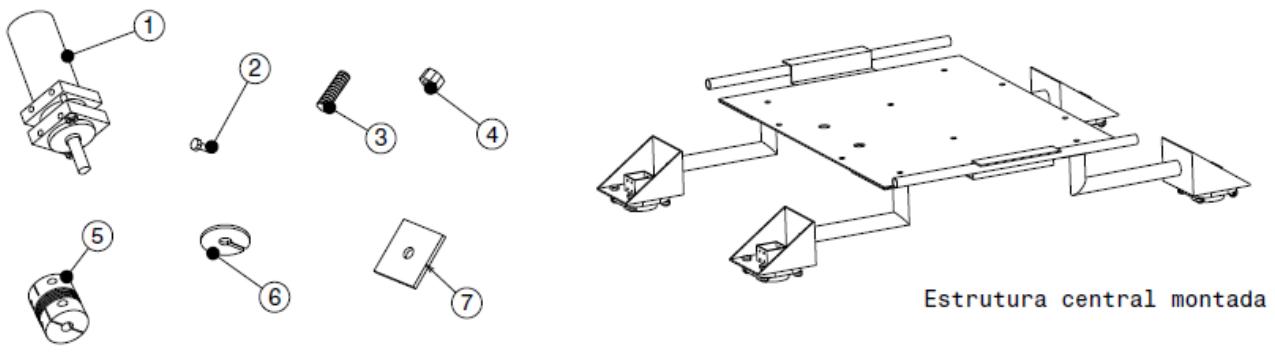
1. Una a peça 1 com a montagem anterior.
2. Passe as duas unidades da peça 3 através da montagem do passo 1.
3. Fixe a montagem utilizando as peças 7.

Componentes estruturais

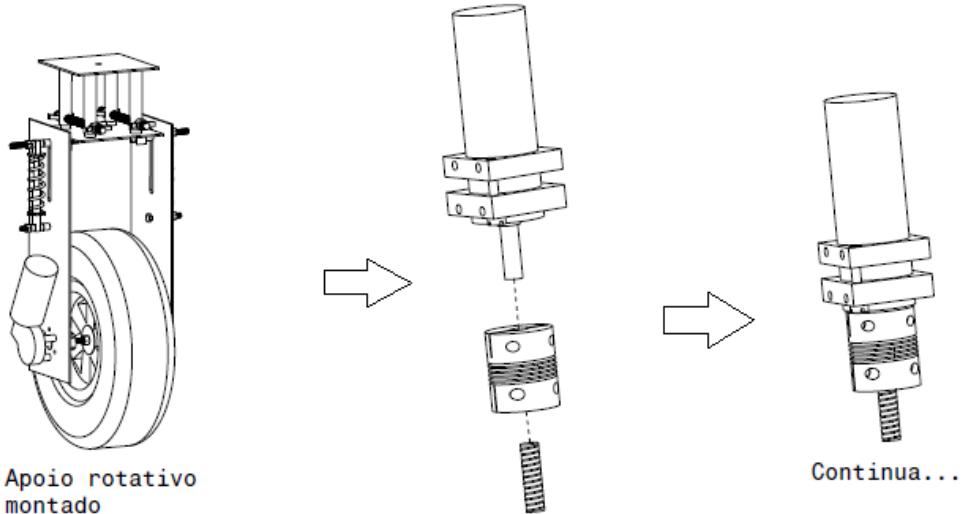
Braços e corpo central

Lista de componentes :

1. Motor elétrico superior.
2. Parafuso M4.
3. Barra roscada M12 15mm.
4. Porca M12.
5. Acoplamento de eixo 8x8.
6. Arruela de pressão.
7. Arruela quadrada.



Estrutura central montada

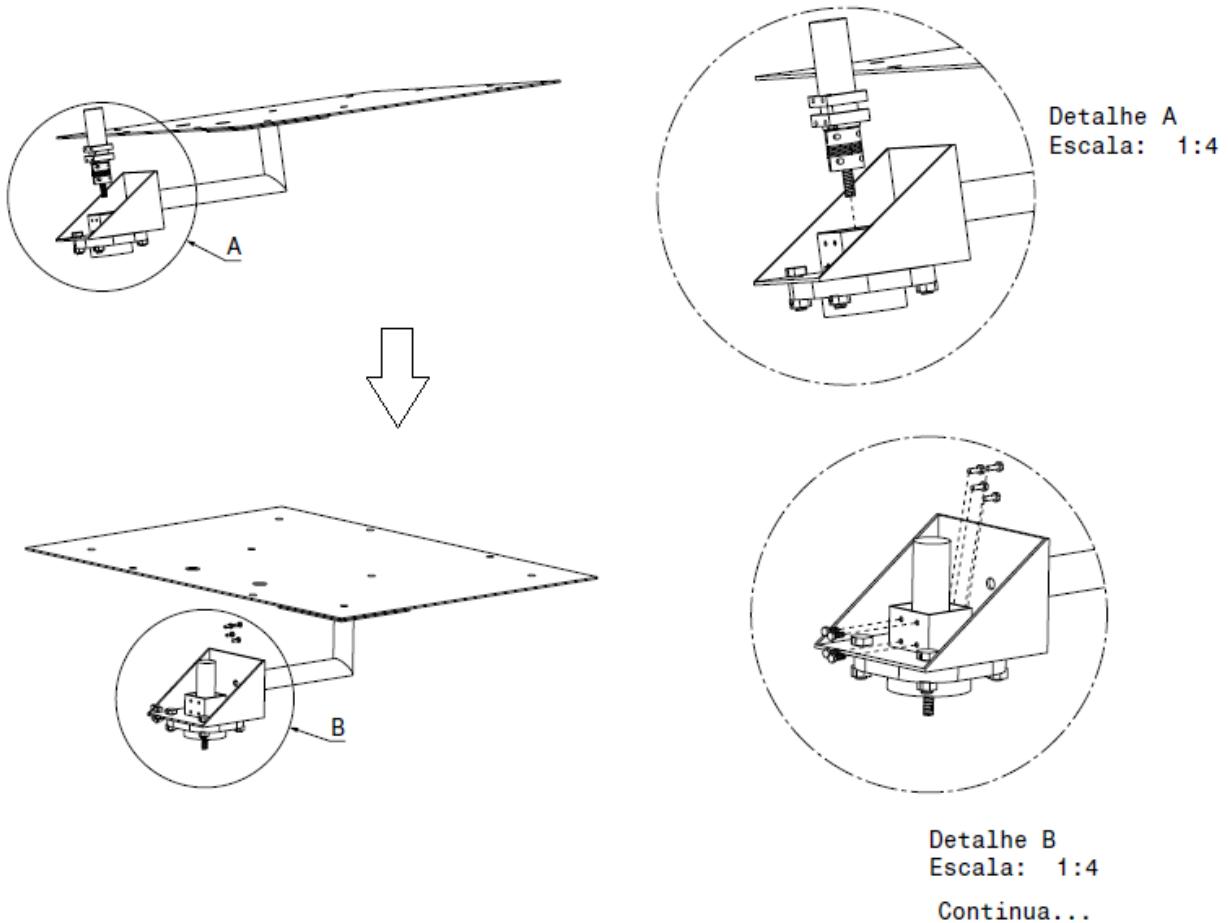


Sequência de passos:

1. Dispor da estrutura central e o apoio rotativo montados.
2. Unir a peça 1 a peça 3 por intermédio da peça 5.

Componentes estruturais

Braços e corpo central

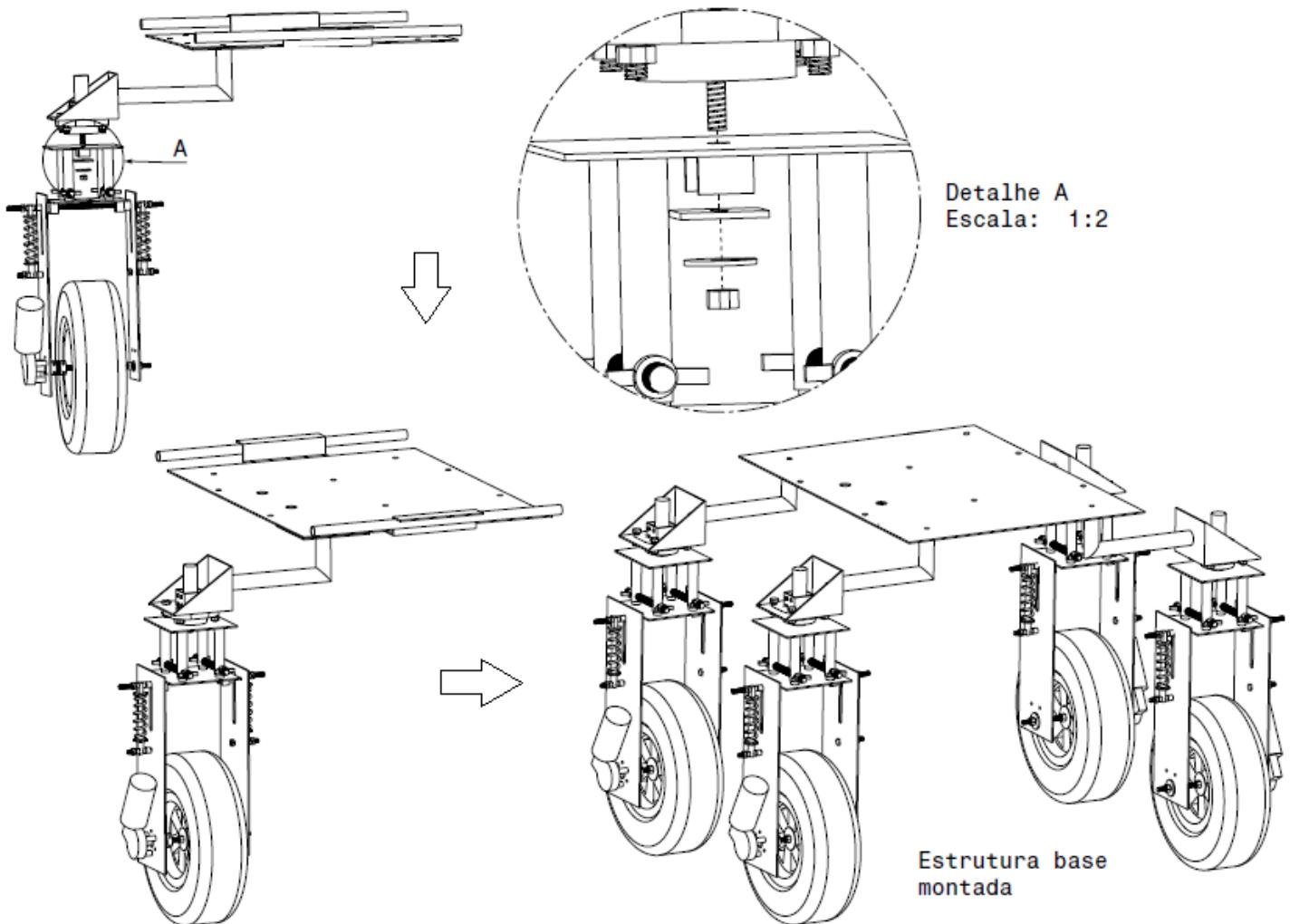


Sequência de passos:

3. Unir a montagem do passo 2 com a estrutura central utilizando a peça 2.
4. Repetir para os outros 3 braços da estrutura central.

Componentes estruturais

Braços e corpo central

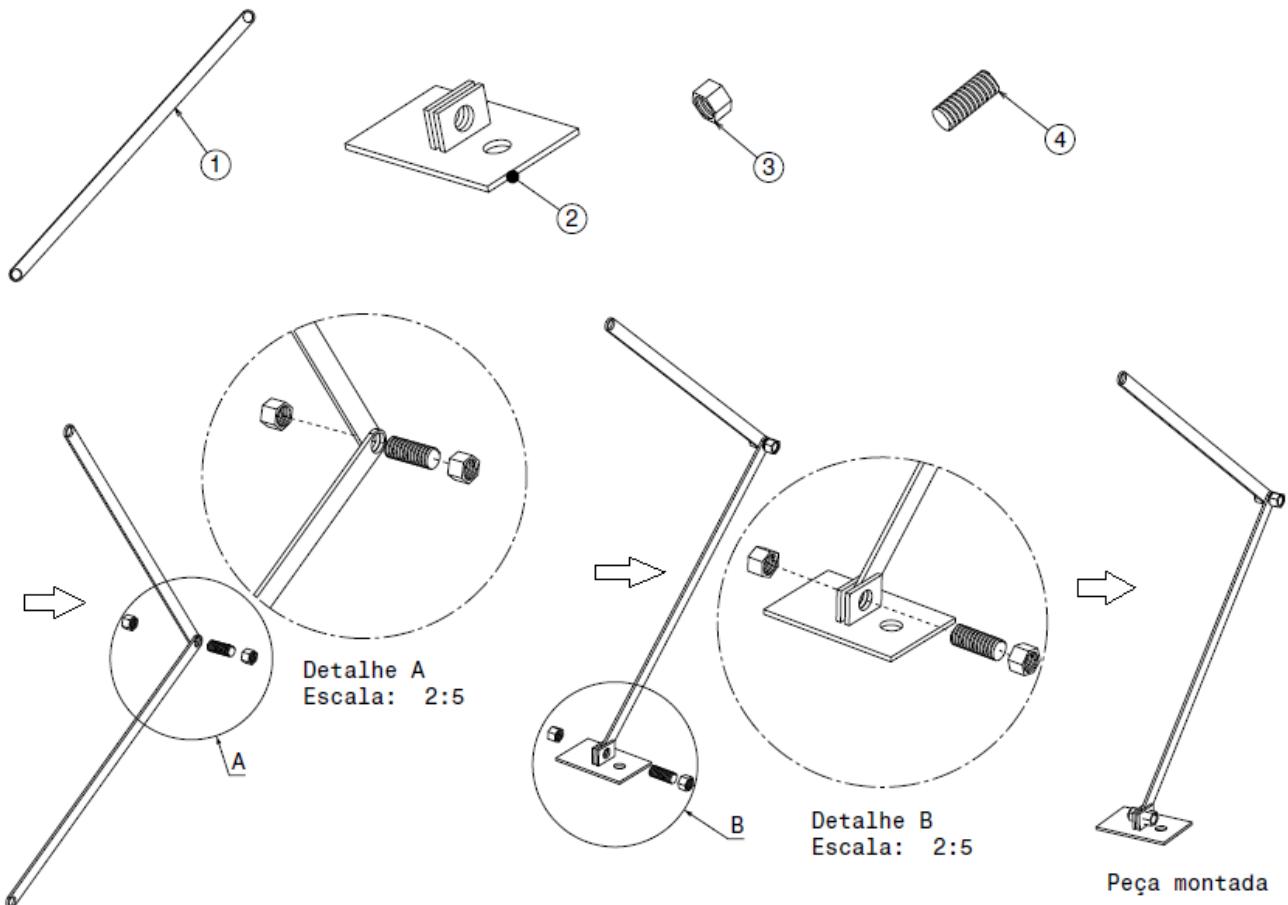


Sequência de passos:

5. Unir a montagem do passo anterior com o apoio rotativo por meio das peças 7 e 6 colocadas juntas da peça 3 e fixadas com a peça 4.
6. Repetir o procedimento para o demais apoios.

Componentes estruturais

Suporte do bico aspersor



Lista de componentes :

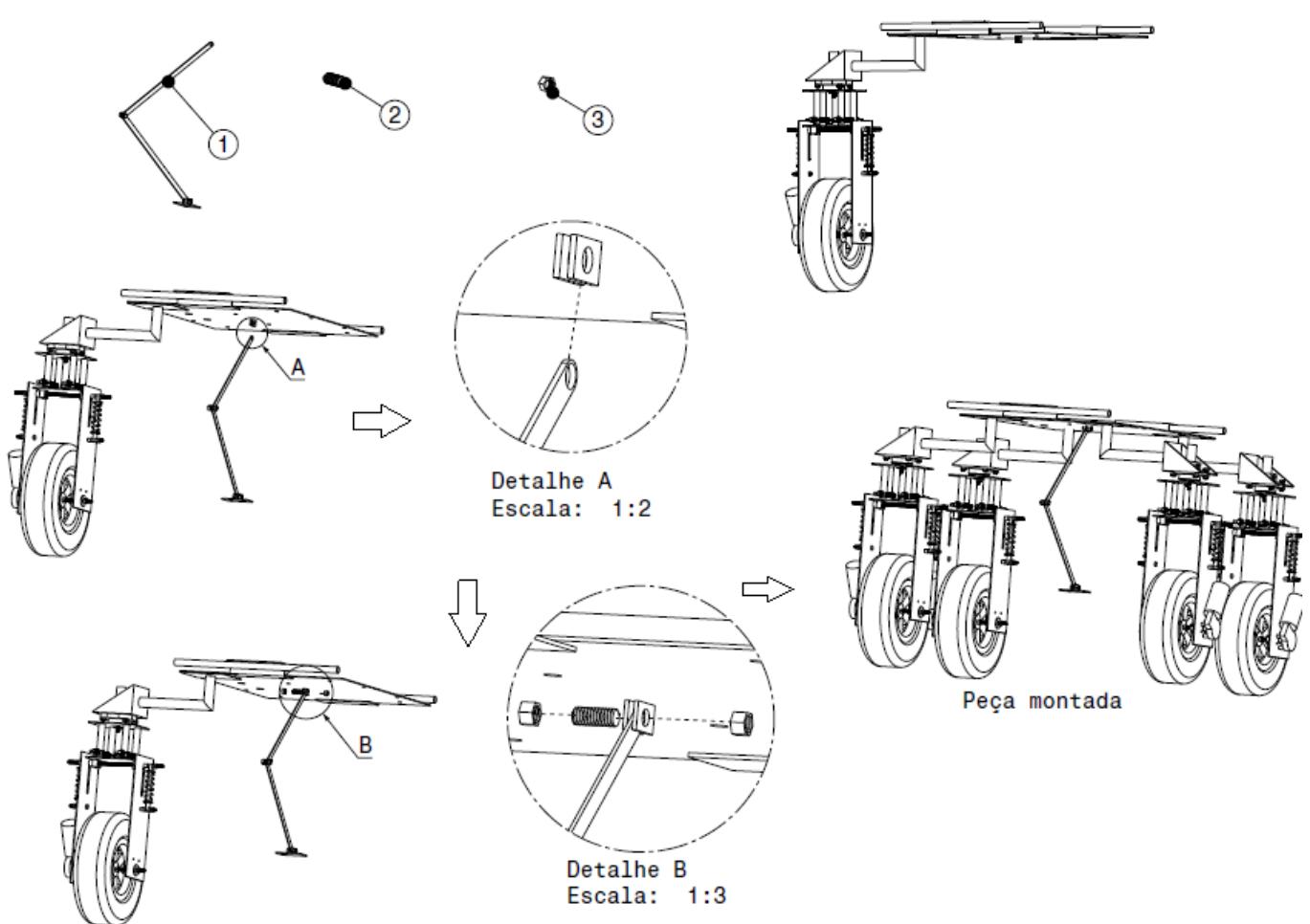
1. Haste.
2. Placa de suporte do bico aspersor .
3. Porca M12 .
4. Barra roscada M12 15mm.

Sequência de passos:

1. Unir as duas unidades da peça 1 utilizando as peças 3 e 4.
2. Fixar a montagem anterior a peça 2 utilizando as peças 3 e 4.

Componentes estruturais

Fixação do suporte do aspersor



Lista de componentes :

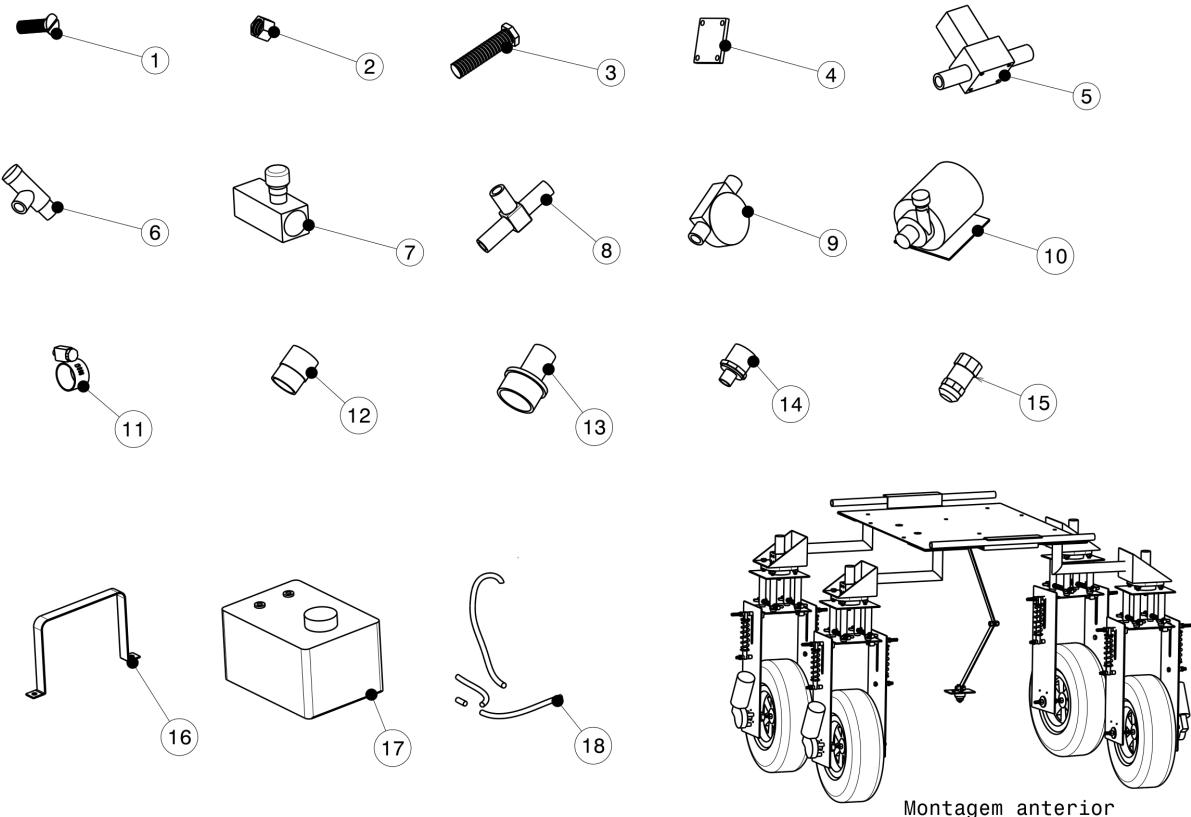
1. Suporte do aspersor montado.
2. Barra roscada M12 15mm.
3. Porca M12 .

Sequência de passos:

1. Unir o suporte do aspersor a estrutura base montada utilizando as peças 3 e 2 .

Componentes estruturais

Sistema hidráulico

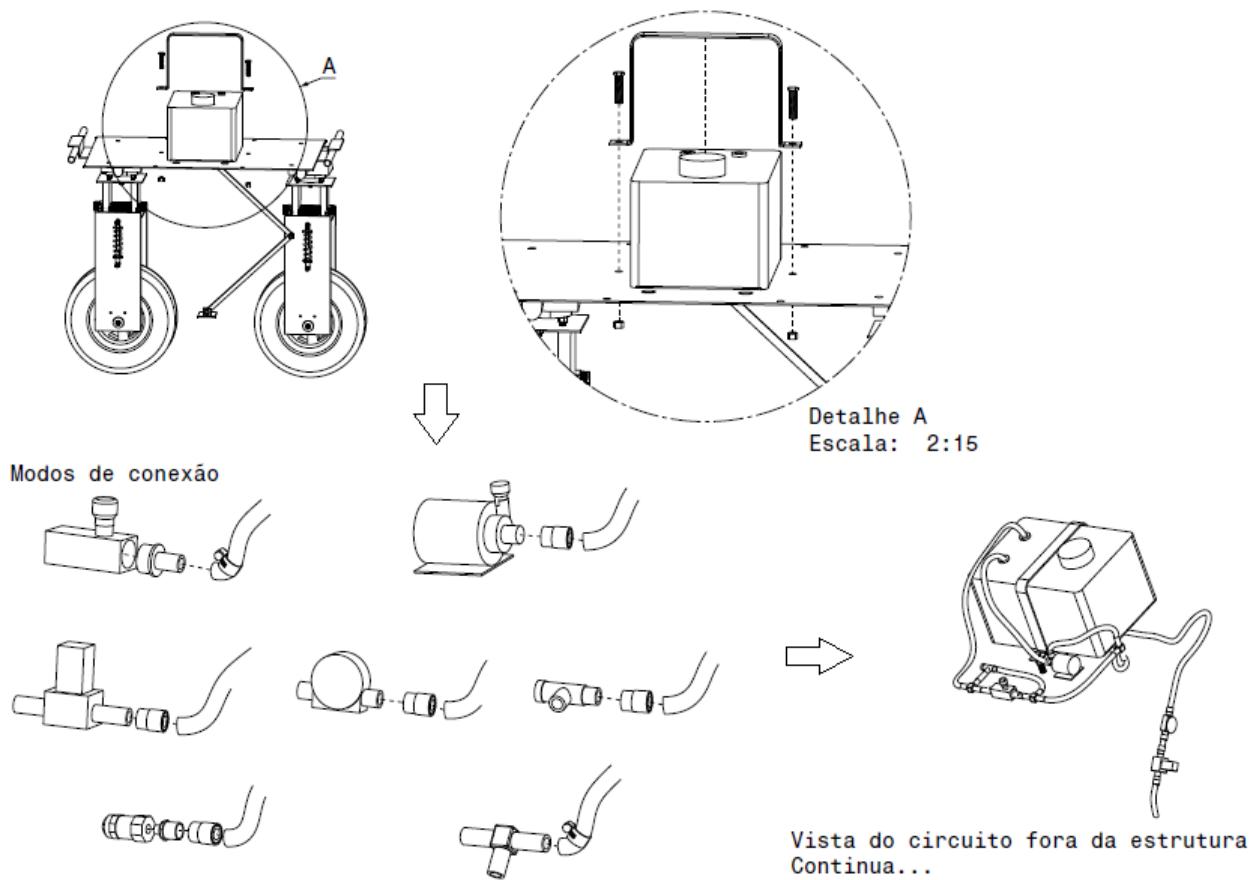


Lista de componentes :

1. Parafuso atarraxante M3,5.
2. Porca M12.
3. Parafuso M12.
4. Suporte da solenoide.
5. Solenoide.
6. Válvula reguladora de pressão.
7. Válvula reguladora de fluxo.
8. Conector em T 12 mm.
9. Sensor de fluxo.
10. Bomba hidráulica.
11. Abraçadeira metálica.
12. Conector fêmea.
13. Conector macho.
14. Luva de redução.
15. Bico pulverizador.
16. Fixador do tanque.
17. Tanque reservatório.
18. Mangueira hidráulica.

Componentes estruturais

Sistema hidráulico



Sequência de passos:

1. Na estrutura base já montada, coloque o tanque reservatório de modo que os furos para sua fixação não sejam cobertos (garanta a centralidade do mesmo).
2. Após posicionado, prenda o tanque com a Cinta metálica e com os parafusos e porcas M12.
3. Para os componentes do circuito hidráulico, faça a montagem de todos em apenas um dos lados do tanque reservatório, pois o outro lado é destinado aos componentes eletricos deixe os componentes o mais próximo uns dos outros, pois ainda serão adicionadas canaletas para proteção dos fios de alimentação.
4. Faça os segmentos de mangueira de acordo com o posicionamento dos componentes, mas sempre respeitando o diagrama do circuito hidráulico presente nos desenhos técnicos.
5. Com exceção da bomba elétrica, que possui ventosas, os demais componentes são mantidos em suas posições pela rigidez característica da mangueira que os conecta, embora possa ser utilizado colas específicas ou fitas dupla face.

Componentes estruturais

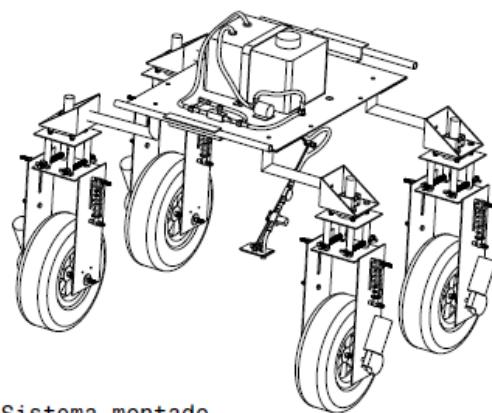
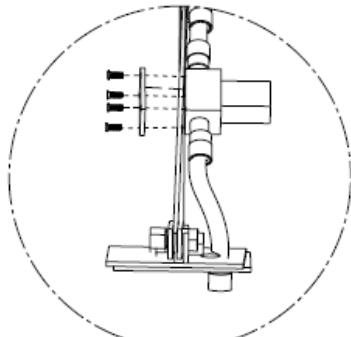
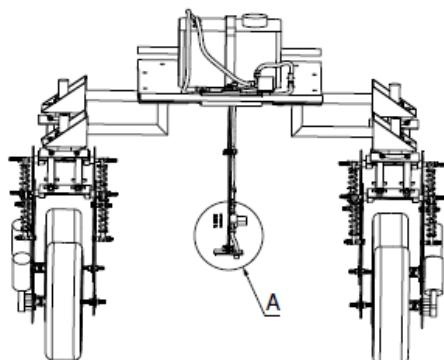
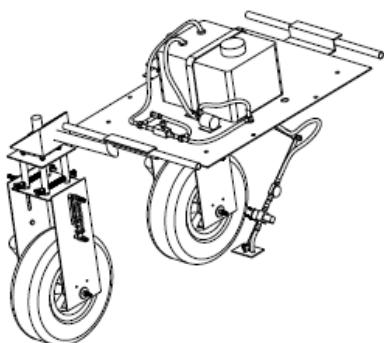
Sistema hidráulico

Faça a conexão Componente-mangueira da seguinte forma (como visto nas imagens) utilizando elementos para vedação dos componentes rosados, para evitar vazamentos:

1. Para a válvula reguladora de fluxo: Válvula- conector macho- mangueira com abraçadeira metálica
2. Para a Bomba, válvula solenoide, sensor de fluxo e válvula reguladora de pressão: Componente - conecto fêmea- mangueira
3. Para o Bico pulverizador: Bico - luva de redução - conector fêmea - mangueira
4. Para as demais conexões(encaixe por pressão): Componente - mangueira - abraçadeira metálica

Componentes estruturais

Sistema hidráulico



Sistema montado

Detalhe A
Escala: 1:3

Após realizadas as conexões, a montagem deve ficar semelhante a mostrada na imagem.

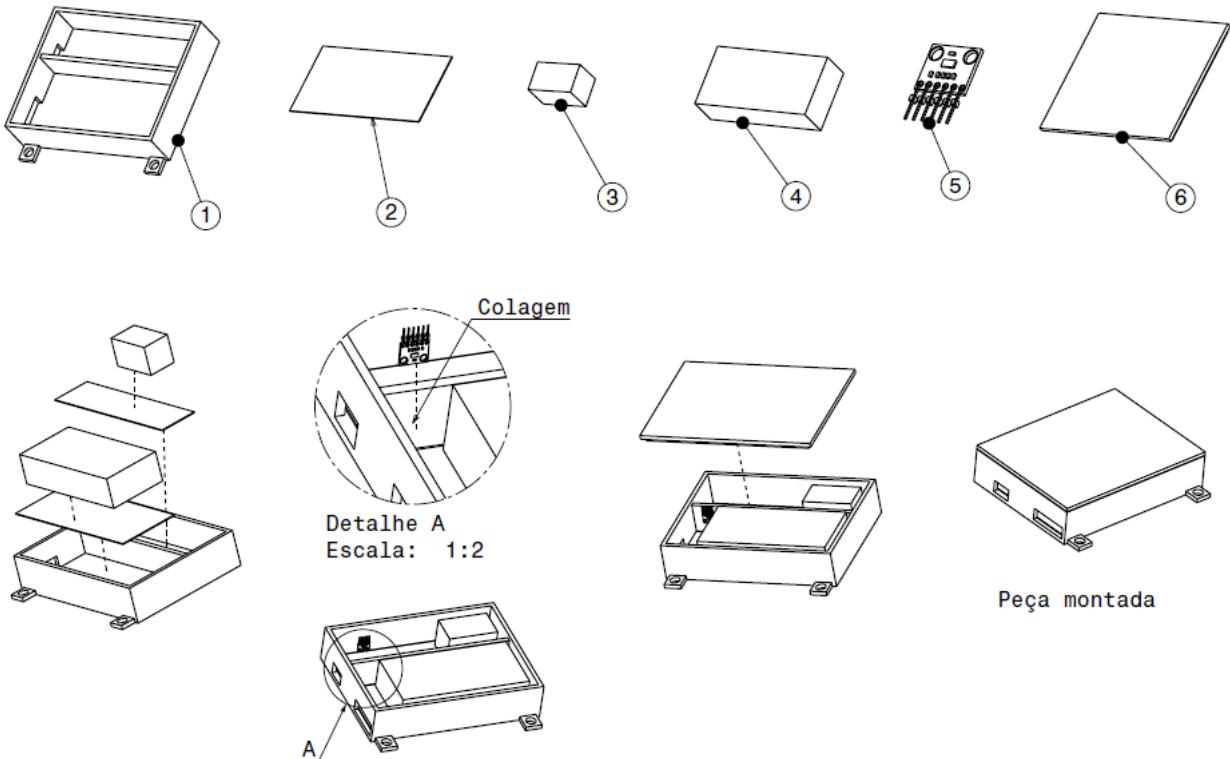
Deve-se posicionar a solenoide e o sensor de fluxo na linha para o bico de pulverização e o mais proximo do bico possível.

