



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-

249 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: Helena Bretas Goulart

Diretora de Qualidade: Mylena Araujo Valadares

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

Guilherme Simões Dias

Leticia 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.

Listas de ilustrações

Figura 1 – Arquitetura do Software	35
Figura 2 – Diagrama de Protocolos de comunicação	38
Figura 3 – Protocolo LoRaWAN™	39
Figura 4 – Diagrama de Dados	40
Figura 5 – Diagrama de Pacotes do Frontend	41
Figura 6 – Diagrama de Pacotes do Backend	41
Figura 7 – Diagrama de Pacotes do Embarcado	42
Figura 8 – Diagrama de Casos de uso	43
Figura 9 – Microcontrolador ESP32 LoRa. (HELTEC AUTOMATION, 2018) . . .	46
Figura 10 – Espiral circular indutora para detecção axial de objeto condutor.(??) .	47
Figura 11 – Configuração por detecção axial.(??)	48
Figura 12 – Configuração de contagem de evento.(??)	48
Figura 13 – Análise do comportamento da indutância decorrente da aproximação de objetos condutores.	48
Figura 14 – Ilustração demonstrativa do funcionamento do sensor ultrassônico.(OSOYOO, 2018)	49
Figura 15 – Faixa de atuação do sensor ultrassônico HC-SR04.	50
Figura 16 – Diagrama de tempo dos pulsos nas portas <i>Trig</i> e <i>Echo</i> do sensor ul- trassônico. (OSOYOO, 2018)	50
Figura 17 – Análise de normalidade para o sensor HC-SR04. (SOUSA, 2018) . . .	51
Figura 18 – Gráfico da regressão linear para dois sensores HC-SR04 diferentes. (SOUSA, 2018)	52
Figura 19 – Esquemático da conexão do Sensor Ultrassônico com a Raspberry Pi 3. .	53
Figura 20 – Resultado da leitura do sensor HC-SR04 para diferentes distâncias . .	54
Figura 21 – Gráfico da regressão linear das leituras realizadas pelo sensor HC-SR04. .	54
Figura 22 – Estrutura de um acelerômetro de 2 eixos (EMBARCADOS, 2015) . . .	55
Figura 23 – Simulação do acelerômetro e giroscópio MPU6050 para medição dos ângulos 45°, 0 e -45°	56
Figura 24 – Curvas da descarga de bateria: (i) após o quinto ciclo antes do enve- lhecimento, (ii) após o primeiro ciclo depois do envelhecimento e (iii) depois do quinto ciclo após o envelhecimento. (MA et al., 2018) . . .	57
Figura 25 – Diagrama das conexões do circuito de teste para o BMP280.	58
Figura 26 – Mecanismo de medição do sensor de fluxo YF0S201. (ACOPTEX, 2018)	59
Figura 27 – Diagrama das conexões do circuito de teste para o sensor de fluxo YF- S201.	60

Figura 28 – Resultados obtidos do experimento usando o sensor de fluxo YF0S201. (PEREIRA; HOPP; WISINTAINER, 2020)	61
Figura 29 – Cilindro de representação de cores HSV (WIKIPEDIA, 2021)	62
Figura 30 – Resultados do código de identificação da cor verde para um objeto cúbico e uma planta	63
Figura 31 – Motor DC MB24012	65
Figura 32 – Motor DC ROBOCORE-1228	66
Figura 33 – Driver de motor DC	67
Figura 34 – Modelo da simulação do PWM	67
Figura 35 – Sinal de Saída do PWM	68
Figura 36 – Modelo da simulação da velocidade desejada e mensurada	68
Figura 37 – Solenoide	69
Figura 38 – Relé	69
Figura 39 – Arquitetura Inicial de Eletrônica	70
Figura 40 – Diagrama da alimentação do StrongBerry	71
Figura 41 – Representação esquemática de um ciclo de movimentação por fileira . .	74
Figura 42 – Consumo de corrente por ciclo de movimentação do StrongBerry . . .	76
Figura 43 – (a) Bateria com detalhe da conexão entre de bateria e positivo/negativo (rabicho P4) (b) Detalhe das conexões P4 disponíveis na bateria.	77
Figura 44 – Fonte de alimentação compatível com conector da bateria e TUG.	78
Figura 45 – (a) Bateria Li-ion 7,4V 4400mAh (b) Conector P4 fêmea a ser utilizado na bateria.	79
Figura 46 – Fonte de alimentação 7,5V 1A bivolt.	80
Figura 47 – Simulação ANSYS	83
Figura 48 – Cooler	83
Figura 49 – Modelo de mini-trator usado como referência. a) modelo 2. b) Modelo 2. .	84
Figura 50 – Renderização de um CAD de engenharia.	85
Figura 51 – Vistas a) Superior. b) Frontal. c) Lateral	85
Figura 52 – Design da configuração dos amortecedores em cada roda.	92
Figura 53 – Influência do fator de amortecimento.	94
Figura 54 – Fluxograma de simulação estática	96
Figura 55 – Condição de contorno para o tubo L.	96
Figura 56 – Tensão normal máxima no tubo L.	97
Figura 57 – Critério de falha de Von Mises para o tubo L.	97
Figura 58 – Condição de contorno no suporte interno.	98
Figura 59 – Tensão normal máxima no suporte interno.	98
Figura 60 – Critério de falha de Von Mises para o suporte interno.	98
Figura 61 – Condição de contorno no suporte externo.	99
Figura 62 – Tensão normal máxima no suporte externo.	99

Figura 63 – Critério de falha de Von Mises para o suporte externo.	99
Figura 64 – Condição de contorno para carga distribuída.	100
Figura 65 – Simulação suporte telescópio (a) Campo de tensão na direção Z. (b) Campo de tensão de Von Mises. (c) Campo de deslocamento.	101
Figura 66 – Condição de contorno com momento torsor	101
Figura 67 – Simulação suporte telescópio (a) Campo de tensão na direção Z. (b) Campo de tensão equivalente de Von Mises. (c) Tensão normal máxima de cisalhamento	102
Figura 68 – Condição de contorno com momento torsor	103
Figura 69 – Modos de flambagem (a) Primeiro modo de flambagem. (b) Segundo modo de flambagem. (c) Terceiro modo de flambagem.	103
Figura 70 – Diagrama hidráulico.	104
Figura 71 – Suporte regulável de altura do bico.	106
Figura 72 – Circuito hidráulico no software FluidSim	107
Figura 73 – Regulagem da bomba no software	110
Figura 74 – Circuito em execução sem atuação da solenoide.	111
Figura 75 – Atuação do circuito de segurança.	112
Figura 76 – Atuação do circuito de segurança.	112
Figura 77 – Circuito em execução com atuação da solenoide.	113
Figura 78 – Circuito em execução com atuação da solenoide e restrição de fluxo.	114
Figura 79 – Circuito em execução com atuação da solenoide e sem restrição de fluxo.	114
Figura 80 – Circuito em execução com atuação da solenoide e restrição de fluxo com outro sf	115
Figura 81 – Circuito em execução com atuação da solenoide com restrição de fluxo parcial e com outro sf	115
Figura 82 – Circuito em execução com atuação da solenoide e sem restrição de fluxo com outro sf	116
Figura 83 – Organograma da EAP para o ponto de controle 1.	150
Figura 84 – Organograma da EAP para o ponto de controle 2.	151
Figura 85 – Organograma da EAP para o ponto de controle 3.	152
Figura 86 – Organograma da equipe do projeto	153
Figura 87 – Cronograma do Projeto	163
Figura 88 – Página Inicial	164
Figura 89 – Página de status do trator	165
Figura 90 – Página de erro	166
Figura 91 – Logo do Projeto	167
Figura 92 – Paleta de Cores	167
Figura 93 – Paleta básica para fontes	167
Figura 94 – Página de login mobile	168

Figura 95 – Página de listagem de veículos mobile	169
Figura 96 – Página de cadastro de veículos mobile	170
Figura 97 – Página de monitoramento do veículo mobile	171
Figura 98 – Página de editar veículo mobile	172
Figura 99 – Página de alertas mobile	173
Figura 100 – Página de recuperar senha mobile	174
Figura 101 – Alerta de recuperação de senha mobile	175
Figura 102 – Página de alterar senha mobile	176
Figura 103 – Página de criar usuário mobile	177
Figura 104 – Página de editar usuário mobile	178
Figura 105 – Página de login Desktop	179
Figura 106 – Página de Veículos	180
Figura 107 – Página de Cadastrar Veículos	181
Figura 108 – Página de Veículo	182
Figura 109 – Página de Editar Veículo	183
Figura 110 – Página de Recuperar Senha	184
Figura 111 – Alerta de recuperação de senha Desktop	185
Figura 112 – Página de Alterar Senha Desktop	186
Figura 113 – Página de Cadastro de Usuário Desktop	187
Figura 114 – Página de Editar de Usuário Desktop	188
Figura 115 – Fluxograma prévio do Sistema de Direção	190
Figura 116 – Tabela 47	191
Figura 117 – Tabela 33	191
Figura 118 – Tabela 46	192
Figura 119 – Tabela 36	192
Figura 120 – Diagrama Unifilar da Bateria Principal	193
Figura 121 – Diagrama Unifilar da Bateria Secundária	194
Figura 122 – Acoplamento semi-flexível para eixos. Fonte: (ACOPLAMENTO...,) .	197
Figura 123 – Bomba hidráulica do tipo turbina. Fonte: (24V...,) .	197
Figura 124 – Amortecedor com mola para scooters. Fonte: (2...,) .	198
Figura 125 – Rolamento com mancal para fixação. Fonte: (UNIDADES...,) .	198
Figura 126 – Rolamento Blindado. Fonte: (ROLAMENTOS...,) .	198
Figura 127 – Tanque plástico 12L com pescador e retorno 2,5cm x 23,0cm x 18,5cm (Comprimento x Largura x Altura) . Fonte: (TECNOLOGIA,) .	199
Figura 128 – Válvula reguladora de fluxo. Fonte: (VÁLVULA...,) .	199
Figura 129 – Modelo de roda e pneu . Fonte:(MAGAZINELUIZA.COM.BR,) .	200
Figura 130 – Arruela Funileiro . Fonte:(CISER, 2021a)	200
Figura 131 – Arruela Lissa . Fonte:(CISER, 2021b)	200
Figura 132 – Conector em T. Fonte:(ALIEXPRESS, 2021)	201

Figura 133 – Conector fêmea. Fonte:(??)	201
Figura 134 – Bico Micro aspersor Fonte: (Sray Systems Co)	202
Figura 135 – Conector macho. Fonte: (FERRAMENTAS, 2021)	202
Figura 136 – Dobradiça. Fonte:(DISFOIL, 2021)	203
Figura 137 – Mangueira hidráulica. Fonte:(??)	203
Figura 138 – Válvula solenoide. Fonte:(ROBÓTICA, 2021)	203
Figura 139 – Parafuso. Fonte:(CISER, 2021c)	204
Figura 140 – Porca borboleta. Fonte:(CISER, 2021d)	204
Figura 141 – Porcas. Fonte:(CISER, 2021c)	205
Figura 142 – Rolamento blindado. Fonte:(UNIDADES...,)	205
Figura 143 – Rolamento de mancal. Fonte:(ROLAMENTOS...,)	206
Figura 144 – Parafuso. Fonte:(CISER, 2021e)	207
Figura 145 – Arruela Funileiro . Fonte:(CISER, 2021a)	208
Figura 146 – Motor inferior. Fonte:	208
Figura 149 – Bico Micro Aspersor Fonte: (Sray Systems Co)	209
Figura 147 – Motor superior. Fonte:	210
Figura 148 – Parafuso auto atarraxante. Fonte:(ROBÓTICA, 2021)	211
Figura 150 – Análise de convergência do Tubo em L.	248
Figura 151 – Análise de convergência do suporte externo.	248
Figura 152 – Análise de convergência do suporte interno.	249

Lista de tabelas

Tabela 1 – Requisitos de alto nível	30
Tabela 2 – Requisitos de eletrônica	31
Tabela 3 – Requisitos de energia	31
Tabela 4 – Requisitos estruturais	32
Tabela 5 – Requisitos de software não funcionais	32
Tabela 6 – Épicos dos requisitos de software funcionais	33
Tabela 7 – Requisitos de software funcionais	33
Tabela 8 – Lista É/Não é	34
Tabela 9 – Dados experimentais sobre o fluxo de água.	61
Tabela 10 – Tipos comuns de baterias em EVs.	71
Tabela 11 – Grandezas elétricas e quantidades dos componentes alimentados pela bateria principal.	73
Tabela 12 – Grandezas elétricas e quantidades dos componentes alimentados pela bateria secundária.	78
Tabela 13 – Seção dos cabos	81
Tabela 14 – Temperatura de operação	82
Tabela 15 – Tabela de dimensões do StrongBerry.	86
Tabela 16 – Comparativo entre materiais	87
Tabela 17 – Matriz de decisão	87
Tabela 18 – Tabela de comparação dos material para corpo central	89
Tabela 19 – Matriz de decisão da estrutura central	90
Tabela 20 – Comparativo entre tipos de bico. Fonte: Autores	105
Tabela 21 – Custos do projeto	117
Tabela 22 – Matriz de Riscos	121
Tabela 23 – Riscos do Projeto	121
Tabela 24 – Riscos Externos	122
Tabela 25 – Riscos do Produto	122
Tabela 26 – Ações e Riscos	123
Tabela 27 – Riscos Estruturais	124
Tabela 28 – Ações dos riscos	126
Tabela 29 – Riscos Eletrônicos	129
Tabela 30 – Ações dos riscos	130
Tabela 31 – Riscos de Energia	132
Tabela 32 – Ações dos riscos de energia	133
Tabela 33 – Riscos de Software	134
Tabela 34 – Ações e Riscos	135

Tabela 35 – Stakeholders e suas necessidades.	147
Tabela 36 – Riscos organizacionais do projeto.	148
Tabela 37 – Marcos do projeto	149
Tabela 38 – Contribuição dos membros para o PC2	154
Tabela 39 – Ferramentas de comunicação	161

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
cm	Centímetro
Coef.	Coeficiente
C_s	Amortecimento dos Amortecedores
DC	Corrente Contínua
Dens.	Densidade
d	Matriz de deslocamento
$\frac{d}{W}$	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
f_n	Frequênciā Natural
F	Força aplicada
g	Gramā
GND	<i>Ground</i>
GPa	Giga Pascal
HB	Dureza de Brinell
HEVs	<i>Hybrid Electric Vehicles</i>
HTTP	<i>Hypertext Transfer Protocol</i>
I2C	<i>Inter-Integrated Circuit</i>
JSON	<i>JavaScript Object Notation</i>
K	Kelvin
k	Matriz de rigidez
k_t	Concentrador de tensão
K_s	Rigidez das Molas
K_t	Rigidez das Pneu
kg	Quilograma
kg/m ³	Quilograma por metro cúbico
kgf.cm	Quilograma-força centímetro
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>
LPWAN	<i>Low Power Wide Area Network</i>
m	Metro
M	Massa
mAh	Miliampère-hora
MHz	Mega Hertz
mm	Milímetros
M.P	Medidor de Pressão
MPa	Mega Pascal
min	Minutos
N.m	Newton metro
Oe	Oersted
OTA	<i>Over the air</i>
PWA	<i>Progressive web app</i>
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
REST	<i>Representational State Transfer</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
ζ	Fator de Amortecimento
μ	Micro
°C	Grau Celsius
P_{cr}	Carga crítica de flambagem
σ_n	Tensão normal

Sumário

1	INTRODUÇÃO	21
1.1	Problemática	22
1.2	Justificativa	23
1.3	Objetivos	24
1.3.1	Objetivos Gerais	24
1.3.2	Objetivos Específicos	24
2	GERENCIAMENTO	26
2.1	Termo de Abertura do Projeto (TAP)	26
2.2	Estrutura Analítica do Projeto (EAP)	26
2.3	Gerenciamento de Recursos Humanos	26
2.3.1	Ferramentas de comunicação e gerenciamento de atividades	27
2.4	Metodologia	27
2.4.1	Scrum	27
2.5	Time Scrum	27
2.5.0.1	Scrum Master	27
2.5.1	Product Owner	28
2.5.2	Developers	28
2.6	Eventos Scrum	28
2.6.1	Sprint	28
2.7	Artefatos Scrum	29
2.7.1	Product Backlog	29
2.7.2	Sprint Backlog	29
2.8	Kanban	29
2.9	Cronograma	29
3	REQUISITOS	30
3.1	Requisitos de Alto-nível	30
3.2	Requisitos específicos	30
3.2.1	Requisitos de Elétrica	30
3.3	Requisitos de Estrutura	31
3.4	Requisitos de Software	32
3.4.1	Requisitos não funcionais	32
3.4.2	Requisitos funcionais	33
4	SOLUÇÃO	34

4.1	Escopo	34
4.2	Lista É/ Não É	34
4.3	Solução de Software	35
4.3.1	Sistema Embarcado	35
4.3.2	LoRa Gateway	35
4.3.3	Backend	36
4.3.3.1	API de Usuários	36
4.3.3.2	API de Veículos	36
4.3.3.3	API de Dados Coletados dos Sensores	36
4.3.4	Frontend	37
4.3.5	Protótipo	37
4.3.6	Protocolos de Comunicação	37
4.3.7	Diagrama de Dados	39
4.3.8	Diagrama de Pacotes	40
4.3.9	Diagrama de Caso de Uso	42
4.3.10	Principais decisões de software	43
4.3.11	Repositórios	44
4.4	Solução Elétrica	44
4.4.1	Eletrônica	44
4.4.1.1	Central de Controle	44
4.4.1.2	Sensoriamento	46
4.4.1.3	Sistemas Atuadores	63
4.4.1.4	Arquitetura de Eletrônica	69
4.4.2	Energia	70
4.4.2.1	Dimensionamento e seleção das baterias	71
4.4.2.2	Dimensionamento dos Condutores Elétricos	80
4.4.2.3	Diagrama Unifilar	81
4.4.2.4	Resfriamento	81
4.5	Solução Estrutural	84
4.5.1	Modelo estrutural	84
4.5.2	Materiais e componentes	86
4.5.3	Arquitetura do sistema de movimentação	91
4.5.3.1	Subsistema de propulsão	91
4.5.3.2	Subsistema de manobrabilidade	92
4.5.3.3	Dimensionamento das molas	93
4.5.3.4	Amortecimento dos amortecedores	93
4.5.4	Simulações estruturais	94
4.5.4.1	Simulação estática do tubo em L	96
4.5.4.2	Simulação estática do suporte interno	97

4.5.4.3	Simulação estática do suporte externo	99
4.5.4.4	Simulação estática do suporte telescópio	100
4.5.4.5	Simulação de flambagem do suporte telescópio	102
4.5.5	Arquitetura do sistema de alimentação	104
4.5.5.1	Simulação do sistema de pulverização	106
5	CUSTO E PRECIFICAÇÃO	117
6	ANÁLISE DE RISCOS	120
6.1	Matriz de Riscos	120
6.2	Descrição dos Riscos	121
6.2.1	Riscos do Projeto, Externos e do Produto	121
6.3	Riscos Técnicos	124
6.3.1	Riscos Estruturais	124
6.3.2	Riscos Eletrônicos	129
6.3.3	Riscos Energéticos	132
6.3.4	Riscos Software	134
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	136
	REFERÊNCIAS	137
	APÊNDICES	144
	APÊNDICE A – TERMO DE ABERTURA DE PROJETO (TAP) .	145
A.1	Descrição do Projeto	145
A.2	Justificativa	145
A.3	Objetivo	145
A.3.1	Objetivos gerais	145
A.3.2	Objetivos específicos	146
A.4	Requisitos	146
A.5	Stakeholders	146
A.6	Premissas	147
A.7	Restrições	148
A.8	Riscos	148
A.9	Marcos do Projeto	148
	APÊNDICE B – ESTRUTURA ANALÍTICA DO PROJETO (EAP)	150
B.1	Ponto de Controle 1	150
B.2	Ponto de Controle 2	151

B.3	Ponto de Controle 3	152
	APÊNDICE C – GERENCIAMENTO DE RECURSOS HUMANOS	153
C.1	Objetivo	153
C.2	Papéis e Responsabilidades	153
C.3	Contribuição dos membros	154
	APÊNDICE D – PLANO DE GERENCIAMENTO DE COMUNICAÇÃO	161
D.1	Ferramentas	161
D.2	Diretrizes e Procedimentos de Comunicação	161
	APÊNDICE E – CRONOGRAMA	163
	APÊNDICE F – IDENTIDADE VISUAL E PROTÓTIPOS	164
F.1	Protótipo de baixa fidelidade	164
F.2	Identidade Visual	166
F.3	Protótipo de Alta Fidelidade	168
F.3.1	Protótipo para Mobile	168
F.3.2	Protótipo para Desktop	179
	APÊNDICE G – DINÂMICA DE OPERAÇÃO	189
	APÊNDICE H – MEMORIAL DA SOLUÇÃO DE ENERGIA	191
H.1	Dimensionamento dos Condutores	191
H.2	Diagrama Unifilar	193
	APÊNDICE I – REPOSITÓRIOS	195
	ANEXOS	196
A	– COMPONENTES E PARTES ESTRUTURAIS	197
B	– DESENHOS TÉCNICOS	212
C	– CÓDIGO - TESTE DO SENSOR YF-S201.	244
D	– CÓDIGO - TESTE DO SENSOR GY-BMP280.	245
E	– CÓDIGO - TESTE DO SENSOR HC-SR04.	246
F	– ANÁLISE DE CONVERGÊNCIA DE MALHA	248

1 Introdução

O morango é um dos pseudofrutos nativos das regiões de clima temperado da Europa e das Américas que mais vêm sendo aceito comercialmente ao longo dos anos por sua coloração atraente, aroma e sabor agradáveis. Sua produção exige atenção desde o preparo do solo até os cuidados finais da colheita. No Brasil, entre o grupo das pequenas frutas, o morangueiro é a espécie mais explorada e representa atualmente cerca de 40% da área total de produção da América do Sul. (ANTUNES; JÚNIOR; SCHWENGBER, 2016)

Apesar de o Brasil ser um grande produtor de morango, em virtude do quadro econômico brasileiro, a forma de cultivo é predominante em pequenas áreas e estabelecimentos tipicamente familiares e de pequenos produtores, ambientes que geralmente não possuem a presença de um profissional responsável por todo o cuidado necessário na produção do morango. (PALOMBINI, 2019)

O seu plantio é majoritariamente realizado por três sistemas principais: convencional, orgânico e hidropônico. No convencional, os canteiros são cobertos com lonas de plástico ou material orgânico para proteção do solo. Já no orgânico, os morangos são produzidos em espaços menores, com canteiros levemente elevados acima do solo de largura de 0.8m a 1.2m e espaçamento de 50cm a 80cm entre eles. Por fim, no hidropônico as plantas ficam em um ambiente coberto, sobre bancadas suspensas de madeira, que exige maior mão de obra e cuidado, porém oferece maior facilidade de manuseio em relação aos demais métodos. (ANTUNES, 2011)

Após seu plantio, o morango ainda precisa de diversos cuidados essenciais por precisar de diferentes nutrientes, como o nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, cobre e o zinco. Assim, é necessário um processo de irrigação e fertilização de qualidade e preciso para que se possa ter uma safra de qualidade. O método mais indicado para as morangueiras hoje é a irrigação por gotejamento, por evitar maiores desperdícios do fertilizante e de água, porém não existem formas automatizadas de se realizar este processo. (TRANI, 2013)

"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; 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 automatizar o processo de fertilização em monoculturas de morango, reduzindo assim a necessidade de funcionários realizando esforço físico nas lavouras. Apresentar, também, um sistema de microaspersão de precisão de fertilizantes para promover um desenvolvimento pleno das mudas e um sistema autônomo de direção para percorrer os canteiros de acordo com o trajeto previamente definido. Ademais, com o intuito de informatizar a plantação, um aplicativo móvel fornecerá informações pertinentes para um acompanhamento técnico da situação atual do plantio, sendo essas informações referentes a carga e a temperatura da bateria, o tempo de operação, a quantidade de insumos gastos e a quilometragem percorrida.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Percorrer de forma autônoma um trajeto pré-definido.