Faça a fixação da valvula solenoide com a chapa metalica e a parafuse na solenoide com os parafusos M3,5.

Por fim, utilize abarçadeiras plasticas (que são menos danosas no contato com as mangueiras) de modo a fixa as mangueiras junto a haste do suporte do bico aspersor

Componentes estruturais

Case das baterias



Lista de componentes :

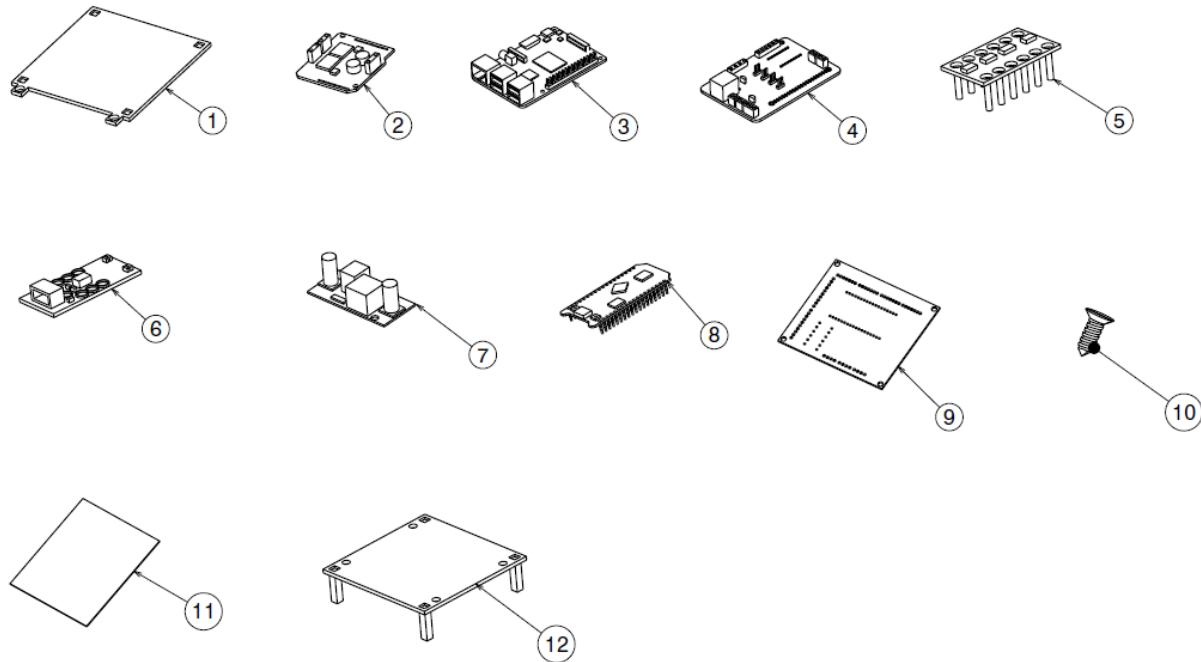
1. Case das baterias (base).
2. Folhas de borracha.
3. Bateria secundaria.
4. Bateria principal.
5. Sensor de temperatura.
6. Case das baterias (tampa).

Sequência de passos:

1. Coloque as peças 2 na peça 1 de modo que todo o fundo seja coberto.
2. Posicione as peças 3 e 4 dentro da montagem feita no passo 1.
3. Cole a peça 5 em uma das laterais do compartimento que abriga a peça 4.
4. Encaixe a peça 6 no conjunto de modo que a estrutura seja fechada.

Componentes estruturais

Case dos componentes eletrônicos

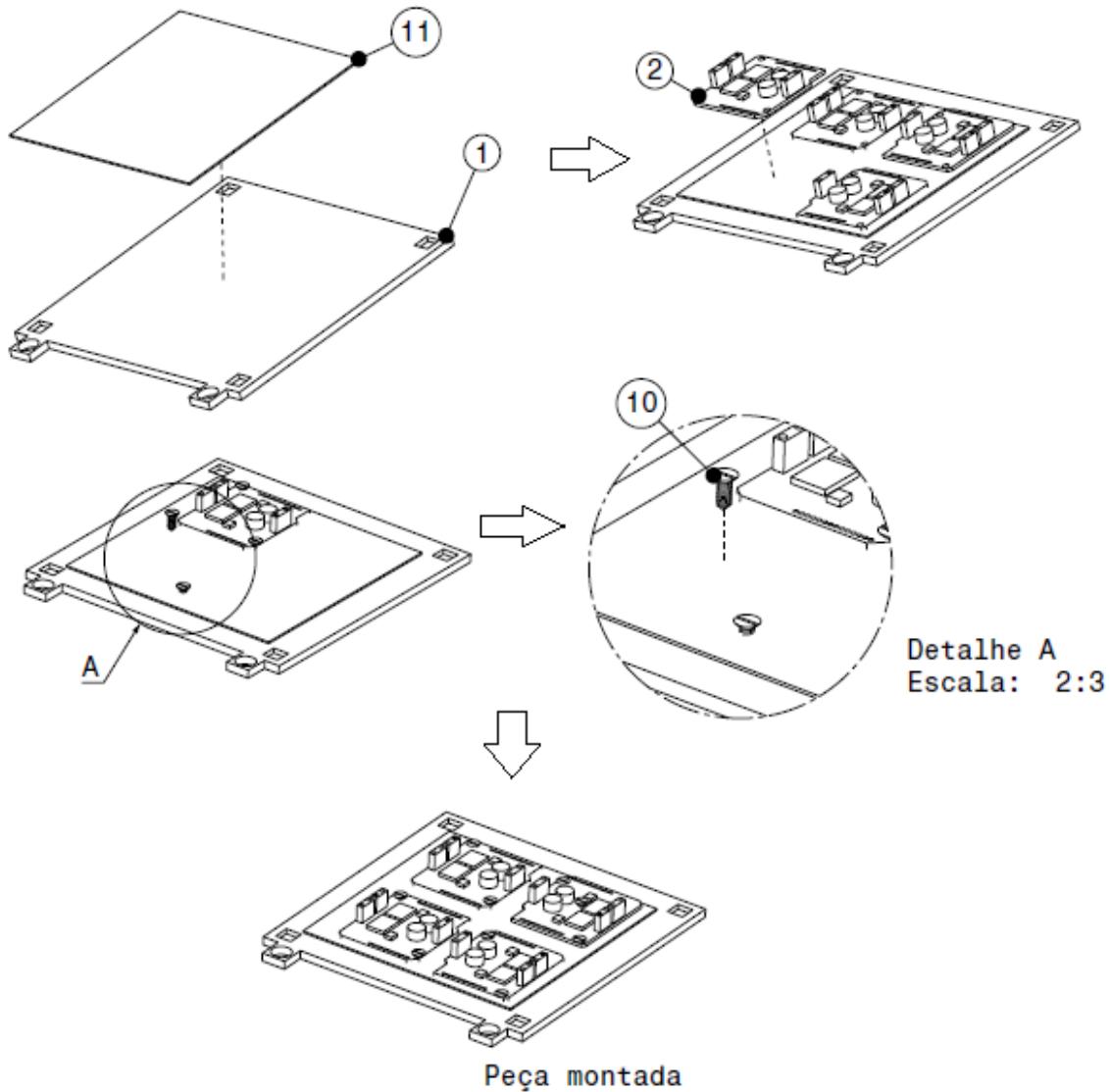


Lista de componentes :

1. Suporte dos componentes eletrônicos (base).
2. Driver do motor DC.
3. Raspberry .
4. PCI (Placa de Circuito Impresso).
5. Conversor de nível lógico.
6. Sensor de medição de carga.
7. Regulador de tensão .
8. Esp-Lora.
9. PCI (Placa de Circuito Impresso).
10. Parafuso atarraxante M3,5.
11. Folha de borracha.
12. Suporte dos componentes eletrônicos (parte modular).

Componentes estruturais

Case dos componentes eletrônicos

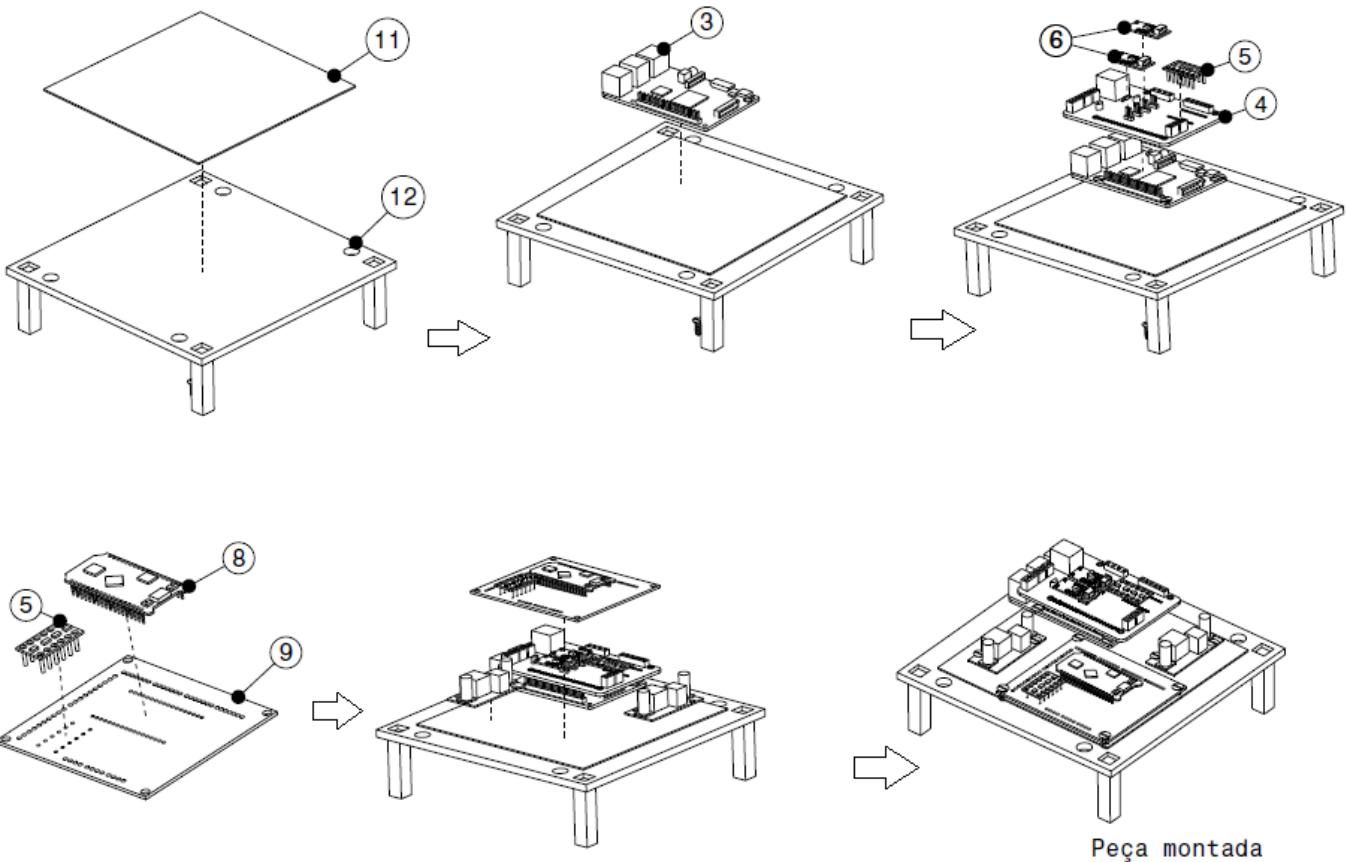


Sequência de passos:

1. Posicione as peças 1 e 11 juntas.
2. Posicione as quatro unidades da peça 2 em cima do conjunto formado no passo 1, de modo a garantir um bom espaçamento entre elas e garantindo que todas as conexões fiquem do mesmo lado.
3. Utilize os parafusos atarraxantes para fixar o conjunto.

Componentes estruturais

Case dos componentes eletrônicos

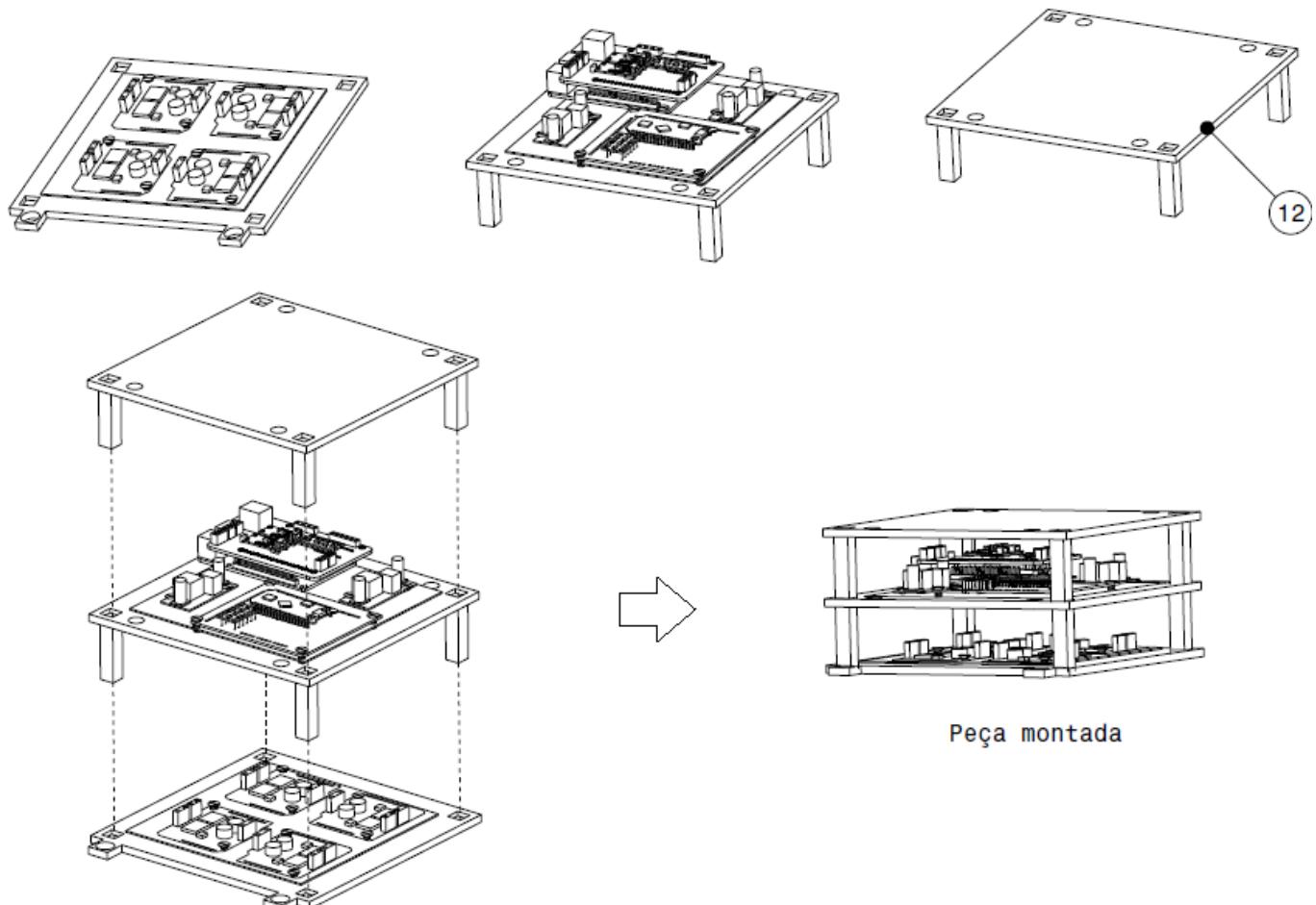


Sequência de passos:

1. Posicione a peça 11 no centro da face superior da peça 12 para atuar como isolante.
2. Posicione a peça 3 em cima do conjunto formado e fixe-a usando parafusos atarraxantes.
3. Conecte as peças 4, 5 e 6 na peça 3.
4. Monte as peças 5 e 8 na peça 9 para, em seguida, fixar tal conjunto com parafusos atarraxantes.

Componentes estruturais

Case dos componentes eletrônicos

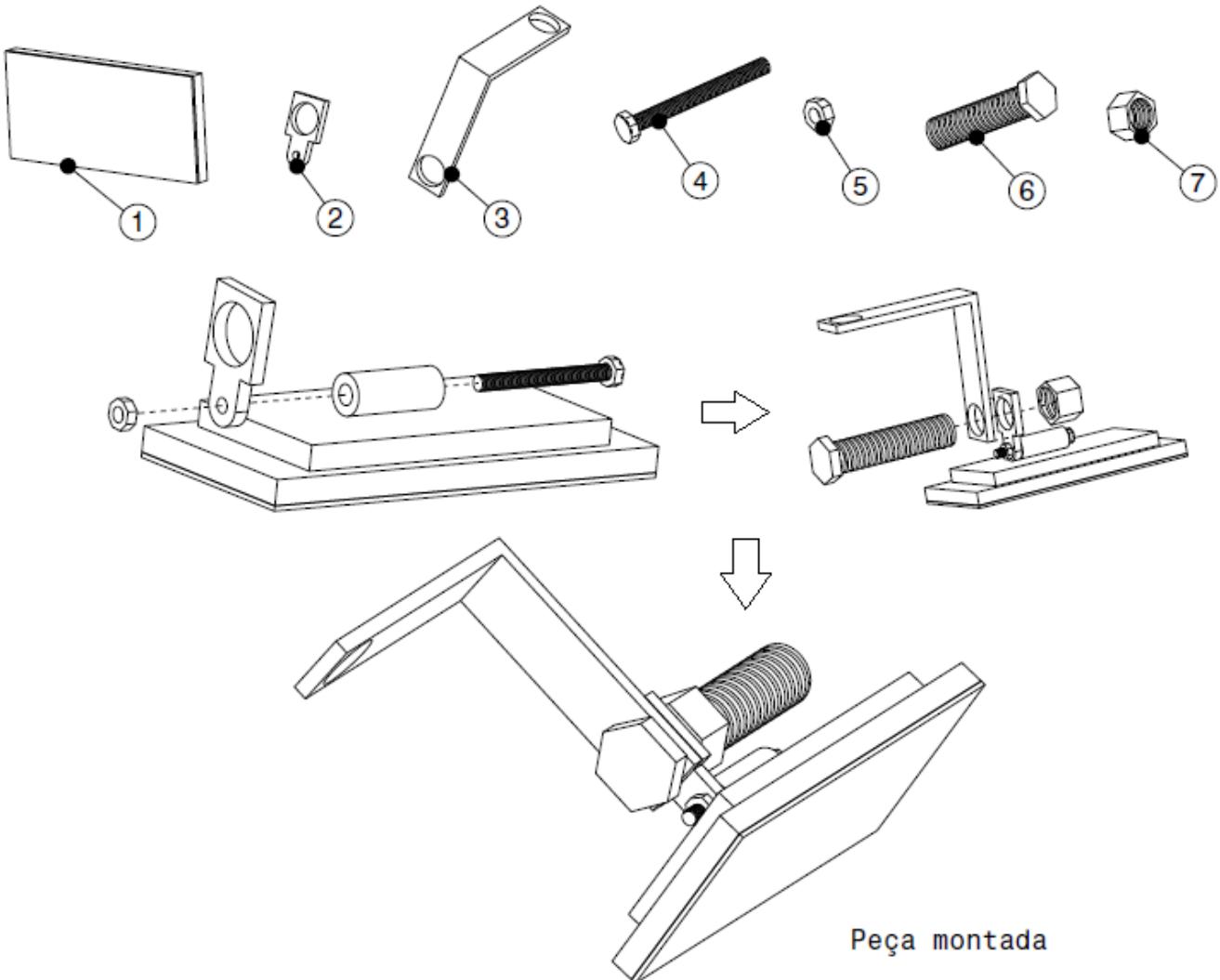


Sequência de passos:

1. Encaixe as peças na ordem ilustrada, de modo que a estrutura modular seja formada.

Componentes estruturais

Suporte da camera



Lista de componentes :

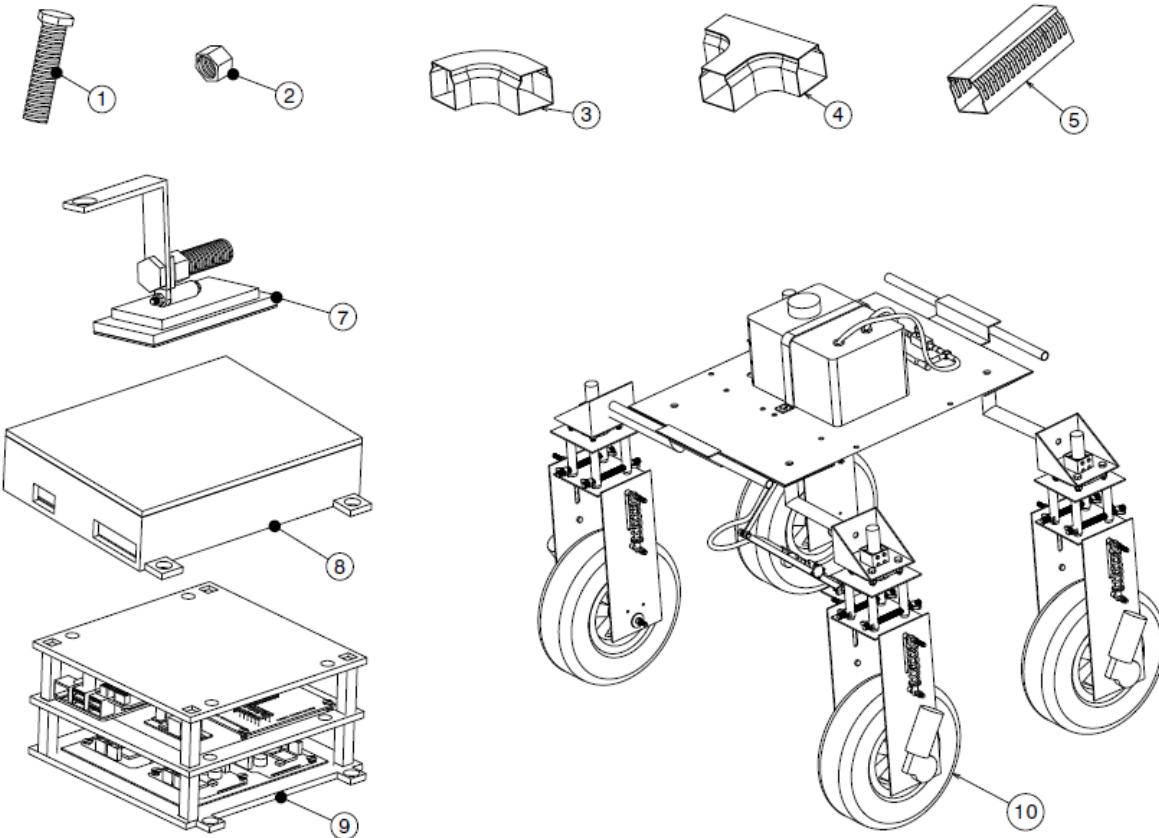
1. Câmera digital
2. Suporte da câmera (adaptador)
3. Suporte da câmera (chapa dobrada)
4. Parafuso M3
5. Porca M3
6. Parafuso M12
7. Porca M12

Sequência de passos:

1. Passe a peça 4 através das peças 1 e 2.
2. Rosqueie a peça 5 no conjunto formado para fixar as peças.
3. Passe a peça 6 através da montagem e da peça 3.
4. Rosqueie a peça 7 de modo que a peça 3 seja perpendicular a superfície da peça 1.

Componentes estruturais

Montagem dos componentes na estrutura base

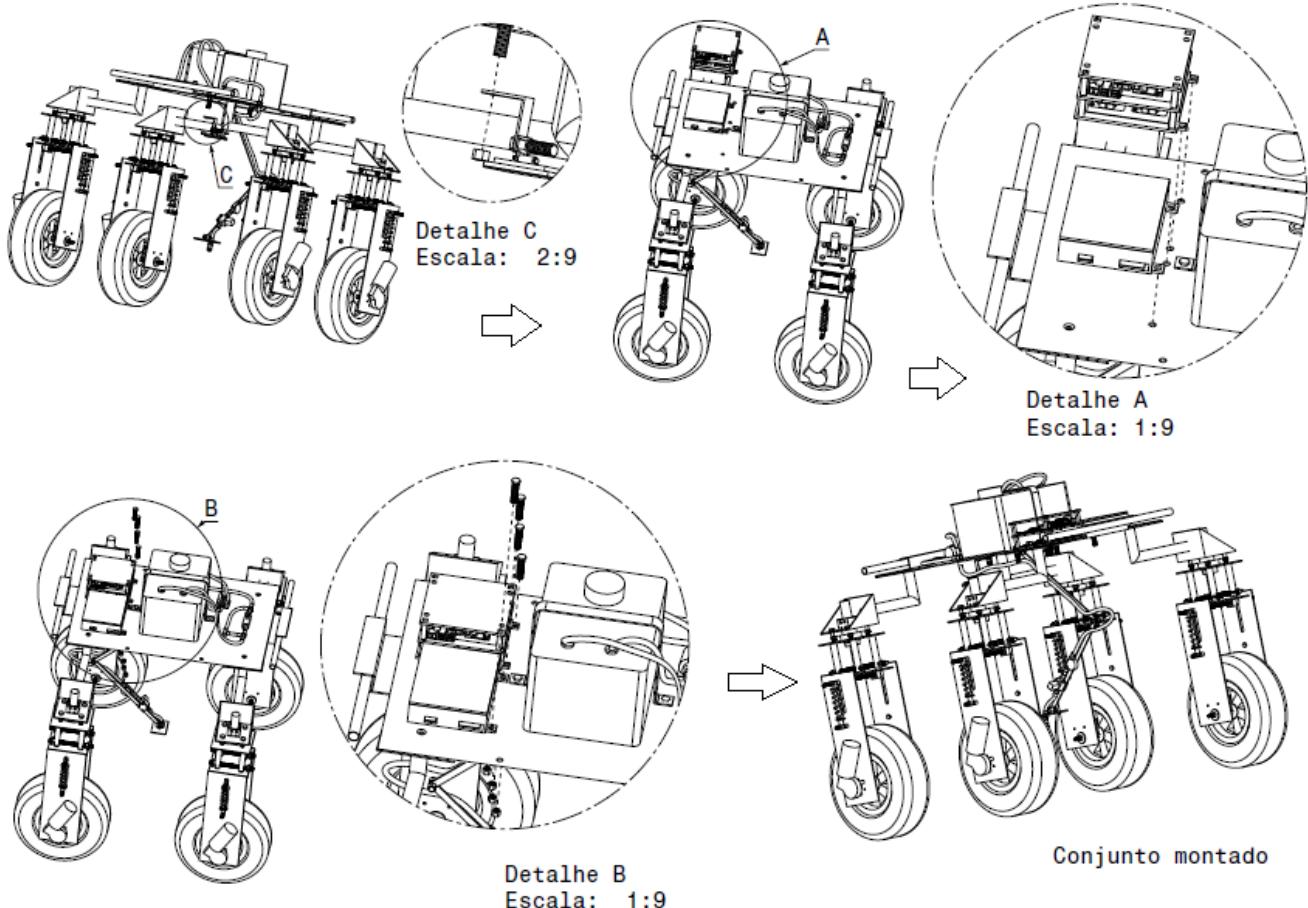


Lista de componentes :

1. Parafuso M12.
2. Porca M12.
3. Canaleta curva de 90 graus.
4. Canaleta em T.
5. Segmento de canaleta vazada com tampa.
- 6.-
7. Câmera e suporte(montagem).
8. Case das baterias (montagem).
9. Suporte dos componentes eletrônicos (montagem).
10. Estrutura montada anteriormente.

Componentes estruturais

Montagem dos componentes na estrutura base

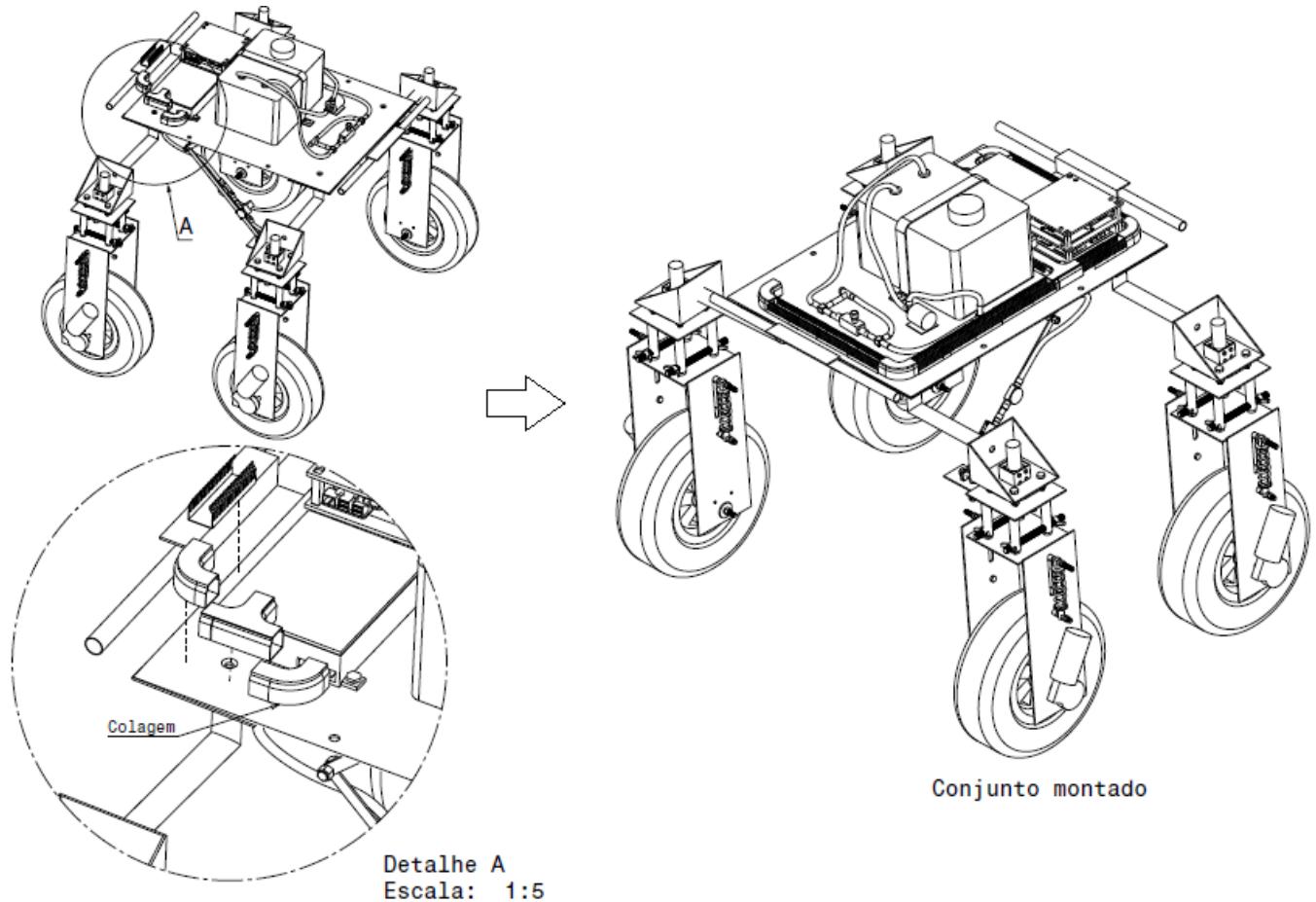


Sequência de passos:

1. Em posse dos conjuntos: estrutura de base, case das barerias, suporte dos componentes eletronicos, faça o posicionamento dos mesmos com os furos presentes na estrutura base, posteriormente, fixe-as utilizando parafusos e porcas M12.
2. Para a camera e seu suporte, alinhe o furo da chapa dobrada com um dos parafusos que fixa o tanque reservatório, e posteriormente, fixe com uma porca M12.