- Alcançar velocidade média de 1.8 km/h.
- Realizar a fertilização de precisão por microaspersão.
- Ser resistente à água e intempéries.
- Possuir estrutura de fácil manutenção e limpeza.
- Gerar relatórios de dados da quantidade de insumos gastos e disponíveis.
- Fornecer dados do funcionamento do robô ao usuário.
- Emitir alertas visuais e sonoros em casos de emergência ou mau funcionamento (roda presa, obstáculos, descarga da bateria).
- Apresentar autonomia de bateria para realizar o percurso sem interrupções.
- Regular a quantidade de fertilizante para se adequar ao crescimento da muda.

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

2.4.1 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](#))

2.5 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.

2.5.0.1 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.

2.5.1 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.

2.5.2 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.

2.6 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.

2.6.1 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.

2.7 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.

2.7.1 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.

2.7.2 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.

2.8 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](#))

2.9 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 resistentes a intempéries e à água.	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	Ser resistente a água e terra	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 semiautônomo será guiado por meio de sensores e trabalhará autonomamente, como mostrado no fluxograma da figura 115, sem necessidade de monitoramento humano 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 robô semiautônomo	Não é um trator 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 de Software

A solução de software para o controle do veículo pelo usuário é um sistema web, que terá as funcionalidades que atendam os requisitos listados em 3.4 de forma que funcione como um painel de controle para que o usuário monitore e controle a fertirrigação de sua horta. O sistema será composto por um sistema embarcado no veículo, três APIs e uma Aplicação Web, além de um gateway para a comunicação do sistema embarcado.

As subseções seguintes explicam cada um dos serviços e o diagrama abaixo mostra a arquitetura desse sistema.

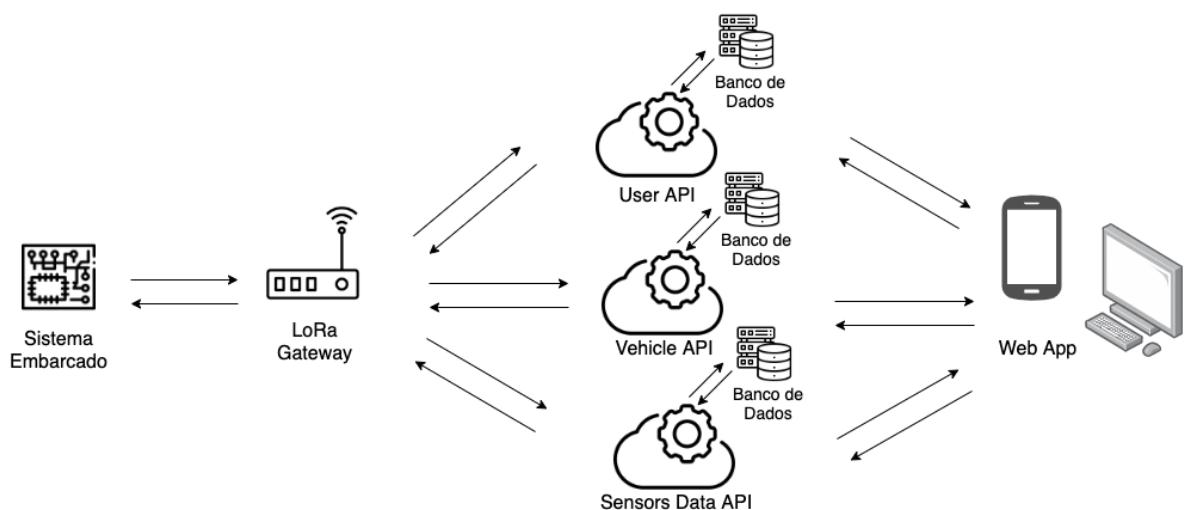


Figura 1 – Arquitetura do Software

4.3.1 Sistema Embarcado

O veículo contará com um sistema embarcado que coletará os dados medidos para enviá-los à API. O sistema será desenvolvido com a linguagem de programação C e será executado em uma ESP32. Esse módulo será encarregado de coletar os dados fornecidos pelos sensores do veículo e enviá-los a partir do gateway para a API, além de receber comandos para regular o funcionamento do veículo.

4.3.2 LoRa Gateway

A comunicação do sistema embarcado com a API será feita através de um gateway LoRa localizado próximo a horta 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.

A implementação desse gateway 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), o produto tem a possibilidade de manter a comunicação com a API com baixo consumo de energia e sem muita interferência de sinal.

O protocolo é pensado para ser usado em sistemas de IoT (internet of things), com isso se torna um forte aliado do produto, para manter o usuário atualizado com os acontecimentos relacionados ao veículo.

4.3.3 Backend

O backend da aplicação utiliza de microsserviços, outra proposta de inovação do projeto, que será feito com a implementação de três APIs (Application Programming Interface), para gerenciamento de usuários, veículos e dados coletados. Os serviços serão desenvolvidos em NodeJS, um framework na linguagem JavaScript, e utilizarão do protocolo REST (Representational State Transfer) para a comunicação do sistema.

4.3.3.1 API de Usuários

O serviço de usuários será 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.

4.3.3.2 API de Veículos

O serviço de veículos será responsável pelo armazenamento e gerenciamento dos veículos e comandos enviados a ele. Mantendo assim o controle do veículo, quantidade de fertilizante utilizado e os comandos enviados pelo usuário. Esse serviço também será responsável por enviar os comandos do usuário ao veículo de destino que deverá processar esses comandos.

4.3.3.3 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 emitirá alertas em casos críticos e fará o processamento para alimentar os gráficos renderizados no frontend.

4.3.4 Frontend

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

Para o desenvolvimento dessa aplicação, o conceito de PWA (Progressive web app) será 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 terá 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 possibilitará o gerenciamento de mais um veículo que o usuário seja proprietário, fornecendo todas as possibilidades para os veículos de forma individualizada.

4.3.5 Protótipo

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

4.3.6 Protocolos de Comunicação

Protocolos da Aplicação

A figura 2 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.

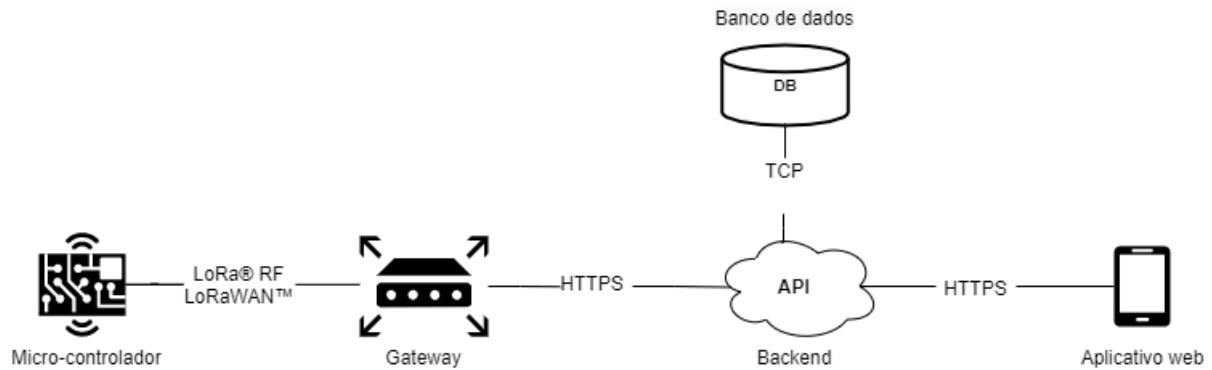


Figura 2 – Diagrama de Protocolos de comunicação

Protocolo LoRaWAN™

O protocolo LoRaWAN™ descrito na imagem 3 é responsável pela comunicação entre o micro-controlador e a gateway, possuindo comunicação up-link e down-link. A comunicação up-link trata do envio de dados do micro-controlador 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 down-link ocorre no envio de dados da gateway para o micro-controlador e possuem três classes para definir diferentes comportamentos na comunicação, variando entre o micro-controlador permanecer ativo para o recebimento de dados em uma janela de tempo após o envio de dados ou permanecer sempre ativo para o recebimento.

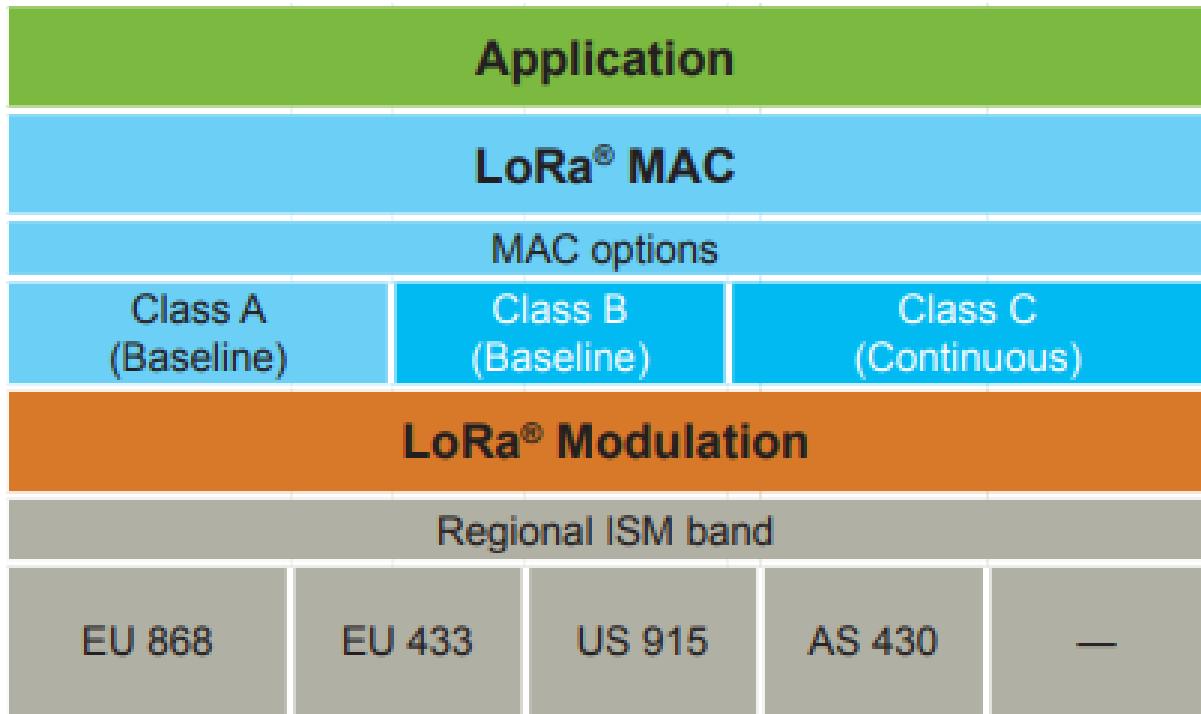


Figura 3 – Protocolo LoRaWAN™

4.3.7 Diagrama de Dados

A figura 4 do diagrama de dados abaixo representa as estruturas de dados que serão utilizadas pelo sistema. O banco de dados escolhido para a aplicação foi o MongoDB, que é um banco de dados não relacional baseado na estrutura de documentos.

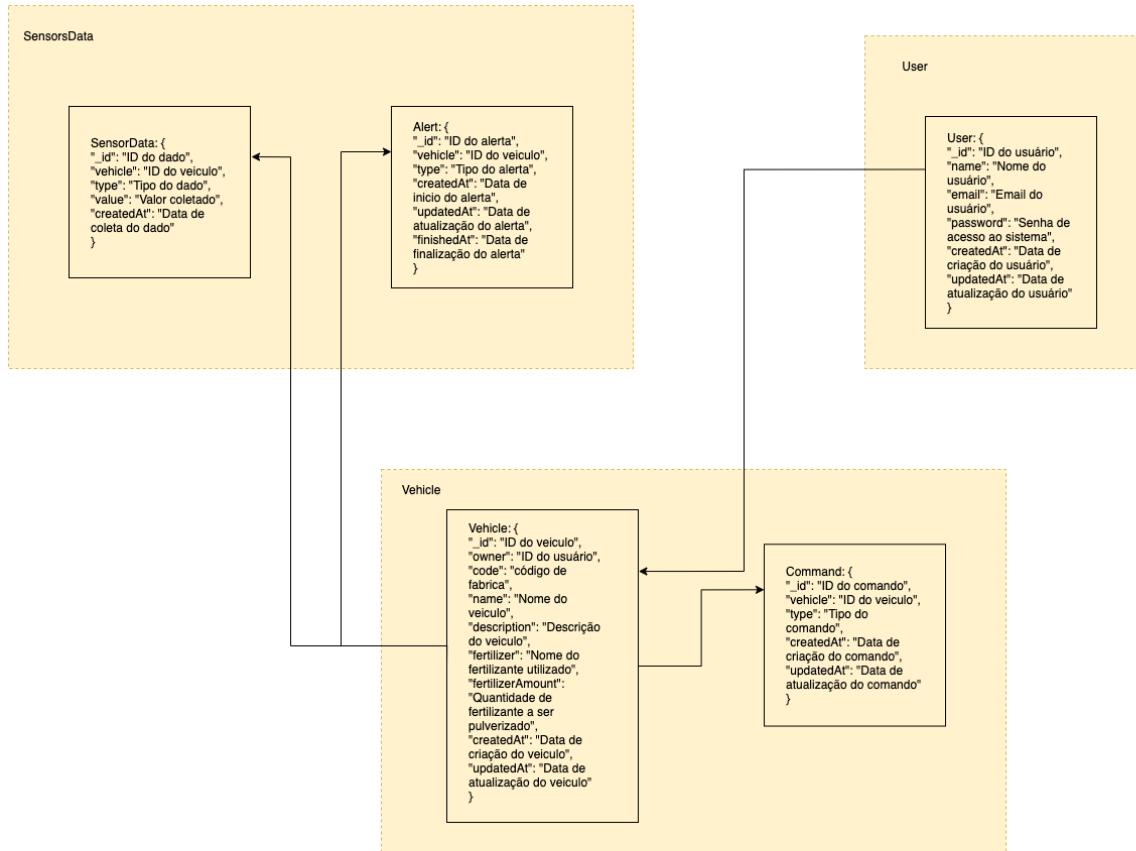


Figura 4 – Diagrama de Dados

4.3.8 Diagrama de Pacotes

Abaixo nas figuras 5 e 7 podemos visualizar os diagramas de pacotes do frontend e backend, especificamente. Todos os serviços do backend utilizarão do mesmo modelo estabelecido.

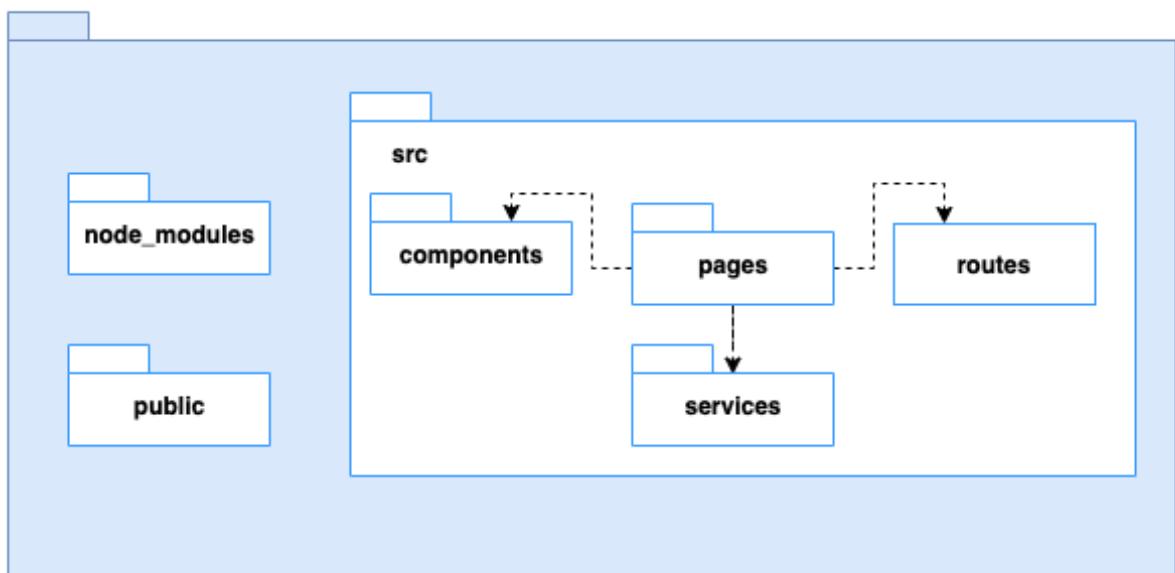


Figura 5 – Diagrama de Pacotes do Frontend

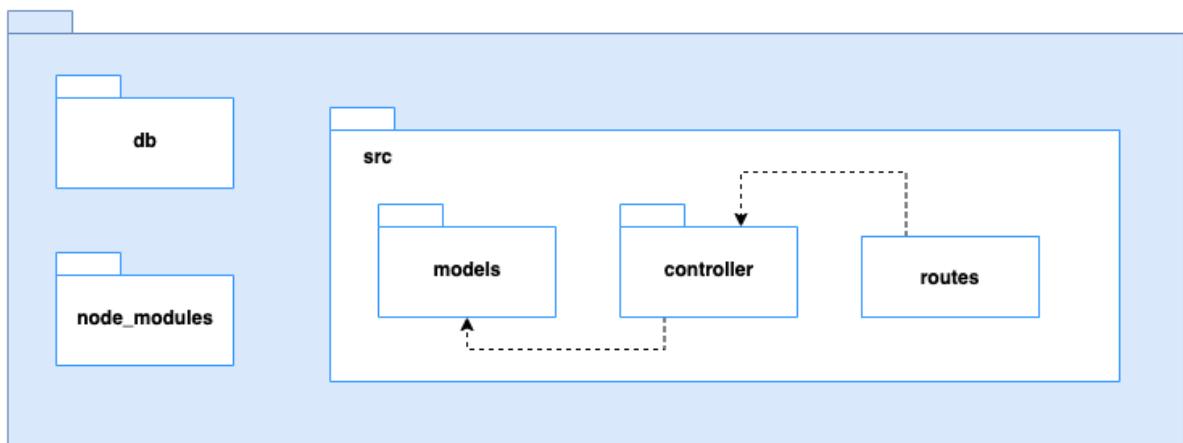


Figura 6 – Diagrama de Pacotes do Backend

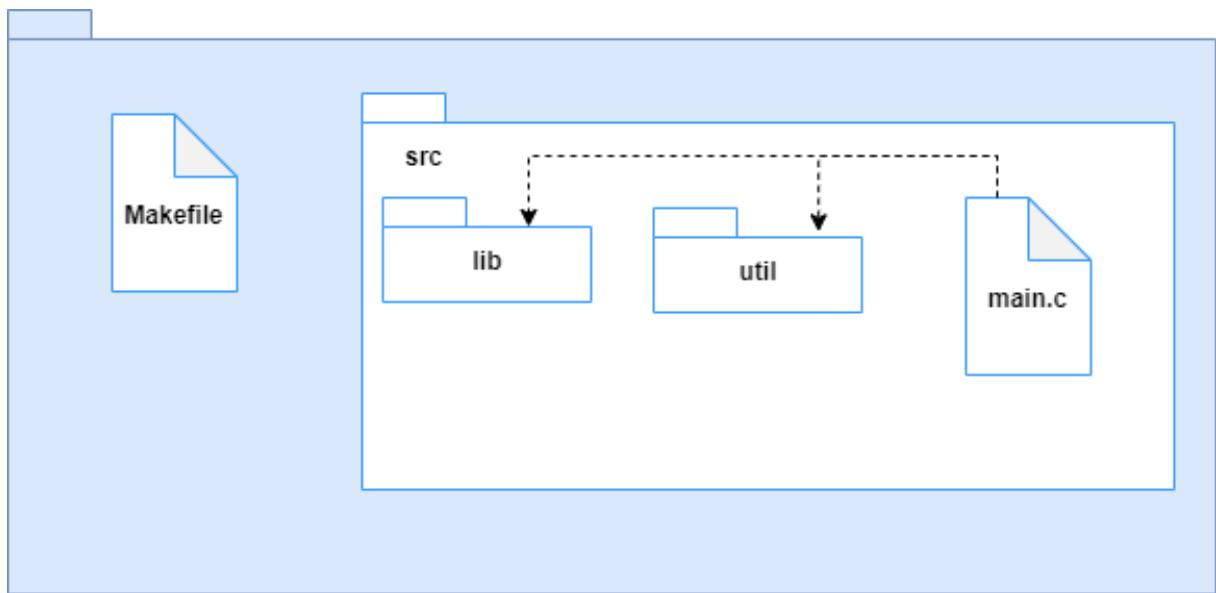


Figura 7 – Diagrama de Pacotes do Embarcado

4.3.9 Diagrama de Caso de Uso

Abaixo na figura 8 é representado os casos de uso do aplicativo pelos usuários autenticados e não-autenticados.