Componentes estruturais

Montagem dos componentes na estrutura base

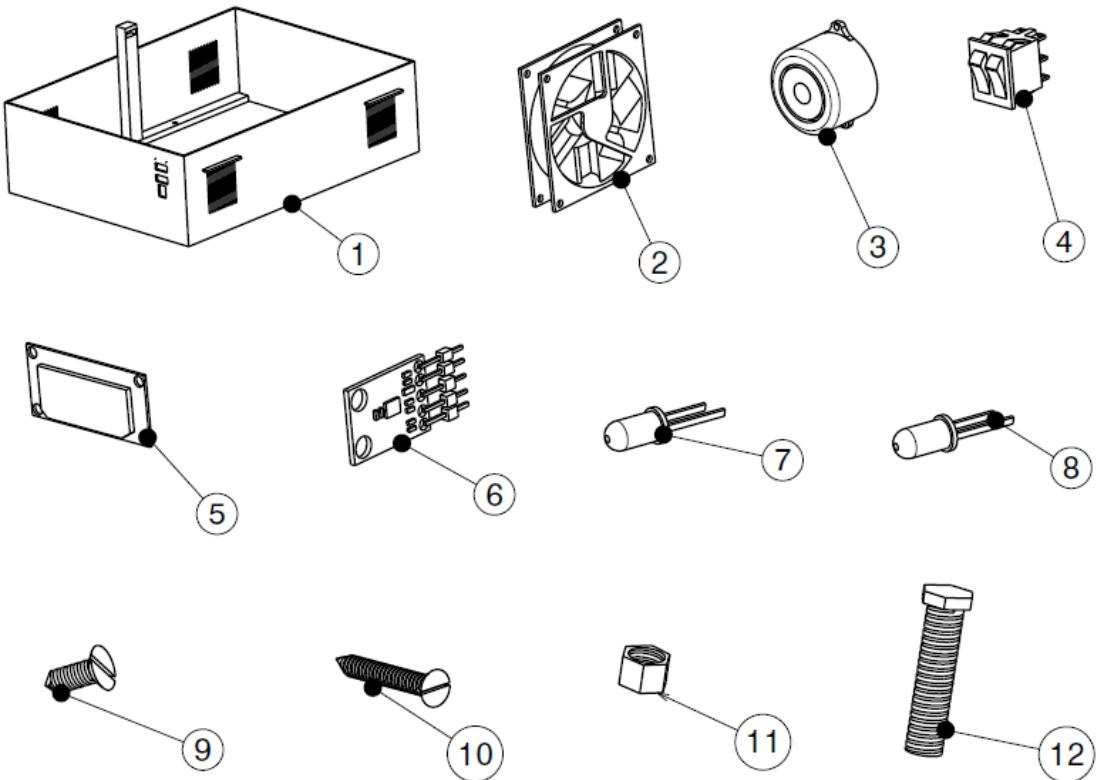


Sequência de passos:

1. Após colocados os componentes, faça a alocação e fixação, com fita dupla face, das canaletas, sem tampa, por onde será passada a fiação.

Componentes estruturais

Montagem dos componentes na estrutura base

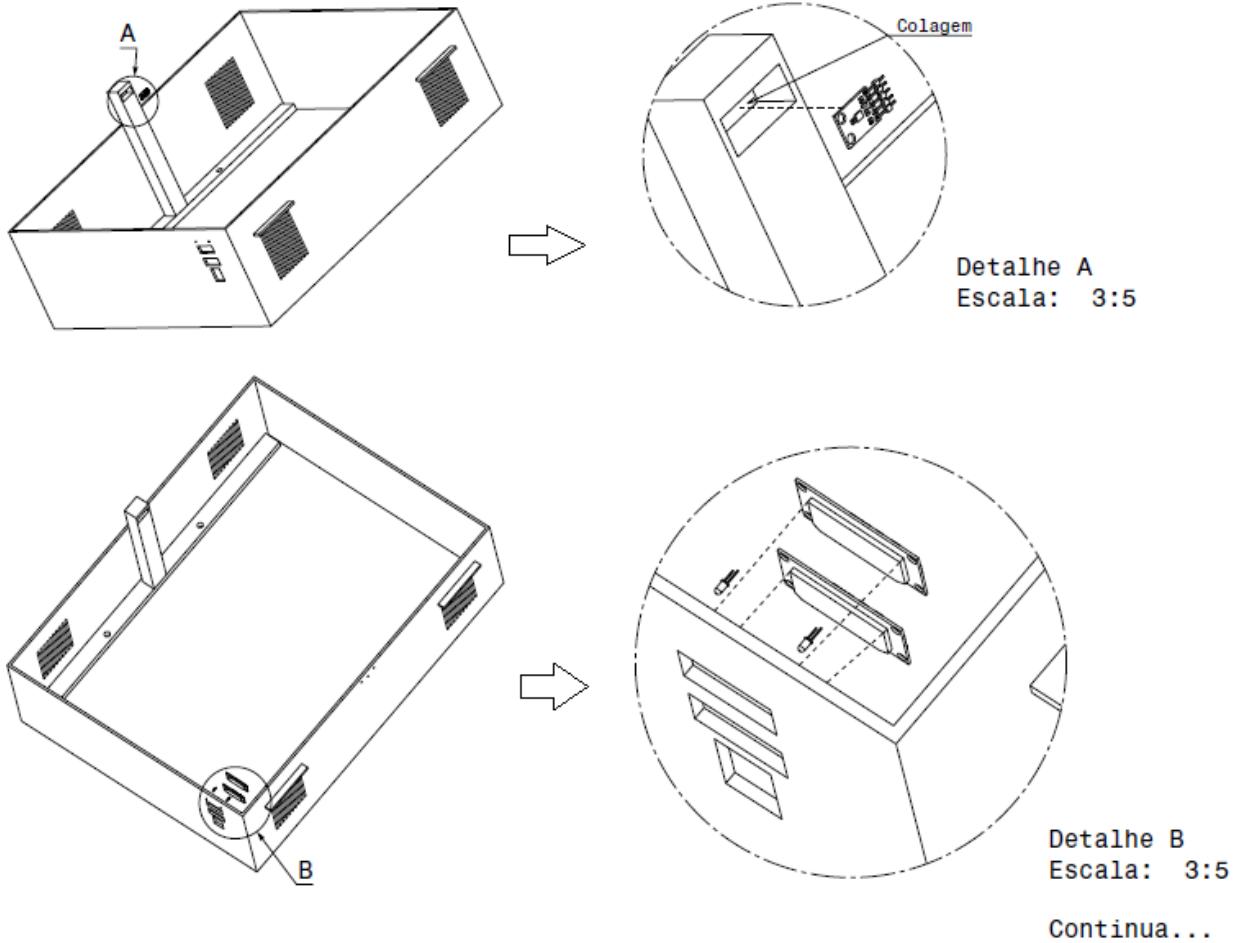


Lista de componentes :

1. Capa de proteção.
2. Cooler.
3. Sirene (Speaker).
4. Botão duplo.
5. Display digital.
6. Sensor de bússola.
7. Led verde.
8. Led vermelho.
9. Parafuso atarraxante M3,5.
10. Parafuso atarraxante M6,3.
11. Porca M12.
12. Parafuso M12.

Componentes estruturais

Montagem dos componentes na estrutura base

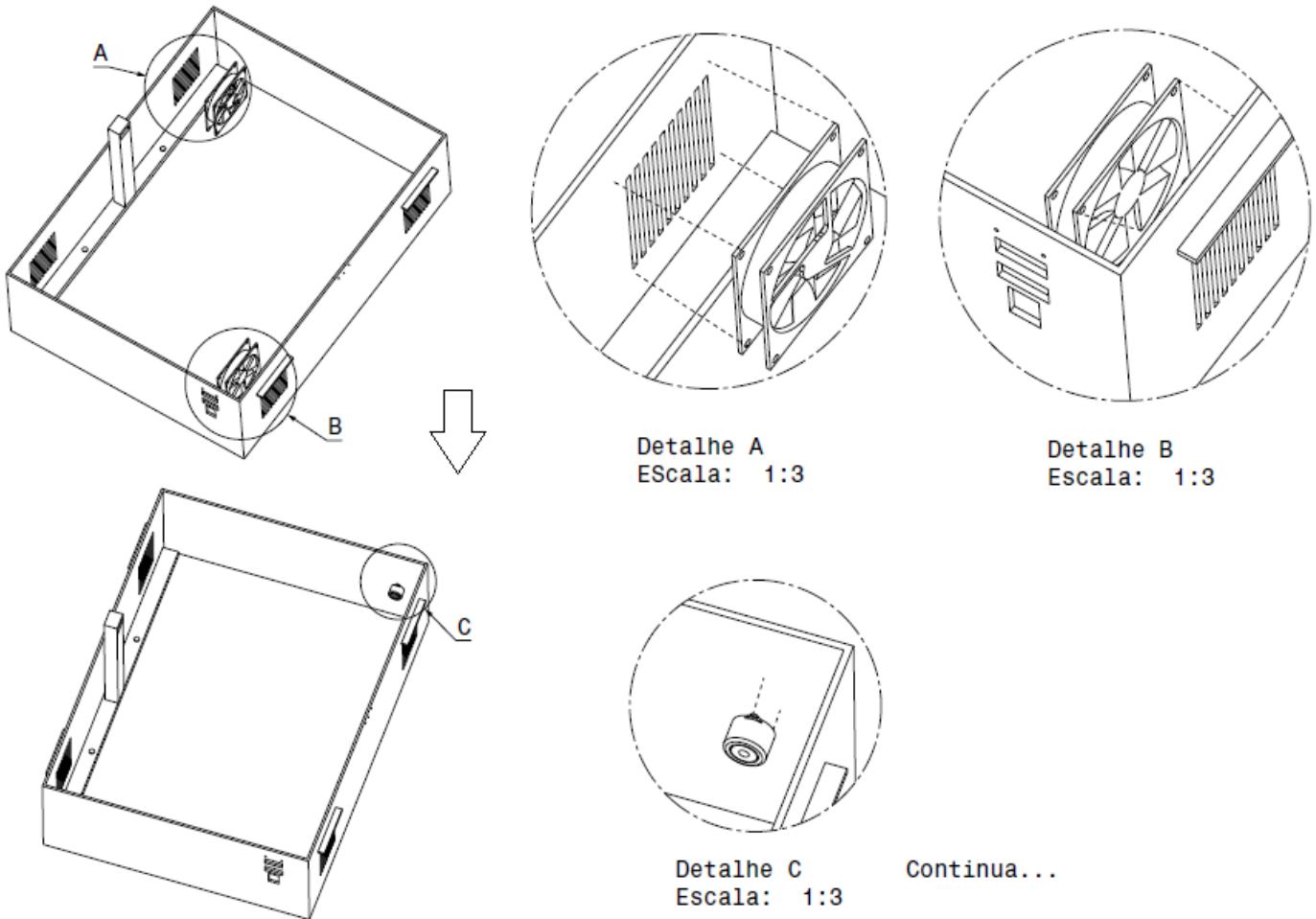


Sequência de passos:

1. Na peça 1, faça os arremates na cavidade da peça que sobressai a estrutura para colar a peça 6. (não utilizar materiais ferromagnéticos para fixar tal peça, pois influenciará a medição)
2. Posicionar a peça 5 no local e demarcar a localização dos furos de fixação.
3. Fazer um furo inicial de menos diâmetro e finalizar fixando a peça 5 com parafuso atarraxante. (Não é recomendado que o parafuso atravesse toda a espessura)

Componentes estruturais

Montagem dos componentes na estrutura base

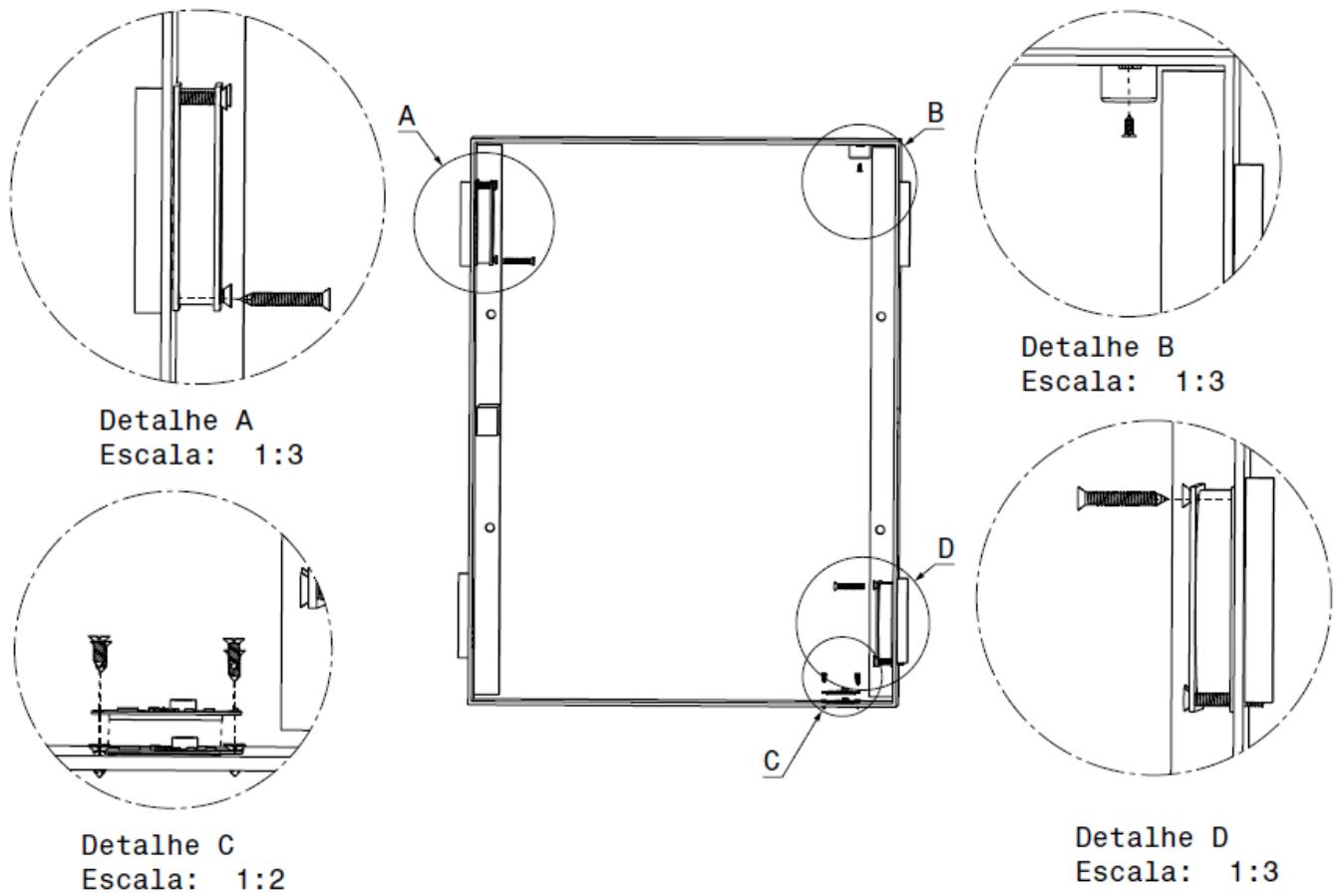


Sequência de passos:

1. Posicionar a peça 2 no local e demarcar a localização dos furos de fixação.
2. Fazer um furo inicial de menos diâmetro e finalizar fixando a peça 5 com parafuso atarraxante. (Não é recomendado que o parafuso atravesse toda a espessura)
3. Repetir os passos anteriores para a peça 3.

Componentes estruturais

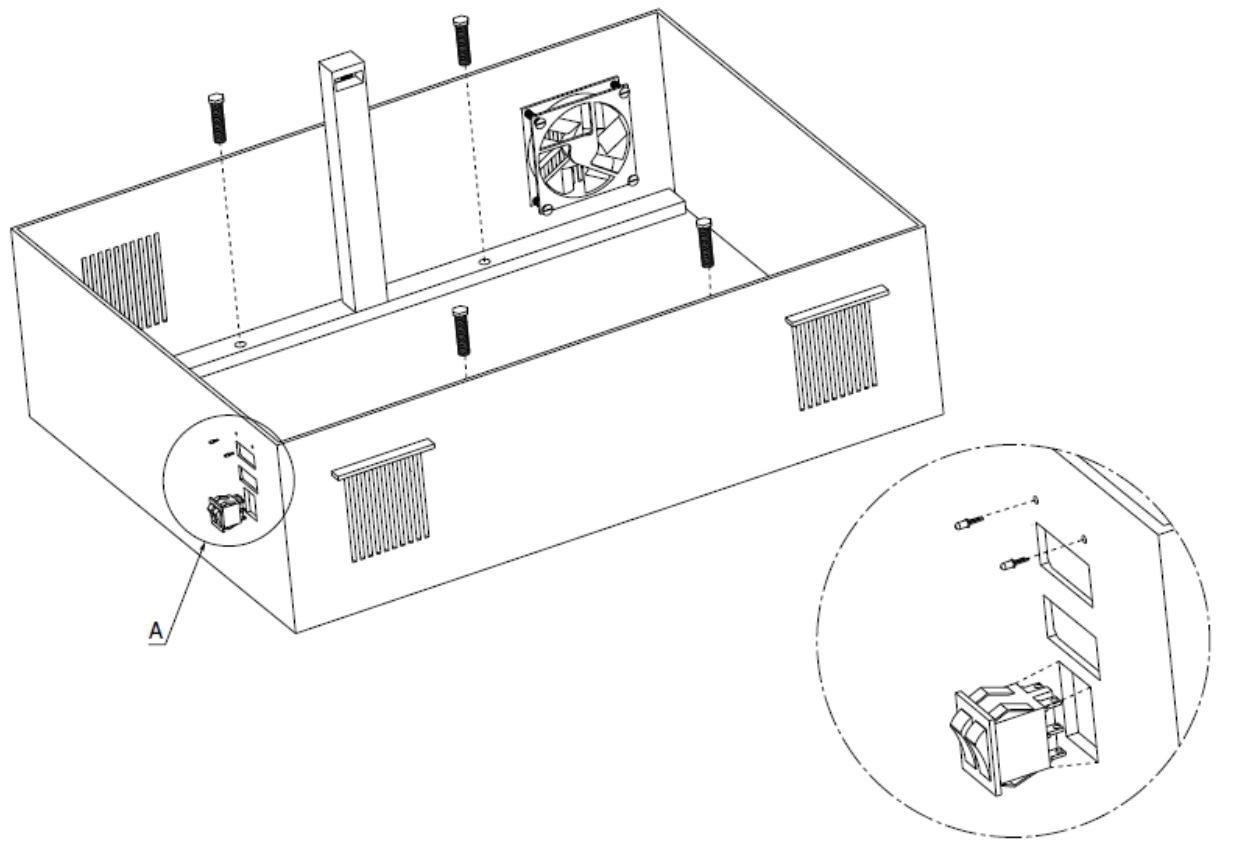
Montagem dos componentes na estrutura base



Detalhamento das peças anteriores sendo fixadas por meio do parafuso atarraxante, conforme detalhado anteriormente.

Componentes estruturais

Montagem dos componentes na estrutura base



Detalhe A
Escala: 3:5

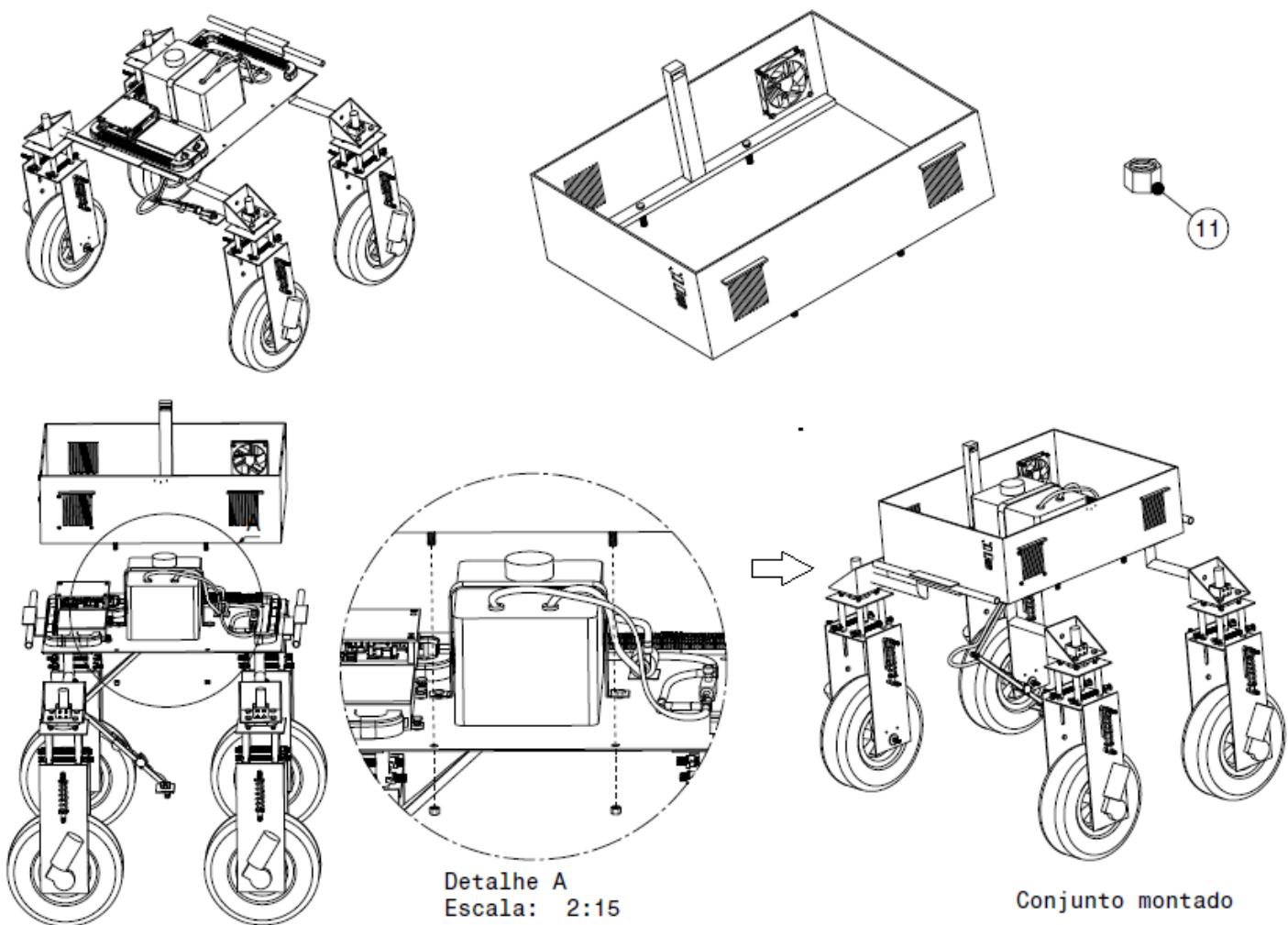
Continua...

Sequência de passos:

1. Encaixe a peça 4 na região determinada.
2. Encaixe as peças 7 e 8 nos furos passantes próximos a peça 5.
3. Posicione as peças 12 nos furos mostrados.

Componentes estruturais

Montagem dos componentes na estrutura base

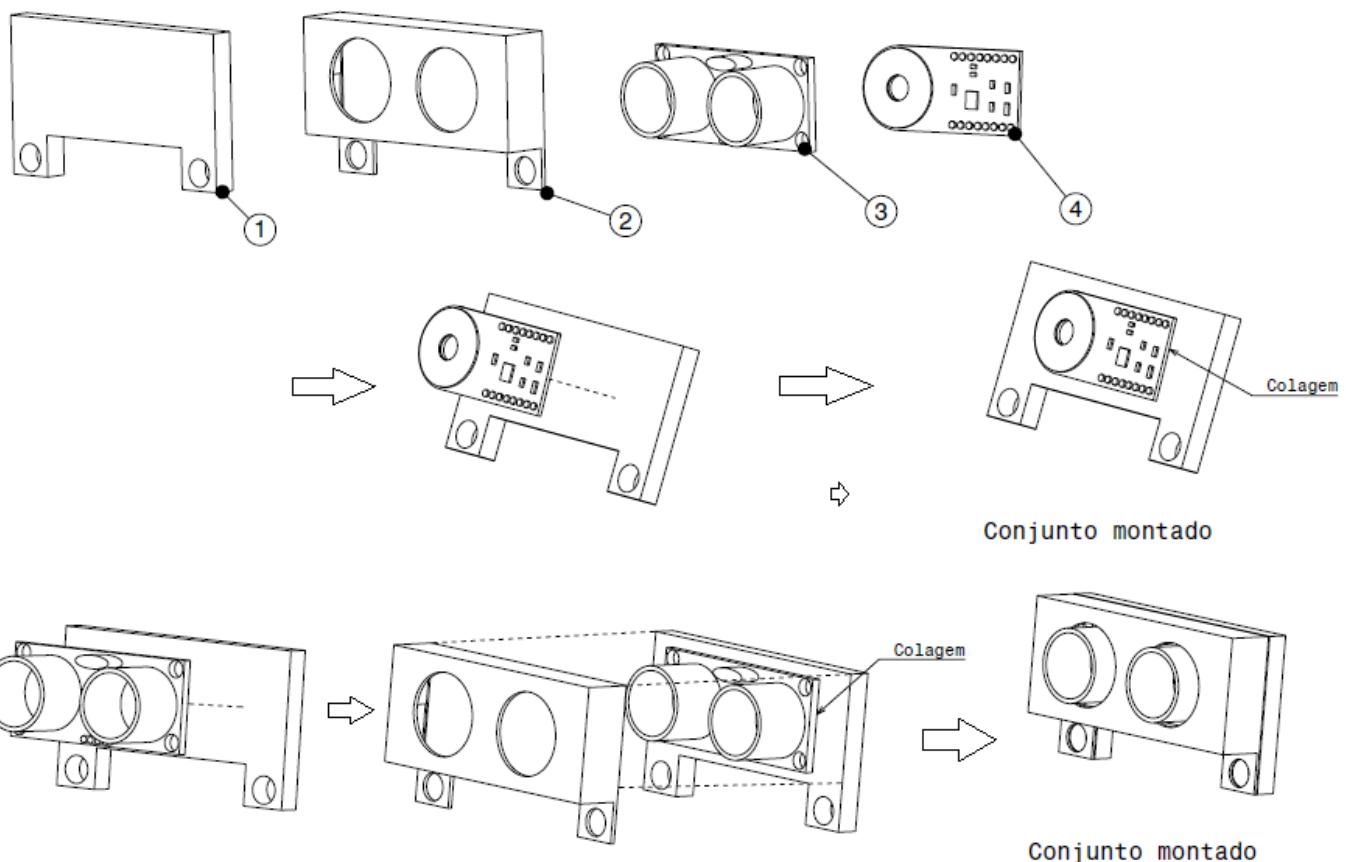


Sequência de passos:

1. Utilizando a peça 11, fixe o conjunto montado a estrutura do StrongBerry.

Componentes estruturais

Montagem dos componentes na estrutura base



Lista de componentes :

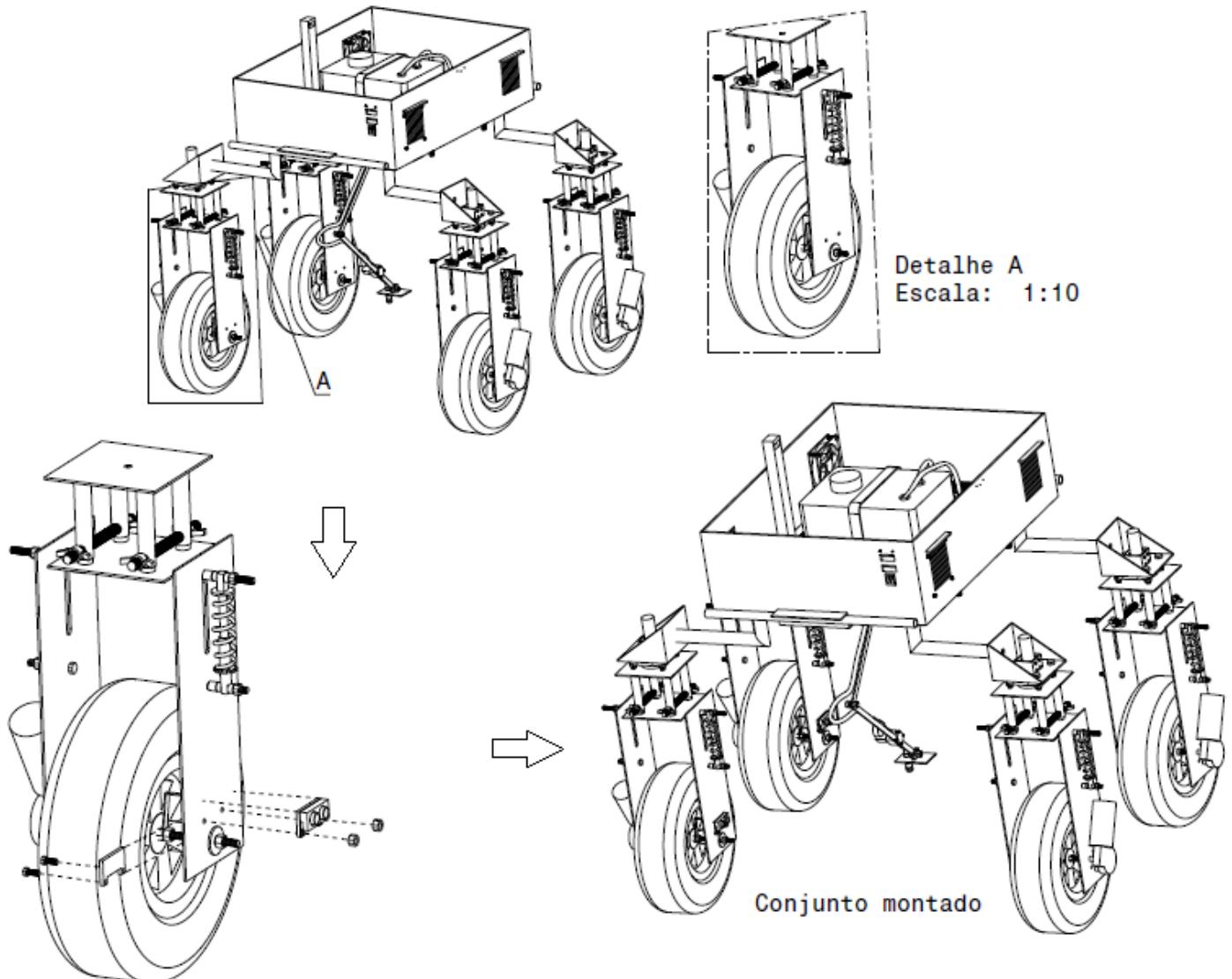
1. Suporte para o sensor ultrassônico (Base).
2. Suporte do sensor ultrassônico (Tampa).
3. Sensor ultrassônico.
4. Sensor de indutância.

Sequência de passos:

- a. Cole a peça 4 na peça 1.
- b. Cole a peça 3 no outro lado da peça 1.
- c. Encaixe a peça 2 no conjunto formado.

Componentes estruturais

Montagem dos componentes na estrutura base

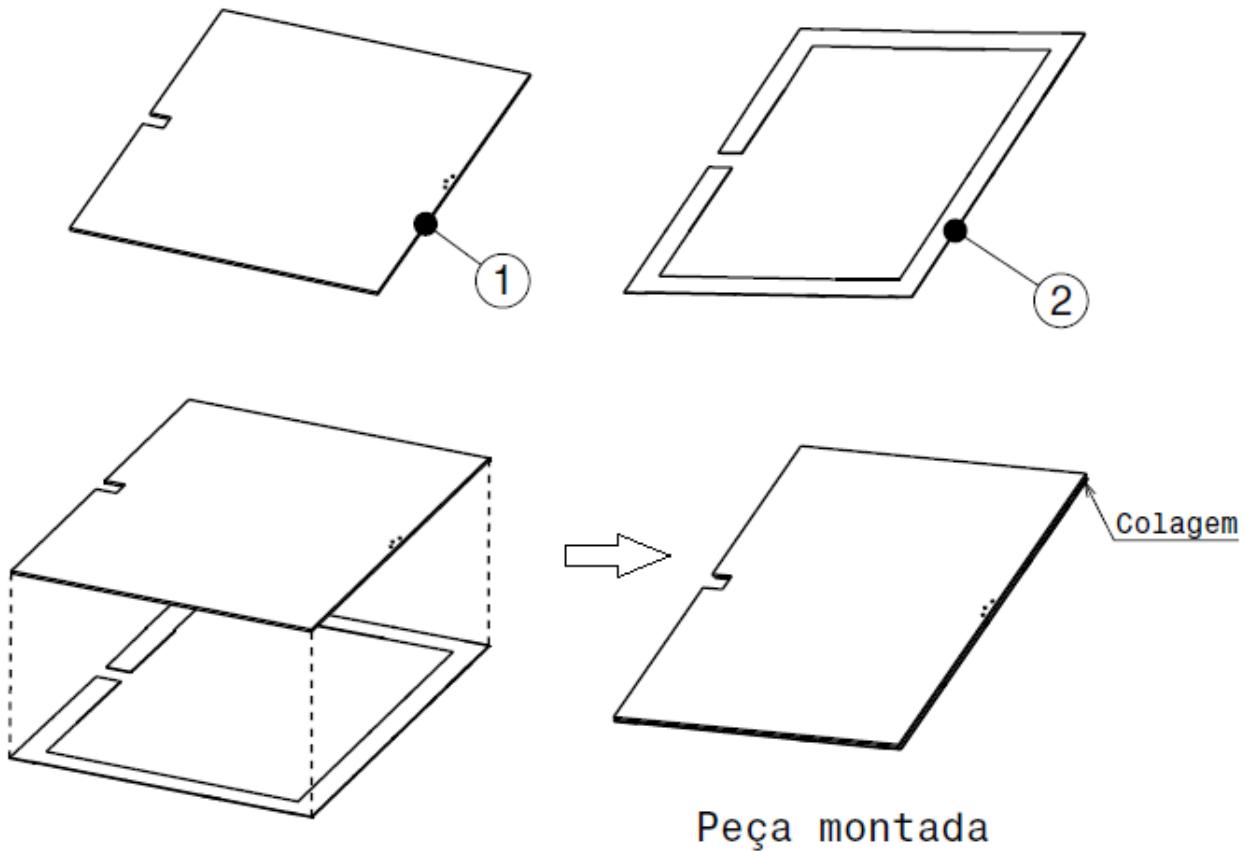


Sequência de passos:

1. Posicionar e fixar o sensor montado no passo anterior próximo ao eixo da roda.
2. Faça o posicionamento do conjunto do sensor de indutância na parte interna da placa.
3. Coloque os Parafusos M6 também pela parte interna da placa.
4. Posteriormente, alinhe o conjunto do sensor ultrassônico aos parafusos e fixe tudo com o auxilio das Porcas M6.
5. Repita o procedimento para as outros 3 braços de apoio.

Componentes estruturais

Montagem dos componentes na estrutura base



Lista de componentes :

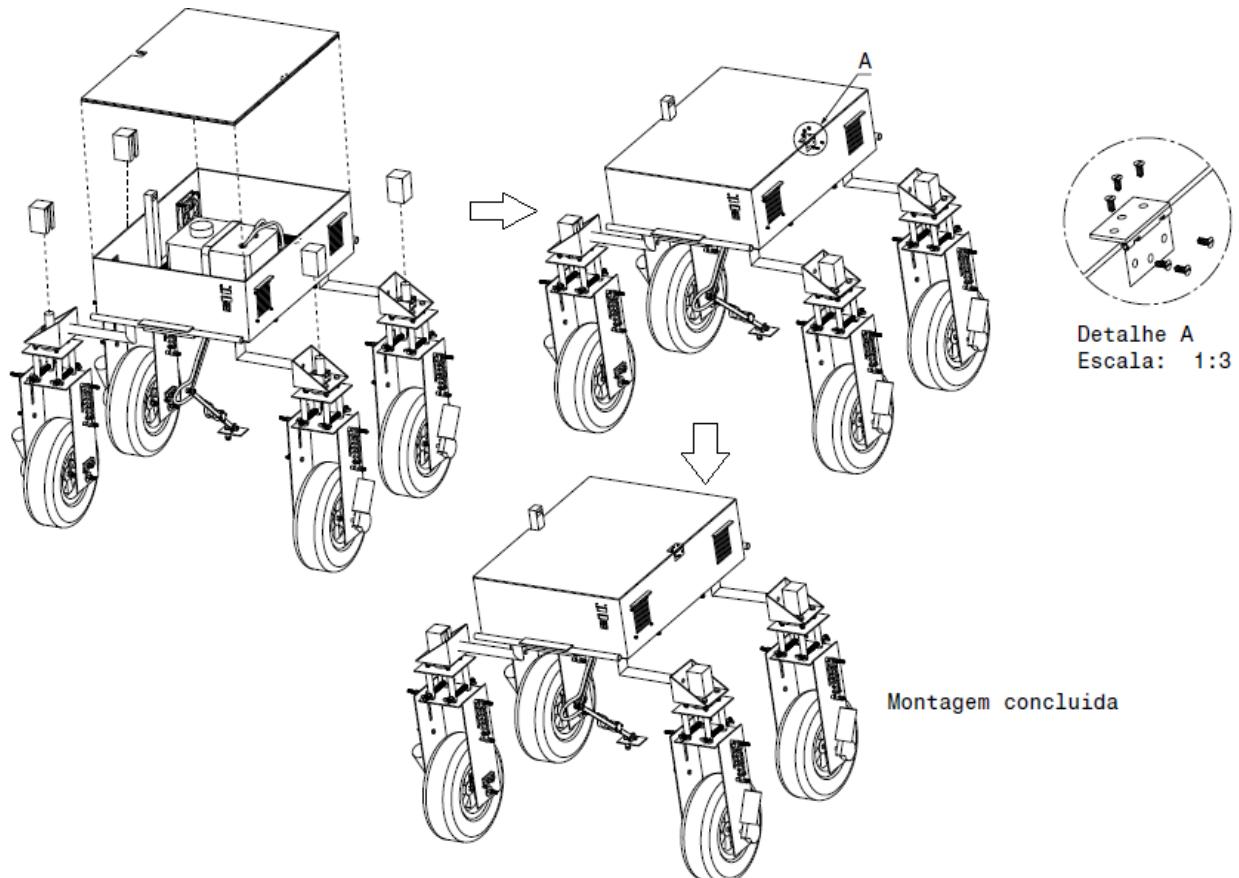
1. Tampa.
2. Moldura de borracha.

Sequência de passos:

1. Colar a peça 2 na peça 1.

Componentes estruturais

Montagem dos componentes na estrutura base



Lista de componentes :

1. Tampa.
2. Capa de proteção do motor superior.
3. Dobradiça com parafusos atarraxantes M3,5..

Sequência de passos:

1. Encaixar a tampa e, em seguida, parafusar a dobradiça.
2. Encaixar as capas de proteção dos motores superiores.

Alimentação

Instruções gerais

Cabeamento:

Para o cabeamento interno serão utilizados cabos flexíveis do tipo PP de 2 vias na cor preta. Para o cabeamento que será disposto na parte externa do veículo, serão utilizados cabos flexíveis do tipo PP de 2 vias na cor cinza. Atente-se de que essa é somente a cor do isolamento externo, os fios internos possuem as cores vermelho e preto, ou quaisquer outras cores permitidas para fios fase.



Fonte: Megatron

Emendas

Para as emendas, é necessário que o cabo PP seja desencapado utilizando decapador específico para cabos PP, caso contrário poderá danificar o isolamento dos fios internos. Uma vez desencapado, os fios fase serão expostos, devendo ser desencapados de forma a garantir seção viva suficiente para a realização das emendas (no mínimo 40 vezes a bitola do fio, i.e., 10cm).

Para o isolamento das emendas deve-se utilizar fio termo retrátil, que deve ser inserido em um dos fios a serem emendados antes da realização da emenda entre os filamentos de cobre. O fio termo retrátil deve ser posicionado de modo a cobrir a seção viva e parte do isolamento. Para a fusão do fio termo retrátil, recomenda-se utilizar pistola de ar quente.



Fonte: ISOFASES



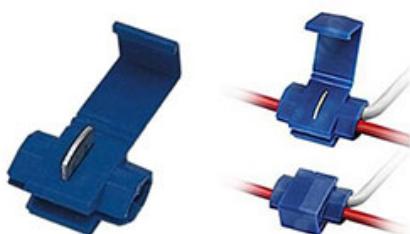
Não aconselha-se a utilização de soldas nas emendas!
(Consulte ABNT NBR 5410:2004)

Alimentação

Instruções gerais

Derivações

Para as derivações serão utilizados conectores de derivação perfurante em cada fio. Não é necessário desencapar o fio a ser derivado, somente encaixá-lo conforme a especificação do produto e apertar com um alicate.



Fonte: BHS Eletrônica

Identificação

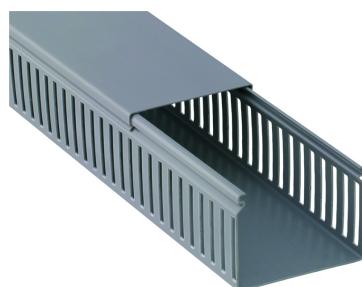
A fim de manter a organização e facilitar futuras manutenções no circuito de alimentação, recomenda-se utilizar tags com os nomes dos componentes alimentados, sobretudo aqueles que estão localizados a distâncias consideráveis da derivação.



Fonte: ShopEletric

Canaletas de PVC

As canaletas devem ser utilizadas para a passagem dos fios de alimentação dos componentes.



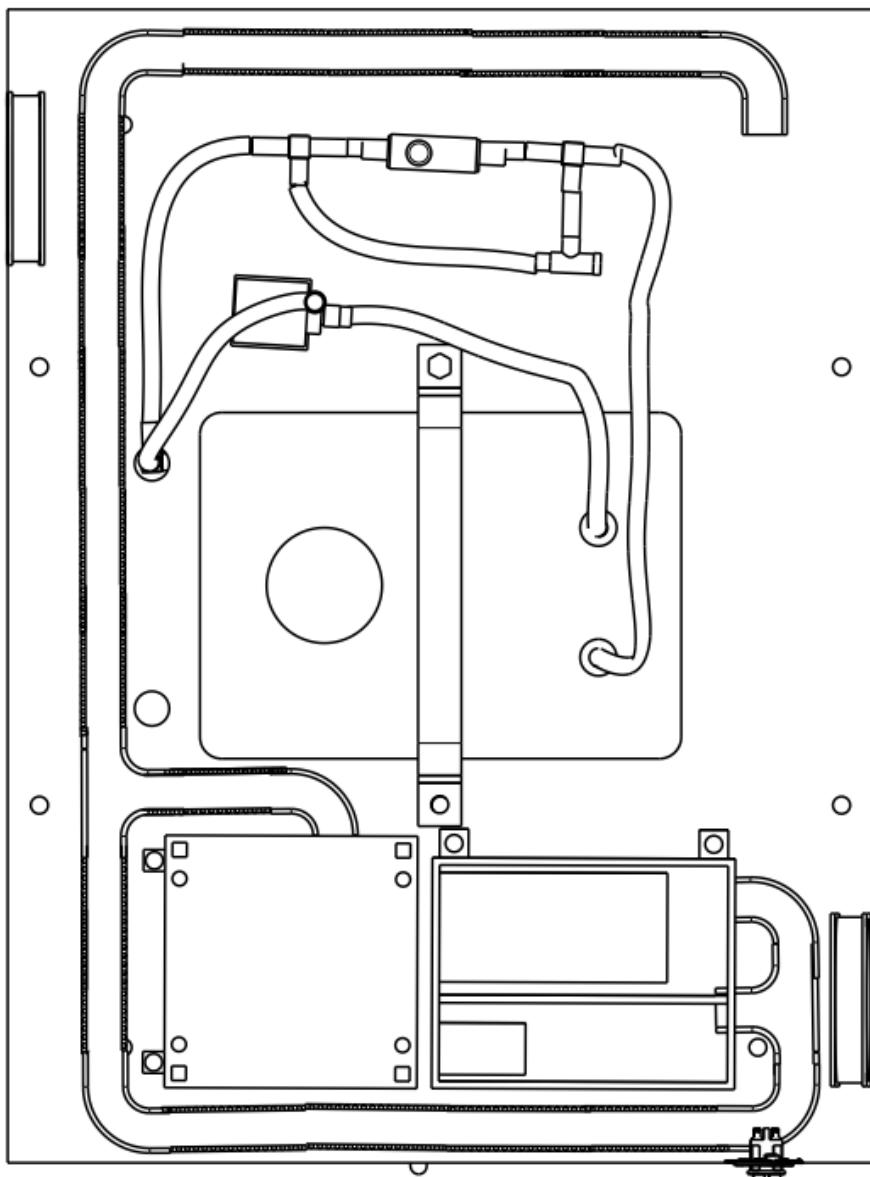
Fonte: Dutoplast do Brasil

Alimentação

Instruções gerais

Devem ser dispostas conforme a imagem abaixo.

É de responsabilidade do montador realizar o corte no comprimento necessário para a alocação da mesma. Recomenda-se a utilização de cotovelos e derivações em T. É útil que os cotovelos coincidam com os furos reservados à passagem dos cabos para os braços.

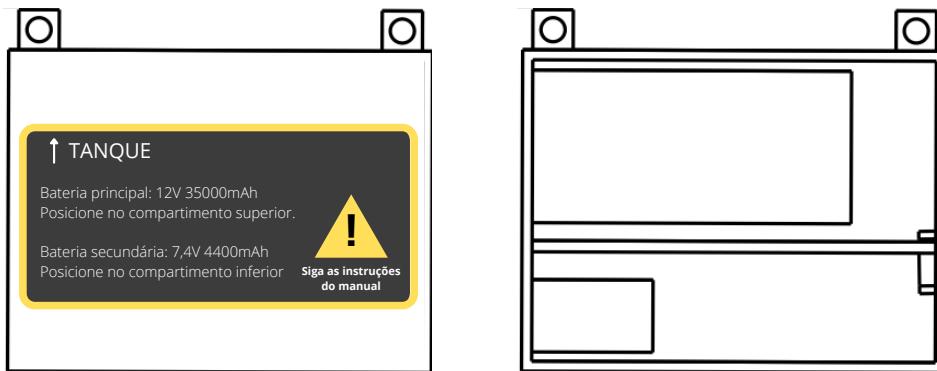


Isometric view
Scale: 1:5

Alimentação

Bateria principal

Certifique-se de que a bateria obtida segue as especificações recomendadas deste produto (12V 35000mAh). Posicione a bateria no *case* de baterias no compartimento indicado pelo adesivo da tampa do *case*.



Bateria secundária

Certifique-se de que a bateria obtida segue as especificações recomendadas deste produto (7,4V 4400mAh).

Posicione a bateria no *case* de baterias no compartimento indicado pelo adesivo da tampa do *case*.

Para a adequação da fiação:

1. Nos terminais da bateria, empurre o fio termo retrátil para baixo e desencapse a fiação de modo a expor os condutores.
2. Desencapse o rabicho do condutor P4 fêmea e faça a emenda entre estes fios e os fios terminais da bateria, não invertendo as cores.
3. Após a emenda, posicione o fio termo retrátil em cima da emenda, de modo a cobrir a seção viva e parte do isolamento.
4. Com uma pistola de ar quente, faça a fusão entre o fio termo retrátil e a emenda.

Alimentação

Bateria principal

Acionamento e proteção da bateria

1. Posicione seções de fio termo retrátil em cada um dos fios do rabicho P4 fêmea que será conectado ao P4 macho da bateria.
2. Faça a emenda entre o fio vermelho do rabicho e o fio unipolar fase + de 2,5mm, utilize o fio termo retrátil para isolar a emenda.
3. Passe o fio recém emendado pelas canaletas condutoras até a posição da chave gangorra, passando o fio por entre as aberturas da canaleta. Caso seja necessário, corte a abertura da canaleta para melhor posicionamento do fio.
4. Faça a conexão desse fio com a chave gangorra, atentando-se à posição correta do fio de carga nos pinos da mesma.
5. Utilizando outro fio unipolar fase + de 2,5mm, faça a conexão de retorno da chave para o circuito, atentando-se à posição correta do fio nos pinos da chave.
6. Passe esse fio pela canaleta de volta ao compartimento da bateria principal.
7. Faça a conexão desse fio com o fusível.
8. Faça a emenda entre o fio preto do rabicho e o fio unipolar fase - de 2,5mm, utilize o fio termo retrátil para isolar a emenda.
9. Passe o fio pela canaleta até a posição da chave gangorra, passando o fio por entre as aberturas da canaleta.
10. Faça a conexão desse fio com a chave gangorra, atentando-se à posição correta do fio de carga nos pinos da mesma.
11. Passe esse fio pela canaleta de volta ao compartimento da bateria principal.

Cabeamento do circuito

1. Desencapse uma seção do cabo PP de cor preta utilizando decapador específico para cabos PP, caso contrário poderá danificar o isolamento dos fios internos.
2. Desencapse seções dos fios do cabo PP e emende-os com os fios restantes dentro do compartimento da bateria principal, utilize fio termo retrátil para isolar as emendas.
3. Posicione a tag de identificação do cabo, identificando-o como alimentação oriunda da bateria.



Realize a instalação elétrica com o circuito desconectado da bateria!

Alimentação

Bateria principal

Display de carga

Para a alimentação do display:

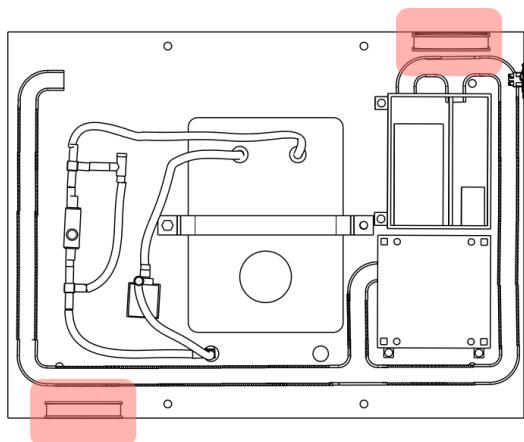
1. Leve o cabo PP até a posição do display pela canaleta, fazendo uma abertura da canaleta para melhor posicionamento da derivação.
2. Desencapse uma seção do cabo PP de cor preta utilizando decapador específico para cabos PP, caso contrário poderá danificar o isolamento dos fios internos.
3. Utilize os conectores de derivação entre os fios fase do cabo PP e os fios fase que serão emendados aos terminais do display.
4. Passe os fios derivados pela abertura feita na canaleta e emende-os aos fios do display, utilize o fio termo retrátil para isolar a emenda.



Realize a instalação elétrica com o circuito desconectado da bateria!

Componentes alimentados pela bateria principal

Coolers



Vista da caixa de proteção com *coolers* destacados em vermelho.

Para a alimentação do *cooler*:

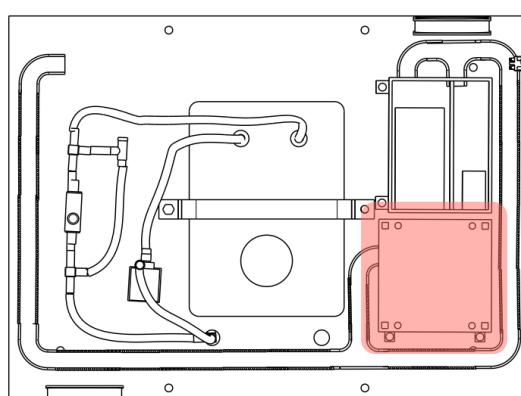
1. Leve o cabo PP até a posição do cooler pela canaleta, fazendo uma abertura da canaleta para melhor posicionamento da derivação.
2. Desencapse uma seção do cabo PP de cor preta utilizando decapador específico para cabos PP, caso contrário poderá danificar o isolamento dos fios internos.
3. Utilize os conectores de derivação entre os fios fase do cabo PP e os fios fase que serão emendados aos terminais do *cooler*.
4. Passe os fios derivados pela abertura feita na canaleta e emende-os aos fios do *cooler*, utilize o fio termo retrátil para isolar a emenda.

Repita o processo para o segundo *cooler*.

Drivers de controle de velocidade PWM

Os quatro drivers de controle de velocidade dos motores de eixo estão dispostos no suporte para componentes eletrônicos. Neste componente, devem ser utilizados:

- Cabos PP pretos para a alimentação do drivers;
- Cabos PP brancos para a alimentação dos motores (consulte a seção de motores).



Vista da caixa de proteção com suporte para componentes eletrônicos destacado em vermelho.

Para a alimentação dos drivers:

1. Leve o cabo PP até a posição do suporte para componentes eletrônicos pela canaleta, fazendo uma abertura da canaleta para melhor posicionamento da derivação.
2. Desencapse uma seção do cabo PP de cor preta utilizando decapador específico para cabos PP, caso contrário poderá danificar o isolamento dos fios internos.
3. Utilize os conectores de derivação entre os fios fase do cabo PP e os fios fase do cabo PP que será guiado ao suporte para componentes eletrônicos.
4. Passe o cabo PP derivado pela abertura feita na canaleta.
5. Faça uma nova derivação, utilizando os conectores de derivação, para separar as alimentações entre os drivers que controlarão os motores de eixo os drivers que controlarão os motores das rodas.
6. Posicione as tags de identificação nos cabos, identificando a quais pares de drivers serão guiados.

Drivers de motores de eixo:

1. Faça uma derivação, utilizando os conectores de derivação, para que os dois drivers possam ser alimentados.
2. Para a conexão do cabo com o driver, desencapse uma seção do cabo PP e, em seguida, os fios de fase do cabo.
3. Parafuse os fios nos bornes de alimentação do driver aplicando torque adequado e verificando se estão bem justos.
4. Repita o procedimento para o segundo driver.

Drivers de motores das rodas:

1. Faça uma derivação, utilizando os conectores de derivação, para que os dois drivers possam ser alimentados.
2. Para a conexão do cabo com o driver, desencapse uma seção do cabo PP e, em seguida, os fios de fase do cabo.
3. Parafuse os fios nos bornes de alimentação do driver aplicando torque adequado e verificando se estão bem justos.
4. Repita o procedimento para o segundo driver.

Regulador de tensão e Raspberry Pi 3

Este componente está disposto no suporte de componentes eletrônicos. A alimentação será feita com o auxílio do regulador de tensão, que deve ser configurado previamente para converter 12VCC para 5VCC.

Para a alimentação do regulador de tensão:

1. Leve o cabo PP até a posição do suporte para componentes eletrônicos pela canaleta, fazendo uma abertura da canaleta para melhor posicionamento da derivação.
2. Desencapse uma seção do cabo PP de cor preta utilizando decapador específico

- para cabos PP, caso contrário poderá danificar o isolamento dos fios internos.
- 3.Utilize os conectores de derivação entre os fios fase do cabo PP e os fios fase do cabo PP que será guiado ao regulador de tensão.
 - 4.Passe o cabo PP derivado pela abertura feita na canaleta.
 - 5.Para a conexão do cabo com o regulador de tensão, desencapse uma seção do cabo PP e, em seguida, os fios de fase do cabo.
 - 6.Parafuse os fios nos bornes de entrada aplicando torque adequado e verificando se estão bem justos.

A Raspberry Pi 3 será alimentada via micro usb em uma de suas portas. Por isso, deve-se fazer a conexão entre o regulador de tensão e um cabo micro usb.

Para a alimentação da Raspberry Pi 3:

- 1.Faça a conexão do cabo PP com a saída o regulador de tensão, desencapando uma seção do cabo PP e, em seguida, os fios de fase do cabo.
- 2.Parafuse os fios nos bornes de entrada aplicando torque adequado e verificando se estão bem justos.
- 3.Desencapse uma seção do cabo PP de cor preta utilizando decapador específico para cabos PP, caso contrário poderá danificar o isolamento dos fios internos.
- 4.Utilize os conectores de derivação entre os fios fase do cabo PP e os fios fase do cabo PP que será guiado a Raspberry Pi 3.
- 5.Desencapse uma seção do cabo PP e, em seguida, os fios de fase do cabo.
- 6.Faça a emenda entre os fios fase e o rabicho do micro USB macho, utilize o fio termo retrátil para isolar a emenda.
- 7.Conecte o micro USB à porta designada.

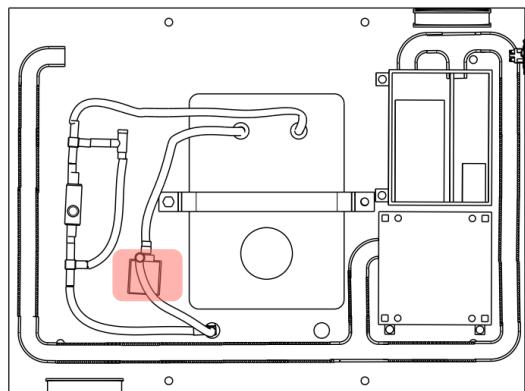
Monitorador da bateria principal

Este componente está disposto no suporte de componentes eletrônicos e será alimentado por uma derivação da saída do regulador de tensão.

Para a alimentação do monitorador da bateria:

- 1.Identifique o cabo PP restante da derivação entre o módulo regulador de tensão e a Raspberry Pi 3.
- 2.Para a conexão do cabo com o monitorador, desencapse uma seção do cabo PP e, em seguida, os fios de fase do cabo.
- 3.Faça a emenda entre os fios fase e o conector do tipo JST macho de 2 vias, utilize o fio termo retrátil para isolar a emenda.

Bomba d'água



Vista da caixa de proteção com bomba d'água destacada em vermelho.

Para a alimentação da bomba d'água:

1. Leve o cabo PP até a posição da bomba pela canaleta, fazendo uma abertura da canaleta para melhor posicionamento da derivação.
2. Desencapse uma seção do cabo PP de cor preta utilizando decapador específico para cabos PP, caso contrário poderá danificar o isolamento dos fios internos.
3. Passe o rabicho da bomba d'água por entre a abertura feita na canaleta.
4. Utilize os conectores de derivação entre os fios fase do cabo PP e os fios do rabicho da bomba d'água.

Módulo Relé e Válvula solenoide

O módulo relé está disposto no suporte de componentes eletrônicos.

Para a alimentação do módulo relé:

1. Leve o cabo PP de cor preta até a posição do suporte para componentes eletrônicos pela canaleta, fazendo uma abertura da canaleta para melhor posicionamento da derivação.
2. Desencapse uma seção do cabo PP de cor preta utilizando decapador específico para cabos PP, caso contrário poderá danificar o isolamento dos fios internos.
3. Utilize os conectores de derivação entre os fios fase do cabo PP e os fios fase do cabo PP que será guiado ao suporte para componentes eletrônicos.
4. Passe o cabo PP derivado pela abertura feita na canaleta.
5. Desencapse uma seção do cabo PP derivado e, em seguida, os fios de fase do cabo.
6. Faça a conexão de entrada do relé pelo borne aplicando torque adequado e verificando se estão bem justos.
7. Tenha em mãos um cabo PP de cor cinza. Desencapse uma seção do cabo PP e, em seguida, os fios de fase do cabo.
8. Faça a conexão de saída do relé pelo borne aplicando torque adequado e verificando se estão bem justos.
9. Posicione a tag de identificação no cabo cinza, identificando-o como alimentação da válvula solenoide.

Para a alimentação da válvula solenoide:

A válvula solenoide deve ser posicionada na parte externa do veículo. O cabo PP cinza deve passar do suporte dos componentes eletrônicos para o furo de passagem de fiação elétrica para a área do aspersor (furo G), presente no assoalho do veículo, próximo ao tanque.

! Atente-se de que há distinções entre as furações para passagem de circuitos elétricos e hidráulicos!

Para a alimentação da válvula solenoide:

1. Leve o cabo PP de cor cinza até a posição adequada à válvula solenoide.
2. Desencape uma seção do cabo PP de cor cinza utilizando decapador específico para cabos PP, caso contrário poderá danificar o isolamento dos fios internos.
3. Desencape os fios de fase.
4. Faça a emenda entre os fios fase do cabo PP e os fios do rabicho da válvula solenoide, utilize fio termo retrátil para isolar a emenda.

Alimentação dos motores

Os motores serão alimentados pelos cabos de saída dos drivers controladores de velocidade PWM. Cada driver será responsável pelo controle de dois motores, portanto, cada um terá como saída dois cabos PP na cor cinza.

Para a alimentação do motor:

1. Leve o cabo PP de cor cinza até a posição do suporte de componentes eletrônicos.
2. Desencapse uma seção do cabo PP de cor cinza utilizando decapador específico para cabos PP, caso contrário poderá danificar o isolamento dos fios internos.
3. Desencapse os fios de fase.
4. Parafuse os fios de fase nos bornes de saída do driver.
5. Repita esse procedimento para o segundo cabo..
6. Posicione as tags de identificação nos cabos, identificando qual motor será alimentado.
7. Passe os cabos pela canaleta que está posicionada atrás do suporte de componentes eletrônicos em direção aos motores que serão alimentados. Consulte o esquema elétrico sobre o posicionamento dos cabos, caso necessário.
8. Ao encontrar o furo de passagem no assoalho, localizados por baixo dos cotovelos (furos O, P, A, B), insira o cabo. O cabo deverá passar pelos braços.

Motor da roda

Este motor está posicionado imediatamente depois dos braços. Consulte o diagrama unifilar sobre seu posicionamento, caso necessário.

1. Desencapse uma seção do cabo PP de cor cinza utilizando decapador específico para cabos PP, caso contrário poderá danificar o isolamento dos fios internos.
2. Desencapse os fios de fase.
3. Faça a emenda entre os fios fase do cabo PP e os fios do rabicho do motor da roda, utilize fio termo retrátil para isolar a emenda.

Motor de eixo

Este motor está posicionado próximo às rodas. Consulte o diagrama unifilar sobre seu posicionamento, caso necessário.

1. Leve o cabo PP de cor cinza até a posição do motor de eixo.
2. Desencapse uma seção do cabo PP de cor cinza utilizando decapador específico para cabos PP, caso contrário poderá danificar o isolamento dos fios internos.
3. Desencapse os fios de fase.
4. Faça a emenda entre os fios fase do cabo PP e os fios do rabicho do motor de eixo, utilize fio termo retrátil para isolar a emenda.

! Não passe o cabo por entre o sistema de amortecimento!

! Não deixe folgas que possam causar enrolamento do cabo durante o giro da roda!

Alimentação

Bateria secundária

Acionamento da bateria

1. Posicione seções de fio termo retrátil em cada um dos fios do rabicho P4 macho que será conectado ao P4 fêmea da bateria.
2. Faça a emenda entre o fio vermelho do rabicho e o fio unipolar fase + de 2,5mm, utilize o fio termo retrátil para isolar a emenda.
3. Passe o fio recém emendado pelas canaletas condutoras até a posição da chave gangorra, passando o fio por entre as aberturas da canaleta. Caso seja necessário, corte a abertura da canaleta para melhor posicionamento do fio.
4. Faça a conexão desse fio com a chave gangorra, atentando-se à posição correta do fio de carga nos pinos da mesma.
5. Utilizando outro fio unipolar fase + de 2,5mm, faça a conexão de retorno da chave para o circuito, atentando-se à posição correta do fio nos pinos da chave.
6. Passe esse fio pela canaleta de volta ao compartimento da bateria principal.
7. Faça a emenda entre o fio preto do rabicho e o fio unipolar fase - de 2,5mm, utilize o fio termo retrátil para isolar a emenda.
8. Passe o fio pela canaleta até a posição da chave gangorra, passando o fio por entre as aberturas da canaleta.
9. Faça a conexão desse fio com a chave gangorra, atentando-se à posição correta do fio de carga nos pinos da mesma.
10. Passe esse fio pela canaleta de volta ao compartimento da bateria secundária.

Cabeamento do circuito

1. Desencapse uma seção do cabo PP de cor preta utilizando decapador específico para cabos PP, caso contrário poderá danificar o isolamento dos fios internos.
2. Desencapse seções dos fios do cabo PP e emende-os com os fios restantes dentro do compartimento da bateria principal, utilize fio termo retrátil para isolar as emendas.
3. Posicione a tag de identificação do cabo, identificando-o como alimentação oriunda da bateria.



Realize a instalação elétrica com o circuito desconectado da bateria!

Alimentação

Bateria secundária

Display de carga

Para a alimentação do display:

1. Leve o cabo PP até a posição do display pela canaleta, fazendo uma abertura da canaleta para melhor posicionamento da derivação.
2. Desencapse uma seção do cabo PP de cor preta utilizando decapador específico para cabos PP, caso contrário poderá danificar o isolamento dos fios internos.
3. Utilize os conectores de derivação entre os fios fase do cabo PP e os fios fase que serão emendados aos terminais do display.
4. Passe os fios derivados pela abertura feita na canaleta e emende-os aos fios do display, utilize o fio termo retrátil para isolar a emenda.



Realize a instalação elétrica com o circuito desconectado da bateria!

Componentes alimentados pela bateria secundária

Regulador de tensão

Este componente está disposto no suporte de componentes eletrônicos. A alimentação será feita com o auxílio do regulador de tensão, que deve ser configurado previamente para converter 7,4VCC para 5VCC.

Para a alimentação do regulador de tensão:

1. Leve o cabo PP até a posição do suporte para componentes eletrônicos pela canaleta, fazendo uma abertura da canaleta para melhor posicionamento da derivação.
2. Desencapse uma seção do cabo PP de cor preta utilizando decapador específico para cabos PP, caso contrário poderá danificar o isolamento dos fios internos.
3. Utilize os conectores de derivação entre os fios fase do cabo PP e os fios fase do cabo PP que será guiado ao regulador de tensão.
4. Passe o cabo PP derivado pela abertura feita na canaleta.
5. Para a conexão do cabo com o regulador de tensão, desencapse uma seção do cabo PP e, em seguida, os fios de fase do cabo.
6. Parafuse os fios nos bornes de entrada aplicando torque adequado e verificando se estão bem justos.

ESP32 LoRa

A ESP32 LoRa será alimentada via micro usb em uma de suas portas. Por isso, deve-se fazer a conexão entre o regulador de tensão e um cabo micro usb.

Para a alimentação da ESP32 LoRa:

1. Faça a conexão do cabo PP com a saída o regulador de tensão, desencapando uma seção do cabo PP e, em seguida, os fios de fase do cabo.
2. Parafuse os fios nos bornes de entrada aplicando torque adequado e verificando se estão bem justos.
3. Desencapse uma seção do cabo PP de cor preta utilizando decapador específico para cabos PP, caso contrário poderá danificar o isolamento dos fios internos.
4. Utilize os conectores de derivação entre os fios fase do cabo PP e os fios fase do cabo PP que será guiado a ESP32 LoRa.
5. Desencapse uma seção do cabo PP e, em seguida, os fios de fase do cabo.
6. Faça a emenda entre os fios fase e o rabicho do micro USB macho, utilize o fio termo retrátil para isolar a emenda.
7. Conecte o micro USB à porta designada.

Monitorador da bateria principal

Este componente está disposto no suporte de componentes eletrônicos e será alimentado por uma derivação da saída do regulador de tensão.