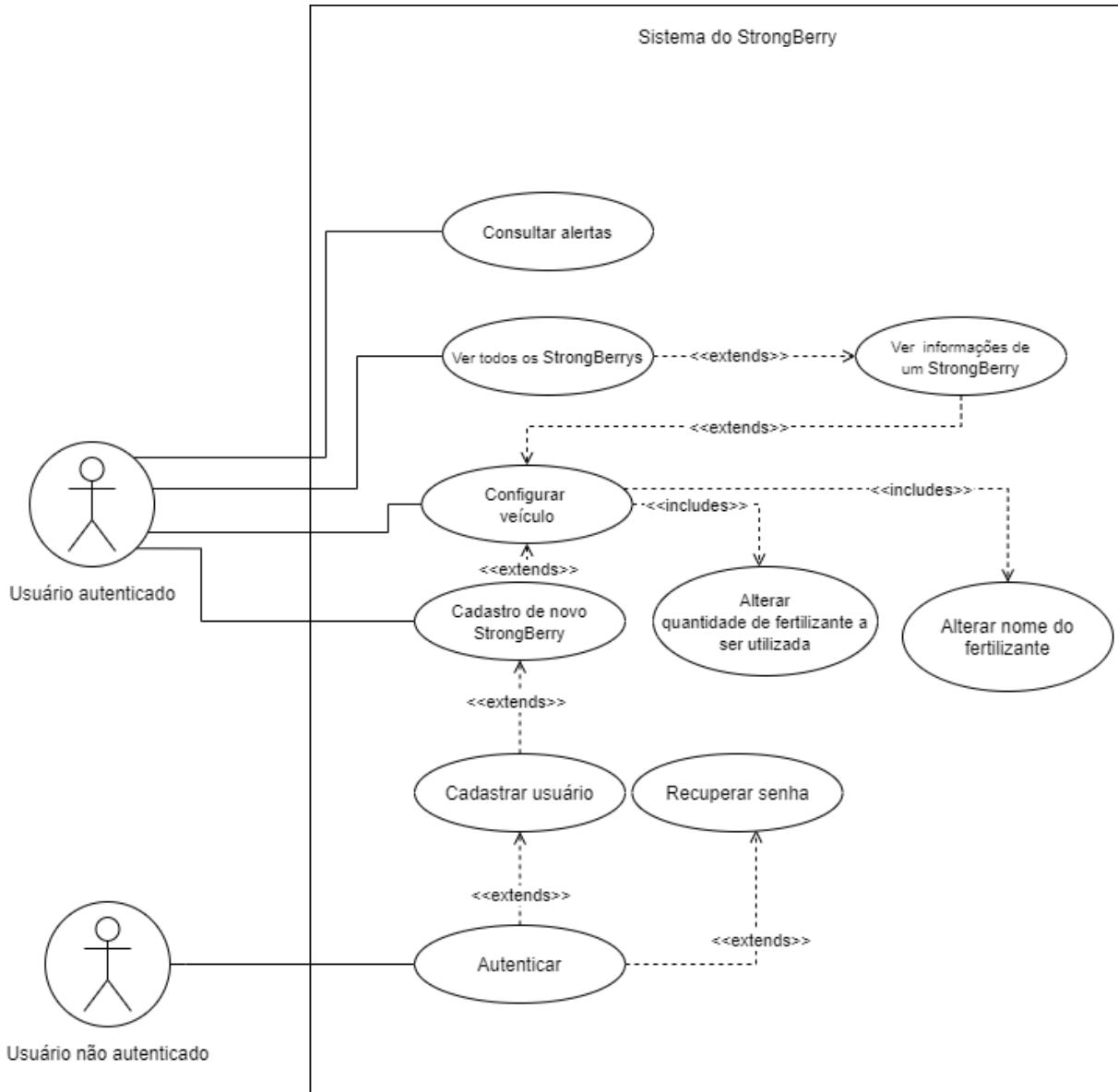


Figura 8 – Diagrama de Casos de uso

4.3.10 Principais decisões de software

LoRa Gateway

O protocolo LoRaWAN® foi escolhido para a comunicação entre o sistema embarcado no StrongBerry e a API de dados, pois é uma tecnologia madura e seus requisitos atendem a necessidade de comunicação.

MongoDB

A tecnologia do banco de dados foi definida a partir da análise da arquitetura de dados proposta na figura 4, 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

Dado que o sistema de back-end realiza apenas funções simples de CRUD e envio de comandos remotos, foi decidido o uso do framework ExpressJS, que permite o desenvolvimento desse tipo de aplicação de maneira descomplicada.

4.3.11 Reppositórios

Está disponível no apêndice I uma orientação sobre os repositórios utilizados.

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.

- Raspberry Pi 3 Model B**

A Raspberry Pi 3 Model B é um Single-Board Computer (SBC), ou seja, um computador completo construído em uma única placa de circuito, o qual apresenta, dentre vários recursos de hardware, um microprocessador de quatro núcleos de 1,2 GHz e 64 bits, 1 GB de memória RAM, assim como Wi-Fi e Bluetooth ([RASPBERRY PI ORG, 2016](#)). 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 2,1 A.

O principal motivo para a escolha da Raspberry Pi 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 serão 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, será utilizado 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 utilização da Raspberry Pi para a identificação de mudas de morango e acionamento da bomba do aspersor, também será conectado o sensor de temperatura BMP280 e o sensor de fluxo YF-S201 a ela, e os dados obtidos por esses sensores serão transmitidos para a ESP32 por meio do protocolo MQTT para posteriormente serem disponibilizados ao usuário na API.

- **ESP32 LoRa**

Esse módulo contém o microcontrolador ESP32, com todas as características citadas no tópico anterior, mais um transceptor LoRa (Long Range) e um display Oled integrados em uma mesma placa de circuito, assim como mostra a Figura 9. 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. 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 serão conectados à ESP32LoRa os sensores acelerômetro e giroscópio GY-521 MPU6050, ultrassom HC-SR04 e transdutor digital de indutância LDC 1101. A ESP32LoRa ficará encarregada de realizar a leitura dos dados desses sensores e enviá-los a um gateway que funciona como um receptor LoRa e, posteriormente, essas medições serão disponibilizadas em uma API para o usuário ficar informado sobre os resultados do processo de fertilização. Além dos dados medidos pelos sensores citados, a ESP32LoRa receberá dados de temperatura e fluxo de fertilizante da Raspberry Pi e os enviará junto, sendo que a comunicação entre os controladores será realizada pelo protocolo MQTT, que é um protocolo de comunicação wireless implementado a partir de uma rede WiFi.

Por fim, a ESP32LoRa também realizará o controle de velocidade dos atuadores do StrongBerry por modulação PWM, em que os pulsos digitais serão gerados por software, os quais servirão de entrada para os drivers conectados aos motores. Dessa forma, o sistema de controle do StrongBerry fica dividido em dois subsistemas, tendo a ESP32LoRa para controle de movimento e direção do veículo, além do envio de dados ao LoRa gateway, e a Raspberry Pi 3 Model B para realização do processo de fertilização das mudas de morango e medição tanto do fluxo de fertilizante quanto da temperatura do StrongBerry.



Figura 9 – Microcontrolador ESP32 LoRa. ([HELTEC AUTOMATION, 2018](#))

4.4.1.2 Sensoriamento

Esta frente tem como função extraír 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. \(2009\)](#), 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.

- Transdutor digital de indutância

O princípio de funcionamento deste transdutor é baseado na medição dos parâmetros do oscilador formado por um capacitor em paralelo com um indutor, no qual, quando um objeto condutor se aproxima, figura 10, ele se torna magneticamente acoplado ao oscilador devido ao campo magnético gerado pela corrente passando pelo indutor. Esse acoplamento afeta diretamente a indutância do transdutor conforme o objeto se move, alterando a energia necessária para manter a oscilação. Por fim, a perda de potência pelo circuito oscilador é proporcional a impedância do objeto aproximado, sendo esse valor amostrado convertido para um valor digital permitindo identificar a posição do objeto.

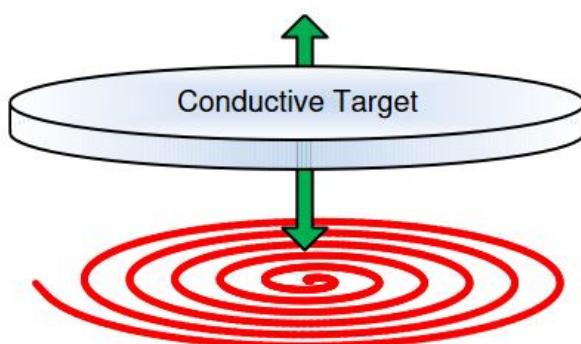


Figura 10 – Espiral circular indutora para detecção axial de objeto condutor.(??)

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 escolhido para a aplicação foi o **LDC1101**, o qual é sensível a uma vasta variedade de materiais condutores e que apresenta uma tecnologia acurada e robusta de detecção, adequada para ambientes com interferências como terra, água, óleo e poeira, e que apresenta diversas aplicações na área industrial e automotiva.

Este transdutor possui duas configurações de operação: detecção axial e contagem de eventos. Na configuração axial o objeto a ser detectado está se movendo ao longo do eixo, perpendicular ao plano da bobina formada pelo indutor, como mostrado na figura 11, desta forma o sensor mede a variação da indutância em relação ao movimento do objeto. Já a configuração de contagem de evento é a mais adequada para medição de rotações, ilustrada na figura 12, em que o sensor LDC mede a variação periódica de indutância gerada por algo como uma engrenagem. Para ambos os casos, 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 indicam a passagem do objeto medido.

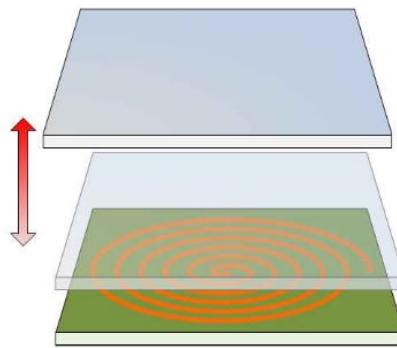


Figura 11 – Configuração por detecção axial.(??)

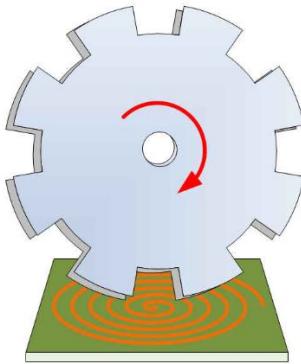


Figura 12 – Configuração de contagem de evento.(??)

Com o intuito de analisar a saída do sensor foram realizados testes usando o modulo de avaliação do **LDC1101** 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 2cm 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.

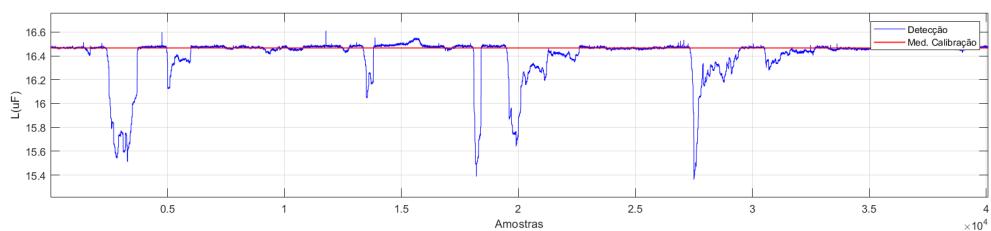


Figura 13 – Análise do comportamento da indutância decorrente da aproximação de objetos condutores.

Observando o gráfico da figura 13 podemos identificar o momento em que os objetos foram aproximados assim como distinguir qual a resposta gerada pela garrafa e pela moeda. Dessa forma, conclui-se que o transdutor será apropriado para realizar a contagem da rotação das rodas do veículo.

- **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 14, 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.

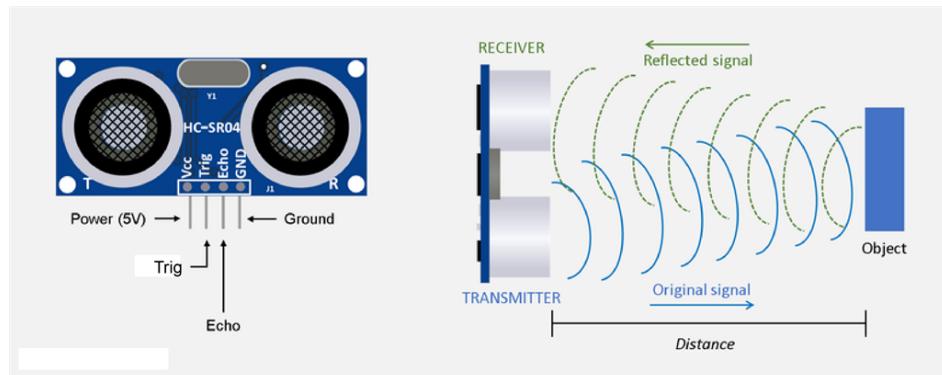


Figura 14 – Ilustração demonstrativa do funcionamento do sensor ultrassônico.(OSOYOO, 2018)

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 dentre um ângulo de abertura de 15°, figura 15, apresentando uma precisão de 3 mm.

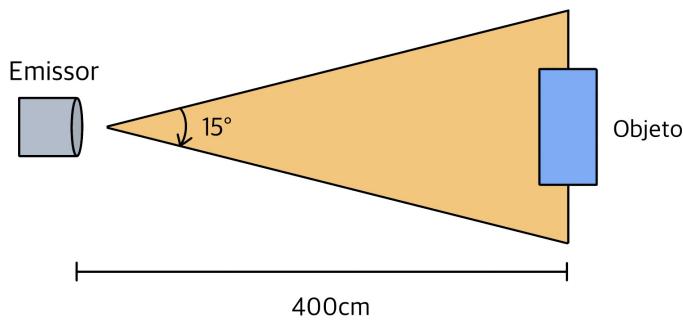


Figura 15 – Faixa de atuação do sensor ultrassônico HC-SR04.

O processo de operação do sensor ultrassônico é demonstrado na figura 16, 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.

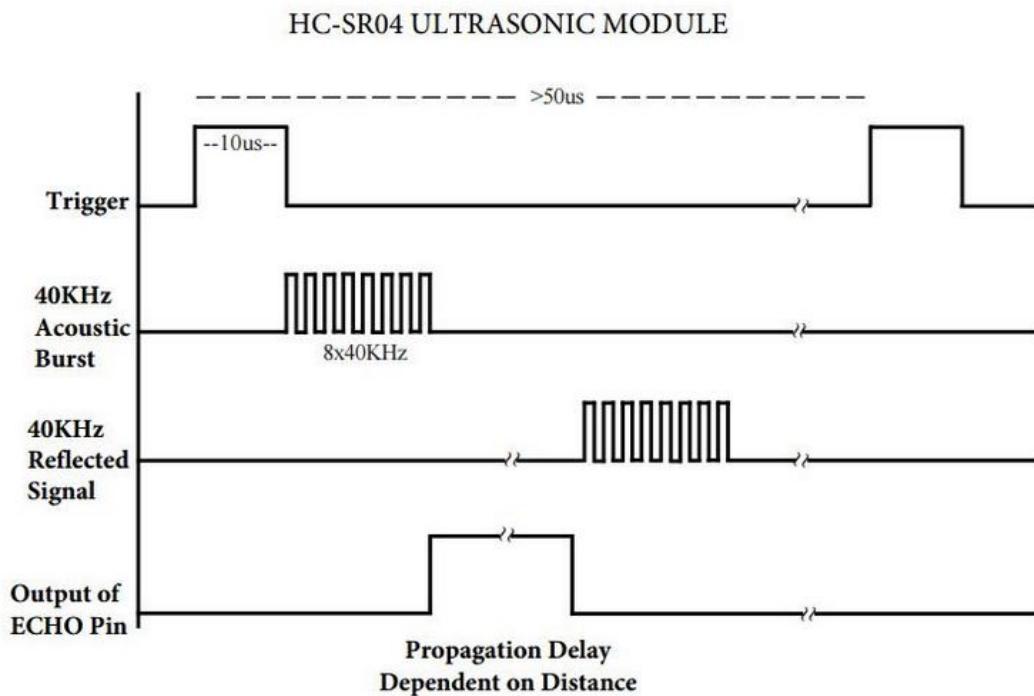


Figura 16 – Diagrama de tempo dos pulsos nas portas *Trig* e *Echo* do sensor ultrassônico. (OSOYOO, 2018)

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.

$$\text{distância} = \frac{\text{velocidade do som} \times \text{tempo de duração da saída Echo}}{2} \quad (4.1)$$

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 \(2018\)](#) 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 \(2018\)](#) consiste em aplicar a análise estatística de uma distribuição de normalidade em que, para verificar a normalidade da distribuição de uma variável foram realizados testes com os dados coletados das leituras dos sensores 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 17 que demonstra o comportamento de uma distribuição normal.

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 17 – Análise de normalidade para o sensor HC-SR04. ([SOUSA, 2018](#))

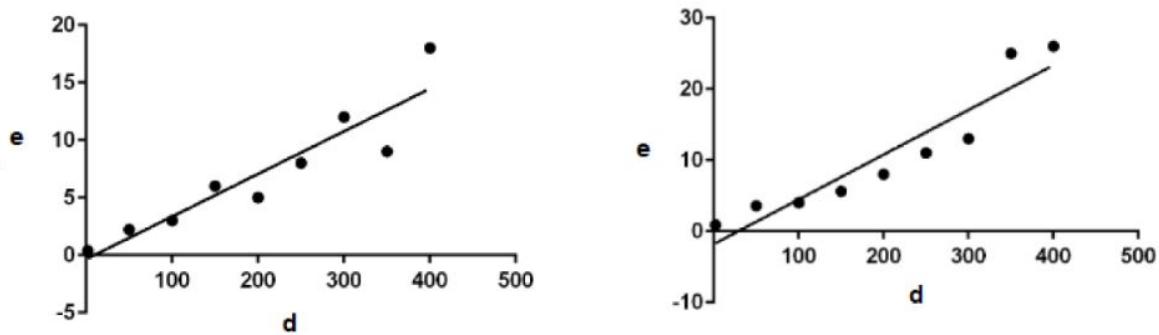


Figura 18 – Gráfico da regressão linear para dois sensores HC-SR04 diferentes. ([SOUSA, 2018](#))

Prosseguindo, foi realizada uma regressão linear dos dados obtidos dos sensores para traçar uma curva de ajuste, figura 18, e foi proposto o algoritmo para correção do erro de leitura do sonar através de calibragem 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 pela correção da leitura do sensor e oferece uma estimativa para a distância real.

$$\text{distância real} = \frac{\text{distância medida} - a}{1 + b} \quad (4.2)$$

A partir destas informações, foram realizados testes com sensor ultrassônico, montado o circuito conforme demonstrado no esquemático da figura 19, em que o sensor é alimentado pela tensão de 5V fornecida pela raspberry pi 3 e as entradas Trig e Echo são controladas pelos GPIOs 11 e 7 respectivamente. No entanto, a saída Echo do sensor possui uma tensão de 5V quando acionada e as GPIOs suportam tensões até 3,3V, o que torna necessário o uso de um divisor de tensão. Para esta aplicação, foi escolhido arbitrariamente um resistor de $1k\Omega$ e usando a fórmula 4.3 para o divisor de tensão foi calculado R2 sendo $2k\Omega$.

$$V_{(out)} = V_{(in)} \times \frac{R2}{R1 + R2} \quad (4.3)$$

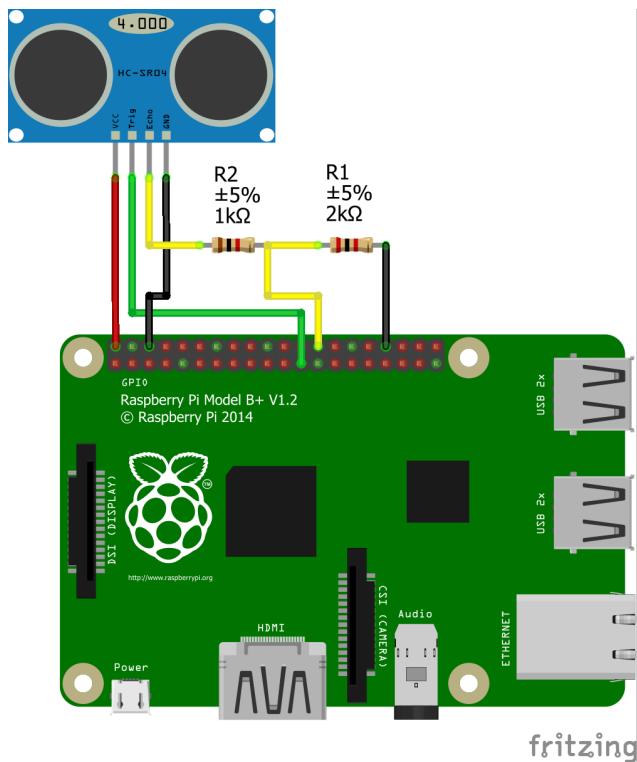


Figura 19 – Esquemático da conexão do Sensor Ultrassônico com a Raspberry Pi 3.

A partir destas informações foram realizados testes de leitura, posicionando o sensor 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.

O teste foi realizado para cada distância e em cada um dos testes foram coletadas 100 leituras pelo sensor. O código usado para a simulação foi disponibilizado pelo site [RASPBERRY PI TUTORIALS \(2017\)](#) e nele foi adicionando um *loop* com contador para armazenar as 100 leituras conforme demonstrado no anexo E. Os resultados foram organizados em gráficos, apresentados na figura 20, para observar a distribuição das leituras realizadas pelo sensor ultrassônico.

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, sendo que esta distância deveria ser a de maior precisão na faixa de 3 mm, erro que pode ser decorrente do processo de fabricação do componente. Contudo, ao realizar a regressão linear dos resultados, figura 21, observa-se que as informações obtidas apresentam uma ótima qualidade, tendo em vista que foram retiradas em um ambiente controlado e com as melhores condições possíveis.