Para a alimentação do monitorador da bateria:

1. Identifique o cabo PP restante da derivação entre o módulo regulador de tensão e a ESP32 LoRa.
2. Para a conexão do cabo com o monitorador, desencapse uma seção do cabo PP e, em seguida, os fios de fase do cabo.
3. Faça a emenda entre os fios fase e o conector do tipo JST macho de 2 vias, utilize o fio termo retrátil para isolar a emenda.

Montagem eletrônica

Instruções gerais

! A montagem eletrônica deve ser realizada com o sistema de alimentação desligado!

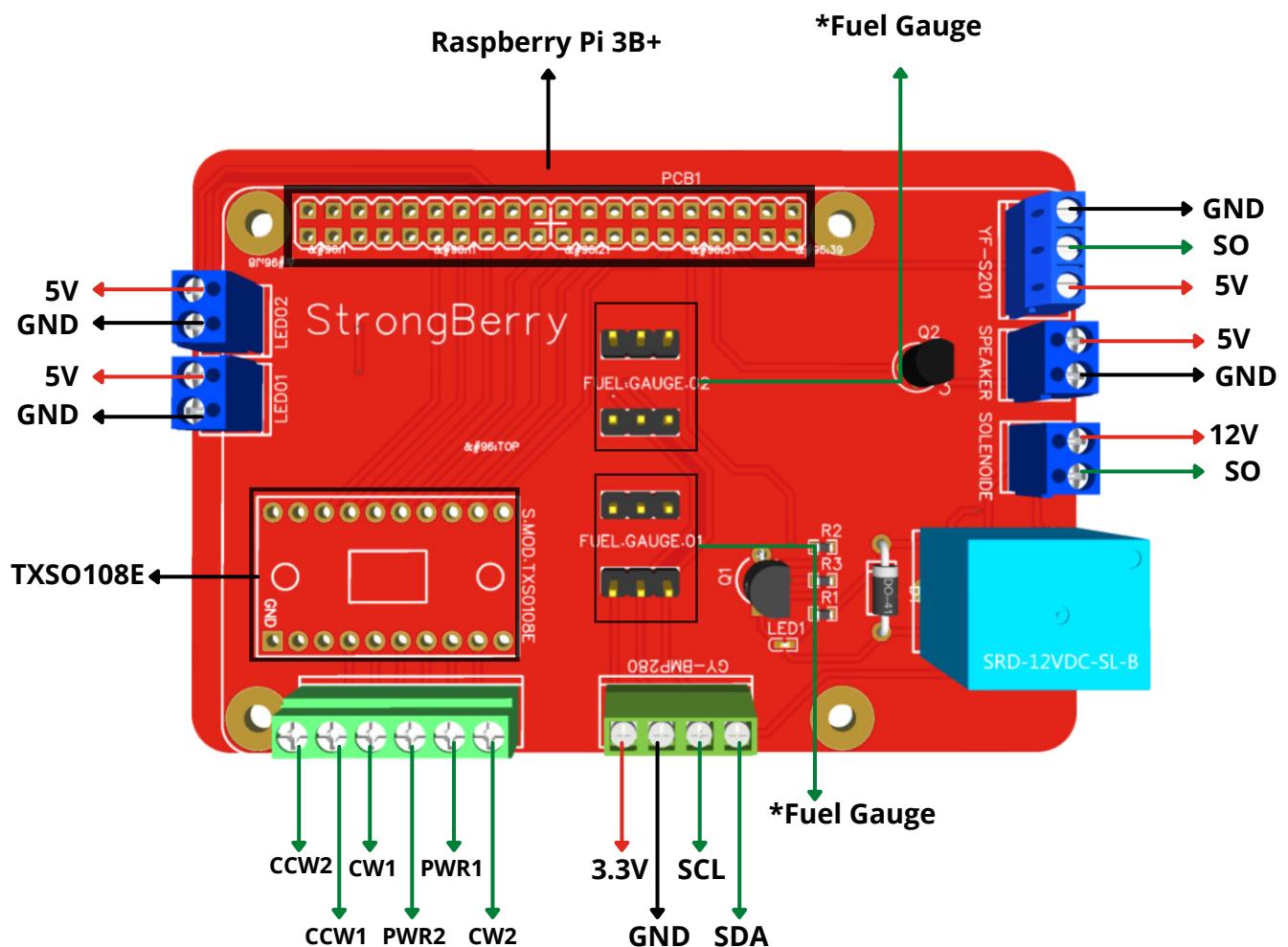
Tanto a manutenção quanto a montagem de todo e qualquer circuito eletrônico do StrongBerry deve ser realizada por um profissional técnico qualificado, utilizando todos os equipamentos de proteção individuais (EPIs).

As conexões das PCIs devem ser realizadas na ordem apresentada na tabela a seguir e sua alimentação será dada de acordo com o estabelecido na seção de *Alimentação*.

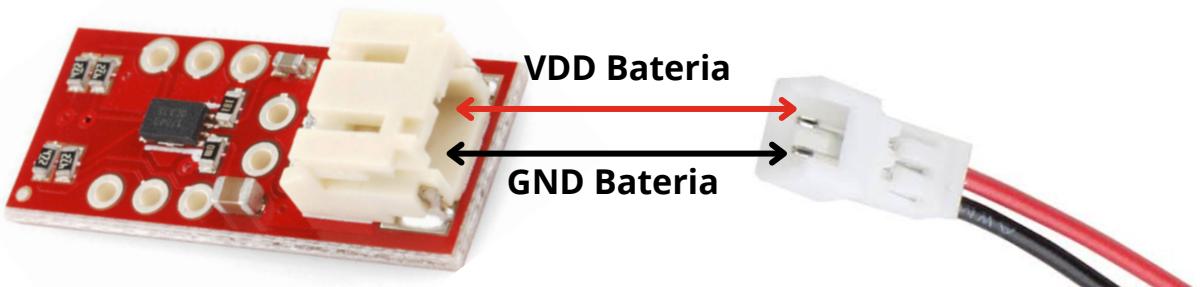
Sua conexão deve ser feita na ordem apresentada na coluna de

Conexão Raspberry Pi 3B+

Indicador PCI	Conexão	Cabos
S.MOD.TXS0108E	Módulo conversor tx0108e	Conector Fast Sc Upc
YF-S201	YF-S201	Cabo PP 3x 1 mm
SPEAKER	GSPK3013P-8R0.15W	Cabo PP 2x 1 mm
SRD-12VDC-SL-B	Bateria 12V	Cabo PP 4x 1mm
SOLENOIDE	Válvula Solenoide 12V	Cabo PP 2x 1mm
GY-BMP280	GY-BMP280	Cabo PP 2x 1mm
LED01	Led Difuso 10mm	Cabo PP 2x 1mm
LED02	Led Difuso 10mm	Cabo PP 2x 1mm
Fuel Gauge 01	Lipo Fuel Gauge	2-pin JST-PH connector
Fuel Gauge 02	Lipo Fuel Gauge	2-pin JST-PH connector

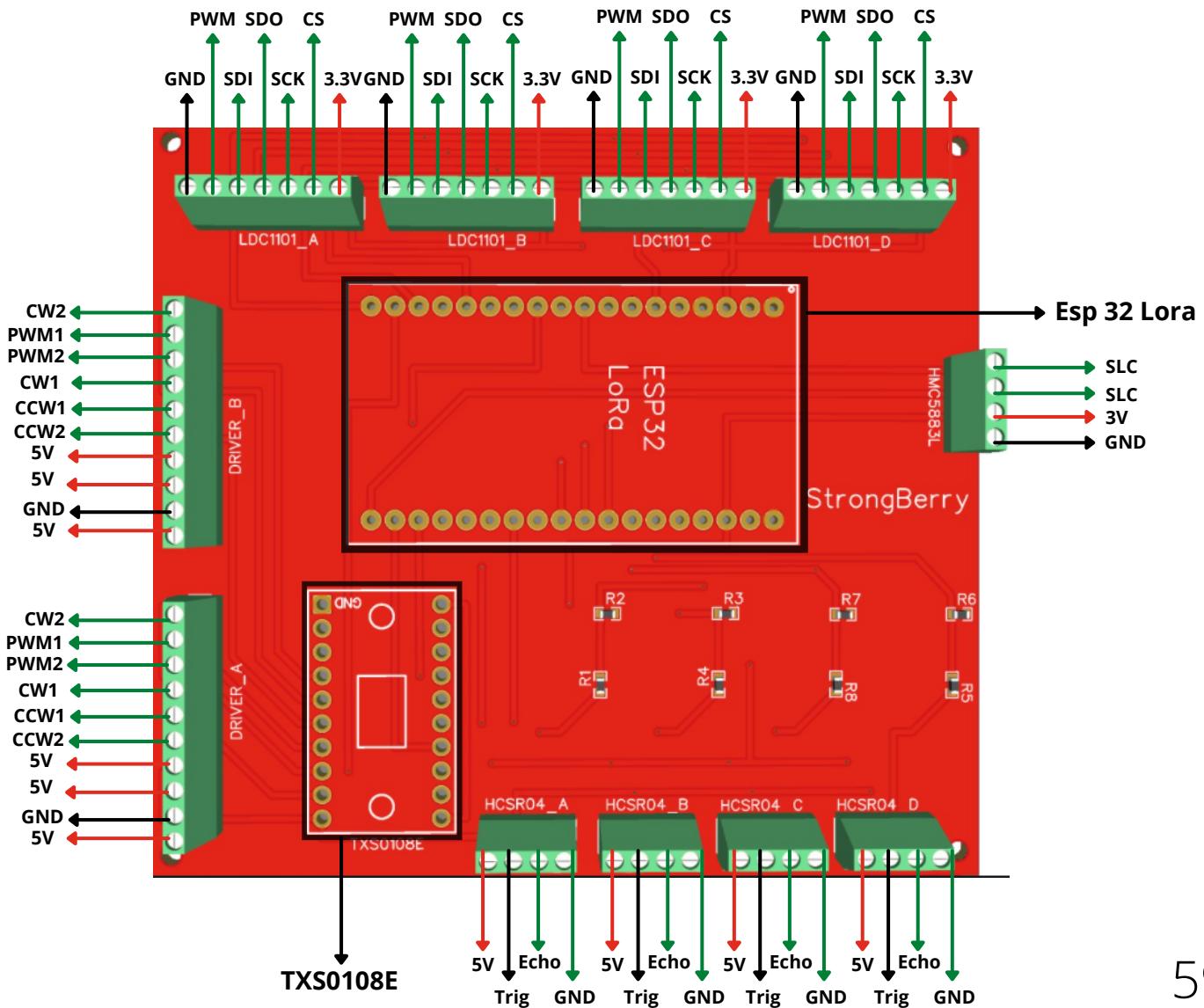


Detalhamento da conexão do Lipo Fuel Gauge Sensor



Conexão Esp32 Lora

Indicador PCI	Conexão	Cabos
Driver_A	Driver Monster Moto Shield	Cabo PP 10x 1mm
Driver_B	Driver Monster Moto Shield	Cabo PP 10x 1mm
TXS0108E	Conversor TXS0108E	Conector Fast Sc Upc
LDC1101_A	LDC1101 Indutance Converter	Cabo PP 7x 1mm
LDC1101_B	LDC1101 Indutance Converter	Cabo PP 7x 1mm
LDC1101_C	LDC1101 Indutance Converter	Cabo PP 7x 1mm
LDC1101_D	LDC1101 Indutance Converter	Cabo PP 7x 1mm
HMC5883L	Sensor Bússola HMC5883I	Cabo PP 4x 1mm
HCSR04_A	Sensor Ultrassônico HCSR04	Cabo PP 4x 1mm
HCSR04_B	Sensor Ultrassônico HCSR04	Cabo PP 4x 1mm
HCSR04_C	Sensor Ultrassônico HCSR04	Cabo PP 4x 1mm
HCSR04_D	Sensor Ultrassônico HCSR04	Cabo PP 4x 1mm



Sistemas de software

Instalação da aplicação StrongBerry

O Sistema StrongBerry é responsável por realizar o gerenciamento das informações recebidas e enviadas ao StrongBerry.

Pré-requisitos

Computador Servidor com acesso a internet para execução da aplicação StrongBerry. Deve possuir instalado as aplicações GIT v2.33.1 ou posterior e Docker v20.10.7 ou posterior.

Instalação dos sistemas

Para instalação e execução dos sistemas

1. Para cada um dos sistemas listados abaixo, obtenha o código da aplicação utilizando o git. (comando A)
 - a. Vehicle API - <https://github.com/PI2-Grupo-8/vehicle-api>
 - b. User API - <https://github.com/PI2-Grupo-8/user-api>
 - c. Sensors Data API - <https://github.com/PI2-Grupo-8/sensors-data-api>
 - d. Front-end - <https://github.com/PI2-Grupo-8/frontend>
2. Crie e configure na pasta raiz do projeto de cada sistema o arquivo .env utilizando como base o arquivo example.env.
3. Inicie cada uma das aplicações via docker-compose (comando B)

Comandos

- A. \$ git clone <URL>
- B. \$ docker-compose up



StrongBerry

APÊNDICE P – Manual do usuário



StrongBerry

Manual do usuário

Índice

Apresentação.....	2
Modo de Uso.....	3
Orientações gerais	3
Abastecimento	4
Carregamento.....	5
Regulagens.....	7
Programação.....	8
Posicionamento.....	9
Acionamento.....	9
Instalação do Gateway Lora.....	10
Uso do aplicativo.....	11
Manutenção do equipamento.....	16
Limpeza e armazenagem.....	20

Apresentação

Parabéns, você acaba de adquirir o Strongberry, um mini trator semi-autônomo pulverizador de fertilizante para cultivos de morango. Antes de fazer a utilização do equipamento, leia atentamente a esse manual para o perfeito funcionamento do seu equipamento.

O StrongBerry foi desenvolvido para promover a automação do processo de fertirrigação no cultivo de morangos, permitindo a aplicação da substância de uma maneira precisa e otimizada, promovendo uma melhora no crescimento da planta e otimizando a utilização de fertilizantes.

Modo de Uso

Orientações gerais

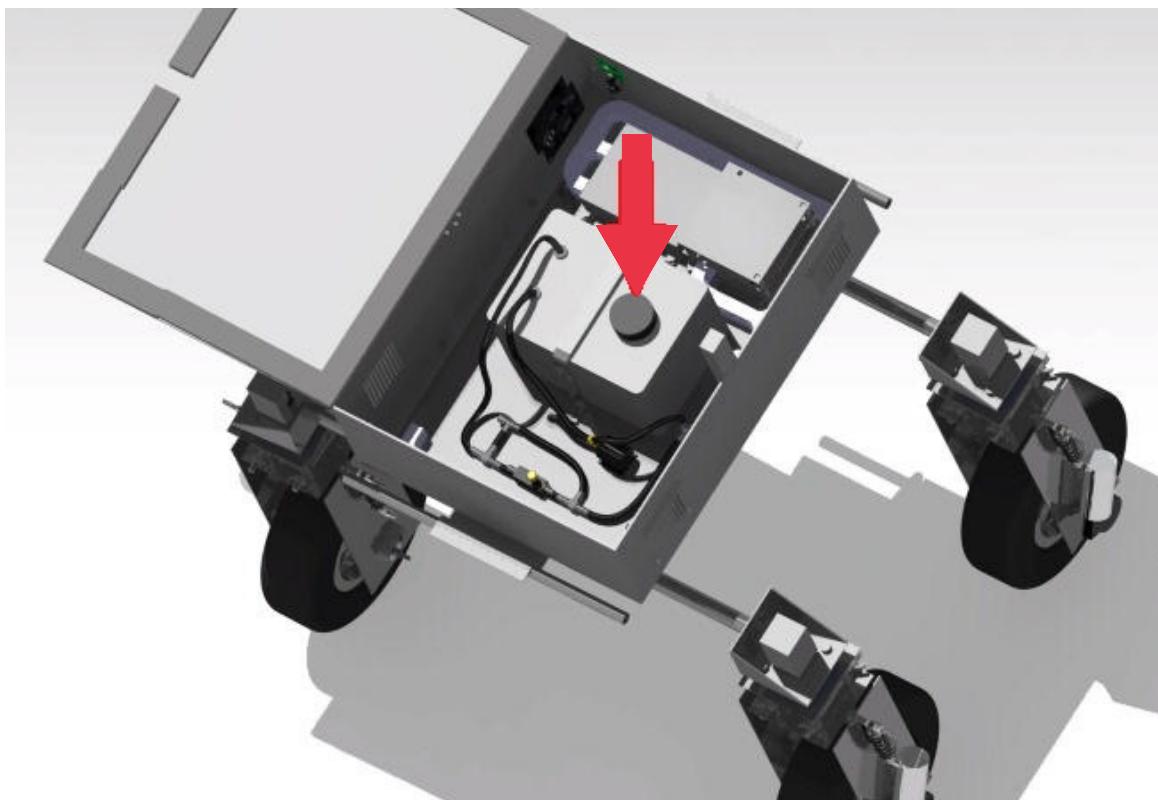
- Não utilize o StrongBerry sem antes ler o manual de instruções.
- Não utilize o StrongBerry em condições adversas de tempo como chuvas de qualquer tipo e ventos fortes.
- Não obstrua o local de operação do StrongBerry de nenhuma forma.
- Não transporte o StrongBerry com ele ligado.
- Não deixe o StrongBerry operando sem nenhum tipo de supervisão.
- Não utilize carregadores que não são recomendados, nem baterias com tensões e correntes que são similares, mas diferentes das recomendadas pelo fabricante.
- Não abasteça o StrongBerry com líquidos com propriedades semelhantes a óleo.
- Não deixe o StrongBerry operar com os pneus descalibrados.
- Não deixe as baterias descarregarem completamente para realizar a recarga.
- Não utiliza o carregador em caso de apresentar fio com fiação exposta.
- Qualquer procedimento que envolva troca ou desacoplamento de algum componente deve ser feito com veículo desligado.

Abastecimento

- Primeiramente, o usuário deverá verificar se há ,no tanque reservatório, a presença de fertilizante antes de por o equipamento em funcionamento, caso não haja, o mesmo deve realizar o abastecimento.
- Abra a tampa do equipamento, retire a tampa do reservatório, e com cuidado, despeje o fertilizante com a quantidade desejada.



- ATENÇÃO! Não ligue o equipamento sem a presença de fertilizante no tanque reservatório. Risco de danificar a bomba hidráulica.
- ATENÇÃO! Certifique de que não há nenhuma impureza no fertilizante ou nos equipamentos utilizados para o abastecimento. Risco de obstrução da linha hidráulica.



CARREGAMENTO

Desacoplamento



- Primeiramente, o usuário deverá verificar se o equipamento se encontra desligado antes de iniciar qualquer tipo de procedimento com as baterias.
- Para isso, basta olhar se o botão responsável pela função de ligar/desligar está na posição de desligado.

Desacoplamento das baterias

- Desconecte a bateria do StrongBerry desacoplando os fios conectados ao resto da estrutura do veículo.
- Realize com cuidado o procedimento para que não ocorra danos nos componentes.

Transporte

- Para o transporte das baterias até o local de carregamento, recomenda-se cuidado por parte do usuário; quedas e impactos podem danificar o seu sistema de funcionamento.
- Nunca transporte a fonte de alimentação segurando-a e/ou pendurando-a pelo cordão elétrico.

Processo de carga

Carga da bateria principal

- ATENÇÃO: Nunca deixe a bateria descarregar completamente para realizar a recarga.
- Para o processo de carregamento da bateria, o usuário deverá conectar a fonte de alimentação na bateria. Essa conexão será realizada por meio de um conector do tipo P4. O carregador usado será uma fonte de alimentação 12,6V 3A bivolt.
- Posteriormente, conectar a fonte já plugada na bateria em uma tomada de uso geral (TUG).
- O tempo de carregamento com essa fonte será de aproximadamente 11 horas e 40 minutos.
- A fonte indicará ao usuário quando a carga estiver completa.
- É importante que não se retire a bateria da tomada antes da carga total.

Carga da bateria secundária

- ATENÇÃO: Nunca deixe a bateria descarregar completamente para realizar a recarga.
- Para o processo de carregamento da bateria, o usuário deverá conectar a fonte de alimentação na bateria. Essa conexão será realizada por meio de um conector do tipo P4. A fonte de alimentação será de 7,5V 1A bivolt, compatível com o conector P4 fêmea da bateria e com tomadas de uso geral.
- Posteriormente, conectar a fonte já plugada na bateria em uma tomada de uso geral (TUG).

- Com essa fonte, o tempo de carregamento é de aproximadamente 4 horas e 25 minutos.
- É importante que não se retire a bateria da tomada antes da carga total.

Cuidados com a fonte

- Equipamento de uso interno, não utilize em ambientes externos.
- Desconecte o plugue da tomada antes de qualquer tipo de ajuste, manutenção ou armazenamento do carregador.
- Não expor à chuva ou ao sol.
- Nunca abra a carcaça do carregador. Sempre que precisar de algum ajuste ou manutenção, entre em contato com o fabricante.
- Utilize apenas as partes e acessórios originais para garantir a segurança do equipamento.

Cuidados gerais durante o carregamento

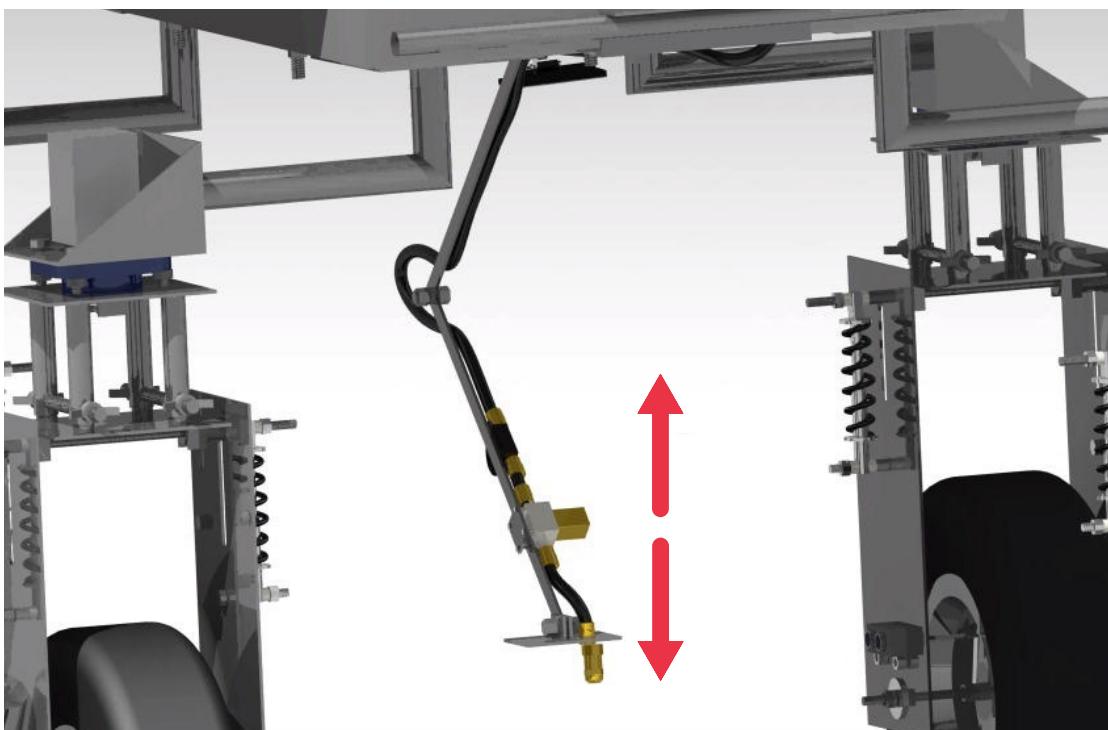


- Recomendamos não deixar em locais com alta umidade e manter fora do alcance de crianças e animais.
- Não deixar carregando em locais úmidos ou molhados.
- Não carregar em locais com riscos de explosão ou incêndio.

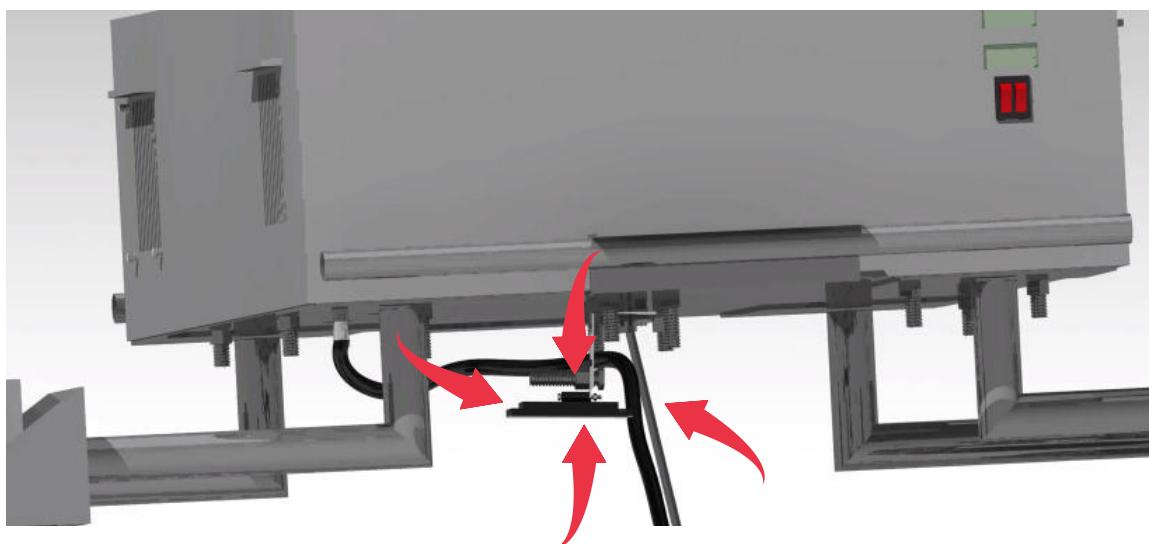
Regulagens

Bico aspersor e câmera

- Após abastecido, o usuário deve realizar a regulagem de altura do bico pulverizador em relação ao solo de modo a estabelecer uma distância ideal do bico à morangueira, de modo que a pulverização alcance a maior parte da planta possível.
- Para a regulagem, utilize uma chave fixa ou estrela de número 19.



- Realizar a regulagem do posicionamento da câmera (paralela ao solo) e faça a limpeza de sua lente com um pano de fibra umedecido.



Programação

Microcontroladores

Para que o StrongBerry atue de forma autônoma, é necessário configurar os parâmetros de ajuste para se adequarem a plantação. Essa programação inicial é realizada por técnicos especializados juntamente com o produtor rural ou técnico agrícola responsável. Esses parâmetros são divididos em parâmetros de percurso e de fertilização

Parâmetros de percurso

As ações tomados pelo StrongBerry durante sua rotina de operação dependem do fornecimento de informações precisas sobre o percurso realizado. Essas informações são:

- Comprimento dos canteiros.
- Número de canteiros a serem percorridos.
- Distância entre as rodas do veículo e o canteiro.

 - O percurso não deve exceder xx km.
 - Deve haver uma distância mínima de 15cm entre a roda e o canteiro em ambos os lados do veículo.

Parâmetros de fertilização

O StrongBerry conta com um sistema de fertilização por microaspersão de alta precisão fazendo uso se um sensor de fluxo para garantir que suas plantas recebam os nutrientes na dosagem adequada. Para isso deve ser programado o volume desejado por planta.



ATENÇÃO! Recomendamos que os ajustes dos parâmetros sejam feitos apenas por técnicos especializados da StrongBerry ou técnicos autorizados com treinamento prévio.

Posicionamento

Transporte

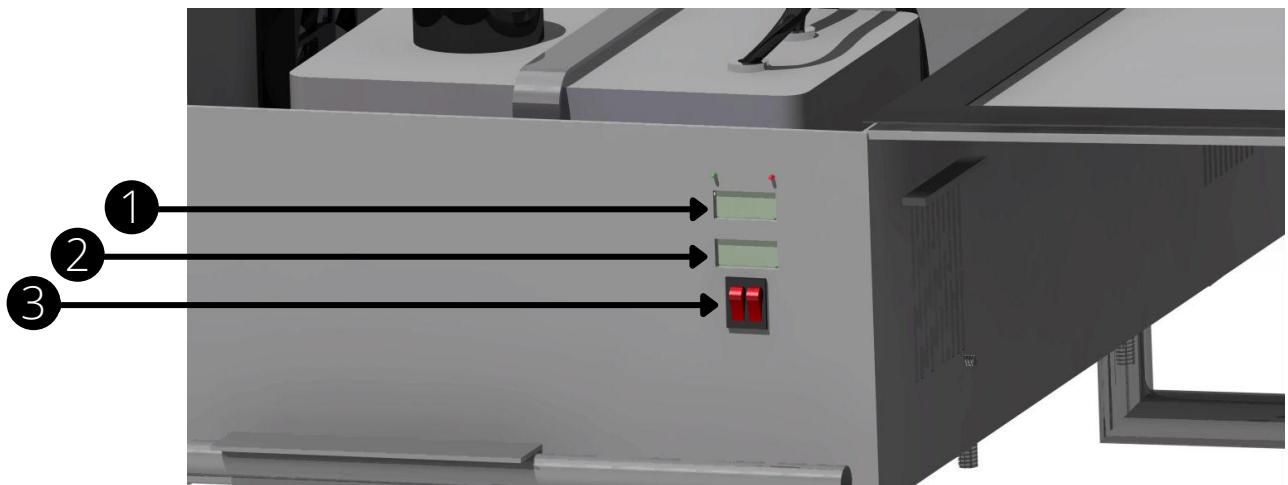
- Com o equipamento desligado, transporte-o até o local de cultivo empurrando pela estrutura tubular ligada diretamente a chapa de suporte principal.

 ATENÇÃO! Não transporte o equipamento o empurrando pela capa de proteção, risco de quebra da mesma.

Alinhamento

- Alinhe o equipamento de modo a que suas rodas estejam paralelas a fileira na qual estão plantadas as morangueiras.

Acionamento



Interruptores - 3

Com o equipamento posicionado no local de inicio, devem ser pressionados ambos os interruptores. Cada interruptor é responsável pelo acionamento de uma das baterias, sendo ambas necessárias para a operação do veículo.

Display - 1 e 2



Após o acionamento, ambos os displays devem se iluminar e apresentar o estado da carga da bateria.



É recomendado que somente se inicie a rotina de operação do veículo com as baterias totalmente carregadas.

Instalação do Gateway LoRa

O Gateway LoRa é responsável por encaminhar as mensagens recebidas do StrongBerry para a aplicação StrongBerry.

Pré-requisitos

Conexão WiFi disponível, fonte de energia 220v e um dispositivo com conexão WiFi.

Instalação dos sistemas

Para instalação e configuração do gateway

1. Conecte o dispositivo Gateway em uma fonte de energia e aguarde 30 segundos para sua inicialização.
2. Conecte um dispositivo na rede WiFi com o nome "StrongBerry" que irá aparecer após a inicialização completa da gateway.
3. Abra seu navegador e realize a configuração da rede de internet que será utilizada pela gateway para o envio e recebimento de informações da aplicação StrongBerry.
4. Clique em "Salvar".

Uso do aplicativo

Login e Cadastro

- Para acessar opções como cadastrar novo veículo, acompanhar os níveis de fertilizante e afins, é necessário estar cadastrado na plataforma. O cadastro pode ser clicando no botão da primeira página, **Cadastrar**. Caso já possua o cadastro, basta preencher as informações de login e senha e selecionar a opção **Entrar**.



The image shows a user interface for a login and registration system. It consists of several rectangular input fields and buttons. At the top is a field for 'Usuário/Email' with a magnifying glass icon. Below it is a field for 'Senha' with a lock icon. A large purple button labeled 'Entrar' (Enter) is positioned centrally below these fields. To the right of the 'Entrar' button is a white button labeled 'Cadastrar' (Register). At the bottom left of the interface is a blue link labeled 'Esqueci minha senha' (Forgot my password).

Recuperação de senha

Caso o usuário tenha um cadastro prévio e esteja com problemas para efetuar o login, basta clicar no botão **Esqueci minha senha**. Será necessário preencher o e-mail e aguardar um novo link gerador de senha que será encaminhado para a caixa de entrada do usuário. O link permitirá criar uma nova senha para o usuário.

Uso do aplicativo

Perfil

- Caso queira conferir informações de perfil, basta clicar no ícone de pessoa na barra superior da página, conforme demonstrado na imagem abaixo.



Logout

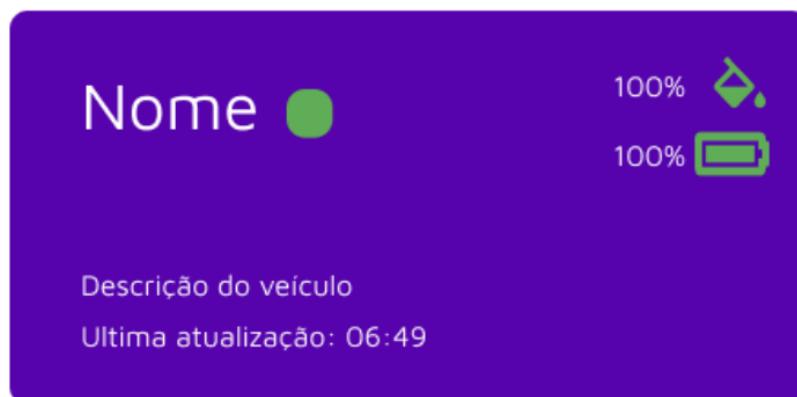
- A opção de sair da conta atualmente *logada* estará sempre disponível para o usuário no canto superior direito.



Conferir informações do veículo

- Uma vez *logado*, o usuário pode conferir informações sobre o veículo na página inicial da aplicação. Informações como quantidade de fertilizante disponível e nível de bateria são mostradas para todos os veículos cadastrados. O **ícone verde** mostra o status do veículo, se estiver ativo no momento fazendo a fertilização, estará verde, se estiver em repouso o ícone ficará vermelho.

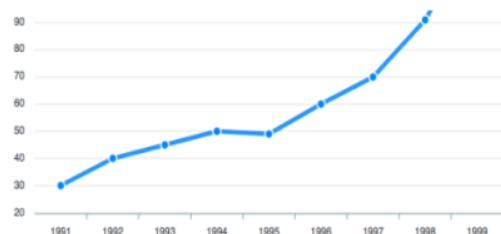
Meus Veiculos



Uso do aplicativo

- Ao clicar no nome do veículo, o usuário possui acesso aos **Detalhes do veículo**, conforme demonstrado abaixo:

Utilização de Bateria

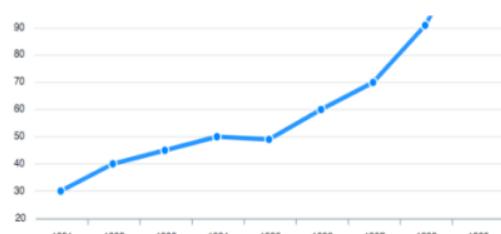


Última atualização: Hoje às 06:49

Bateria: 100%

Fertilizante: 63%

Utilização de Fertilizante



Distancia

Última distância percorrida: 1km

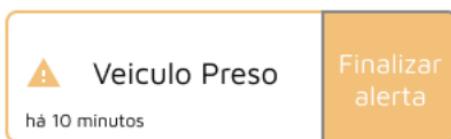
Fertilizante: Exemplo

Quantidade de uso por planta: 10ml

Alertas do veículo

- Caso o veículo passe por algum dano físico, como ficar preso na plantação, o usuário será alertado através da aplicação na **Página do veículo**, na seção **Alertas**, que se encontra no lado direito da tela. O usuário também poderá ver o **Histórico de Alertas** que aquele veículo possui.

Alertas



Histórico de Alertas



Uso do aplicativo

Ligar/Desligar fertilização

- Ainda na tela de informações do veículo é possível alterar seu estado de funcionamento pressionando o ícone de liga/desliga.



Última atualização: Hoje às 06:49

Cadastrar novo veículo

- Para realizar o cadastro de um novo veículo, tenha em mãos o código de quatro dígitos do seu produto. Ao acessar a página de cadastro de novo veículo, preencha as informações de código, nome, descrição, nome do fertilizante que será aplicado e a quantidade de fertilizante por planta e clique em "Cadastrar".

A screenshot of a mobile application interface for registering a new vehicle. At the top, there is a purple header bar with the text "Novo Veículo" and a user profile icon with the name "Jorge". Below the header, the main content area has a white background. It features several input fields: a box for "Código do Produto:" containing four empty square input fields; a field for "Nome:" with a single-line text input; a field for "Descrição:" with a single-line text input; a field for "Fertilizante a ser aplicado:" with a single-line text input; and a field for "Quantidade de fertilizante por planta:" with a single-line text input. At the bottom of the screen, there are two buttons: a red "Cancelar" button on the left and a purple "Cadastrar" button on the right.

Uso do aplicativo

Editar veículo

- Para realizar a edição de um veículo existente, clique no ícone de edição e ocorrerá o redirecionamento para a página abaixo, onde será possível editar nome, descrição, nome do fertilizante que será aplicado e a quantidade de fertilizante por planta

The screenshot shows a user interface for editing a vehicle. At the top right, there is a purple bar with the name "Jorge" and a profile icon. Below this, the title "Editar Veiculo" is displayed in a purple header. The main form area has a light gray background and contains the following fields:

- Código do Produto:** JK R 3
- Nome:** [Empty input field]
- Descrição:** [Empty input field]
- Fertilizante a ser aplicado:** [Empty input field]
- Quantidade de fertilizante por planta:** [Empty input field]

At the bottom of the form, there are two buttons: "Apagar Veiculo" (in a red box) and "Cadastrar" (in a purple box).

Manutenção

O StrongBerry é um máquina agrícola e exige manutenção feita por profissionais técnicos autorizados. A empresa oferece serviços de manutenção preventiva e manutenção corretiva (quando um componente apresenta falha), sendo o histórico de manutenções e funcionamento do produto armazenado pela empresa a fim de garantir melhores serviços ao usuário.

Manutenção Preventiva	
Componente	Período de Manutenção
BMP280	Verificação a cada 12 meses.
LDC1101 Click	Verificação a cada 12 meses e limpeza a cada 6 meses.
YF-S201	Verificação e limpeza a cada 6 meses.
HC-SR04	Verificação a cada 12 meses e limpeza a cada 6 meses.
TOL-10617	Verificação a cada 12 meses.
TXS0108E	Verificação a cada 12 meses.
Webcam	Verificação a cada 12 meses.
Raspberry Pi 3B+	Verificação de sinais e conexões a cada 12 meses.
PCI - Raspberry Pi 3B+	Verificação de conexões a cada 12 meses.
ESP32-LoRa	Verificação de sinais e conexões a cada 12 meses.
PCI ESP32-LoRa	Verificação de sinais e conexões a cada 12 meses.
Motores	Verificação a cada 12 meses.
Válvula Solenoide	Verificação e limpeza a cada 12 meses.
Estruturas metálicas	Verificação da camada protetiva dos componentes metálicos e integridade das soldas a cada mês.

Estruturas metálicas	Verificar existência de trincas que indiquem fadiga do material a cada mês.
Rolamentos	Verificação da integridade a cada 12 meses.
Rodas e pneus	Calibragem e verificação visual dos pneus semanalmente.
Tanque reservatório	Verificação da integridade, bem como sua fixação e presença de vazamentos semanalmente.
Mangueiras hidráulicas	Verificação das condições gerais semanalmente.
Conexões hidráulicas	Verificação de vazamentos diariamente.
Bico aspersor	Verificação da forma e da continuidade do spray.
StrongBerry	Armazenamento em local protegido de sol e chiva diariamente.
Bateria principal	Análise visual de algum dano que comprometa a integridade física semanalmente.
Bateria secundária	Análise visual de algum dano que comprometa a integridade física semanalmente.
Bateria principal	Verificar se a bateria está mantendo a carga mensalmente.
Bateria secundária	Verificar se a bateria está mantendo a carga mensalmente.
Cabos elétricos	Verificação visual de integridade física dos cabos mensalmente.
Carregadores	Verificação visual de integridade física dos cabos semanalmente.

Carregadores	Verificação se os carregadores estão passando a corrente corretamente semanalmente.
--------------	---

Manutenção Corretiva

Componente	Medida a ser tomada
Sensores	Troca do componente.
Webcam	Verificação a cada 12 meses.
Raspberry Pi 3B+	Reprogramação ou troca do componente.
PCI - Raspberry Pi 3B+	Substituição de partes defeituosas ou troca do componente.
ESP32-LoRa	Reprogramação ou troca do componente
PCI ESP32-LoRa	Substituição de partes danificadas ou troca do componente.
Motores	Troca de componente danificado ou do próprio motor.
Válvula Solenoide	Troca de componente danificado ou da própria válvula.
Estrutura metálicas	Reaplicação da proteção da estrutura metálica.
Estrutura metálicas	Realização de uma nova soldagem ou substituição da peça.
Parafusos e porcas	Reposição de peças ausentes e/ ou danificadas
Rodas e pneus	Substituição mediante furos, rasgos ou ressecamento dos pneus
Tanque reservatório	Substituição perante apresentação de furos ou rachaduras
Mangueiras hidráulicas	Substituição perante apresentação de furos ou rachaduras

Conexões hidráulicas	Refazer conexão defeituosa
Bomba hidráulica	Substituição em caso de falha
Bico aspersor	Desmontagem para limpeza ou substituição
Capa de proteção e tampa	Desmontagem para limpeza ou substituição
Bateria principal	Troca por um modelo igual
Bateria secundária	Troca por um modelo igual
Carregador	Troca por um modelo igual
Cabos elétricos	Troca/reposição

Substituições



- Com relação a substituição dos componentes, é recomendada a procura da assistência técnica especializada, pois a troca feita por pessoa não capacitada, pode implicar no não funcionamento correto do equipamento além de oferecer riscos a integridade física a quem realiza o procedimento.

Limpeza e armazenagem

Limpeza

- Para limpeza do equipamento, utilize um pano umedecido em água para a estrutura em geral.
-  • ATENÇÃO! Não faça a limpeza do equipamento com a aplicação direta de água de nenhuma forma. Risco de danificar os equipamentos eletrônicos constituintes do equipamento.
- Para evitar acidentes, sempre desconecte os equipamentos da tomada antes de limpar ou realizar uma manutenção. Isso irá conservar tanto as baterias quanto o carregador. Recomenda-se uma manutenção rotineira que inclui remoção da sujeira superficial com pano seco.

Descarte



- Não descartar componentes elétricos, eletrônicos, peças e partes do produto no lixo comum. Separe e encaminhe para coleta seletiva ou verifique com o fabricante a possibilidade de uma troca do componente usado por um novo, conforme a política da empresa.

Armazenamento

- Faça o armazenamento do Strongberry em um local coberto protegido das intempéries climáticas.

APÊNDICE Q – Análise de Convergência de Malha

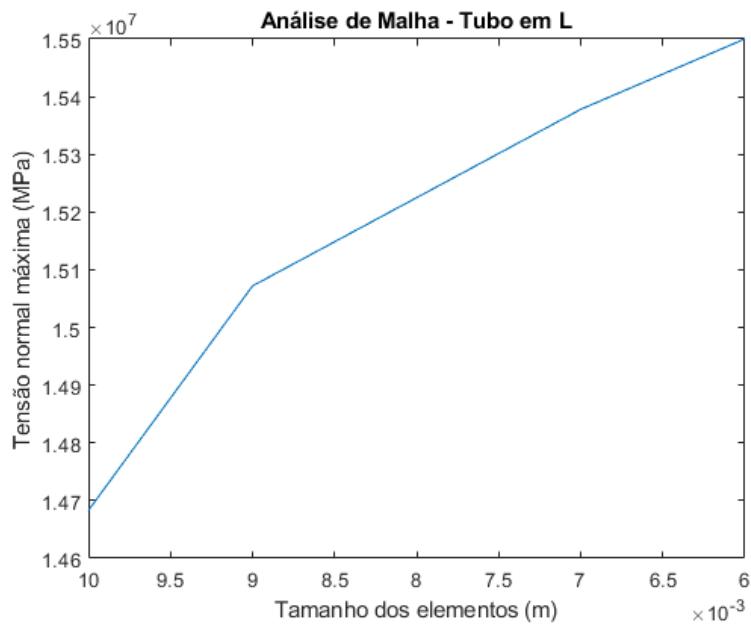


Figura 136 – Análise de convergência do Tubo em L. Fonte:Autores.

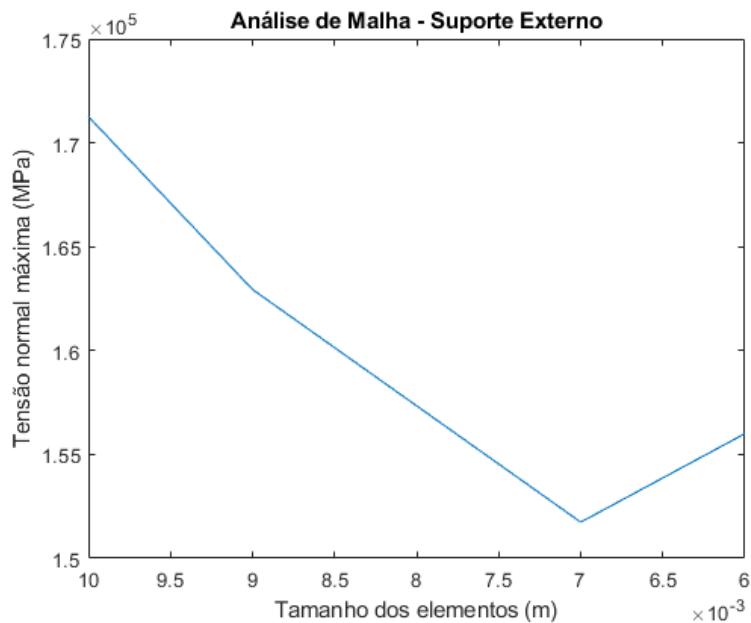


Figura 137 – Análise de convergência do suporte externo. Fonte: Autores.

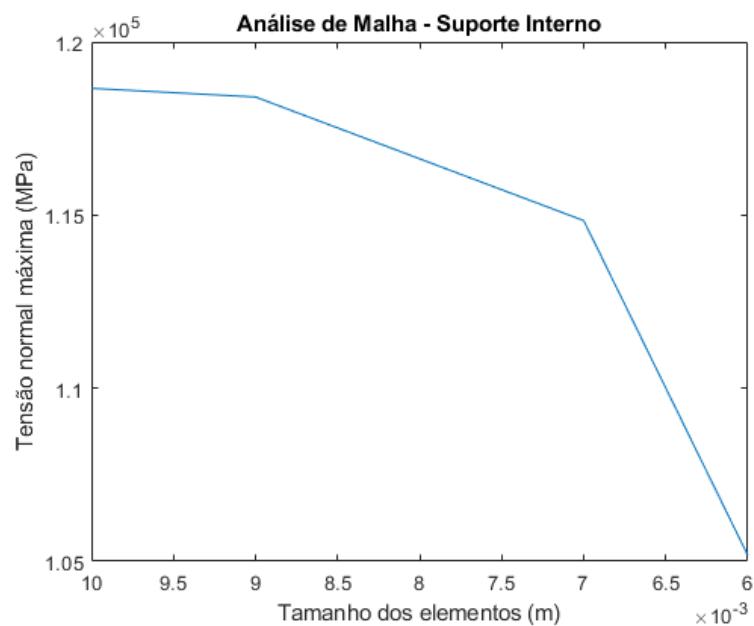


Figura 138 – Análise de convergência do suporte interno. Fonte: Autores.

APÊNDICE R – Reppositórios

Para a implementação do projeto foi criado uma organização no GitHub, [PI2-Grupo-8](#). Nessa organização possuem os seguintes repositórios:

- **docs** - Documentação do projeto.
- **frontend** - Frontend web da aplicação, desenvolvido em React JS.
- **sensors-data-api** - Microsserviço de dados dos sensores e alertas do veículo, desenvolvido em Node JS.
- **vehicle-api** - Microsserviço de veículos, desenvolvido em Node JS.
- **user-api** - Microsserviço de usuário e autenticação do sistema, desenvolvido em Node JS.
- **sistema-embarcado** - Sistema embarcado no veículo, desenvolvido em C.
- **Estruturas** - Arquivos desenvolvidos pelo subsistema estrutural.

S Análise de Riscos

Os riscos de um projeto são eventos incertos que podem prejudicar o desempenho final do projeto, podendo acontecer em momentos aleatórios durante a execução do projeto, mas não são totalmente imprevisíveis. É possível traçar e qualificar os riscos presentes no trabalho, qual a possibilidade de acontecer e como vai impactar na execução.

O plano de risco elaborado tem como finalidade descrever e qualificar quais são os possíveis riscos e como eles poderão ser controlados e monitorados ao longo de todo o processo. Ele procura compreender seus impactos e formas de prevenir ou mitigar os eventuais riscos por meio da Estrutura Analítica de Riscos (EAR), que auxilia na identificação riscos no projeto. Ou seja, apresenta as principais categorias de risco na forma de um guia para a análise de antecedentes, documentos e indagações de partes relacionadas, de forma a economizar tempo na identificação dos riscos. Os riscos podem ser divididos nas seguintes categorias para este documento:

Riscos de Produto: Se relacionam à mudanças no escopo, tempo de entrega, falta de recursos humanos, comunicação e interesse das partes.

Riscos de Projeto: Se relacionam às prioridades de processos, estratégia e estrutura.

Riscos de Externos: Se relacionam aos fatores ambientais e condições adversas pessoais.

S.1 Matriz de Riscos

A matriz de risco é uma importante ferramenta para realizar a gestão de riscos dentro de um projeto, permitindo uma visibilidade maior na hora de tomadas de decisões. Ela é utilizada para determinar a probabilidade e impacto de um risco, ou seja, se ele está controlado e o seu tamanho.

Para o projeto, foi escolhida uma matriz 3x3 e a prioridade de risco foi calculada multiplicando os dois eixos da matriz.

A probabilidade pode ser dividida em três categorias:

- Provável: possui mais de 50% de chance de acontecer. Ocorre frequentemente durante o projeto.
- Ocasional: entre 10% a 50% de chance de acontecer. É provável que ocorra em algum momento durante a operação.

- Improvável: menos de 10% de chance de acontecer. Evento improvável, mas tem chance de acontecer.

O impacto também é separado em três categorias:

- Crítico: interfere gravemente nas operações do projeto. Pode causar perda do sistema ou grande perda dos lucros.
- Moderado: o conserto ou substituição tem um impacto significativo nas operações ou pode ocasionar a perda de função por um curto período de tempo.
- Leve: há um custo baixo de intervenção ou causa pequenos impactos no projeto.

Por fim, obtemos a seguinte matriz de probabilidade x impacto e sua respectiva prioridade:

Tabela 34 – Matriz de Riscos

Probabilidade/Impacto	Crítico	Moderado	Leve
Provável	Alta	Alta	Média
Ocasional	Alta	Média	Baixa
Improvável	Média	Baixa	Baixa

S.2 Descrição dos Riscos

S.2.1 Riscos do Projeto, Externos e do Produto

Tabela 35 – Riscos do Projeto

ID	Riscos	Efeitos
RN1	Desistência de membros da equipe	Sobrecarga nas tarefas, uma vez que os trabalhos serão redistribuídos
RN2	Falta de capacitação técnica	Qualidade de entrega de resultado abaixo do padrão
RN3	Falha na comunicação entre as partes	Acarreta em erros e perda de informações importantes
RN4	Alteração da arquitetura geral e escopo	Altera o cronograma e trabalho, pois modifica as soluções antes já elaboradas
RN5	Falha nos sistemas de forma individual	Não entrega de um subsistema e, consequentemente, não entrega de uma parte do projeto
RN6	Priorização inapropriada	Gera estimativa de refatoração do código e produtividade
RN7	Falha na identificação dos requisitos	Pouca qualidade na solução. Produto final não irá atender às expectativas dos Stakeholders envolvidos

Tabela 36 – Riscos Externos

ID	Riscos	Efeitos
RN8	Dificuldade de comunicação com os produtores de morango	Levantamento não completo das necessidades do produtor
RN9	Integrante por algum motivo não poder entregar sua parte	Parte do projeto não será feita
RN10	Presença de animais de pequeno porte ou insetos	Pode comprometer a integridade dos componentes do produto

Tabela 37 – Riscos do Produto

ID	Riscos	Efeitos
RN11	Armazenamento incorreto/Exposição a intempéries climáticas	Pode ocorrer danos em todos os componentes
RN12	Manuseio errado por parte do produtor	Danos pequenos ou grandes ao veículo semi autônomo
RN13	Falha individual de algum componente	Atrapalha o funcionamento de outras partes do veículo semiautônomo, não atendendo seus requisitos
RN14	Não atendimento das expectativas do produto	Mais trabalho, uma vez que será refeito os requisitos e os códigos

Tabela 38 – Ações e Riscos

ID	Ação	Ação Reativa	Probabilidade	Impacto	Prioridades
RN1	Aceitar	Realocar as tarefas	Improvável	Crítico	Média
RN2	Mitigar	Escolher integrantes mais capacitados e não deixar o escopo menos trabalhoso	Ocasional	Moderado	Média
RN3	Prevenir	Realizar encontros com toda a equipe, se possível	Ocasional	Crítico	Alta
RN4	Prevenir	Procurar ajuda dos professores e suportes externos	Improvável	Crítico	Média
RN5	Prevenir	Atenção dos supervisores para que tudo saia corretamente	Improvável	Crítico	Média
RN6	Prevenir	Usar técnicas para definir qual é a prioridade e avaliar constantemente o projeto	Improvável	Moderado	Baixa
RN7	Prevenir	Estudos sobre os requisitos de cada área	Improvável	Moderado	Baixa
RN8	Mitigar	Estudos sobre o tema por meio de fontes confiáveis	Improvável	Moderado	Baixa
RN9	Aceitar	Remanejar as tarefas até que a pessoa esteja apta a exercer sua função	Improvável	Crítico	Média
RN10	Mitigar	Vedar as partes mais sensíveis dos componentes e armazenar corretamente	Ocasional	Crítico	Alta
RN11	Mitigar	Deixar o produto armazenado em local correto sem ações climáticas quando não estiver em uso	Improvável	Moderado	Baixa
RN12	Prevenir	Indicar ao produtor a forma de uso correto do veículo semi-autônomo	Improvável	Moderado	Baixa
RN13	Prevenir	Atenção aos detalhes na parte técnica de cada área/testes de simulação para validar o sistema	Improvável	Crítico	Média
RN14	Prevenir	Realizar uma pesquisa de mercado e avaliar o interesse dos produtores	Improvável	Crítico	Média

S.3 Riscos Técnicos

S.3.1 Riscos Estruturais

Tabela 39 – Riscos Estruturais

ID	Riscos	Tipo	Efeito
RES1	Dificuldade na obtenção de materiais	Produção	Inviabilidade na produção das peças
RES2	Dimensionamento inadequado dos componentes estruturais	Produção	Projeto fora de especificações
RES3	Soldas de má qualidade ou mal executadas	Produção	Não conexão entre os constituintes das peças. Colapso da estrutura
RES4	Aquisição de materiais defeituosos ou fora de especificação	Produção	Inviabilidade na confecção das peças ou mudanças nos parâmetros da peça já estabelecidos
RES5	Falta de acesso as ferramentas adequadas	Produção	Inviabilidade de produção das peças e/ou produção de peças defeituosas
RES6	Abandono de profissional no projeto	Produção	Não produção das peças necessárias
RES7	Danificação ou perfuração do tanque reservatório	Montagem	Vazamentos e perda do fertilizante armazenado
RES8	Aterramento incorreto	Montagem	Danificação dos componentes de controle e/ou choque elétrico ao usuário
RES9	Uso de ferramentas inadequadas	Montagem	Montagem inadequada e danificação da estrutura
RES10	Montagem por pessoa não capacitada	Montagem	Montagem inadequada levando ao não funcionamento correto do equipamento e danificação ao equipamento

RES11	Falta de cuidado no manuseio das peças	Montagem	Inviabilidade da montagem e funcionamento do produto
RES12	Excesso de torque nas porcas e parafusos	Montagem	Ineficiência na conexão das peças podendo gerar danos ao produto
RES13	Perda dos componentes	Montagem	Inviabilidade na montagem do produto
RES14	Pressão baixa na linha de pulverização	Uso/ Manutenção	Não pulverização do fertilizante sobre a planta
RES15	Má vedação do sistema hidráulico	Uso/ Manutenção	Desperdício do fertilizante e pressão insuficiente na linha de alimentação
RES16	Entupimento do bico de pulverização	Uso/ Manutenção	Aumento de pressão na linha podendo romper mangueiras e conexões e/ou danificar a bomba de injeção
RES17	Pressão elevada de mais na linha de pulverização	Uso/ Manutenção	Rompimento de mangueiras e conexões, danificação da bomba injetora e desperdício de fertilizante pulverizado
RES18	Risco de furar/rasgar os pneus	Uso/ Manutenção	Impossibilidade de movimento do equipamento
RES19	Risco de capotamento	Uso/ Manutenção	Danos ao equipamento, perda de fertilizante e danos ao cultivo
RES20	Afrouxamento dos parafusos	Uso/ Manutenção	Inoperabilidade do equipamento, colapso da estrutura, danos a estrutura e cultivo
RES21	Condicionamento inadequado do equipamento	Uso/ Manutenção	Danos a estrutura e componentes eletrônicos e baterias

Tabela 40 – Ações dos riscos

ID	Ação	Ação Reativa	Probabilidade	Impacto	Prioridades
RES1	Mitigar	Variedade de fornecedores e mais opções de materiais equivalentes	Ocasional	Leve	Baixa
RES2	Prevenir	Readequação das dimensões para atendimento dos critérios	Ocasional	Leve	Baixa
RES3	Prevenir	Ser feita por profissional experiente	Ocasional	Crítico	Alta
RES4	Prevenir	Elaborar uma lista detalhada sobre as características do material	Improvável	Crítico	Média
RES5	Mitigar	Buscar adequar a produção ao que é disponível, na medida do possível	Ocasional	Moderado	Média
RES6	Aceitar	Redirecionamento da atividade a outro membro, se possível, ou convocação de um outro profissional	Ocasional	Crítico	Alta

RES7	Prevenir	Cuidados na montagem, por proteções no tanque	Improvável	Moderado	Baixa
RES8	Prevenir	Inspecionar as conexões, aplicar proteções nas conexões	Improvável	Moderado	Baixa
RES9	Prevenir	Trabalhar com as ferramentas adequadas ao ao componente	Ocasional	Moderado	Média
RES10	Prevenir	Seguir um plano de montagem, como manual de instruções, ou orientação de pessoa capacitada	Ocasional	Crítico	Alta
RES11	Prevenir	Manusear as peças com o devido cuidado	Ocasional	Crítico	Alta
RES12	Mitigar	Uso de ferramentas adequadas para este fim (torquímetro)	Improvável	Leve	Baixa
RES13	Prevenir	Organizar o local de montagem e/ou ter peças sobressalentes	Ocasional	Moderado	Média

RES14	Prevenir	Utilização de uma bomba adequada, assim como mangueiras e ter boas vedações nas conexões	Improvável	Moderado	Baixa
RES15	Mitigar	Aplicação correta e uso de bons elementos vedantes e manutenção do sistema	Ocasional	Crítico	Alta
RES16	Mitigar	Uso de elementos filtrantes, além de manutenção periódica no sistema	Ocasional	Crítico	Alta
RES17	Prevenir	Uso de bomba correta, limpeza do elemento filtrante, manutenção do sistema	Improvável	Crítico	Média
RES18	Aceitar	Inspeção prévia do local de utilização e armazenagem	Improvável	Crítico	Média
RES19	Prevenir	Limitar a velocidade, local de uso e utilizar elementos de amortecimento	Improvável	Crítico	Média

RES20	Prevenir	Manutenção regular do equipamento, aplicar o torque adequado aos parafusos	Improvável	Moderado	Baixa
RES21	Mitigar	Ter um local que proteja o equipamento das intempéries climáticas quando fora de utilização	Ocasional	Moderado	Média

S.3.2 Riscos Eletrônicos

Os riscos relacionados ao subsistema responsável pela matriz eletrônica do projeto estão descrito de acordo com a tabela a seguir:

Tabela 41 – Riscos Eletrônicos

ID	Riscos	Tipo	Efeitos
REL1	Falha dos sensores	Produção	Perda de funções importantes do sistema eletrônico
REL2	Especificação inadequada dos sensores	Produção	Perca ou mal funcionamento do sensor específico
REL3	Subdimensionamento do microcontrolador	Produção	Quantidade de portas necessárias para o sistema maior que as disponíveis
REL4	Hiperdimensionamento dos motores	Produção	Aumento do custo do projeto
REL5	Subdimensionamento dos motores	Produção	O Strongberry não será capaz de se mover
REL6	Subdimensionamento dos drivers dos motores	Produção	Perda do controle da velocidade e direção do Strongberry, realizando danos à plantação

REL7	Queima de componentes eletrônicos	Produção	Perda da função do componente queimado e dos afetados.
REL8	Calibração e configuração dos sistemas sensoriais inadequada	Montagem	Medição e dados fornecidos errados
REL9	Conexão entre o microcontrolador e os sensores incorreta	Montagem	Mal funcionamento do sistema eletroeletrônico
REL10	Soldagem errada do circuito	Montagem	Danos ao circuito e possível perda de componentes eletrônicos
REL11	Reparos dos sistemas inadequados	Uso/ Manutenção	Danos ao circuito integrado do sistema

Tabela 42 – Ações dos riscos

ID	Ação	Ação Reativa	Probabilidade	Impacto	Prioridades
REL1	Prevenir	Comprar de bons fornecedores, realizar testes de qualidade	Ocasional	Moderado	Média
REL2	Prevenir	Estudos acerca da problemática e da melhor solução possível.	Improvável	Moderado	Alta
REL3	Prevenir	Estudo das especificações dos microcontroladores disponíveis e qual se adequa mais em nosso projeto	Improvável	Moderado	Média
REL4	Mitigar	Dimensionamento correto das especificações do motor necessárias.	Improvável	Leve	Baixa

REL5	Prevenir	Dimensionamento correto das especificações do motor necessárias	Improvável	Moderado	Alta
REL6	Prevenir	Dimensionamento das especificações necessárias e compatibilidade com os motores definidos.	Improvável	Crítico	Alta
REL7	Mitigar	Realizando calibrações, testes e simulações antes de exercer a montagem do circuito	Ocasional	Crítico	Alta
REL8	Prevenir	Realizando testes e simulações de controle e ajustes necessários	Ocasional	Moderado	Alta
REL9	Prevenir	Verificando as funções dos sistemas de forma isolada e em conjunto de cada subsistema	Ocasional	Moderado	Alta
REL10	Prevenir	Realizando a montagem da placa de circuito impressa com cuidado e atenção, utilizando os materiais adequados para sua confecção	Improvável	Moderado	Alta
REL11	Mitigar	Especialização dos técnicos responsáveis para manutenção do sistema	Ocasional	Moderado	Baixa

S.3.3 Riscos Energéticos

Os riscos relacionados ao subsistema de energia foram levantados e estão dispostos na tabela a seguir.

Tabela 43 – Riscos de Energia

ID	Riscos	Tipo	Efeitos
REN1	Subdimensionamento das baterias	Produção	Fornecimento insuficiente de tensão/corrente para os componentes.
REN2	Superdimensionamento das baterias	Produção	Subutilização das baterias; custo excessivo.
REN3	da bitola dos fios	Produção	Fiação inadequada; superaquecimento; danos à fiação; curto circuito.
REN4	Superdimensionamento da bitola dos fios	Produção	Subutilização da fiação; custo excessivo.
REN5	Subdimensionamento da metragem da fiação	Produção	Novo dimensionamento; aquisição de mais material; uso de emendas na fiação.
REN6	Superdimensionamento da metragem da fiação	Produção	Custo excessivo.
REN7	Instalação da fiação com metragem inferior à indicada	Montagem	Impossibilidade de conexão entre os componentes elétricos; esforços excessivos, levando a desprendimentos de conexões ou ruptura da fiação.
REN8	Instalação da fiação com metragem superior à indicada	Montagem	Sobras e dobras de fiação dentro do equipamento.
REN9	Alocação da bateria em local diferente do indicado no equipamento	Montagem	Inviabilizar a utilização do equipamento.
REN10	Recarga incompleta da bateria de lítio	Uso/ Manutenção	O StrongBerry não cumprirá o percurso completo.

REN11	Uso de fonte de alimentação diferente da indicada para carga da bateria de lítio	Uso/ Manutenção	Problemas com sub/sobretensão e/ ou sub/sobrecorrente durante o carregamento da bateria de lítio.
REN12	Expor a bateria de lítio ao sol durante a recarga	Uso/ Manutenção	Superaquecimento; maior tempo de carga; danos à estrutura da mesma.
REN13	Reencaixe incorreto da bateria de lítio no veículo semiautônomo	Uso/ Manutenção	Bateria com acoplamento instável; ruídos no veículo semiautônomo; danos às estruturas internas e componentes eletrônicos.
REN14	Tentativa de abertura da bateria de lítio ou da bateria selada	Uso/ Manutenção	Danos irreversíveis à bateria; risco de explosão; contaminação do usuário/local.
REN15	Não observação da necessidade de recarga	Uso/ Manutenção	Parada repentina e interrupção da pulverização.

Enquanto a classificação dos riscos de energia está disposta na tabela abaixo.