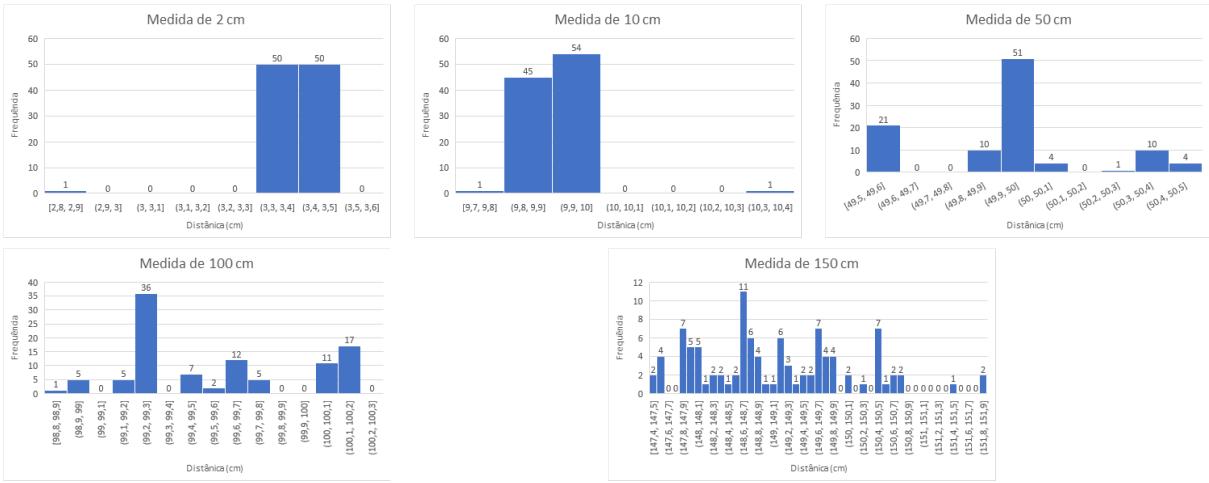


Figura 20 – Resultado da leitura do sensor HC-SR04 para diferentes distâncias

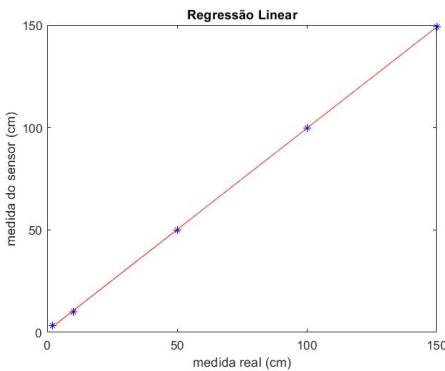


Figura 21 – Gráfico da regressão linear das leituras realizadas pelo sensor HC-SR04.

Em sequência, os testes foram realizados novamente, mas desta vez usando uma adaptação do código desenvolvido por [Sousa \(2018\)](#) convertido para python com adição do código de obtenção de leituras, devido o código original usar uma biblioteca para arduíno, que apresenta o algoritmo parra correção de erro por calibragem. Os resultados obtidos para a grande maioria das faixas de medidas não foram muito relevantes, 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.

Por fim, deveram ser realizados futuramente novos testes com a finalidade de obter dados expondo o sensor a condições adversas pois, sabe-se que quando estiver atuando no campo 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 de um algoritmo para a calibragem. ([COSTA, 2015](#))

- Acelerômetro e giroscópio

O acelerômetro/giroscópio é um dispositivo eletrônico denominado unidade de medida inercial, ou IMU (Inertial Measurement Unit), que tem como principal função fornecer dados relativos a aceleração linear e angular em cada um dos 3 eixos, tendo, assim, um grau de liberdade igual a 6. Para isso, são utilizados sistemas microeletromecânicos, ou MEMS (Microelectromechanical Systems), que é uma tecnologia de dispositivos microscópios com partes móveis. Dessa forma, a partir do movimento do dispositivo, pelo princípio de inércia, são gerados deslocamentos entre as partes móveis, e esses deslocamentos causam alterações nas capacitâncias internas, sendo essas alterações convertidas em valores de aceleração linear e angular. Para uma melhor visualização, a Figura 22 apresenta um exemplo de estrutura para um acelerômetro de 2 eixos.

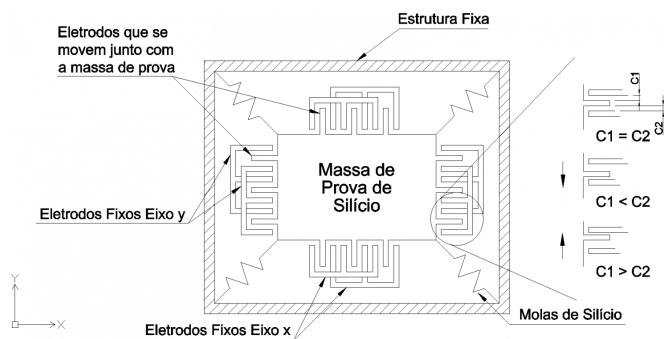


Figura 22 – Estrutura de um acelerômetro de 2 eixos ([EMBARCADOS](#), 2015)

Para garantir que o StrongBerry esteja se movendo pelas fileiras de morango na direção correta e, assim, evitar com que ele suba nas plantações, é necessária uma forma de medir a orientação do veículo. O acelerômetro/giroscópio GY-521 MPU6050 foi o sensor escolhido para realizar essa medição. Como explicado anteriormente, esse tipo de sensor mede aceleração linear e angular nos 3 eixos tridimensionais, porém, também é possível utilizá-los para medir ângulos. Para isso, de forma resumida, os valores providos pelo MPU6050 devem ser lidos como vetores expressos em quatérnios e convertidos para ângulos de Euler, os quais podem ser expressos de uma forma mais reconhecível em radianos ou graus.

Foi feita uma simulação utilizando uma ESP32 em conjunto com o acelerômetro e giroscópio MPU6050 para medição do ângulo de direção. Para isso, foi utilizada a biblioteca MPU6050_light ([FETICK](#), 2021), a qual apresenta funções que implementam todos os cálculos necessários para a medição de ângulos com o MPU6050, assim como realiza a calibração do sensor. Os resultados da simulação são apresentados na Figura 23. Durante as simulações, entretanto, foi notado que o sensor apresenta um erro quando utilizado em ambientes com vibrações, que, pelo fato de o sensor não ter um referencial fixo de ângulo de direção, pode acabar deslocando a referência inicial obtida no processo de calibração do sensor. Há algumas formas de diminuir esse erro, dentre elas, é comum a utilização de Filtro de Kalman ou a integração com um sensor de bússola, o qual tem o polo norte da

Terra como referencial fixo. Posteriormente, será realizado um estudo para decidir se o MPU6050 será integrado ou substituído por um sensor de bússola.

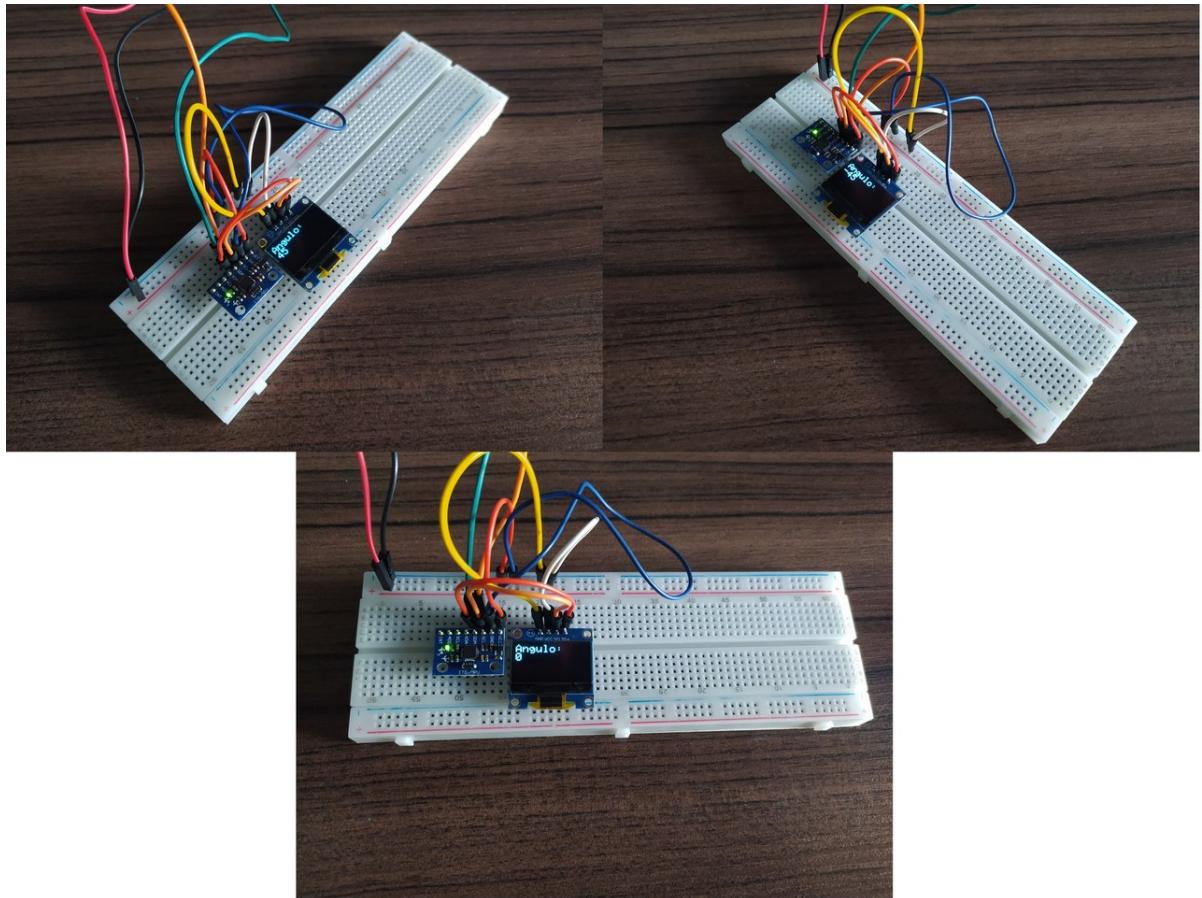


Figura 23 – Simulação do acelerômetro e giroscópio MPU6050 para medição dos ângulos 45°, 0 e -45°

- **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. \(2005\)](#) 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. \(2018\)](#), figura 24, mostra a perda de capacidade para uma bateria de lítio após realizar ciclos de carga e recarga sob uma temperatura de 75°C.

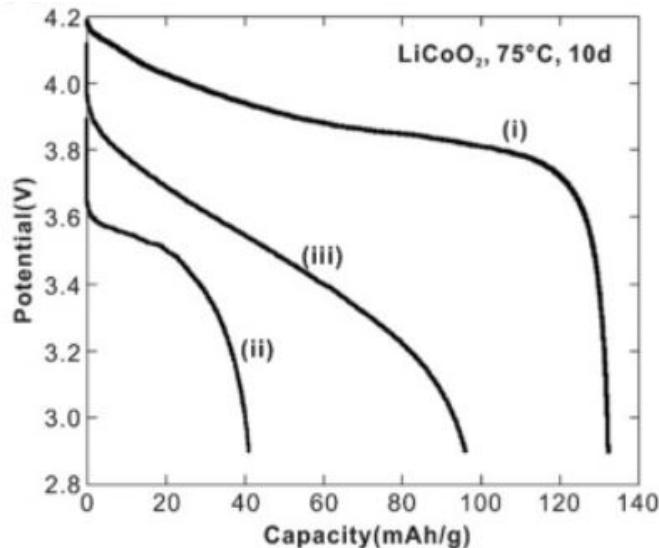


Figura 24 – Curvas da descarga de bateria: (i) após o quinto ciclo antes do envelhecimento, (ii) após o primeiro ciclo depois do envelhecimento e (iii) depois do quinto ciclo após o envelhecimento. ([MA et al., 2018](#))

Contudo, foi constatado por [Ma et al. \(2018\)](#) 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 no momento presente.

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 sobre-amostragem usados para reduzir o ruído e aumentar a precisão. ([BOSCH SENSORTEC, 2015](#))

O módulo possui uma faixa de medida de temperatura de -40 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^2C .

Os testes do sensor foram executados com o auxílio do código disponibilizado pelo site PIBITS (2018). O diagrama da montagem do circuito está apresentado na figura 25 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.

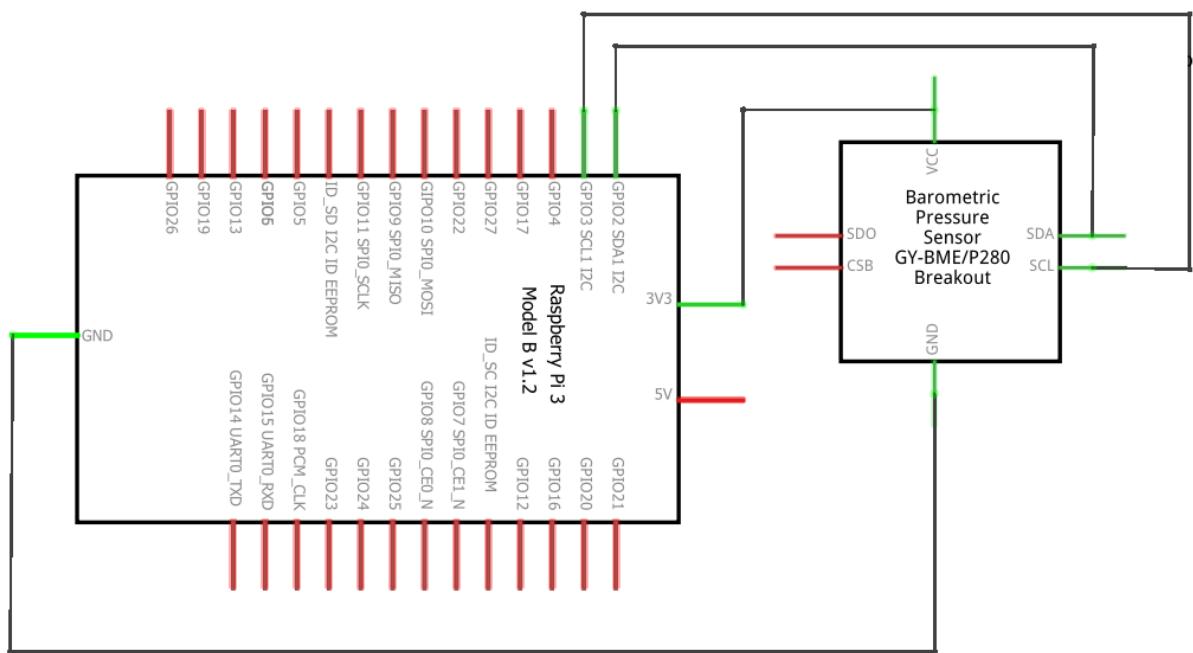


Figura 25 – Diagrama das conexões do circuito de teste para o BMP280.

As medições obtidas no teste se encontram na faixa de 33,67-31,59°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 $\pm 1^\circ\text{C}$.

- **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 vazão, 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 26 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](#))

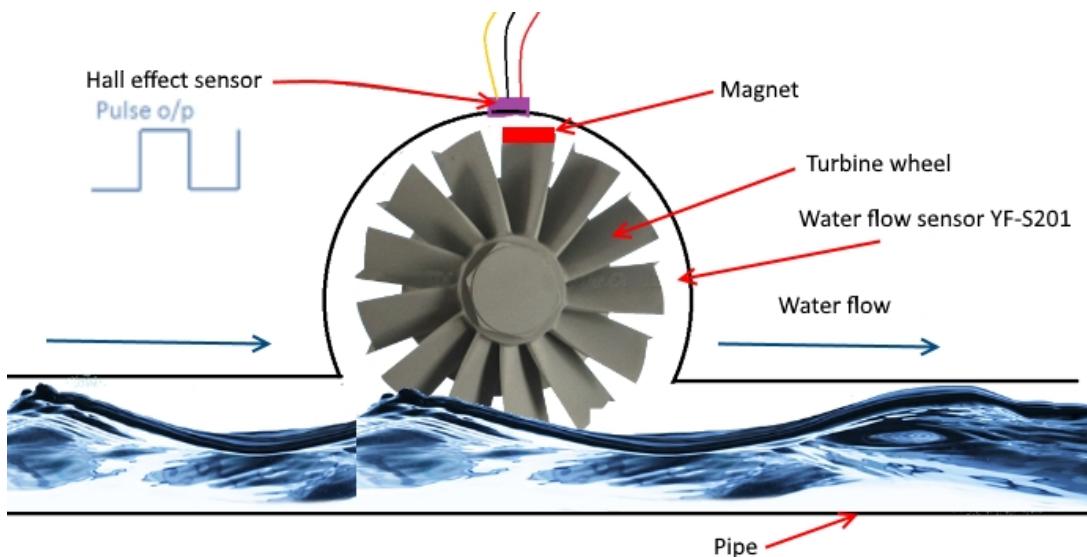


Figura 26 – Mecanismo de medição do sensor de fluxo YF0S201. ([ACOPTEX, 2018](#))

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](#))

$$\text{Taxa de Fluxo (L/Min)} \quad Q = \frac{F}{7.5} \quad (4.4)$$

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.

$$L = \frac{Q \times \text{tempo decorrido}}{60(s)} \quad (4.5)$$

$$L = \frac{(F/5, 7) \times \text{tempo decorrido}}{60(s)} \quad (4.6)$$

$$L = \frac{Pulsos}{60 \times 7,5} \quad (4.7)$$

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 \(2021\)](#), anexo [Apêndice C](#), sendo executado por uma Raspberry Pi 3. O esquemático da figura 27 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, seu cálculo foi realizado utilizando a equação [4.3](#) obtendo os valores de $R1 = 1k\Omega$ e $R2 = 2k\Omega$.

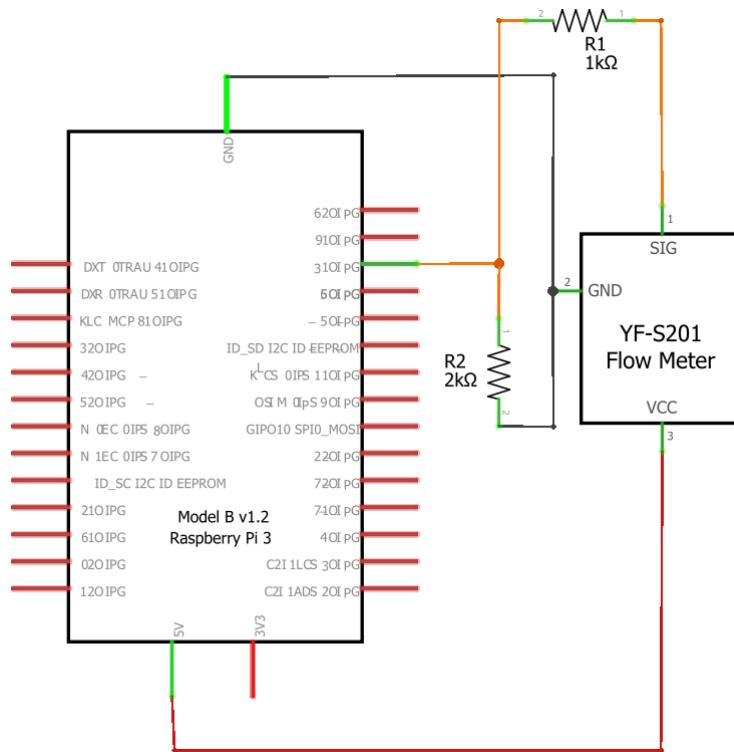


Figura 27 – Diagrama das conexões do circuito de teste para o sensor de fluxo YF-S201.

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

Tabela 9 – Dados experimentais sobre o fluxo de água.

Método	Taxa de Fluxo [L/min]	Volume [L]
Sensor	7,133	9,63
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 (2020), nos mostram que a acurácia deste sensor possui uma relação direta com a velocidade do fluxo, atuando melhor com acurácias de 99% em fluxos alto e menor em fluxos baixos 80%. Ademais, como pode ser visto na figura 28 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 28 – Resultados obtidos do experimento usando o sensor de fluxo YF0S201. (PEREIRA; HOPP; WISINTAINER, 2020)

- Câmera

Para a filmagem e posterior 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 será utilizada para filmar a parte de baixo do StrongBerry e, a partir dessa filmagem, será 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 29, 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).

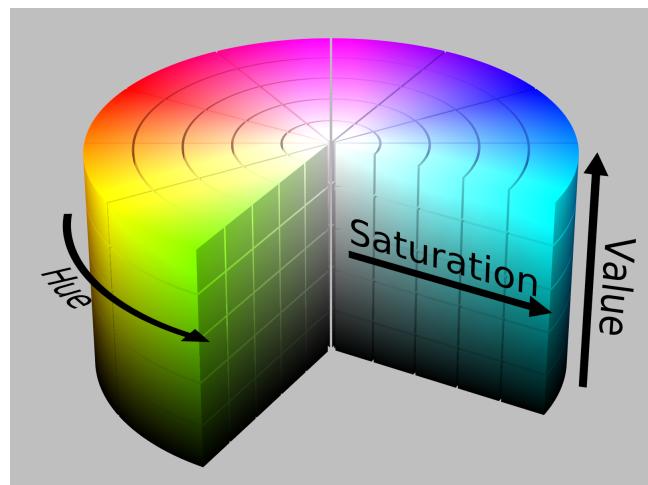


Figura 29 – Cilindro de representação de cores HSV ([WIKIPEDIA, 2021](#))

Foi realizada uma simulação com a Raspberry Pi 3 Model B em conjunto com a câmera para a verificação experimental do código em Python que implementa a identificação da cor verde. O código é uma adaptação daquele presente em ([GEEKS FOR GEEKS ORG, 2020](#)), 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 fiquem juntas em um mesmo espaço e, por fim, é desenhado um retângulo na imagem original da câmera em torno do objeto identificado como verde caso a imagem apresente um número de pixels verdes acima de 10% do total de pixels da imagem. Esse valor de 10% foi arbitrado de forma a evitar detecção de falsos pixels verdes ao longo da execução do código, os quais podem aparecer de forma escassa. O resultado do funcionamento do código pode ser visto na Figura 30.

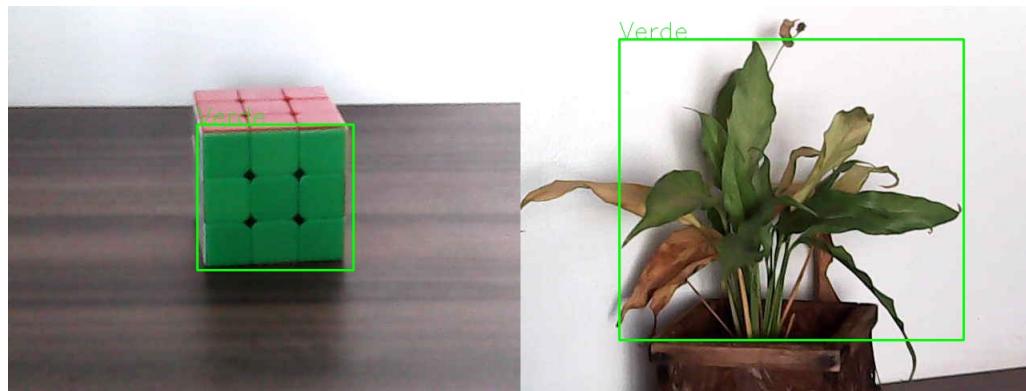


Figura 30 – Resultados do código de identificação da cor verde para um objeto cúbico e uma planta

4.4.1.3 Sistemas 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, serão utilizados quatro motores com redução DC de modelo MB24012 para o controle das rodas, conforme a figura 31 e quatro motores DC com caixa de redução ROBOCORE-1228 para o controle de rotação do StrongBerry, conforme a figura 32. Para realizar o controle de velocidade e inversão de rotação, será utilizado um controlador de PWM fornecido juntamente com o motor DC MB24012, conforme a figura 33.

- **Motor DC MB24012**

Para tração do StrongBerry, serão 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 kgs, o diâmetro da roda de 0,402m, a velocidade máxima que o veículo deve atingir de 0,5m/s.

começamos definindo o perímetro:

$$\text{perímetro} = \pi * \text{DiâmetroRoda} \Rightarrow \pi * 0,402m \quad (4.8)$$

$$\text{perímetro} = 1,26m \quad (4.9)$$

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.

$$RPM = \frac{\text{Velocidade}}{\text{Perímetro}} \Rightarrow \frac{0,5m * 60s}{1,26m} \quad (4.10)$$

$$RPM = 23,81 \quad (4.11)$$

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:

$$F = \frac{\text{Massa} * \text{Velocidade}}{\Delta \text{Tempo}} \Rightarrow \frac{90 * 0,5}{1} \quad (4.12)$$

$$F = 45N \quad (4.13)$$

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

$$Torque = Força * RaioRoda \Rightarrow 45 * \frac{0,402}{2} \quad (4.14)$$

$$Torque = 9,045N * m \quad (4.15)$$

Com isto, identificamos a necessidade de um motor com torque de 9,045N*m 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:

- Voltagem: 12V DC;
- 40 RPM;
- Corrente (nominal): 4A;
- Corrente (Máxima): 10A;
- torque (nominal): 6Nm;

- Torque (Máximo): 35Nm;



Figura 31 – Motor DC MB24012

- **Motor com Caixa de redução ROBOCORE-1228**

O StrongBerry contrará com 4 motores com caixa de redução do modelo ROBOCORE-1228 conforme a imagem 32, 1 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 15Kg's, o RPM calculado anteriormente de 23,81 e o raio da roda de 0,201m, assim como anteriormente. A partir destas informações, podemos então encontrar a frequência sendo ela:

$$Freq = \frac{RPM}{60} \Rightarrow Freq = 0,40Hz \quad (4.16)$$

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

$$\omega = 2 * \pi * Freq \Rightarrow 2 * \pi * 0,40Hz \quad (4.17)$$

$$\omega = 2,5132 \quad (4.18)$$

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

$$Torque = Massa * Raio * Aceleração \Rightarrow 15Kgs * 0,201m * 0,5m/s^2 \quad (4.19)$$

$$Torque = 1,50N * m \quad (4.20)$$

Através das especificações descritas, definimos a escolha do motor DC com caixa de redução ROBOCORE-1228, mostrado na figura 32, que possui as características:

- Tensão: 12V;

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

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



Figura 32 – Motor DC ROBOCORE-1228

- **Drivers de controle de velocidade PWM**

Drivers de motor DC são pré-atuadores que funcionam como amplificadores, fornecendo tensão e corrente necessárias para o acionamento dos motores. Por meio dos drivers também é possível controlar a velocidade e direção de rotação dos motores. Como a ESP32 não é capaz de fornecer a potência necessária para o acionamento dos motores DC, e visto que o controle de velocidade e direção de rotação são necessários para o projeto, serão utilizados drivers.

Serão utilizados 4 drivers, sendo dois para o controle de velocidade dos motores DC MB24012 conectados entre as partes traseiras e dianteiras do lado direito e esquerdo e os outros dois para o controle dos motores DC com caixa de redução Robocore-1228, para realização do controle de direção das rodas, fazendo-as girar em 90° em direção a próxima fileira. Isso é necessário visto que, ao longo do processo de fertilização em uma fileira de plantação, alguns ajustes de direção podem ocorrer. Esses ajustes serão feitos ao diminuir a velocidade das rodas de um lado do veículo semi autônomo, enquanto a velocidade das rodas do outro lado permanece constante, fazendo com que ele gire ligeiramente enquanto anda. Tendo em vista o motor escolhido para o projeto, utilizamos o controlador de Velocidade PWM mostrado na figura 33. Este controlador, possui tensão de operação de

10 até 60 Volts e suporta correntes de 20 Ampères, tendo sua saída podendo ser ajustada, dependendo da tensão fornecida.



Figura 33 – Driver de motor DC

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 imagem 34.

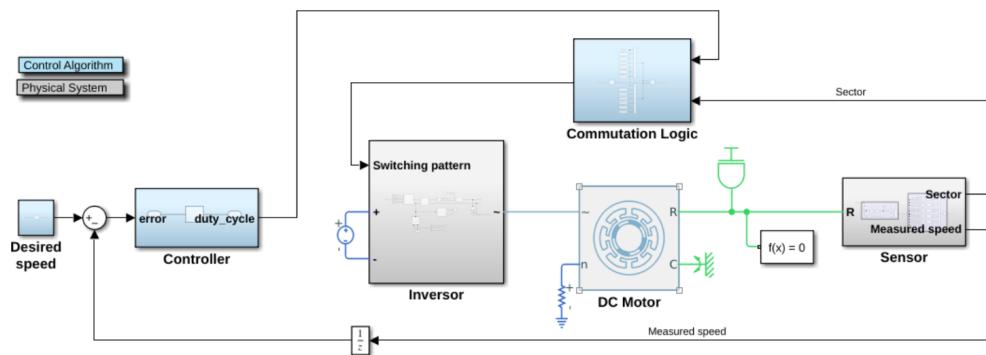


Figura 34 – Modelo da simulação do PWM

neste modelo, podemos escolher um vetor das velocidades desejadas no bloco "Desired speed". O bloco Controller, produz uma saída de 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 35 e 36 respectivamente.

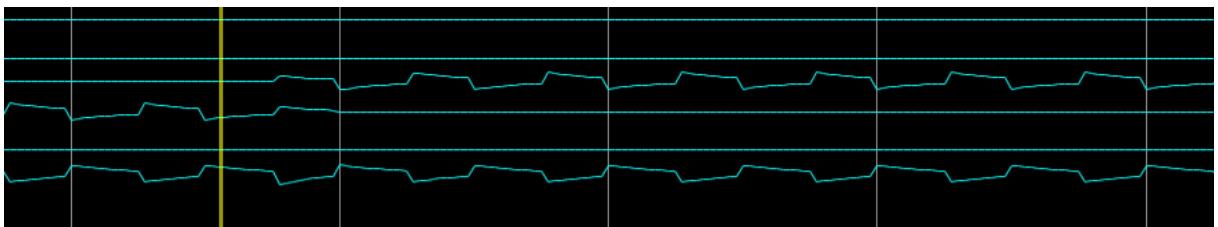


Figura 35 – Sinal de Saída do PWM

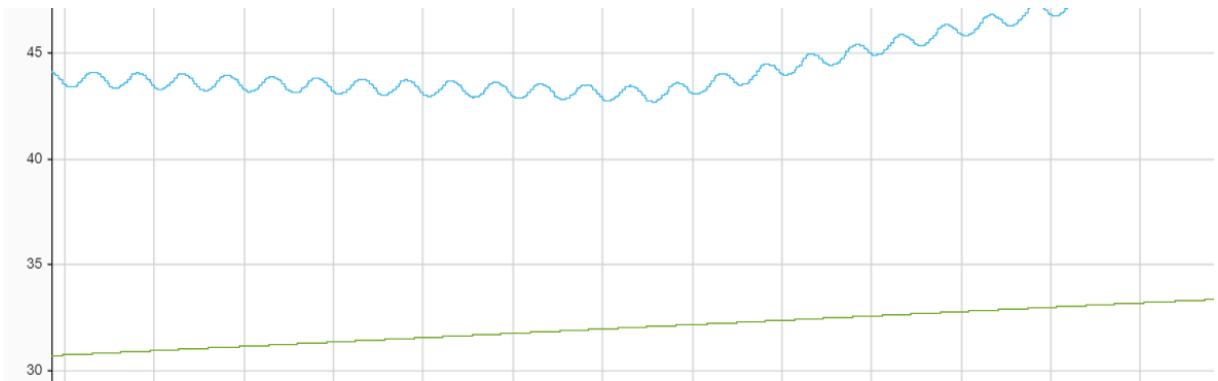


Figura 36 – Modelo da simulação da velocidade desejada e mensurada

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.

- **Válvula Solenoide**

Pertencente ao sistema de fertirrigação, a válvula solenoide será usada para realizar o controle do fluxo de fluidos para os aspersores. O solenoide mostrado na figura 37 possui:

- Tensão: 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 > 2L/min;
- Sobre 0.10Mpa > 10L/min;
- Sobre 0.30Mpa > 16L/min;
- Sobre 0.80Mpa > 28L/min;



Figura 37 – Solenoide

Apesar do solenoide possuir a característica de ser normalmente fechada, o Strongberry está sujeito a bloqueios e desvios por ter locomoção na terra, portanto é preciso a utilização de um relé de 12 Volts, como mostrado na figura 38, para que, caso o Strongberry se encontre incapaz de realizar a locomoção, o fluxo de fertirrigação deve ser bloqueado para que não haja desperdícios do fertilizante e de água.



Figura 38 – Relé

4.4.1.4 Arquitetura de Eletrônica

O diagrama de arquitetura de eletrônica na figura x, 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.

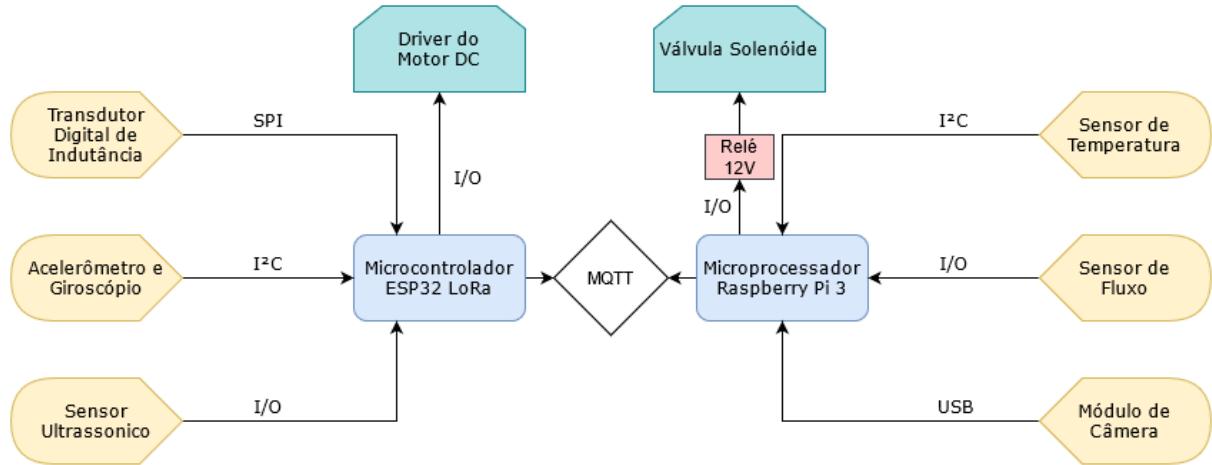


Figura 39 – Arquitetura Inicial de Eletrônica

4.4.2 Energia

A solução energética para o projeto consiste na utilização de uma bateria de íon-lítio, dedicada aos motores e aos componentes eletrônicos solidários a eles, a bateria principal; e uma outra bateria dedicada aos demais componentes eletrônicos, a bateria secundária. A bateria principal será desacoplável e poderá ser recarregada pelo usuário quando necessário via fonte de alimentação conectada à rede elétrica. Ao passo que a bateria secundária não precisará de constante manutenção de carga. Um diagrama simplificado da alimentação do equipamento (Fig.40) está disposto abaixo.

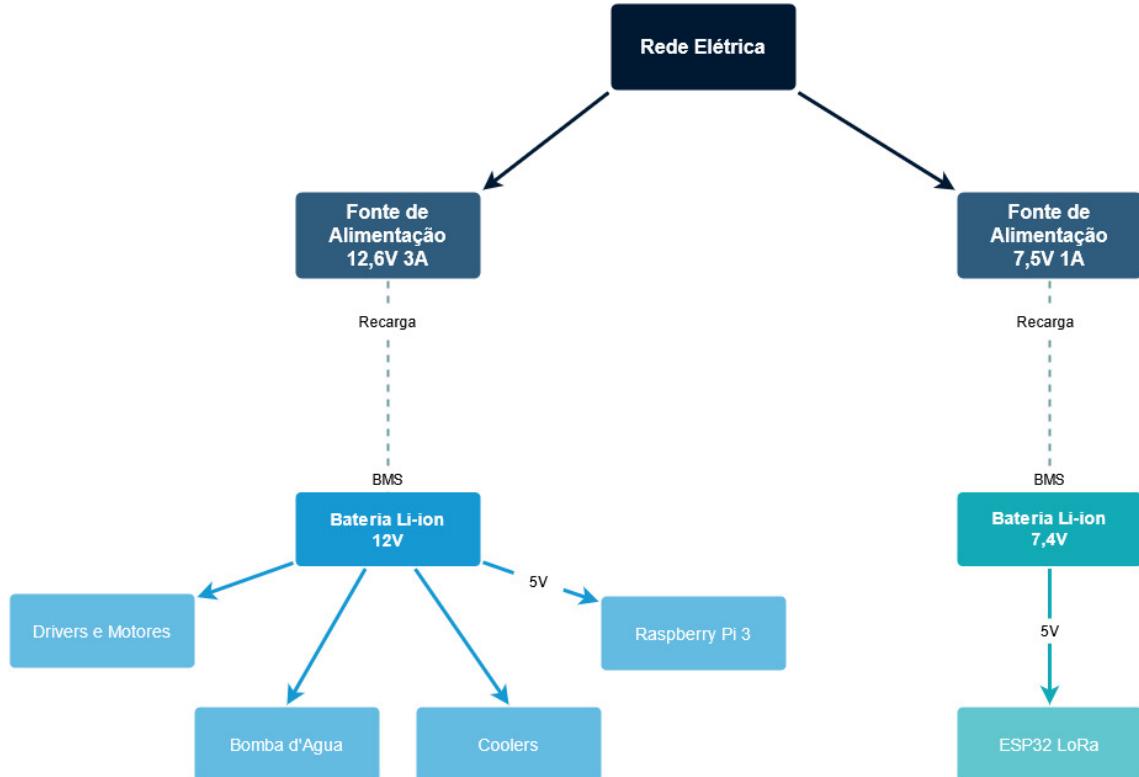


Figura 40 – Diagrama da alimentação do StrongBerry

4.4.2.1 Dimensionamento e seleção das baterias

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. As baterias mais comumente utilizadas em veículos elétricos são as baterias de Íon-Lítio (Li-ion), Chumbo-ácido, Níquel-Cádmio (NiCd) e Níquel-Metal Hidreto (NiMH) (LIU et al., 2019). Sendo assim, a tabela abaixo foi utilizada como referência para selecionar o tipo de bateria mais adequado à concepção deste projeto.

Tabela 10 – Tipos comuns de baterias em EVs.

Tipo de Bateria	Vida útil (ciclo)	Tensão no-nominal (V)	Dens. de Energia (Wh/kg)	Dens. de Potência (W/kg)	Ef. de carga (%)	Taxa de auto-descarga (%/mês)	Temp. de carga (°C)	Temp. de descarga (°C)
Li-ion	600 - 3000	3,2 - 3,7	100 - 270	250 - 680	80 - 90	3 - 10	0 - 45	-20 - 60
Chumbo-ácido	200 - 300	2,0	30 - 50	180	50 - 95	5	-20 - 50	-20 - 50
NiCd	1000	1,2	50 - 80	150	70 - 90	20	0 - 45	-20 - 65
NiMH	300 - 600	1,2	60 - 120	250 - 1000	65	30	0 - 45	-20 - 65

Fonte: (LIU et al., 2019)

Tendo em vista os dados apresentados acima, 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 e adaptações para utilização neste projeto serão discutidos nas seções adiante.

- **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.

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:

$$i_{total} = i_{motor} \times n = (4,41A)(4) \Rightarrow i = 17,64A \quad (4.21)$$

Onde n é o número de motores. Aplicando (4.21) na equação da potência, temos que:

$$P = V \times i = (12V)(17,64A) \Rightarrow P = 211,68W \quad (4.22)$$

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.

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:

$$i_{total} = i_{motor} \times n = (1,76A)(4) \Rightarrow i = 7,04A \quad (4.23)$$

Onde n é o número de motores. Aplicando (4.23) na equação da potência, temos que:

$$P = V \times i = (12V)(7,04A) \Rightarrow P = 84,48W \quad (4.24)$$

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

Tabela 11 – 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	0,2	4,8
Válvula Solenoide	1	12	0,4167	5
Raspberry Pi 3 Model B	1	5	2,2	11
Webcam GOtech Office	1	5	0,5	2,5
Sensor Ultrassônico HC-SR04	4	5	0,0015	0,03
Acelerômetro GY 521 MPU6050	1	3,46	0,0005	0,00173
Transdutor Digital de Indutância	4	3,46	0,0027	0,03736
Total				42,3691

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. 11) e da tensão de 12V, a corrente foi calculada por:

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

Onde P é a potência total desses componentes (42,3691W) e V é a tensão utilizada como referência (12V). Então,

$$i = \frac{42,3691W}{12V} \Rightarrow i \cong 3,5330A \quad (4.25)$$

Esses últimos componentes (Tab.11) 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, Fig. 41, considerando uma fileira de 50m de comprimento com espaçamento entre fileiras de 0,8m (ANTUNES, 2011), foi realizada.

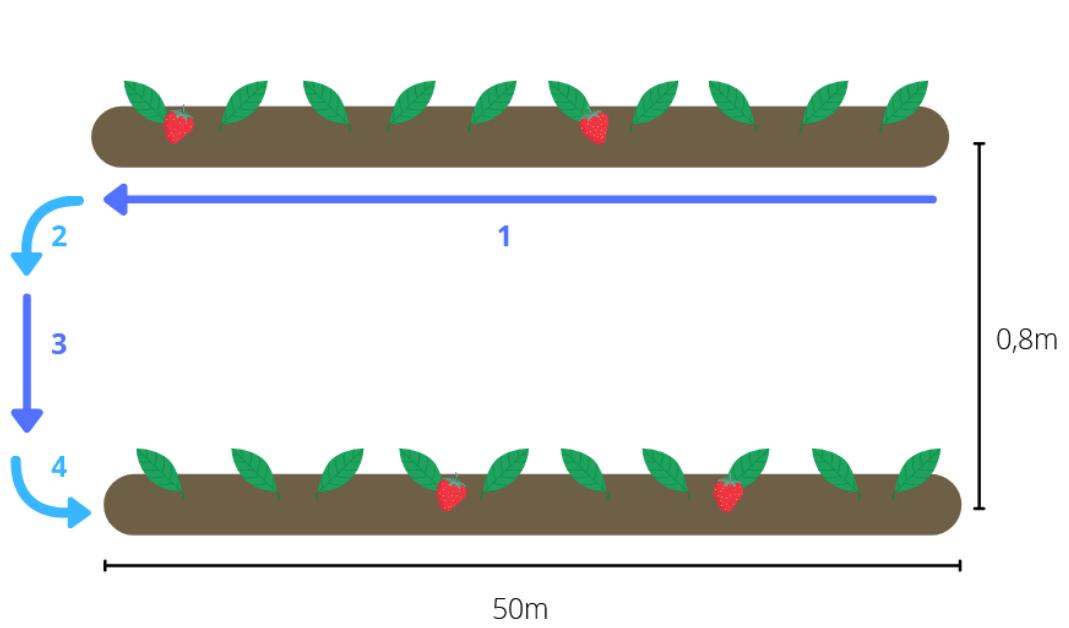


Figura 41 – Representação esquemática de um ciclo de movimentação por fileira
Fonte: Autores.

Durante a movimentação 1, o veículo fará o percurso a 0,5m/s por 50m, utilizando os motores MB24012 e os componentes da Tab.11. Assim, o tempo empregado neste movimento será:

$$t_1 = \frac{50m}{0,5m/s} = 100s \Rightarrow t_1 \cong 0,0278h \quad (4.26)$$

Ao passo que a corrente será dada pela soma de (4.21) e (4.25):

$$i_1 = 17,64A + 3,5330 \Rightarrow i_1 = 21,173A \quad (4.27)$$

Durante a movimentação 2, o veículo fará a rotação em 90º utilizando os motores 12V com redução e os componentes da Tab.11. A duração desse movimento foi estimada em 10s.

$$t_2 = 10s \Rightarrow t_2 \cong 0,0027h \quad (4.28)$$

A corrente foi calculada como a soma de (4.23) e (4.25):

$$i_2 = 7,04A + 3,5330 \Rightarrow i_1 = 10,573A \quad (4.29)$$

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.11. Assim, o tempo empregado será:

$$t_3 = \frac{0,8}{0,5m/s} = 1,6s \Rightarrow t_1 \cong 0,0004h \quad (4.30)$$

A corrente é dada pela soma de (4.21) e (4.25):

$$i_3 = 17,64A + 3,5330 \Rightarrow i_3 = 21,173A \quad (4.31)$$

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

$$t_4 = t_2 = 0,0027h \quad (4.32)$$

$$i_4 = i_2 \quad (4.33)$$

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

$$\begin{aligned} i_{ciclo} &= \frac{(i_1 \times t_1) + (i_2 \times t_2) + (i_3 \times t_3) + (i_4 \times t_4)}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4} \\ i_{ciclo} &= \frac{(21,173A \times 0,0278h) + (10,573A \times 0,0027h) + (21,173A \times 0,0004h)}{(0,0278h + 0,0027h + 0,0004h + 0,0027h)} \\ &\quad + \frac{(10,573A \times 0,0027h)}{(0,0278h + 0,0027h + 0,0004h + 0,0027h)} \\ i_{ciclo} &\cong 19,47A \end{aligned} \quad (4.34)$$

O gráfico que relaciona a corrente utilizada com o tempo de um ciclo de movimentação por fileira está disposto abaixo, Fig.42.