Tabela 44 – Ações dos riscos de energia

ID	Ação	Ação Reativa	Probabilidade	Impacto	Prioridades
REN1	Prevenir	Redimensionar	Improvável	Moderado	Baixa
REN2	Prevenir	Redimensionar	Improvável	Moderado	Baixa
REN3	Prevenir	Redimensionar	Improvável	Moderado	Baixa
REN4	Prevenir	Redimensionar	Improvável	Moderado	Baixa
REN5	Prevenir	Redimensionar	Improvável	Moderado	Baixa
REN6	Prevenir	Redimensionar	Improvável	Moderado	Baixa
REN7	Mitigar	Substituição da fiação	Improvável	Moderado	Baixa
REN8	Mitigar	Corte de excessos de fiação	Ocasional	Leve	Baixa
REN9	Prevenir	Indicar a localização correta dos componentes	Ocasional	Crítico	Alta

REN10	Mitigar	Recarregar completamente	Provável	Crítico	Alta
REN11	Prevenir	Instruir o usuário a utilizar a fonte de alimentação indicada e seguir as instruções de carregamento	Ocasional	Crítico	Alta
REN12	Prevenir	Instruir o usuário a acondicionar bem a bateria	Ocasional	Crítico	Alta
REN13	Prevenir	Indicar o local correto de acoplamento de bateria dentro do veículo semiautônomo	Ocasional	Leve	Baixa
REN14	Mitigar	Instruir o usuário a não realizar essa ação	Improvável	Crítico	Média
REN15	Prevenir	Alertar da necessidade de carga	Ocasional	Crítico	Alta

S.3.4 Riscos Software

Tabela 45 – Riscos de Software

ID	Riscos	Tipo	Efeitos
RSW01	Falta de conhecimento da equipe com as tecnologias	Produção	Atrasos nas entregas
RSW02	Indefinição de escopo	Produção	Priorização errada das atividades
RSW03	Dificuldade em integrar com os sistemas das outras equipes	Montagem	Projeto não integrado a outras áreas
RSW04	Dificuldade em simular os dados dos sensores	Uso/ Manutenção	Equívocos sobre a implementação do recebimento de sinais e retrabalho
RSW05	Dificuldade de configurar o ambiente para desenvolvimento do sistema embarcado	Uso/ Manutenção	Atrasos no desenvolvimento do sistema embarcado

RSW06	Dificuldade de integração com o LoRa	Uso/ Manutenção	Atrasos no desenvolvimento da comunicação do sistema embarcado com a API
RSW07	Mudança de arquitetura	Produção	Atraso no desenvolvimento e retrabalho

Tabela 46 – Ações e Riscos

ID	Ação	Ação Reativa	Probabilidade	Impacto	Prioridades
RSW01	Prevenir	Estudo do time sobre as tecnologias escolhidas	Ocasional	Moderado	Média
RSW02	Prevenir	Definir junto ao time as definições do escopo do projeto	Ocasional	Moderado	Média
RSW03	Mitigar	Manter comunicação e trabalhar com as outras equipes para definir a interação entre os sistemas	Ocasional	Crítico	Alta
RSW04	Prevenir	Pesquisar sobre o protocolo de comunicação de cada um dos sensores que serão utilizados	Ocasional	Moderado	Média
RSW05	Mitigar	Utilizar plaquinhas disponibilizadas por membros do time e a utilização de ambientes simulados	Provável	Crítico	Alta
RSW06	Prevenir	Estudos sobre a tecnologia LoRa e como implementá-la	Provável	Crítico	Alta
RSW07	Prevenir	Definir uma arquitetura sólida com integrações	Improvável	Crítico	Média

T Metodologia

T.1 Scrum

O empirismo é algo constante no Scrum, que é um framework que auxilia pessoas, times e organizações a gerar valor a partir de soluções dinâmicas para problemas complexos, permitindo fazer ajustes apropriados para sua melhor aplicação. O Scrum é um framework propositalmente incompleto, onde define apenas as partes necessárias para aplicar a teoria do Scrum.

O Scrum tem em sua essência a redução de desperdício e foco no que realmente importa. Nele é empregado um processo iterativo e incremental, que aborda a otimização e predictabilidade e o controle de riscos. No Scrum há um ponto importante, que é o engajamento de grupos de pessoas que coletivamente tem as habilidades necessárias para alcançar os objetivos do projeto e compartilhar e adquirir novas habilidades.

O Scrum tem alguns pilares empíricos que são o porquê dos seus eventos serem efetivos; Esses pilares são: transparência, inspeção e adaptação ([SCRUM GUIDES, 2020](#)).

T.1.1 Time Scrum

A unidade fundamental do Scrum é um time pequeno de pessoas. O time Scrum consiste em um Scrum Master, Um Product Owner, e os desenvolvedores. A partir daí o Scrum não tem sub times e nem hierarquias. O time é responsável por todas as atividades relacionadas aos colaboradores externos, como verificação, manutenção, experimentos, pesquisa e desenvolvimento. O time tem a responsabilidade de criação de algo valioso e utilizável a cada Sprint.

T.1.2 Scrum Master

O Scrum master é responsável pela realização do Scrum e ajuda o time a entender a metodologia. Na teoria e na prática, tanto para o time quanto para a organização em si, ele é responsável pela efetividade e faz com que o time melhore práticas do Scrum framework. O papel é visto como um líder que trabalha com a organização e com o time.

Essa atribuição é dada para o coordenador geral eleito pelo grupo, que irá exercer as funções e necessidades do time, como um Scrum Master.

T.1.3 Product Owner

O Product owner, em tradução literal “dono do produto”, é responsável por maximizar o valor do produto resultante do trabalho do time. O Product Owner também é responsável pelo gerenciamento efetivo do Product Backlog.

Para o atual projeto, essa atribuição é dada ao diretor de qualidade, que representará o Product Owner, gerenciando o Product Backlog e delegando algumas atribuições aos gerentes das áreas.

T.1.4 Developers

O time de desenvolvimento tem a atribuição de criação de qualquer aspecto de um incremento a cada Sprint, instigando a qualidade e aderindo a definição de ”pronto” ao final de cada ciclo de Sprint. Nesse papel, o time atribui também aos gerentes de área e outros membros do grupo, que juntos irão desenvolver os itens presentes no Product Backlog, adaptando o framework às necessidades do grupo. Ao invés de evitar subgrupos, iremos utilizar subgrupos no desenvolvimento do projeto.

T.1.5 Eventos Scrum

A Sprint é um container para os outros eventos. Esses eventos são desenhados especificamente para ter a transparência necessária para a utilização do framework. Os eventos no Scrum são usados para criar uma regularidade e minimizar a necessidade de encontros não definidos. Geralmente todos os eventos são realizados no mesmo dia e lugar, para reduzir a complexidade.

T.1.5.1 Sprint

A Sprint é o ponto central do Scrum, onde ideias tomam seu devido valor. Para criar uma certa consistência, uma Sprint se inicia imediatamente ao fim da Sprint anterior.

Todo o trabalho necessário para alcançar o produto desejado, incluindo, o Sprint Planning, Daily Scrums, Sprint Review e Sprint Retrospective, acontecem ao iniciar uma Sprint.

No atual projeto temos uma sprint com duração de uma semana, com um ciclo relativamente curto, para tentar limitar os riscos. Toda quarta-feira é feito os ritos do Scrum de finalização e início de uma nova Sprint via vídeo chamada das 19h30 às 21h30.

T.1.6 Artefatos Scrum

Artefatos Scrum podem representar trabalho ou valor, são desenhados para maximizar a transparência de informações com grau alto de importância. Cada artefato

contém a atribuição de garantir e prover transparência e foco no qual o progresso pode ser mensurado.

T.1.6.1 Product Backlog

O Product backlog é uma lista ordenada com quais features o produto irá ter, podendo ter alterações durante o período de desenvolvimento. Durante este período, os desenvolvedores que irão trabalhar com algum item do Product Backlog são responsáveis por dimensionar aquele item. O Product Owner pode influenciar os desenvolvedores ajudando no entendimento de cada item e considerações a serem feitas.

T.1.6.2 Sprint Backlog

O Sprint Backlog é definido a partir da meta da Sprint. Essa lista é composta por itens selecionados para compor a Sprint, também visto como um plano de entrega para um certo incremento. O Sprint Backlog é feito com desenvolvedores, para desenvolvedores. É uma imagem clara do plano da Sprint para alcançar seu objetivo, onde os desenvolvedores tornam o progresso visível diariamente durante o Daily Scrum.

T.2 Kanban

Kanban é uma metodologia criada pela empresa automobilística japonesa Toyota, na década de 1960. É um sistema de administração da produção que possibilita fazer somente o essencial para a conclusão de uma etapa de um fluxo de trabalho contínuo. Essa metodologia propõe o uso de cartões em um quadro para indicar e acompanhar o andamento dos fluxos de produção. No caso desse projeto, o quadro é dividido em diferentes etapas de execução: Product Backlog, Sprint Backlog, To Do, Doing, Done, onde a visualização e acompanhamento do progresso se torna mais performático para o time. ([ATLASSIAN, 2021](#))

U Diagrama de Dados

O Diagrama de Dados mapeia o fluxo de informações dentro do sistema. No caso do veículo, por exemplo, é importante ter a identificação de cada um e o tipo de fertilizante utilizado, a quantidade a ser pulverizada, etc. Essas informações conversam com os sensores e os alertas, que se encontram dentro de outro processo.

A Figura 139 contém o diagrama de dados.

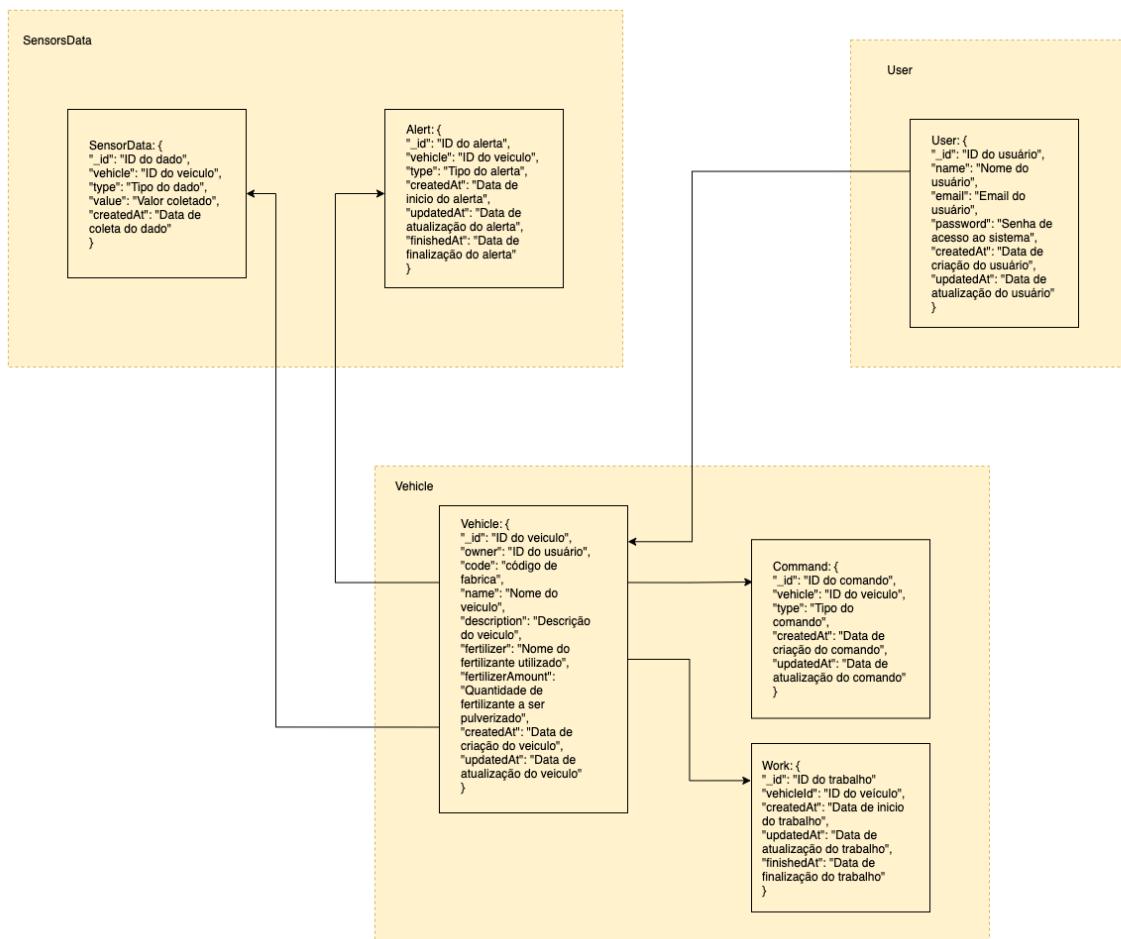


Figura 139 – Diagrama de Dados

Fonte: Autores.

V Diagrama Pacotes

O Diagrama de Pacotes tem por função segmentar o sistema em agrupamentos lógicos. Por isso, os elementos são colocados dentro de pacotes para que os principais componentes estejam bem acoplados e organizados.

Um exemplo desta organização é a funcionalidade de Login: ela se relaciona com outros componentes, como a de Criar Cadastro, Recuperar Senha e Logout. Caso estivessem juntas em um mesmo código, a complexidade dele além de ser grande, dificultaria a manutenibilidade. Por isso, o Login está em uma pasta separada das demais, e um agrupamento lógico pode importar e evocar o outro, e ainda assim o código se manterá organizado e de fácil entendimento.

Abaixo podemos visualizar os diagramas de pacotes do *frontend* e *backend*, especificamente.

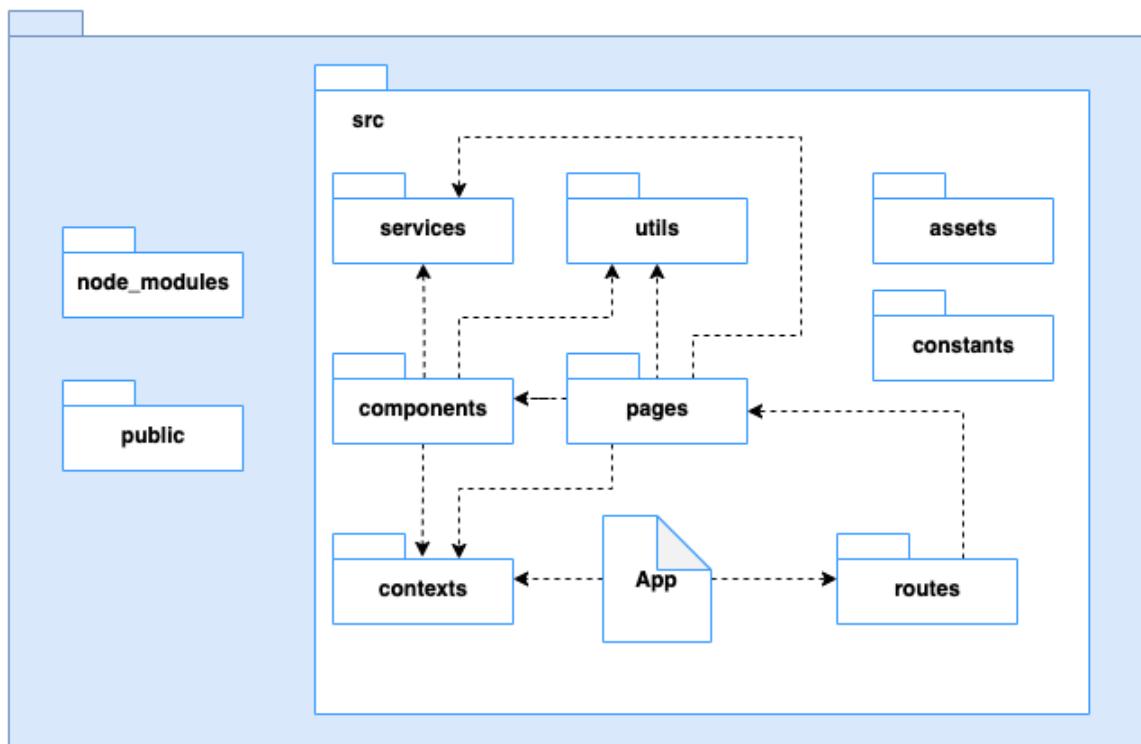


Figura 140 – Diagrama de Pacotes do *Frontend*

Fonte: Autores.

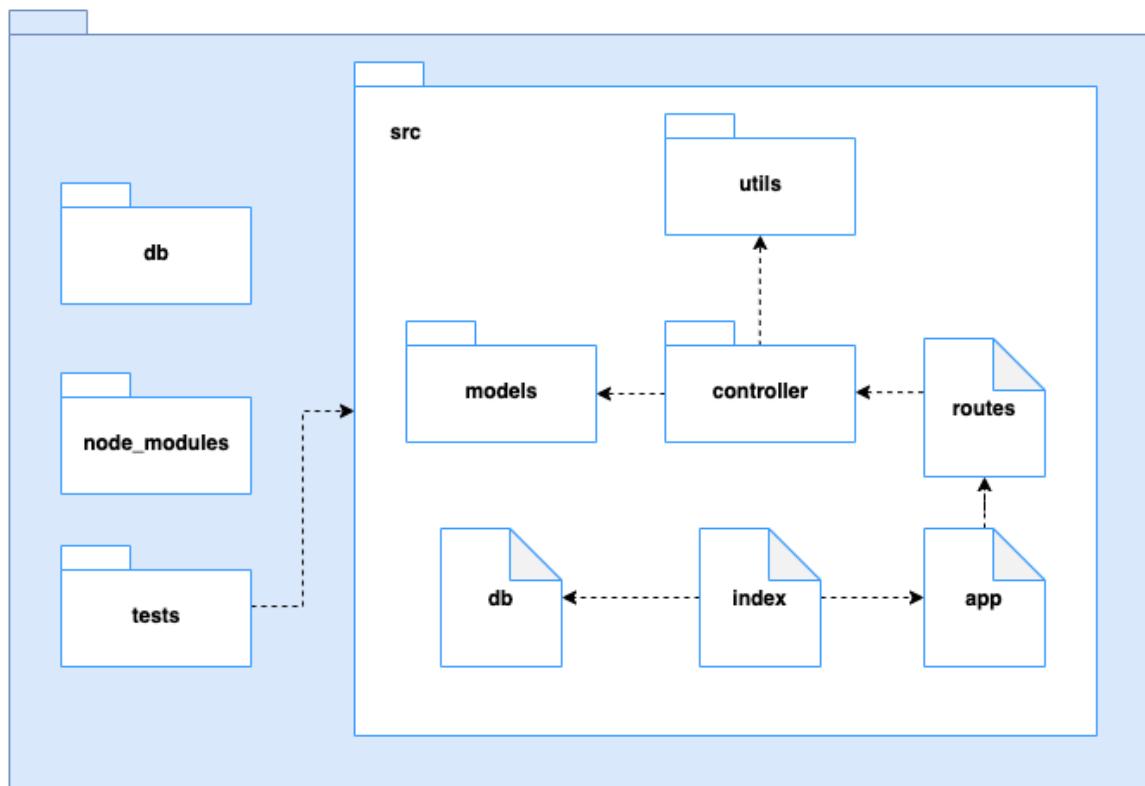


Figura 141 – Diagrama de Pacotes do *Backend*
Fonte: Autores

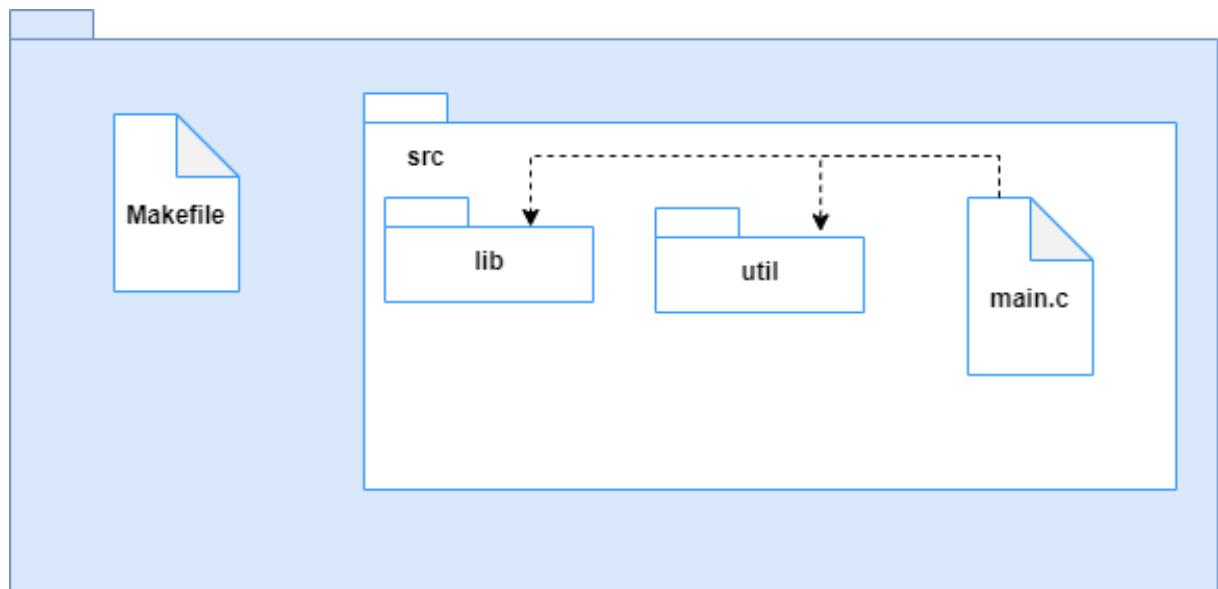


Figura 142 – Diagrama de Pacotes do Embarcado
Fonte: Autores

W Diagrama de Caso de Uso

O Diagrama de Casos de Uso tem a funcionalidade de mostrar como o usuário interage com o sistema. Conforme demonstrado na imagem abaixo, o StrongBerry possui dois atores principais: o usuário logado e o usuário não-autenticado.

Ao usuário não-autenticado, cabe apenas a possibilidade de se autenticar, seja através de um novo cadastro ou de recuperar a senha de um cadastro já obtido anteriormente. Uma vez que é necessário mexer com informações mais gerenciais do serviço, o usuário não-autenticado possui baixo nível de envolvimento com a aplicação.

Já o usuário autenticado possui acesso completo ao StrongBerry: ele pode cadastrar diferentes veículos, consultar os níveis de fertilizante em todos eles, configurar o veículo, etc.

Em casos onde há o "include", significa que A implica em B, ou seja: a ação seguinte ocorrerá obrigatoriamente, sempre que ocorrer a ação anterior. Isso se aplica, por exemplo, na ação de configurar o veículo, ação que obrigatoriamente precede a possibilidade de alterar o nome do fertilizante. Já o "extends", significa que a ação consequente não obrigatoriamente acontecerá, mas é uma opção ao usuário. Isso se aplica em casos onde é possível ver um StrongBerry, e o usuário pode optar por ver mais detalhes do veículo ou não.

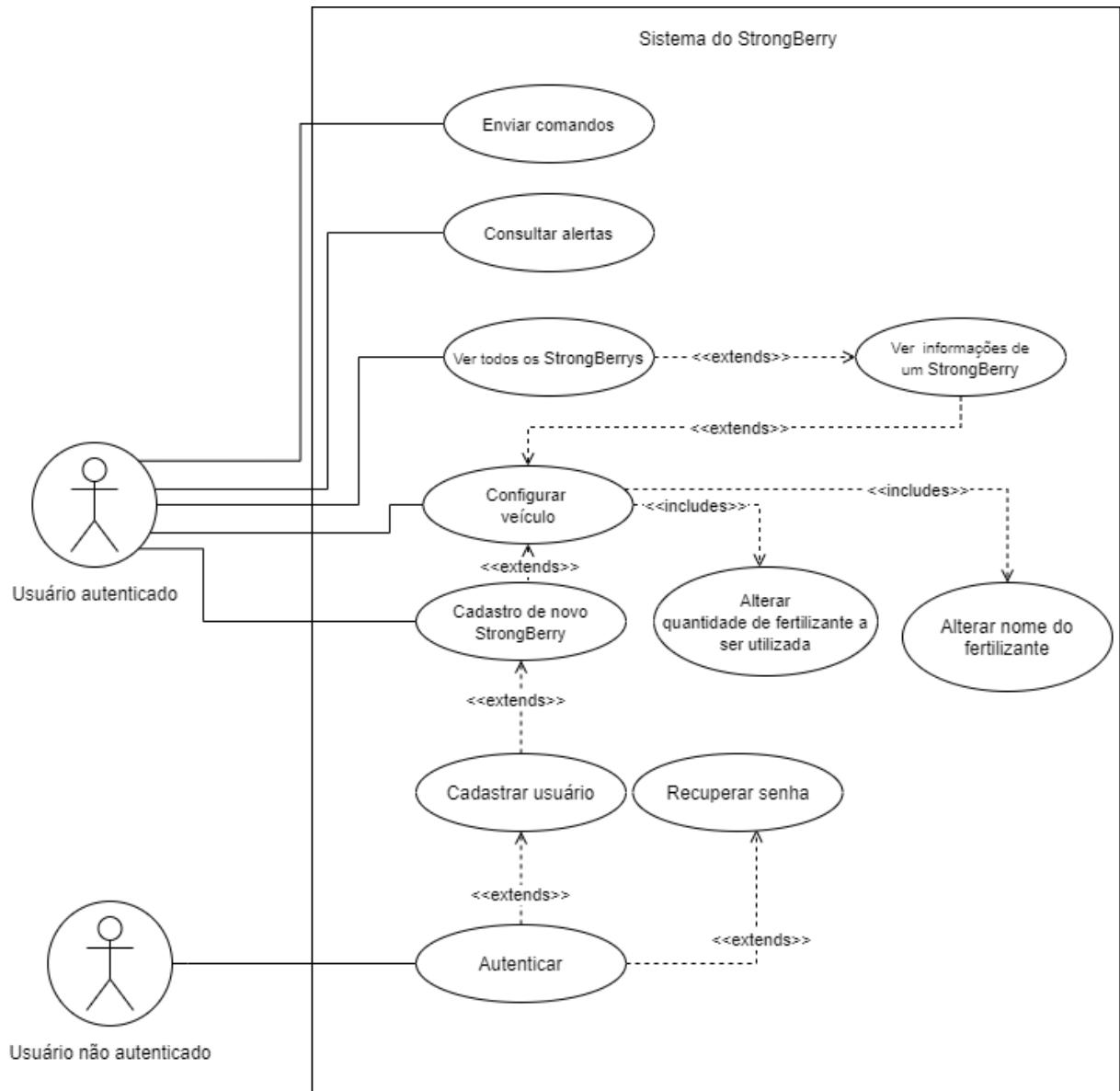


Figura 143 – Diagrama de Casos de uso

Fonte: Autores

Anexos

A Componentes e Partes Estruturais



Figura 144 – Acoplamento semi-flexivel para eixos.Fonte: ([ACOPLAMENTO...](#),)



Figura 145 – Bomba hidráulica do tipo turbina.Fonte: ([24V...](#),)



Figura 146 – Amortecedor com mola para scooters. Fonte: ([2...](#),)



Figura 147 – Rolamento com mancal para fixação. Fonte: ([UNIDADES...](#),)



Figura 148 – Rolamento Blindado. Fonte: ([ROLAMENTOS...](#),)



Figura 149 – Tanque plástico 12L com pescador e retorno 2,5cm x 23,0cm x 18,5cm (Comprimento x Largura x Altura) . Fonte: ([TECNOLOGIA](#),)



Figura 150 – Válvula reguladora de fluxo. Fonte: ([VÁLVULA...](#),)

Figura 151 – Modelo de roda e pneu. Fonte:(MAGAZINELUIZA.COM.BR,)

Inox 304 - Arruela lisa aba larga
Aço inoxidável 304 (A2) - Arandela plana chapada
304 (A2) stainless steel - Fender washer

ARRUELA LI ABA LARGA INOX 304

Dimensões: DIN 9021
Material: Aço inox AISI 304/A2-70
Dimensões: DIN 9021
Material: Aço inoxidável AISI 304/A2-70
Dimensões: DIN 9021
Material: Stainless steel AISI 304/A2-70

CISER

Dimensão nominal Dimension nominal Nominal size	Dimensões / Dimensions / Dimensiones			Referência Reference Référence
	ø A Interior mínimo Minimum inside (mm)	ø B Extremo máximo Maximum outside (mm)	C Espessura máxima Maximum thickness (mm)	
5	5,3	15	1,2	201 00 10
6	6,4	18	1,6	251 00 10
8	8,4	24	2	351 00 4
10	10,5	30	2,5	401 00 2
12	13	37	3	451 00 1,2

Linha / Linea / Une 778

Figura 152 – Arruela Lisa . Fonte:([CISER](http://CISER.com.br), 2021a)

Inox 304 - Arruela de pressão
Aço inoxidável 304 (A2) - Arandela de presión
304 (A2) stainless steel - Regular lock washers

AR PR INOX 304

Dimensões: ASME B 18.21.1
Material: Aço inox AISI 304
Observação: Austenítico, não magnético e não tem cor
Dimensions: ASME B 18.21.1
Material: Aço inoxidável AISI 304
Observation: Austenitic, no magnetic and cannot be hardened

CISER

Dimensão nominal Dimension nominal Nominal size	Dimensões / Dimensions / Dimensiones			Referência Reference Référence
	ø A Interior mínimo Minimum inside (mm)	ø B Extremo máximo Maximum outside (mm)	T Espessura mínima Minimum thickness (mm)	
Nº 4	2,9	5,3	0,63	102 00 1
1/8" (Nº 5)	3,22	5,99	0,79	001 00 1
5/32" (Nº 6)	4,24	7,44	1,02	051 00 1
Nº 10 (3/16")	4,9	8,48	1,19	101 00 1
1/4"	6,4	12,37	1,57	151 00 1
5/16"	7,97	14,8	1,98	201 00 1
3/8"	9,57	17,27	2,39	251 00 1
7/16"	11,17	19,71	2,77	301 00 1
1/2"	12,75	22,07	3,17	351 00 1
9/16"	14,32	24,51	3,58	401 00 1
5/8"	15,95	27,25	3,96	451 00 0,5
3/4"	19,12	32,13	4,77	501 00 0,5
7/8"	22,3	37,05	5,56	551 00 0,5
1"	25,47	42,06	6,35	601 00 0,5
1 1/8"	28,68	46,91	7,14	651 00 0,5
1 1/4"	31,85	51,71	7,92	701 00 0,5
1 3/8"	35,02	56,36	8,73	702 00 0,5
1 1/2"	38,2	61,44	9,52	751 00 0,5

Linha / Linea / Une 815

Figura 153 – Arruela de pressão . Fonte:([CISER](http://CISER.com.br), 2021b)



ITEM: CA-3-5
WEIGHT: 48.6g

Figura 154 – Conector em T. Fonte:([ALIEXPRESS, 2021b](#))



Figura 155 – Conector fêmea. Fonte:([EMBRAR, 2021](#))

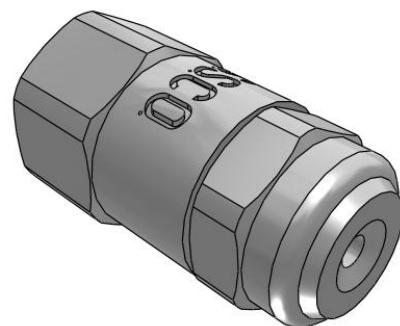


Figura 156 – Bico Micro aspersor
Fonte: (Sray Systems Co)



Figura 157 – Conector macho. Fonte: ([FERRAMENTAS, 2021](#))

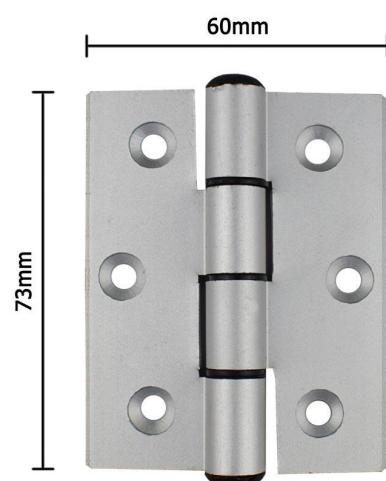


Figura 158 – Dobradiça. Fonte:([DISFOIL, 2021](#))



Figura 159 – Mangueira hidráulica. Fonte:([LIVRE, 2021c](#))

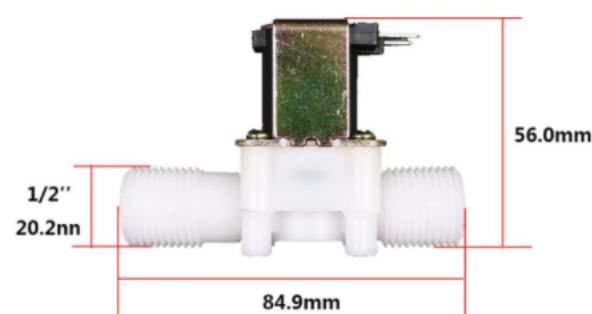


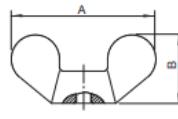
Figura 160 – Válvula solenoide. Fonte:([ROBÓTICA, 2021](#))

PO BO INOX 304

Dimensões: DIN 315
 Rosca: DIN 13 (ISO 965) - 6g
 Material: Aço inox AISI 304
 Observação: Austenítico, não magnético e não temperável

Dimensions: DIN 315
 Thread: DIN 13 (ISO 965) - 6g
 Material: Acero inoxidable AISI 304
 Observation: Austenitic, no magnetic and cannot be hardened

Dimensions: DIN 315
 Thread: DIN 13 (ISO 965) - 6g
 Material: Stainless steel AISI 304
 Observation: Austenitic, non-magnetic and cannot be hardened



Linha / Línea /Line
MA: 639

Dimensão nominal Dimensión nominal Nominal size	Passo Paso Pitch	Dimensões / Dimensiones / Dimensions			Referência Referencia Reference
		Máximo / Maximum	Máximo / Maximum	Máximo / Maximum	
M4	0,7	23,5	11,5	4,6	151 00 1
M5	0,8	23,5	11,5	4,5	201 00 1
M6	1	28,7	13,7	5,5	251 00 1
M8	1,25	32	16	6	351 00 1
M10	1,5	38	18	6,9	401 00 1
M12	1,75	50	23,5	8,5	451 00 0,5
M16	2	73	37,5	17	551 00 0,2