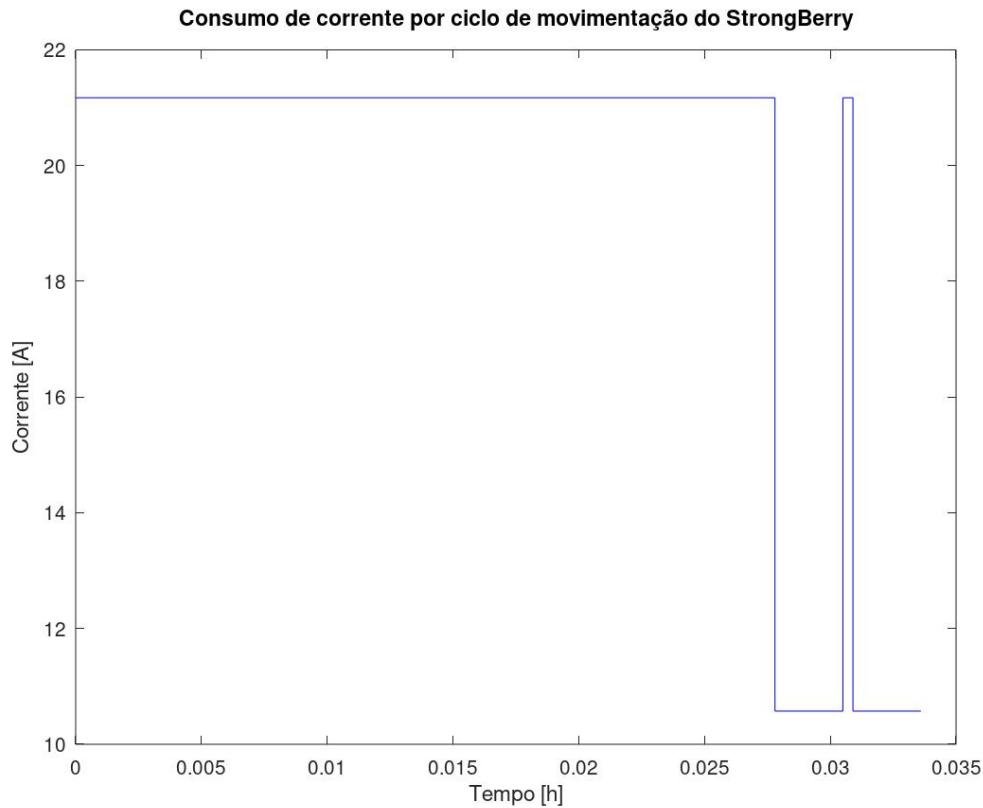


Figura 42 – Consumo de corrente por ciclo de movimentação do StrongBerry
Fonte: Autores.

O gráfico acima fornece em Ah o consumo de corrente durante um ciclo de movimentação por fileira, i.e., o que a corrente de 19,47A utilizada durante uma ciclo de movimentação, obtida em (4.34), representa em 1h de funcionamento do veículo. Esse consumo de corrente será chamado de capacidade por ciclo e é obtido pela área do gráfico (Fig. 42).

$$C_{ciclo} = (21,173A \times 0,0278h) + (10,573A \times 0,0027h) + (21,173A \times 0,0004h) + (10,573A \times 0,0027h)$$

$$C_{ciclo} \cong 0,6542Ah \quad (4.35)$$

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:

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

$$\text{Quantidade de fileiras} = \frac{35Ah}{0,6542Ah} \approx 53 \quad (4.36)$$

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

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

$$t = \frac{35Ah}{19,47A} \Rightarrow t \cong 1,80h \quad (4.37)$$

Terminados os dimensionamentos, foi escolhida a Samsung Li-ion Battery 12V 35000mAh, um *pack* composto por células de lítio 18650 com BMS incluso (Fig 43). O carregamento da bateria principal será feito por meio do desencaixe da bateria principal do StrongBerry. É necessário que o usuário leve a bateria para um local adequado e conecte-a à fonte de alimentação.

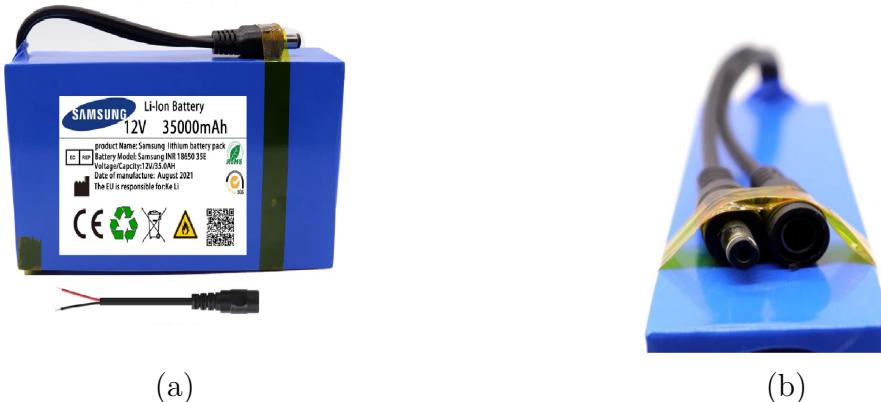


Figura 43 – (a) Bateria com detalhe da conexão entre de bateria e positivo/negativo (rabilho P4) (b) Detalhe das conexões P4 disponíveis na bateria.

Fonte:(??)

A fim de garantir segurança e eficiência durante o carregamento e viabilidade de tempo de recarga, optou-se por utilizar a fonte de alimentação 12,6V 3A bivolt com indicador de completação de carga, compatível com o conector P4 da bateria (Fig.44). O tempo de carregamento com essa fonte será de aproximadamente 11 horas e 40 minutos.



Figura 44 – Fonte de alimentação compatível com conector da bateria e TUG.
Fonte: (??).

- **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 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. Os equipamentos alimentados por esta bateria estão dispostos em sequência, Tab.12.

Tabela 12 – Grandezas elétricas e quantidades dos componentes alimentados pela bateria secundária.

Item	Quantidade	Tensão (V)	Corrente (A)	Potência total (W)
Módulo ESP32 LoRa	1	5	0,5	2,5
Sensor de Fluxo de Água	1	5	0,015	0,075
Sensor de Pressão atm	1	1,71	2,7 μ	4,617 μ
Total				2,575

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 (Fig.45(a)). 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.

A autonomia desta bateria para os componentes citados na Tab. 12 pode ser determinada calculando:

A corrente que é demandada pelos componentes,

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

Onde P é a potência total, retirada da Tab. 12, e V é a tensão nominal da bateria, 7,4V. Assim,

$$i = \frac{2,5075W}{7,4V} \Rightarrow i \cong 0,3388A \quad (4.38)$$

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:

$$t = \frac{4,4Ah}{0,3388A} \Rightarrow t \cong 12,98h \quad (4.39)$$

Esse tempo de funcionamento garante 7 operações completas do veículo na lavoura considerada, conforme tempo calculado em (4.37).

O modelo escolhido, Bateria Li-ion 18650 7,4v 4400mAh Sanyo, não possui conectores em suas extremidades, apenas uma seção de fio termo retrátil para a instalação de conector. Tendo em vista que é necessário um conector que seja compatível tanto com a fonte de alimentação, quanto com os fios positivo e negativo que darão prosseguimento ao circuito, foi selecionado o conector do tipo P4 (Fig.45(b)) para fazer a conexão entre a fiação da bateria e o circuito ou fonte de alimentação. Esse tipo de conector pode ser facilmente instalado nas extremidades que devem ser conectadas à bateria, ao passo que é encontrado em modelos comerciais de fontes de alimentação.



(a)



(b)

Figura 45 – (a) Bateria Li-ion 7,4V 4400mAh (b) Conector P4 fêmea a ser utilizado na bateria.

Fonte:(JGP, 2021) e (MB UTILIDADES, 2021)

A fonte de alimentação escolhida foi uma fonte 7,5V 1A bivolt compatível com o conector P4 fêmea da bateria e com TUGs, conforme mostrado na Fig.46. Com essa fonte, o tempo de carregamento é de aproximadamente 4 horas e 25 minutos.



Figura 46 – Fonte de alimentação 7,5V 1A bivolt.

Fonte: ([BAÚ DA ELETRÔNICA, 2021](#)).

4.4.2.2 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. 11) 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. 12) 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. 11);
- Circuito 4: demais componentes eletrônicos (Tab. 11);
- Circuito 5: componentes eletrônicos (Tab. 12).

Segundo a tabela 47 da norma, temos que os circuitos acima serão considerados de força, ou seja, a seção mínima determinada para os cabos será de $2,5\text{mm}^2$. Em relação ao tipo de linha elétrica disposto na tabela 33, o método de referência adotado será o B1, para condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto.

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

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. 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.

Tomando como base o método de referência B1, 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 24A para todos os circuitos, é necessário considerar a seção mínima estabelecida para circuitos de força. Assim, na Tab. 13 temos o seguinte dimensionamento para os condutores:

Tabela 13 – Seção dos cabos

Circuito	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. O seu cumprimento será determinado conforme a realização da integração das áreas.

As tabelas utilizadas da NBR 5410 no dimensionamento podem ser encontradas no Apêndice H.

4.4.2.3 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 H.

4.4.2.4 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 14 – 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 Fig. 47. 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.

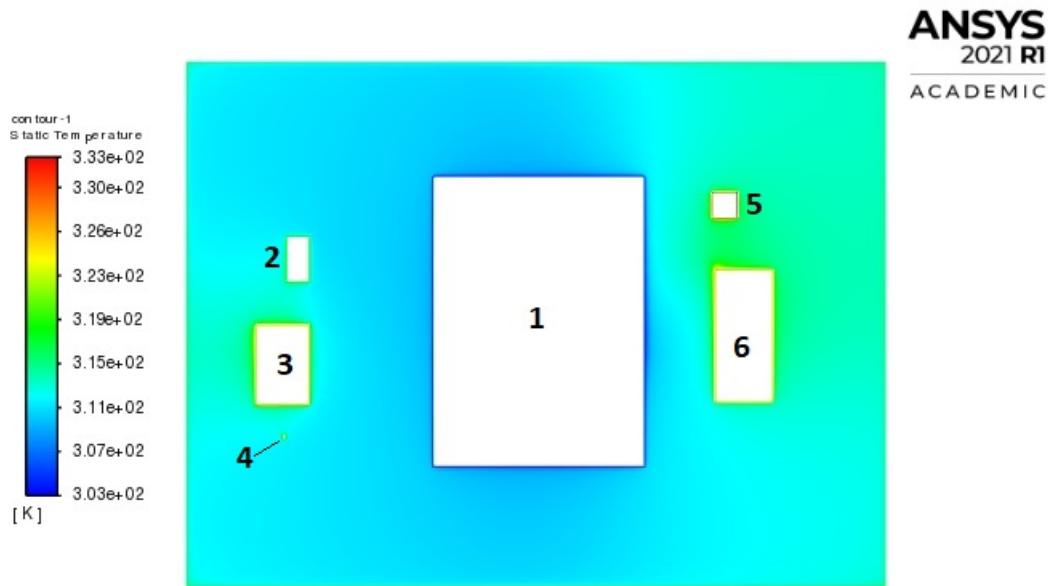


Figura 47 – Simulação ANSYS
Fonte: Autores.

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 (Fig. 48). Estes coolers ficam posicionados nas laterais, na parte interna onde ficam localizadas as aberturas para a circulação de ar.



Figura 48 – Cooler
Fonte:HIELE SHOP

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.

4.5 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.

4.5.1 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 Fig. 49.



Figura 49 – 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 Fig. 50 (a) e (b).



(a) (b)

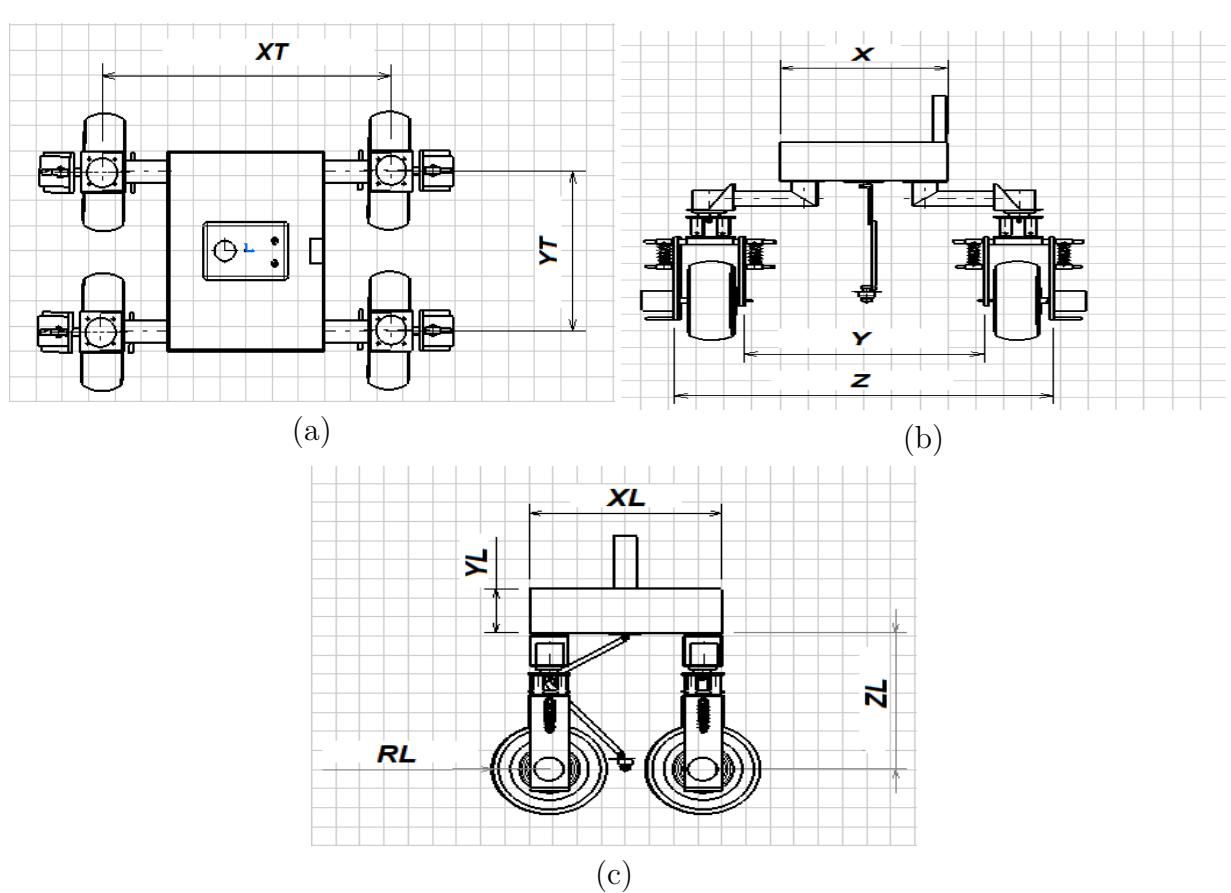


Figura 51 – Vistas a) Superior. b) Frontal. c) Lateral
Fonte:Autores.

Tabela 15 – Tabela de dimensões do StrongBerry.

Figura	Dimensões	Valor (mm)	Descrição
Figura 23.b	X	610	Largura do compartimento para o tanque, baterias e componentes eletrônicos
	Y	860	Largura do vão livre entre os pneus e seus suportes
	Z	1260	Largura do equipamento, desprezando as dimensões dos motores elétricos
Figura 23.c	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	205	Raio do pneu
Figura 23.a	XT	1071	Distancia entre o centro das rodas
	YT	646	Entre eixos do equipamento

4.5.2 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, Fig 49, 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 titulo de melhor comparação entre os dois materiais, foi elaborada a Tab.16

Tabela 16 – Comparativo entre materiais

	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.

Com o objetivo de definir qual material a ser utilizado, foi elaborada a matriz de decisão mostrada na Tab.17

Tabela 17 – Matriz de decisão

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

Table 17 continuação da tabela

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

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.

Após feitas a soma das ponderações de cada material, 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 os seguintes componentes para solução do problema: acoplamento semi-flexível para eixos Fig. 122, rolamento com mancal para fixação Fig. 125, rolamentos blindados Fig. 126, amortecedor de mola para Scooters Fig. 124, pneu e roda Fig. 129, tanque plástico de 12L com pescador e retorno Fig. 127, bomba elétrica do tipo turbina Fig. 123, válvula reguladora de fluxo Fig. 128, motores de passo Fig. 32 e motores do tipo DC Fig. 31, além de parafusos: fenda cabeça chata auto atarraxantes Fig. 148, parafusos sextavado Fig. 144 Fig. 139, porcas para fixação do tipo borboleta Fig. 140 e porcas do tipo sextavada Fig. 141

Foi feito uma tabela comparativa Tab.19 entre as opções de materiais para a estrutura central para avaliar quais materiais seriam utilizados, pois nela serão acoplados os sistemas eletrônicos, o tanque e as baterias.

Tabela 18 – Tabela de comparação dos material para corpo central

	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*

Table 18 continuação da tabela

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) (??)

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

Após levantados os aspectos dos possíveis materiais para a estrutura central, foi confeccionada uma matriz de decisão Tab.19 para avaliar quais materiais seriam utilizados no corpo central do projeto.

Tabela 19 – 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

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.

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 pintura eletrostática, de modo a permitir uma maior proteção a estrutura metálica. Uma alternativa seria a realização de um tratamento a base de zircônio (nanocerâmico) e posteriormente aplicar uma tinta óleo comercial. Os resultados desse procedimento quando comparados ao tratamento de fosfatização, são melhores, como melhora da adesão da tinta a superfície e maior resistência a corrosão por salinização, surgindo como alternativa a proteção dos materiais metálicos. ([UFRGS, 2021](#))

4.5.3 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.

4.5.3.1 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 ([ZA-](#)

KRAJSEK et al., 2005).

4.5.3.2 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 morangos, 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 Fig. 52, tendo em vista que o conjunto roda, motor e apoio é amortecido como um único componente.

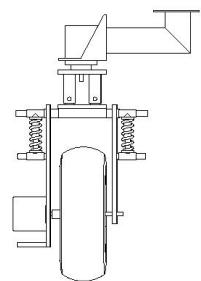


Figura 52 – Design da configuração dos amortecedores em cada roda.

4.5.3.3 Dimensionamento das molas

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. 4.40. A partir dessa equação é possível isolar o ride rate para obter o valor do sistema, como mostrado na Eq. 4.41.

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{RR}{M}} \quad (4.40)$$

$$RR = 4\pi^2 f_n^2 \left(\frac{M}{2} \right) \quad (4.41)$$

Como a rigidez efetiva consiste no sistema das molas com o pneu em série, há outra forma de encontrar-la, descrita na Eq. 4.42. Através dessa equação, consegue-se obter o valor da rigidez das molas K_s Eq. 4.43, onde o K_t é a rigidez do pneu.

$$RR = \frac{K_s K_t}{K_s + K_t} \quad (4.42)$$

$$K_s = \frac{RR K_t}{K_t - RR} \quad (4.43)$$

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. 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.

4.5.3.4 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 deslocamentos 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 Fig. 53.

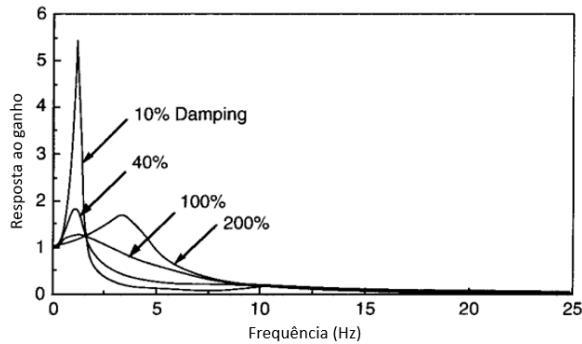


Figura 53 – Influência do fator de amortecimento.

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. 4.44.

$$C_s = \frac{\zeta}{4K_s M} \quad (4.44)$$

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

4.5.4 Simulações estruturais

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. 4.45, que consiste na razão entre a força aplicada e a área de aplicação de tal força.

$$\sigma_n = \frac{F}{A_{aplicação}} \quad (4.45)$$

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. 4.46 (MCGINTY,).

$$K_t = 3 - 3.14\left(\frac{d}{W}\right) + 3.667\left(\frac{d}{W}\right)^2 - 1.527\left(\frac{d}{W}\right)^3 \quad (4.46)$$

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. 4.47.

$$\sigma_a^2 - \sigma_a \sigma_b + \sigma_b^2 < \sigma_Y^2 \quad (4.47)$$

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 crítica. A carga crítica diz respeito ao fator multiplicativo de carga dado pela Eq. 4.48 (MEGSON, 2016).

$$P_{cr} = \frac{n^2 \pi^2 EI_{min}}{2L^2} \quad (4.48)$$

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

Para desenvolver as simulações no software Ansys é abordado a teoria dos Métodos dos Elementos Finitos (MEF) o qual a ferramenta se baseia. O MEF é regido pela Eq 4.49 em que se baseia pela lei de Hooke. A notação matricial adotada tem por representação de matriz coluna chaves, enquanto matriz retangulares são representadas por colchetes (LOGAN, 2012).

$$\{F\} = [K] \{d\} \quad (4.49)$$

em que F são as forças em termos 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 (GILLESPIE, 1992). Deste modo, foi seguido o seguinte fluxograma de simulação apresentado pela Fig. 54.

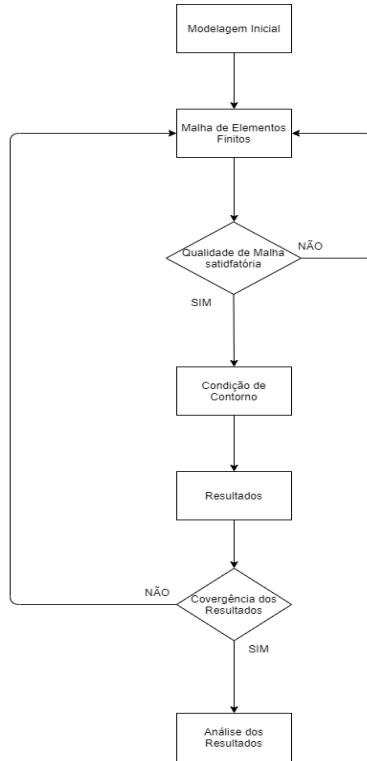


Figura 54 – Fluxograma de simulação estática

Fonte:Autores

4.5.4.1 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. 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 Fig. 55 ilustra tais condições.

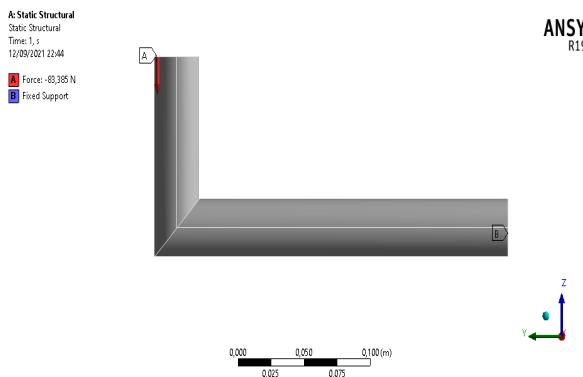


Figura 55 – Condição de contorno para o tubo L.

Fonte:Autores

Portanto, as Figs. 56 e 57 apresentam os resultados da tensão normal máxima no eixo Y e do critério de falha de Von Mises. Desse modo, conclui-se que o dimensiona-

mento feito apresenta um comportamento adequado e as tensões são inferiores à tensão de escoamento do aço escolhido.

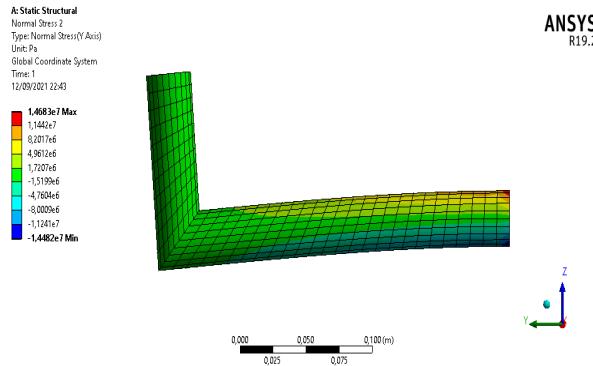


Figura 56 – Tensão normal máxima no tubo L.
Fonte:Autores

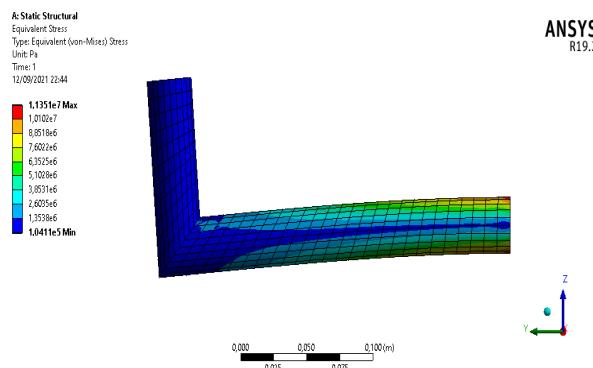


Figura 57 – Critério de falha de Von Mises para o tubo L.
Fonte:Autores

4.5.4.2 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). 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 Fig. 58 apresenta as condições de contorno da simulação.

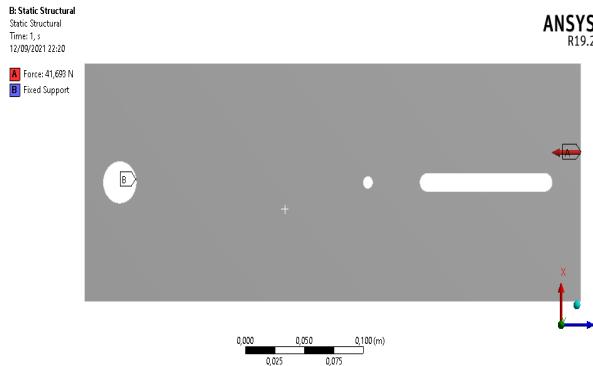


Figura 58 – Condição de contorno no suporte interno.
Fonte:Autores

Portanto, as Figs. 59 e 60 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.

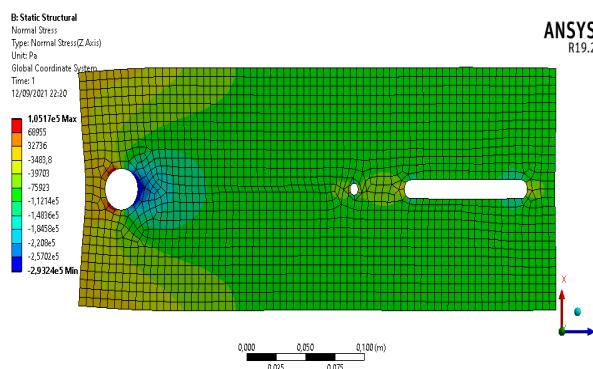


Figura 59 – Tensão normal máxima no suporte interno.
Fonte:Autores

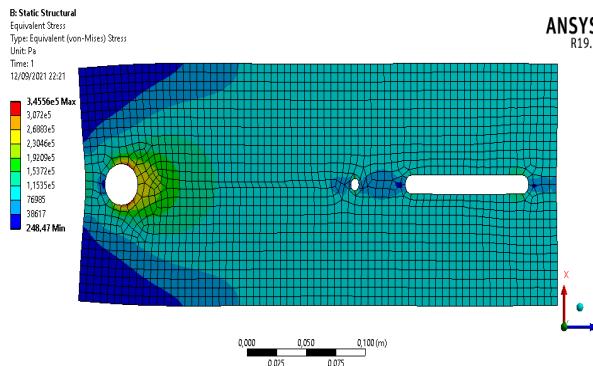


Figura 60 – Critério de falha de Von Mises para o suporte interno.
Fonte:Autores

4.5.4.3 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 Fig. 58 apresenta as condições de contorno da simulação.

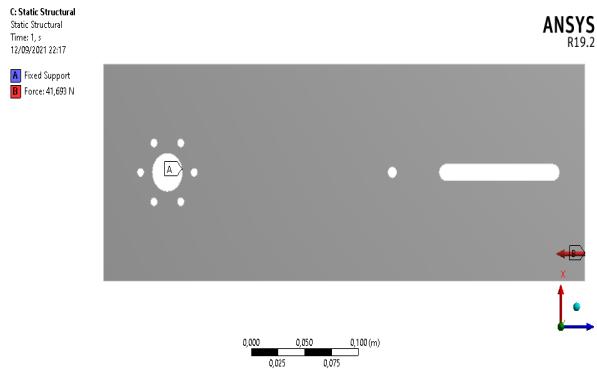


Figura 61 – Condição de contorno no suporte externo.
Fonte:Autores

Por fim, as Figs. 62 e 63 apresentam os resultados da tensão normal máxima no eixo Y e do critério de falha de Von Mises.

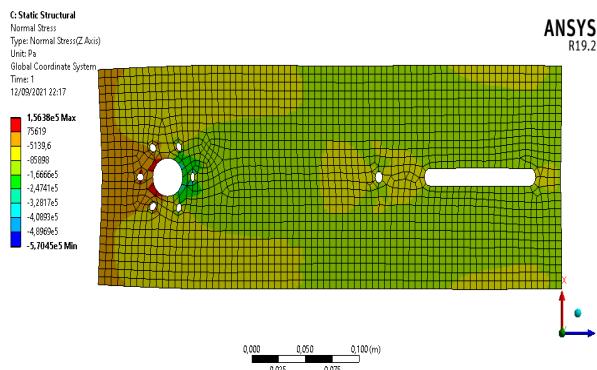


Figura 62 – Tensão normal máxima no suporte externo.
Fonte:Autores

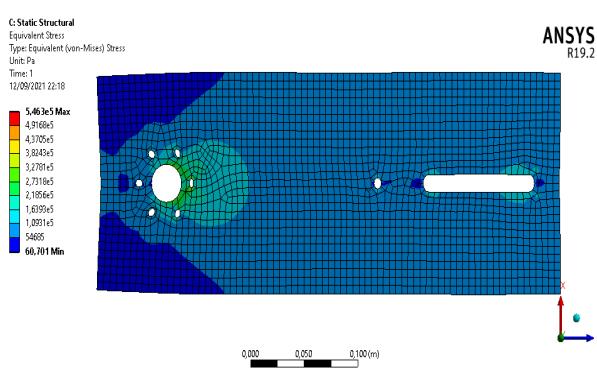


Figura 63 – Critério de falha de Von Mises para o suporte externo.
Fonte:Autores

4.5.4.4 Simulação estática do suporte telescópio

O suporte telescópio é uma peça estrutural o qual suporta o motor para manobra do conjunto e apoia o sistema de molas. 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 Fig. 64 apresenta as condições de contorno para a carga força peso distribuída sobre o sistema.

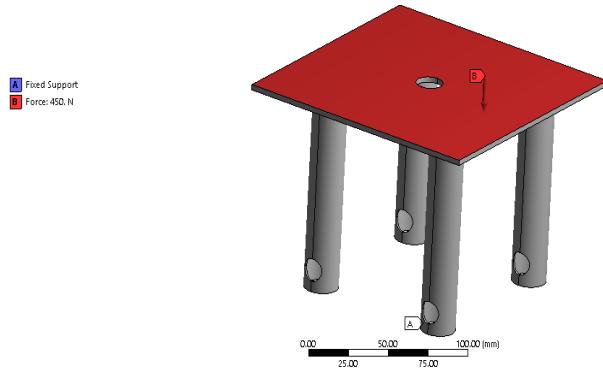


Figura 64 – Condição de contorno para carga distribuída.

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 Fig. 65.

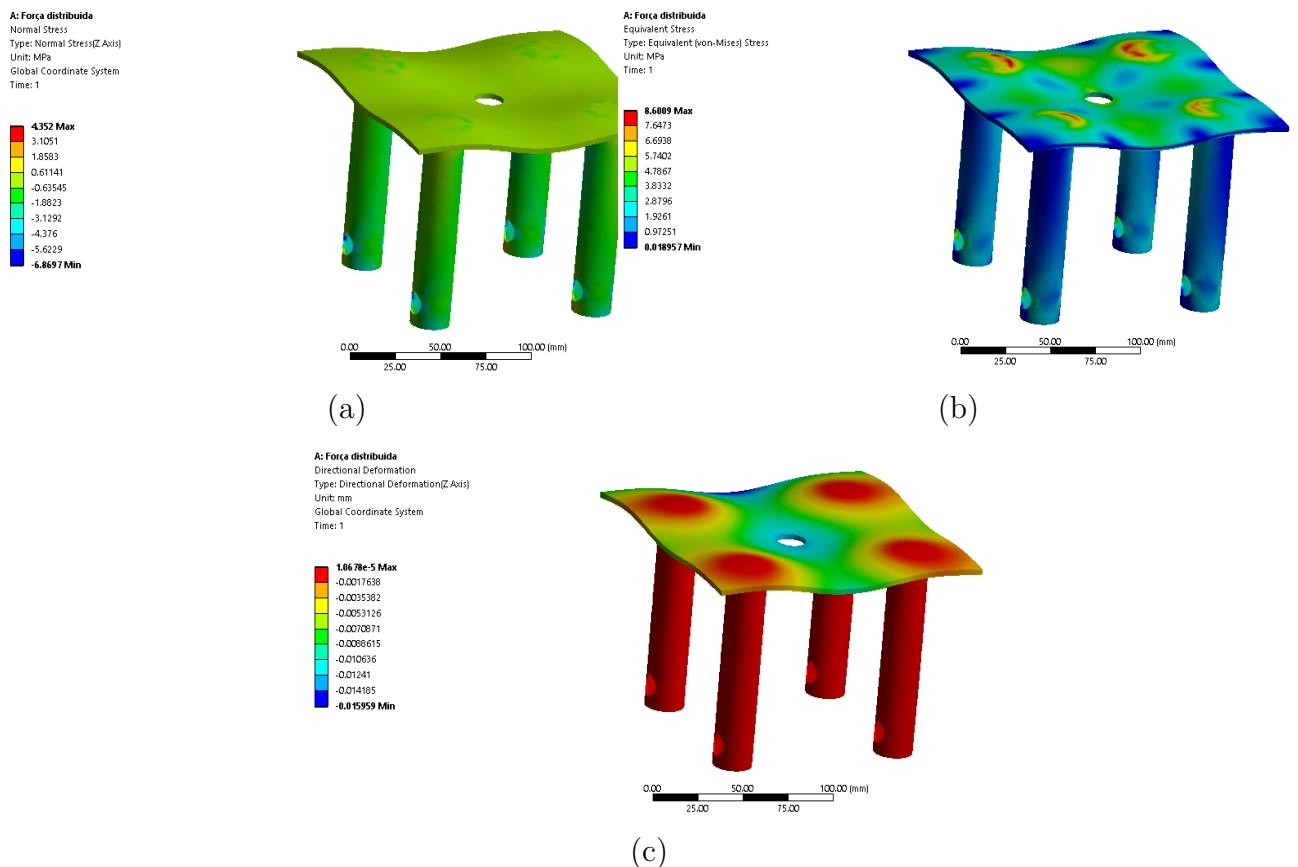


Figura 65 – Simulação suporte telescópio (a) Campo de tensão na direção Z. (b) Campo de tensão de Von Mises. (c) Campo de deslocamento.

Fonte:Autores.

Outro força atuante no suporte em questão é o momento torsor enquanto os motores de manobra estão operando. A Fig. 66 apresenta as condições de contorno aplicadas.

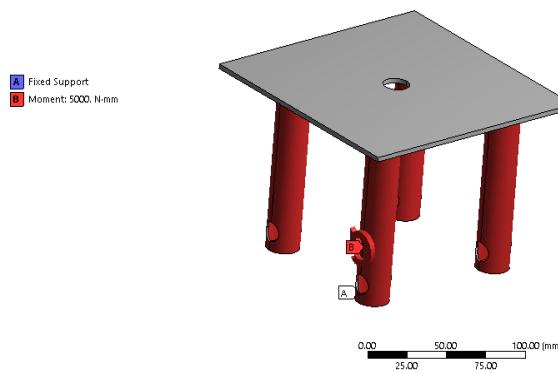


Figura 66 – Condição de contorno com momento torsor
Fonte:Autores

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 Fig. 67

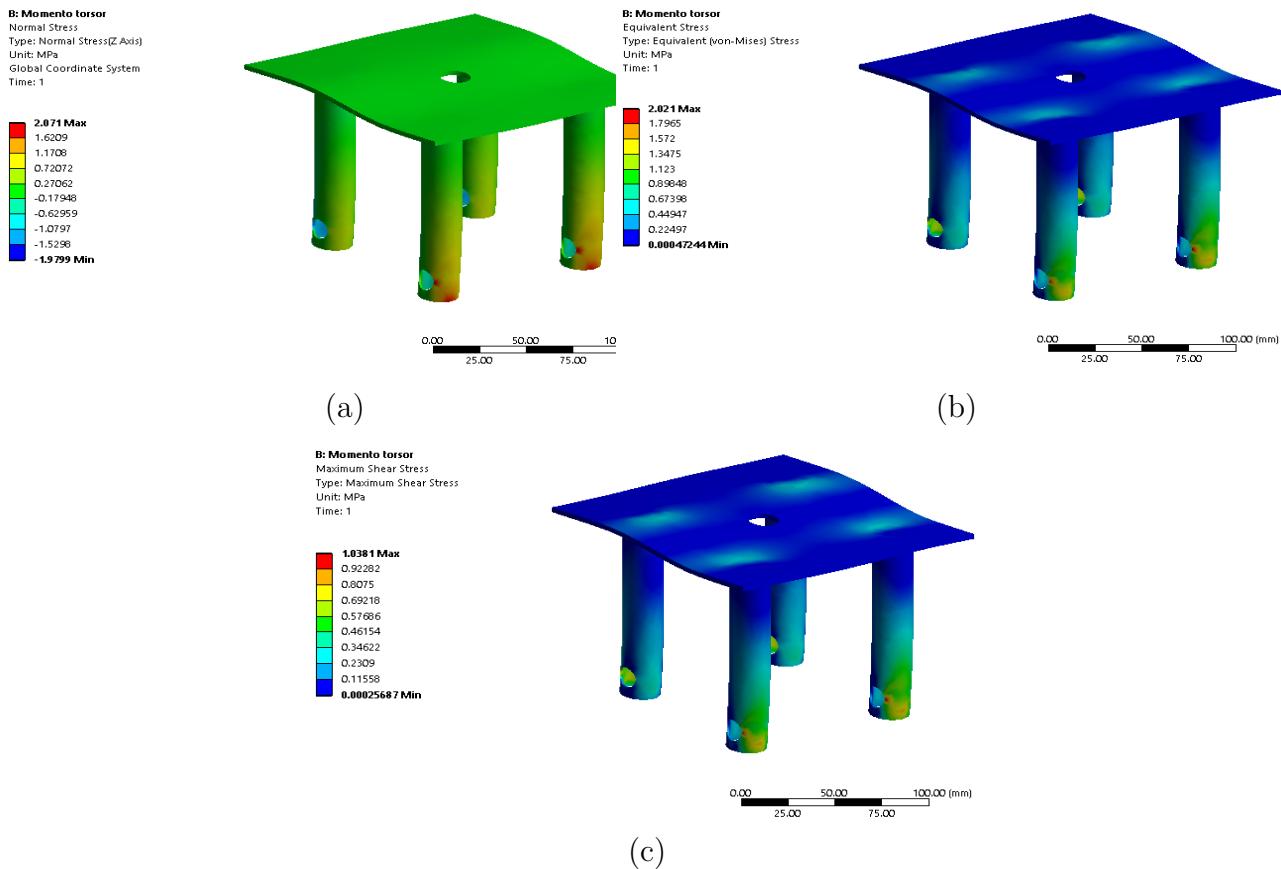


Figura 67 – Simulação suporte telescópio (a) Campo de tensão na direção Z. (b) Campo de tensão equivalente de Von Mises. (c) Tensão normal máxima de cisalhamento
Fonte:Autores.

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.

4.5.4.5 Simulação de flambagem do suporte telescópio

A flambagem ocorre quando considera-se a força peso distribuída axialmente às hastas, conforme apresenta a Fig. 68, em que a carga compressiva é aplicada A estrutura é modelada como coluna ideal de Euler, por não estar sujeito a carregamentos transversais.

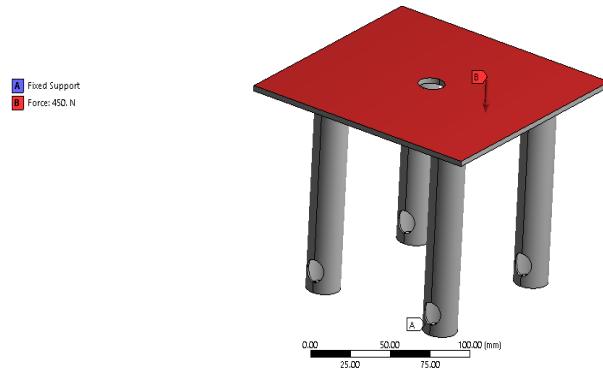


Figura 68 – Condição de contorno com momento torsor
Fonte:Autores

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 Fig. 69 apresenta os modos de flambagem da estrutura.

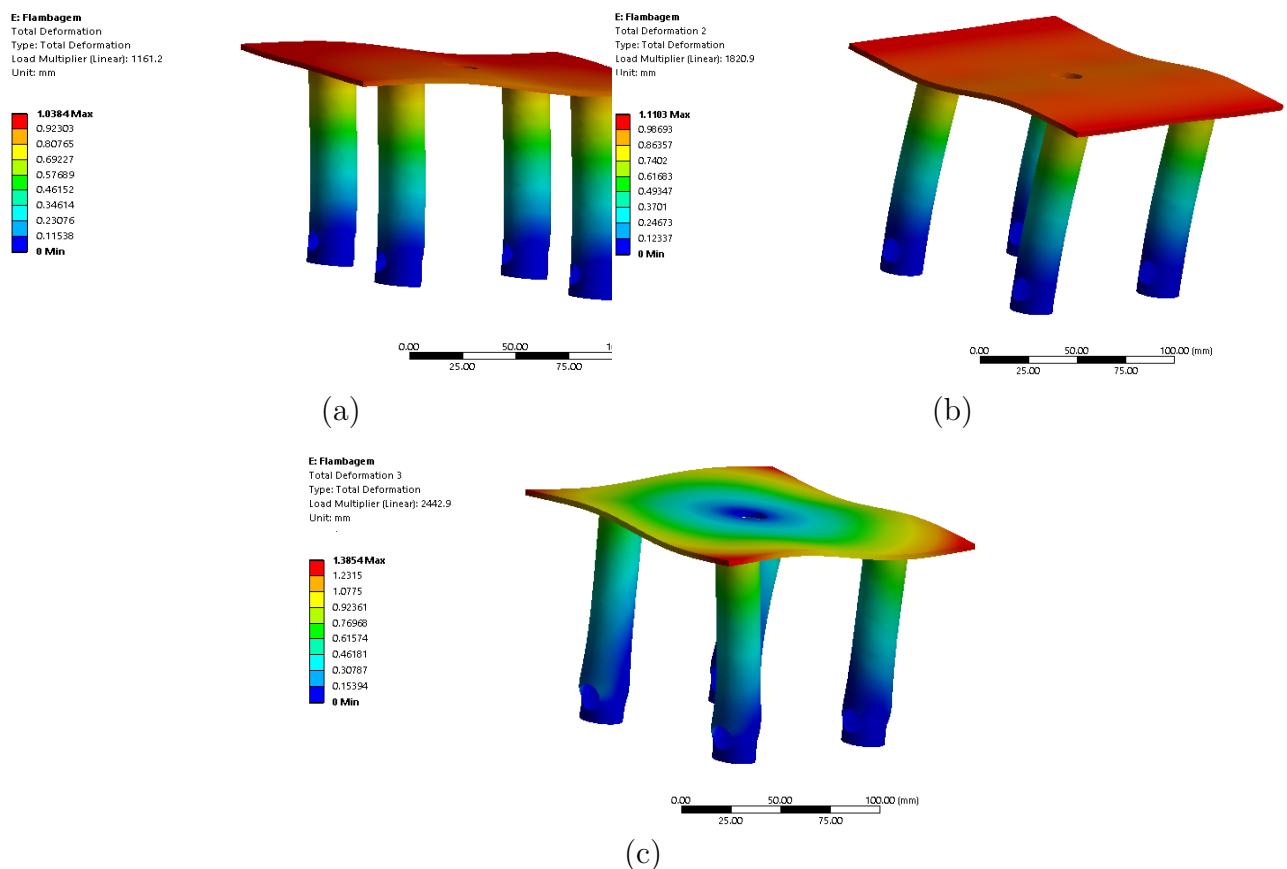


Figura 69 – Modos de flambagem (a) Primeiro modo de flambagem. (b) Segundo modo de flambagem. (c) Terceiro modo de flambagem.
Fonte:Autores.