Figura 161 – Porca borboleta. Fonte:(CISER, 2021c)

PO SX INOX 304

Dimensões: DIN 934
 Rosca: DIN 13 (ISO 965) - 6H
 Material: Aço inox AISI 304
 Observação: Austenítico, não magnético e não temperável

Dimensions: DIN 934
 Thread: DIN 13 (ISO 965) - 6H
 Material: Acero inoxidable AISI 304
 Observation: Austenitic, no magnetic and cannot be hardened

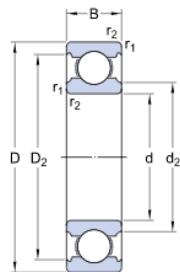
Dimensions: DIN 934
 Thread: DIN 13 (ISO 965) - 6H
 Material: Stainless steel AISI 304
 Observation: Austenitic, non-magnetic and cannot be hardened



Linha / Línea /Line
MA: 615

Dimensão nominal Dimensión nominal Nominal size	Passo / Paso / Pitch	Dimensões / Dimensiones / Dimensions		Referência Referencia Reference
		S Chave / Entre caras / Across flat	M Altura mínima / Minimum height	
1,6	0,35	3,2	1,05	985 00 1
2	0,4	4	1,35	001 00 1
2,5	0,45	5	1,75	052 00 0,2
3	0,5	5,5	2,15	103 00 1
4	0,7	7	2,9	155 00 1
5	0,8	8	3,7	206 00 1
6	1	10	4,7	257 00 1
8	1,25	13	6,14	359 00 1
10	1,5	17	7,64	411 00 1
12	1,75	19	9,64	463 00 0,5
14	2	22	10,3	515 00 0,5
16	2	24	12,3	566 00 0,5
18	2,5	27	14,3	617 00 0,2
20	2,5	30	14,9	668 00 0,2
22	2,5	32	16,9	719 00 0,2
24	3	36	17,7	770 00 0,2
27	3	41	20,7	823 00 0,2
30	3,5	46	22,7	874 00 0,2
33	3,5	50	24,7	925 00 0,2
36	4	55	27,4	976 00 0,1
39	4	60	29,4	980 00 0,1
42	4,5	65	32,4	981 00 0,1
45	4,5	70	34,4	982 00 0,05
48	5	75	36,4	983 00 0,05
52	5	80	40,4	984 00 0,05

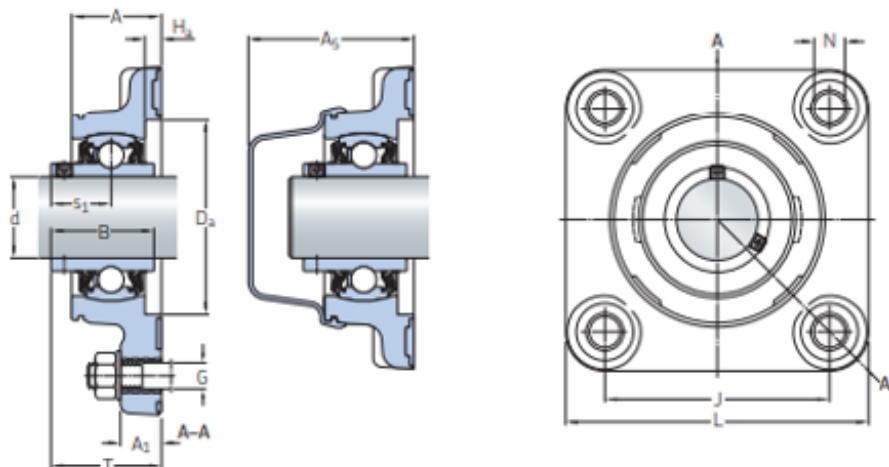
Figura 162 – Porcas. Fonte:(CISER, 2021d)



DIMENSÕES

d	8 mm	Diâmetro do furo
D	28 mm	Diâmetro externo
B	9 mm	Largura
d ₂	≈ 13.9 mm	Diâmetro do rebaixo do ressalto do anel interno
D ₂	≈ 22.38 mm	Diâmetro do rebaixo do ressalto do anel externo
r _{1,2}	min. 0.3 mm	Dimensão de chanfro do anel externo

Figura 163 – Rolamento blindado. Fonte:(UNIDADES... ,)



Dimensões principais	Capacidades de carga básica dinâmica	Capacidades de carga básica estática	Límite de carga de fadiga P_u	Velocidade-limite com tolerância do eixo h6	Massa kg	Designações Unidade de rolamento	Tampa de fechamento associada
d mm	J kN	C kN	C_0 kN	rpm	kg	–	–
30	83	16.3	11.2	0.475	3 800	0.52	F4BC 30M-TPSS
	83	19.5	11.2	0.475	3 800	0.52	F4BC 30M-TPZM
	82,6	16.3	11.2	0.475	3 800	1,4	F4BSS 30M-YTPSS
							ECB 506
							ECB 506
							ECW 206

Dimensões

d	A	A ₁	A ₅	B	D _a	H _s	L	N	G	S ₁	T
in/mm											
30	33	15	61,1	38,1	72	6	112	12	10	22,2	40,7
	33	15	61,1	38,1	72	6	112	12	10	22,2	40,7
	34,1	13,5	29	38,1	–	–	108	12,7	10	22,2	42

Figura 164 – Rolamento de mancal. Fonte:(ROLAMENTOS... ,)

PA 5X INOX 304

Dimensões: DIN 933
 Rosca: DIN 13 - (ISO 965) - 6g
 Material: Aço inoxidável AISI 304/A2-70
 Observação: Austenítico, não magnético e não temperável

Dimensions: DIN 933
 Thread: DIN 13 - (ISO 965) - 6g
 Material: Stainless steel AISI 304/A2-70
 Observation: Austenitic, non-magnetic and
 not heat treated

Dimensions: DIN 933
 Thread: DIN 13 - (ISO 965) - 6g
 Material: Stainless steel AISI 304/A2-70
 Observation: Austenitic, non-magnetic and
 cannot be hardened



Linha / Linea / Line
MA: 181

Dimensões / Dimensiones / Dimensions

Dimensão nominal / Dimension nominal / Nominal size	M3	M4	M5	M6	M8	M10
Passo / Paso / Pitch	0,5	0,7	0,8	1	1,25	1,5
S Chave / Entre faces / Across flat	5,5	7	8	10	13	17
K Altura máxima da cabeça (mm)						
K Altura máxima de la cabeza (mm)	2,12	2,92	3,65	4,15	5,45	6,56
L Comprimento / Longitud / Length						
6	101 00 2	151 00 1				
8	102 00 2	152 00 1	202 00 1	252 00 1		
10	103 00 2	153 00 1	203 00 1	253 00 1	353 00 1	
12	104 00 2	154 00 1	204 00 1	254 00 1	354 00 1	404 00 0,5
16	105 00 2	155 00 1	205 00 1	255 00 1	355 00 1	405 00 0,5
18				256 00 1	356 00 1	406 00 0,5
20	107 00 2	157 00 1	207 00 1	257 00 1	357 00 1	407 00 0,5
25	109 00 2	159 00 1	209 00 1	259 00 1	359 00 1	409 00 0,5
30	111 00 2	161 00 1	211 00 1	261 00 1	361 00 1	411 00 0,5
35		162 00 1	212 00 0,5	262 00 1	362 00 1	412 00 0,5
40		163 00 1	213 00 0,5	263 00 1	363 00 0,5	413 00 0,5
45		164 00 1	214 00 0,5	264 00 0,5	364 00 0,5	414 00 0,5
50		165 00 1	215 00 0,5	265 00 0,5	365 00 0,5	415 00 0,5
55			216 00 0,5	266 00 0,5	366 00 0,2	416 00 0,2
60			217 00 0,5	267 00 0,5	367 00 0,2	417 00 0,2
65			219 00 0,5	269 00 0,5	369 00 0,2	419 00 0,2
70			220 00 0,5	270 00 0,5	370 00 0,2	420 00 0,2
75			221 00 0,5	271 00 0,5	371 00 0,2	421 00 0,2
80			222 00 0,5	272 00 0,5	372 00 0,2	422 00 0,2
85					373 00 0,2	423 00 0,5
90				274 00 0,5	374 00 0,2	424 00 0,2
95						425 00 0,5
100				276 00 0,5	376 00 0,2	426 00 0,2
110					378 00 0,2	428 00 0,2
120					379 00 0,2	429 00 0,2
130					380 00 0,2	430 00 0,2
140					381 00 0,2	431 00 0,2
150					382 00 0,2	432 00 0,2

Figura 165 – Parafuso. Fonte:(CISER, 2021e)

PA SX INOX 304

Dimensões: DIN 933
 Rosca: DIN 13 - (ISO 965) - 6g
 Material: Aço inox AISI 304/A2-70
 Observação: Austenítico, não magnético e não temperável

Dimensiones: DIN 933
 Rosca: DIN 13 - (ISO 965) - 6g
 Material: Acero inoxidable AISI 304/A2-70
 Observación: Austenítico, no magnético y no endurecer

Dimensions: DIN 933
 Thread: DIN 13 - (ISO 965) - 6g
 Material: Stainless steel AISI 304/A2-70
 Observation: Austenitic, non-magnetic and cannot be hardened



Linha / Linea / Line
MA: 181

Dimensões / Dimensiones / Dimensions						
Dimensão nominal / Dimension nominal / Nominal size	M12	M14	M16	M18	M20	M22
Passo / Paso / Pitch	1,75	2	2	2,5	2,5	2,5
S Chave / Entre caras / Across flat	19	22	24	27	30	32
K Altura máxima da cabeça (mm) K Altura máxima de la cabeza (mm) Maximum head height (mm)	7,68	8,98	10,18	11,72	12,72	14,22
L Comprimento / Length / Longitud						
Referência / Reference / Referencia						
16	455 00 0,2					
20	457 00 0,2		557 00 0,2			
25	459 00 0,2	509 00 0,2	559 00 0,2		659 00 0,1	
30	461 00 0,2	511 00 0,2	561 00 0,2	611 00 0,1	661 00 0,1	
35	462 00 0,2	512 00 0,2	562 00 0,2	612 00 0,1	662 00 0,1	
40	463 00 0,2	513 00 0,2	563 00 0,2	613 00 0,1	663 00 0,1	713 00 0,1
45	464 00 0,2	514 00 0,2	564 00 0,2	614 00 0,1	664 00 0,1	714 00 0,1
50	465 00 0,2	515 00 0,2	565 00 0,2	615 00 0,1	665 00 0,1	715 00 0,1
55	466 00 0,2	516 00 0,2	566 00 0,2	616 00 0,1	666 00 0,1	716 00 0,1
60	467 00 0,2	517 00 0,2	567 00 0,2	617 00 0,1	667 00 0,1	717 00 0,1
65	469 00 0,2	519 00 0,2	569 00 0,2	619 00 0,1	669 00 0,1	718 00 0,1
70	470 00 0,2	520 00 0,2	570 00 0,2	620 00 0,1	670 00 0,1	719 00 0,1
75	471 00 0,2	521 00 0,2	571 00 0,2	621 00 0,1	671 00 0,1	720 00 0,1
80	472 00 0,2	522 00 0,2	572 00 0,2	622 00 0,1	672 00 0,1	721 00 0,1
90	474 00 0,2	524 00 0,2	574 00 0,2	624 00 0,1	674 00 0,1	724 00 0,1
100	476 00 0,2	526 00 0,2	576 00 0,2	626 00 0,1	676 00 0,1	726 00 0,1
110	478 00 0,2		578 00 0,1		678 00 0,1	
120	479 00 0,2		579 00 0,1		679 00 0,1	
130	480 00 0,2		580 00 0,1		680 00 0,1	
140	481 00 0,2		581 00 0,1		681 00 0,1	
150	482 00 0,2		582 00 0,1		682 00 0,1	

Figura 166 – Parafuso. Fonte:(CISER, 2021d)

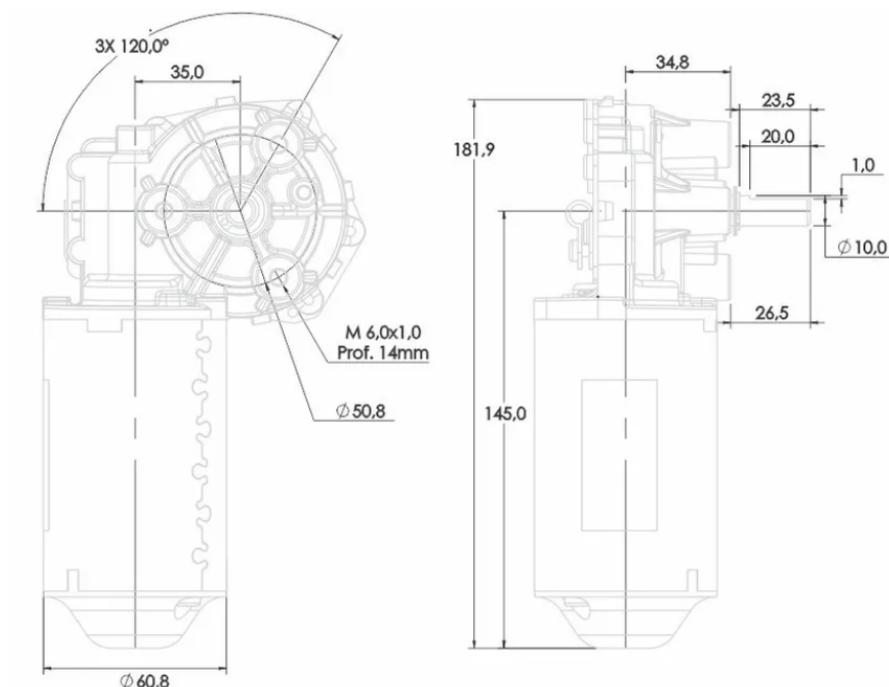


Figura 167 – Motor inferior. Fonte:(LIVRE, 2021e)

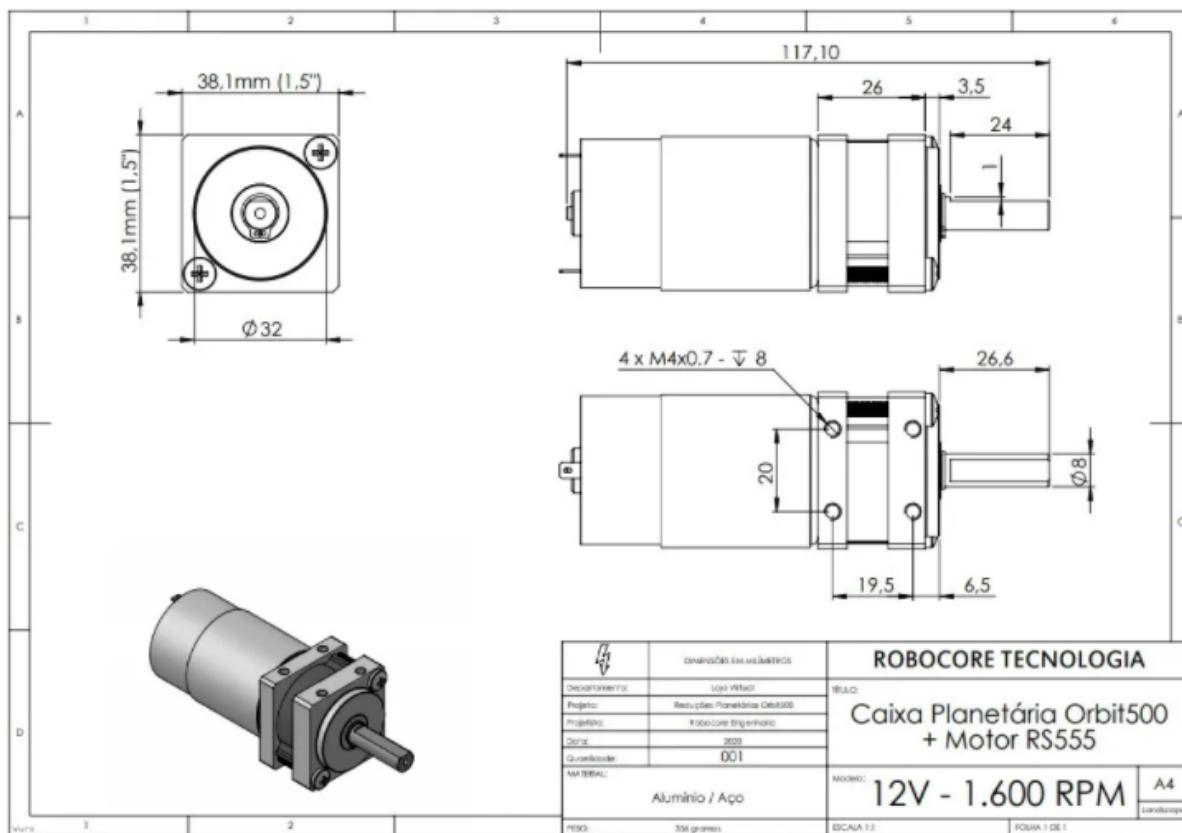


Figura 168 – Motor superior. Fonte:(LIVRE, 2021d)

Product Datasheet

FullJet® G/GG

Capacity Size	Max Free Passage Dia (mm)	Flow Rate Capacity (lpm) at 0.4 bar	Flow Rate Capacity (lpm) at 0.5 bar	Flow Rate Capacity (lpm) at 0.7 bar	Flow Rate Capacity (lpm) at 1.5 bar	Flow Rate Capacity (lpm) at 3 bar	Flow Rate Capacity (lpm) at 6 bar	Flow Rate Capacity (lpm) at 7 bar	Flow Rate Capacity (lpm) at 10 bar	Spray Angle at 0.5 bar	Spray Angle at 1.5 bar	Spray Angle at 6 bar
10	1.6	2.9	3.3	3.8	5.4	7.4	10.2	11.0	13.0	58	67	61

?

Interactive 3D graphic, click to activate and rotate
(3D capable PDF viewer required)

Sales Part	B1/4G-SS10
Inlet Connection [INCH]	1/4 BSPT
Materials	303 Stainless Steel

Spraying Systems Co.[®]
Experts in Spray Technology

Spraying Systems Co. reserves the right to make changes in product specification and design or to add improvements at any time.

Wheaton, IL, USA
Find Your Local Sales Office: spray.com/localrep
Find Your Local Web Site: spray.com/localsite

Figura 169 – Bico Micro Aspersor

Fonte: (Spray Systems Co)

Inox 304 - Parafuso auto atarraxante - Fenda simples
 Acero inoxidable 304 (A2) - Tornillo auto atarrajador ranura sencilla
 304 (A2) stainless steel - Self-tapping screw slotted drive

PA PN FE AA INOX 304

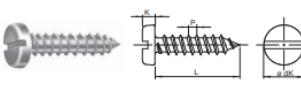
CISER

Dimensões: DIN 7971
 Rosca Auto atarraxante tipo C - DIN 7970 (ISO 1478)
 Material: Aço inox A304
 Observação: Austenítico, não magnético e não temperado

Dimensões: DIN 7971
 Rosca Auto atarraxante tipo C - DIN 7970 (ISO 1478)
 Material: Aço inox A304
 Observação: Austenítico, não magnético y no endurecer

Dimensões: DIN 7971
 Thread: Self-Tapping type C - DIN 7970 (ISO 1478)
 Material: Stainless steel A304
 Observation: Austenitic, non-magnetic and cannot be hardened

Cabeça panela
Cabeza fijadora
Pan head



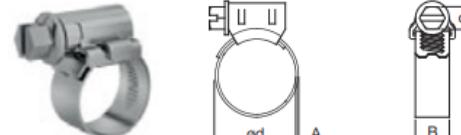
Linha / Line / Line **380**

Dimensões / Dimensiones / Dimensions						
Dimensão nominal / Dimensión nominal / Nominal size	2,9 (Nº 4)	3,5 (Nº 6)	3,9 (Nº 7)	4,2 (Nº 8)	4,8 (Nº 10)	5,5 (Nº 12)
P Passo / Paso / Pitch	1,1	1,3	1,3	1,4	1,6	1,8
d Ø diâmetro / Ø diámetro / Ø diameter	5,3	6,54	7,14	7,84	9,14	10,4
K Altura mínima / Altura mínima / Minimum height	5,6	6,9	7,5	8,2	9,5	12,1
L Comprimento / Longitud / Length	Altura mínima / Altura mínima / Minimum height	1,5	1,85	2	2,15	2,5
mm	pol / pul / in					
6,5	1/4"	206 00 2	356 00 2	465 00 2	596 00 2	
9,5	3/8"	209 00 2	358 00 2	459 00 2	559 00 2	659 00 2
13	1/2"	213 00 2	363 00 2	463 00 2	563 00 2	663 00 2
16	5/8"	218 00 2	368 00 2	466 00 2	566 00 2	666 00 2
19	3/4"	218 00 2	368 00 2	468 00 2	568 00 2	668 00 2
22	7/8"	220 00 2	370 00 2	470 00 2	570 00 2	670 00 2
25	1"	221 00 2	371 00 2	471 00 2	571 00 2	671 00 2
32	1 1/4"		373 00 2	473 00 2	573 00 2	673 00 2
38	1 1/2"		375 00 2	475 00 2	575 00 2	675 00 2
45	1 3/4"			577 00 0,5	677 00 2	777 00 0,5
50	2"			578 00 0,5	678 00 2	778 00 0,5
60	2 3/8"				680 00 0,5	780 00 0,5
70	2 3/4"				682 00 0,5	782 00 0,5
80	3 1/8"				684 00 0,5	784 00 0,5
90	3 1/2"				685 00 0,5	785 00 0,5
100	4"				686 00 0,5	786 00 0,5

Figura 170 – Parafuso auto atarraxante.Fonte: ([CISER, 2021f](#))

Inox 304 - Abraçadeira rosca sem fim - 9 mm
 Acero inoxidable A304 - Abrazadera sin fin - 9 mm
 A304 stainless steel - Worm drive hose clamp - 9 mm

Materia: Inox
 Material: Acero inoxidable A304
 Material: A304 Stainless steel



Linha / Line / Line **582**

Dimensões / Dimensiones / Dimensions						
Ø d	A	B	S	Torque máximo de aperto / Torque máximo de apriete / Maximum tightening torque (kgf. cm)	Referência / Referencia / Reference	
Capacidade (mín. - máx.) Rango de sujeción (mín. - max.) Clamping range (min. - max.)	Espessura da fita Espesor del fíjeo Band thickness (mm)	Largura da fita Ancho del fíjeo Band width (mm)	Chave de aperto do sextavado Entre caras del tornillo Screw across flat (mm)			
mm	pol / pul / in					
09 - 13	3/8 - 1/2	0,7	9	6	35	
13 - 19	1/2 - 3/4					
19 - 27	3/4 - 1.1/16					

Acabamento: **00 Polido** **01 Zincado Branco**
 Acabado: **Sin Recubrimiento** **Cincado Blanco**
 Finish: **Plain** **Zinc Plated**

Embalagem padrão: Peça
 Embalaje padrón: Pieza
 Standard packaging: Piece

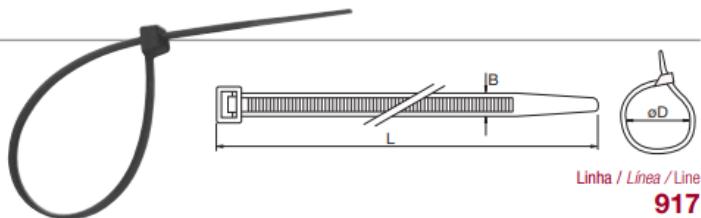
Figura 171 – Abraçadeira metálica.Fonte: ([CISER, 2021g](#))

Abraçadeira de Nylon - Preta*Precinto de Nylon - Negro**Nylon cable ties - Black***ABRAÇADEIRA NY**

Material: Poliamida PA 6,6
 Resisté à temperaturas entre -40 °C e +85 °C
 Conforme Norma EN62275

Material: Poliamide PA 6,6
 Temperatura de empleo -40 °C y +85 °C
 Conforme Norma EN62275

Material: Polyamide 6,6
 Operating temperature -40 °C and +85 °C
 Standard EN62275



Linha / Línea / Line
917

Dimensões / Dimensiones / Dimensions

B	L	ø D	Resistência à tração Resistance a la tracción Tensile strength (kgf)	Referência Referencia Reference
2,5	80	14	8	101 00 1
	100	20		102 00 1
	150	36		107 00 1
	200	52		112 00 1
3,6	150	36	14	307 00 1
	200	52		312 00 1
	250	65		317 00 1
	300	80		322 00 1
4,8	200	50	22	562 00 1
	250	65		567 00 1
	300	82		572 00 1
	400	113		582 00 1
7,6	300	82	55	872 00 0,5
	400	113		882 00 0,5

Figura 172 – Abraçadeira de Nylon.Fonte:([CISER, 2021h](#))

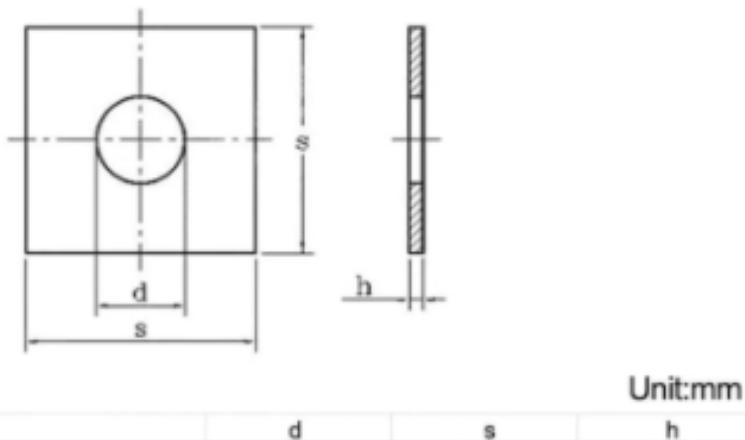


Figura 173 – Arruela quadrada.Fonte:([ALIEXPRESS, 2021a](#))

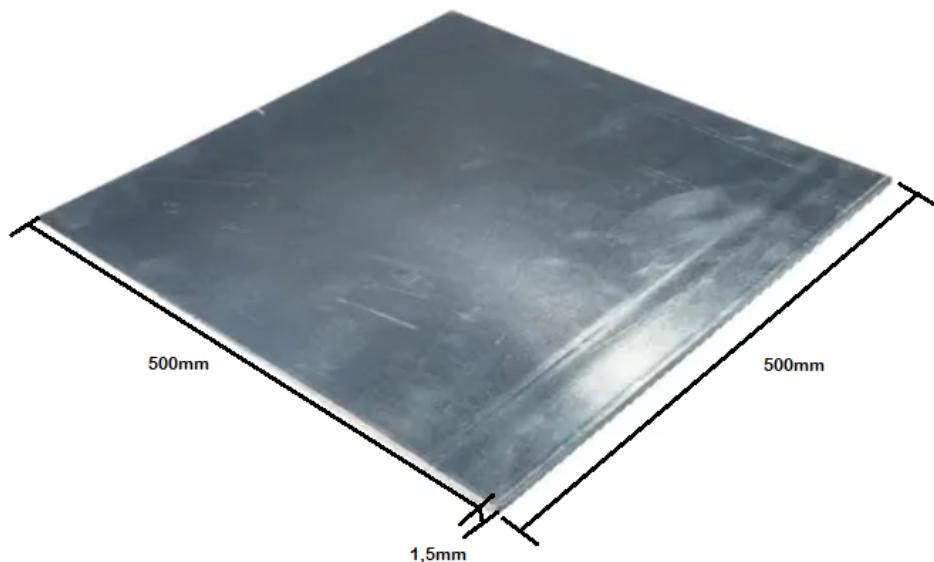


Figura 174 – Chapa de Alumínio.Fonte:([LIVRE, 2021a](#))



Figura 175 – Folha de borracha.Fonte:([LIVRE, 2021b](#))



Figura 176 – Luva de redução. Fonte:(PLASTOLÂNDIA, 2021)

B Código - Teste do sensor YF-S201.

```

1 import RPi.GPIO as GPIO
2 import time, sys
3
4 FLOW_SENSOR_GPIO = 13
5
6 GPIO.setmode(GPIO.BCM)
7 GPIO.setup(FLOW_SENSOR_GPIO, GPIO.IN, pull_up_down = GPIO.PUD_UP)
8
9 global count
10 global constante
11 count = 0
12 count_total = 0
13 constante = 0.22
14 start_time=time.time()
15
16 def countPulse(channel):
17     global count
18     if start_counter == 1:
19         count_total = count_total+1
20         count = count+1
21
22 GPIO.add_event_detect(FLOW_SENSOR_GPIO, GPIO.FALLING, callback=countPulse)
23
24 while True:
25     try:
26         elapsed_time=time.time()-start_time
27         start_counter = 1
28         time.sleep(1)
29         start_counter = 0
30         flow = (count / 7.5)
31         Litters_A = (flow*elapsed_time)/60
32         Litters_B = count_total/(60*7,5)
33         print("%.3f L/min" % (flow))
34         print("%.3f Litros" % (Litters_A))
35         print("%.3f Litros" % (Litters_B))
36         count = 0
37         time.sleep(5)
38     except KeyboardInterrupt:
39         print('\nkeyboard interrupt!')
40         elapsed_time = 0
41         count_total = 0
42         GPIO.cleanup()
43         sys.exit()

```

C Código - Teste do sensor GY-BMP280.

```

1 import smbus
2 import time
3 # Get I2C bus
4 bus = smbus.SMBus(1)
5 # BMP280 address, 0x76(118)
6 # Read data back from 0x88(136), 24 bytes
7 b1 = bus.read_i2c_block_data(0x76, 0x88, 24)
8 # Convert the data
9 # Temp coefficents
10 dig_T1 = b1[1] * 256 + b1[0]
11 dig_T2 = b1[3] * 256 + b1[2]
12 if dig_T2 > 32767 :
13     dig_T2 -= 65536
14 dig_T3 = b1[5] * 256 + b1[4]
15 if dig_T3 > 32767 :
16     dig_T3 -= 65536
17 # BMP280 address, 0x76(118)
18 # Select Control measurement register, 0xF4(244)
19 # 0x27(39) Temperature Oversampling rate = 1
20 # Normal mode
21 bus.write_byte_data(0x76, 0xF4, 0x27)
22 # BMP280 address, 0x76(118)
23 # Select Configuration register, 0xF5(245)
24 # 0xA0(00) Stand_by time = 1000 ms
25 bus.write_byte_data(0x76, 0xF5, 0xA0)
26 time.sleep(0.5)
27 # BMP280 address, 0x76(118)
28 # Read data back from 0xF7(247), 8 bytes
29 # Temperature MSB, Temperature LSB
30 # Temperature xLSB
31 data = bus.read_i2c_block_data(0x76, 0xF7, 8)
32 # Convert temperature data to 19-bits
33 adc_t = ((data[3] * 65536) + (data[4] * 256) + (data[5] & 0xF0)) / 16
34 # Temperature offset calculations
35 var1 = ((adc_t) / 16384.0 - (dig_T1) / 1024.0) * (dig_T2)
36 var2 = (((adc_t) / 131072.0 - (dig_T1) / 8192.0) * ((adc_t)/131072.0 - (dig_T1)/8192.0)) * (dig_T3)
37 t_fine = (var1 + var2)
38 cTemp = (var1 + var2) / 5120.0
39 fTemp = cTemp * 1.8 + 32
40 # Pressure offset calculations
41 var1 = (t_fine / 2.0) - 64000.0
42 # Output data to screen
43 print "Temperature in Celsius : %.2f C" %cTemp

```

D Código - Teste do sensor HC-SR04.

```

1  #Libraries
2  import RPi.GPIO as GPIO
3  import time
4
5  #GPIO Mode (BOARD / BCM)
6  GPIO.setmode(GPIO.BCM)
7
8  #set GPIO Pins
9  GPIO_TRIGGER = 7
10 GPIO_ECHO = 11
11
12 #set GPIO direction (IN / OUT)
13 GPIO.setup(GPIO_TRIGGER, GPIO.OUT)
14 GPIO.setup(GPIO_ECHO, GPIO.IN)
15
16 count = 0
17
18 def distance():
19     # set Trigger to HIGH
20     GPIO.output(GPIO_TRIGGER, True)
21
22     # set Trigger after 0.01ms to LOW
23     time.sleep(0.00001)
24     GPIO.output(GPIO_TRIGGER, False)
25
26     StartTime = time.time()
27     StopTime = time.time()
28
29     # save StartTime
30     while GPIO.input(GPIO_ECHO) == 0:
31         StartTime = time.time()
32
33     # save time of arrival
34     while GPIO.input(GPIO_ECHO) == 1:
35         StopTime = time.time()
36
37     # time difference between start and arrival
38     TimeElapsed = StopTime - StartTime
39     # multiply with the sonic speed (34300 cm/s)
40     # and divide by 2, because there and back
41     distance = (TimeElapsed * 34300) / 2
42
43     return distance

```

```
44
45 if __name__ == '__main__':
46     try:
47         while count<=100:
48             dist = distance()
49             print ("Measured Distance = %.1f cm" % dist)
50             count++
51             time.sleep(1)
52
53         # Reset by pressing CTRL + C
54     except KeyboardInterrupt:
55         print("Measurement stopped by User")
56         GPIO.cleanup()
```