4.5.5 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 Fig. (127). 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 contínuo. 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 Fig. 70 apresenta o diagrama hidráulico do sistema, feito a partir da norma ISO1219 (COMPANY, 2021).

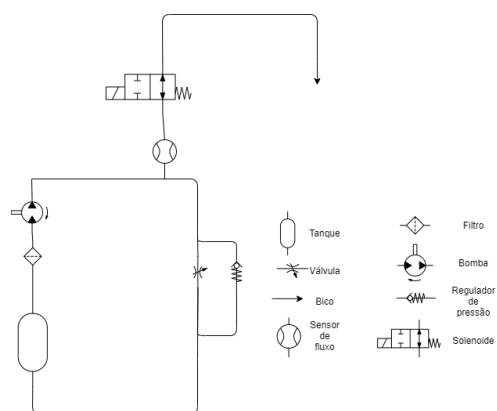


Figura 70 – Diagrama hidráulico.

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. 20, apresenta os comparativos entre os principais tipos de bicos empregados para este tipo de aplicação (CUNHA; TEIXEIRA, 2001).

Tabela 20 – Comparativo entre tipos de bico. Fonte: Autores

Bico	Tipo de jato	Ângulo de pulverização	Vazão nominal	Característica
ATR Brown	Cônico	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	80°	1,38[l/min]	Distribui o produto de forma circular, com distribuição no centro também. Mais utilizados em áreas de alta densidade foliar.
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.

O bico pulverizador Fig. 134 escolhido é do tipo cone 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 149

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 Fig. 71 em anexos.

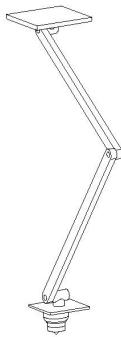


Figura 71 – Suporte regulável de altura do bico.
Fonte: Autores.

4.5.5.1 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 Fig. 72. Após proposto o circuito de funcionamento, o mesmo foi representado no FluidSim da empresa FestoTM a fim de simular o circuito a ser implementado aplicando os parâmetros conhecidos, podendo então obter uma resposta próxima à realidade.

Primeiramente, foi confeccionado o circuito no software citado a cima como mostrado na Fig. 72. Observação importante, no Fluid.Sim, algumas representações dos equipamentos não são fieis a Norma ISO 1219-2(Norma de Símbologia 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, começando pela bomba hidráulica. Os valores a serem especificados são a pressão gerada pela bomba (bar) e a vazão (l/min). 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 a 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

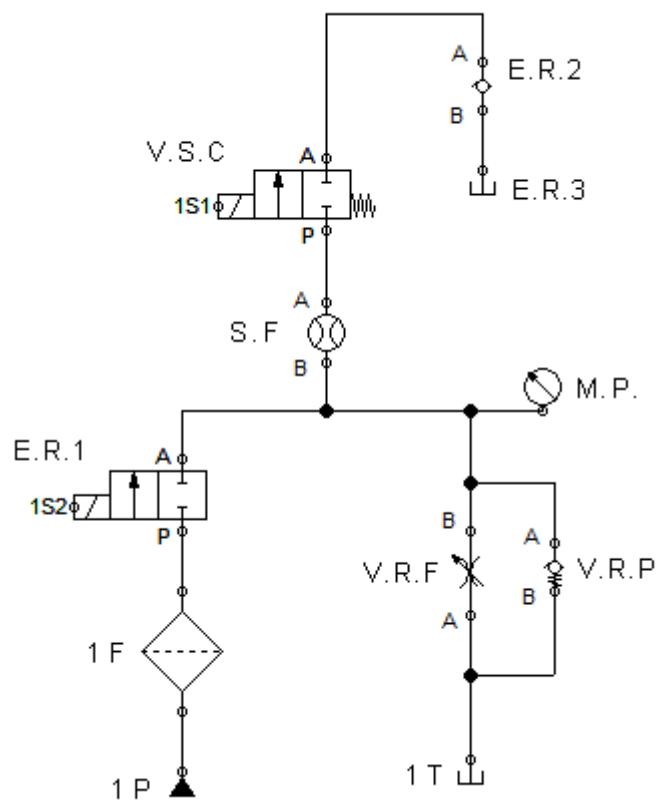


Figura 72 – Circuito hidráulico no software FluidSim

l/min, já calculada.

Para o cálculo da potência, utiliza-se a equação: (??) pág.58

$$N = nt \times \frac{Q \cdot P}{600} \quad (4.50)$$

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

$$Pt_b = PN - 0.15 \times PN \quad (4.51)$$

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)

$$VP = w \times \frac{Lt \times p \times v^2}{dt} \times \frac{5}{10^{10}} \quad (4.52)$$

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;

$$w = \frac{90}{Re} \quad (4.53)$$

onde;

Re = Número de Reynolds;

que é obtido por meio de;

$$Re = \frac{v \times dt}{u'} \quad (4.54)$$

onde;

v = velocidade do fluido para a tubulação [cm/s];

u' = Viscosidade do fluido em Stokes [St];

Chegando por fim em;

$$v = 121,65 \times Ptb^{1/33} \quad (4.55)$$

As equações acima foram apenas elucidadas neste trabalho para conhecimento do processo de cálculo, mas não são aplicadas ao sistema desenvolvido pois, o cálculo da velocidade só deve ser feito para valores de pressão estimada de trabalho superiores a 20 bar, ou seja, para sistemas de média pressão ou superiores, não para sistemas de baixa pressão como o elaborado em questão.

Mas a título de verificação, 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;

$u' = 0,0001002$ St; (??)

$Lt = 170$ 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); ([FIALHO, 2007](#)) pág.80

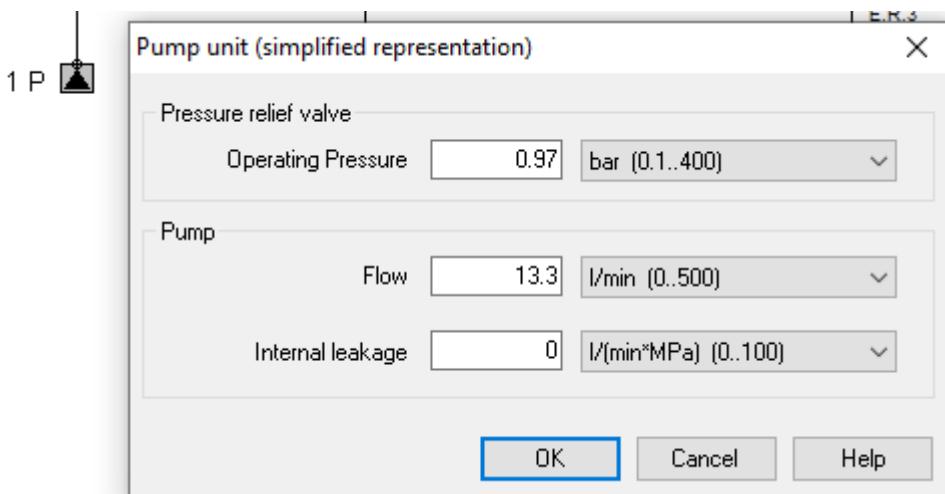


Figura 73 – Regulagem da bomba no software

$$w = 5,84 \cdot 10^{-5};$$

$$VP = 0,00005247 \text{ bar}.$$

Concluímos que a perda de carga no sistema elaborado, pode ser ignorada nas análises do sistema.

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 Fig. 73.

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 Fig. 73 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 Fig. 74 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

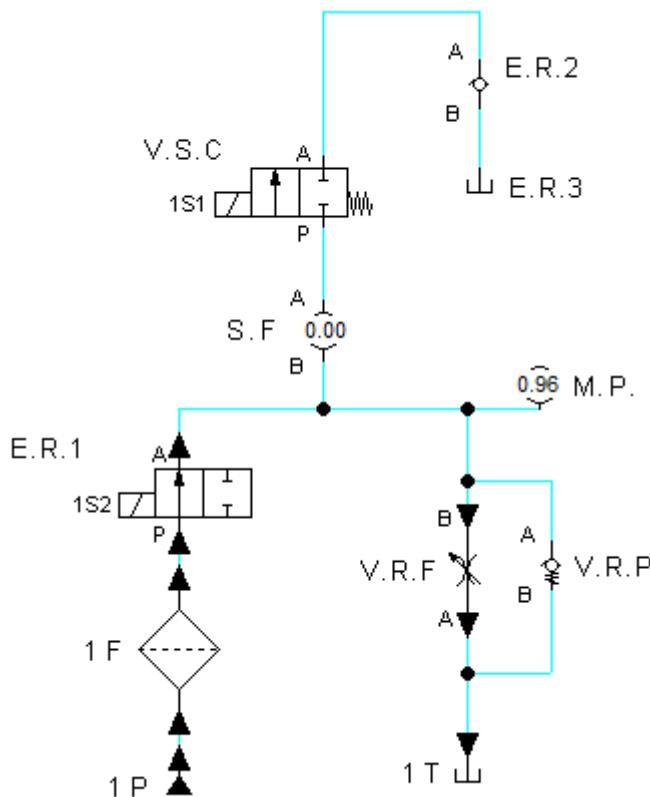


Figura 74 – Circuito em execução sem atuação da solenoide.

M.P (Medidor de Pressão) é utilizado para verificar a pressão presente na linha principal (linha representada com direcionamento de fluxo na Fig. 74), 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.

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 secundária sem que a pressão se iguale a gerada pela bomba. Esse fenômeno pode ser visto nas Figs. 75 e 76 a seguir.

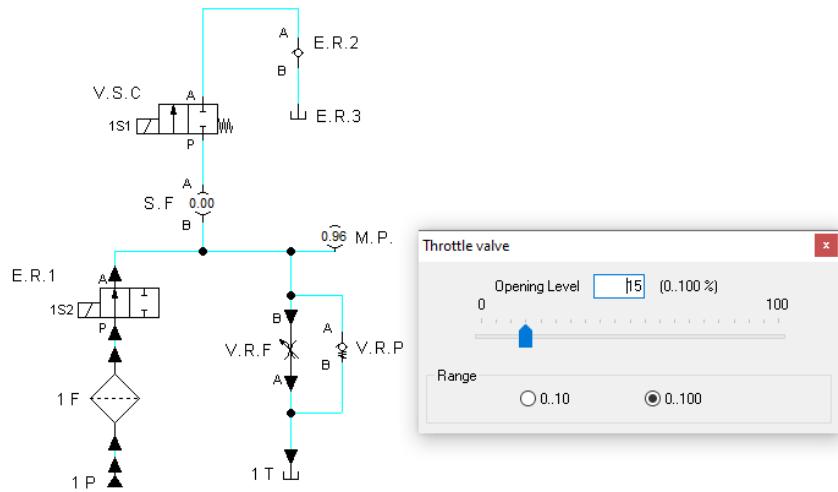


Figura 75 – Atuação do circuito de segurança.

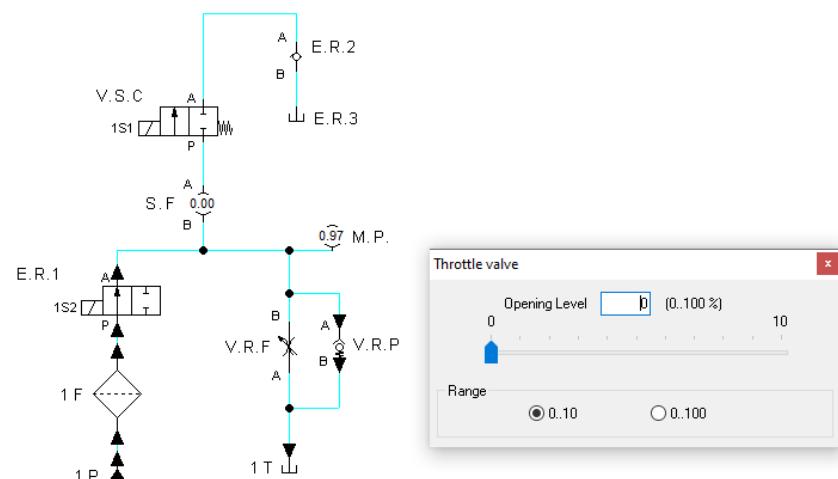


Figura 76 – Atuação do circuito de segurança.

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 Fig. 77 a seguir.

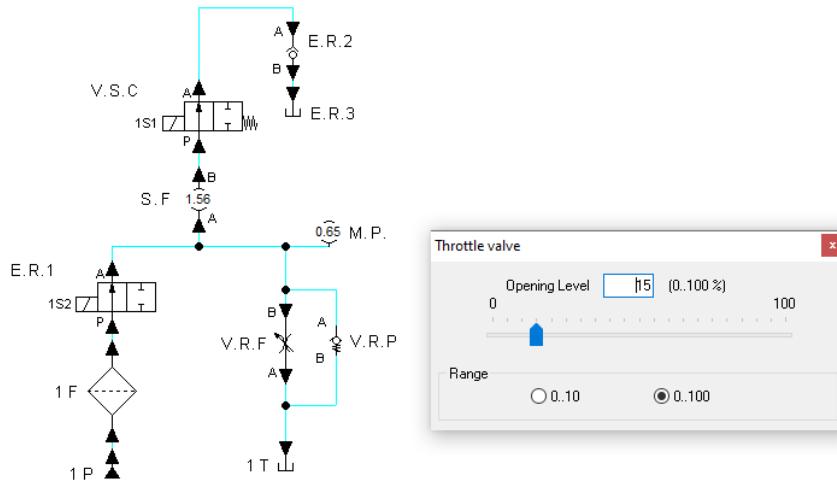


Figura 77 – Circuito em execução com atuação da solenoide.

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 Figs. 78 e 79.

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

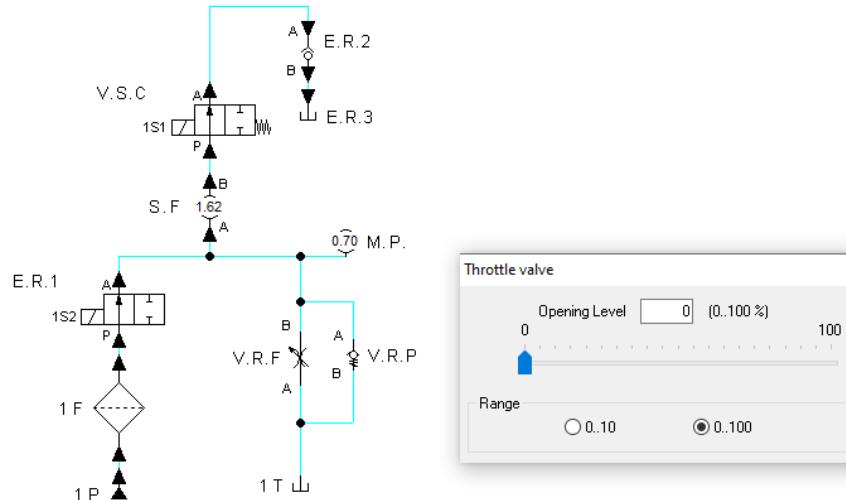


Figura 78 – Circuito em execução com atuação da solenoide e restrição de fluxo.

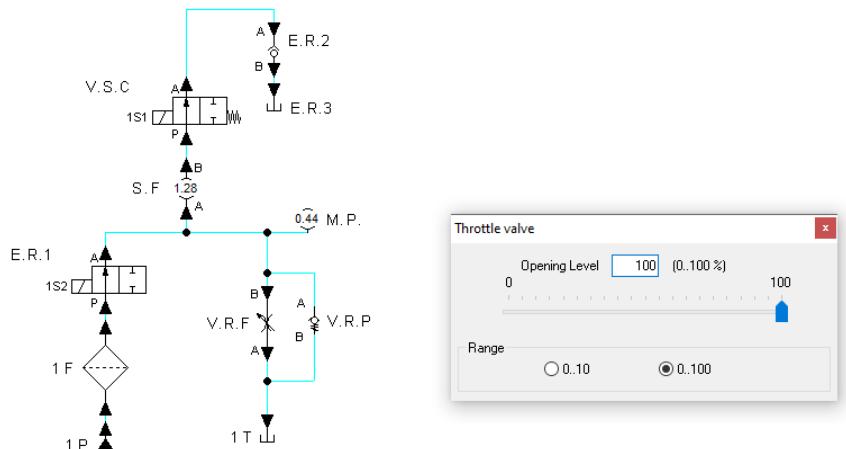


Figura 79 – Circuito em execução com atuação da solenoide e sem restrição de fluxo.

ao circuito da simulação um outro sensor de fluxo, na linha de retorno ao reservatório, os resultados podem ser vistos nas Figs 80, 81 e 82.

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.

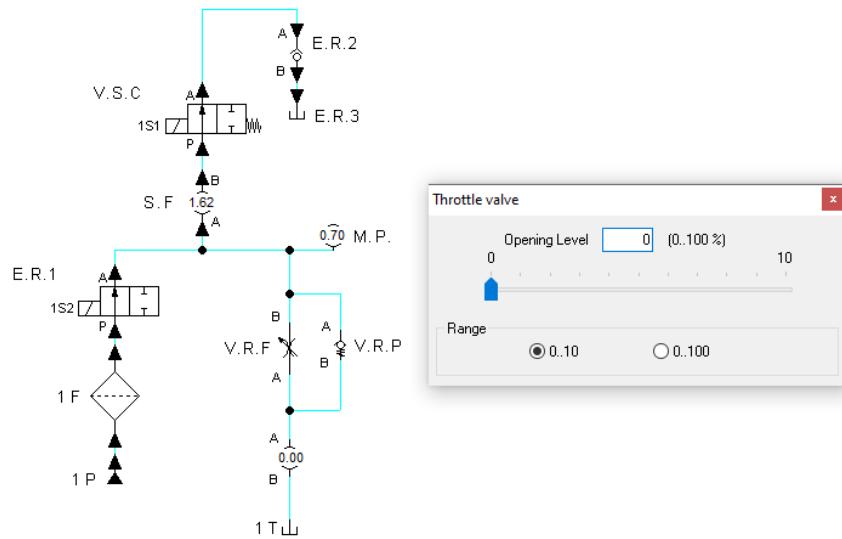


Figura 80 – Circuito em execução com atuação da solenoide e restrição de fluxo com outro sf

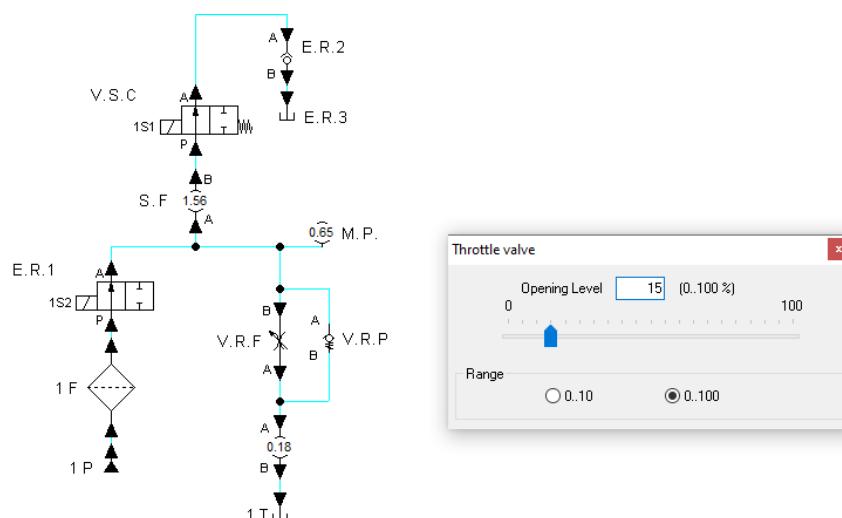


Figura 81 – Circuito em execução com atuação da solenoide com restrição de fluxo parcial e com outro sf

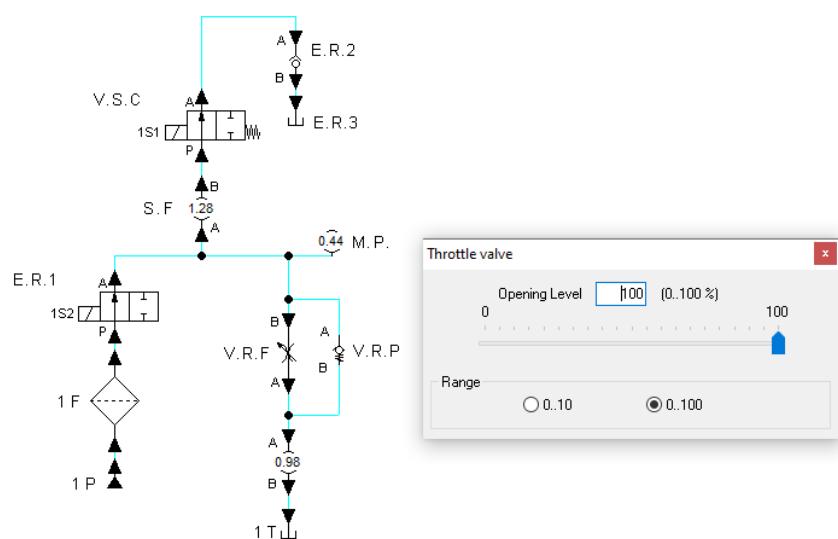


Figura 82 – Circuito em execução com atuação da solenoide e sem restrição de fluxo com outro sf

5 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 da tabela tem-se o custo total de investimento no produto.

Tabela 21 – Custos do projeto

Componente	Valor médio de mercado	Quantidade	Valor
Acoplamento de eixos	R\$ 26,70	8	R\$ 213,60
Impressão da capa protetora (sem a tampa)	R\$ 350,00	1	R\$ 350,00
Dobradica	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
Tubo de aço quadrado 50mm x 50mm x 1,2mm 6000mm	R\$ 161,15	1	R\$ 161,15
Kit rolamento ucf 206 com 4	R\$ 194,90	1	R\$ 194,90
Rolamentos convecionais	R\$ 10,00	8	R\$ 80,00
Tanque resevatório 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
Válvula reguladora de vazão	R\$ 209,00	1	R\$ 209,00
Válvula reguladora de pressão	R\$ 79,85	1	R\$ 79,85
Conector em T hidráulico	R\$ 14,00	3	R\$ 42,00
Conector femea 1/2"	R\$ 6,90	4	R\$ 27,60
Conector macho 1/2"x 1/2'	R\$ 9,80	2	R\$ 19,60
Conjunto roda e pneu trator	R\$ 378,00	4	R\$ 1.512,00
Parafuso fenda auto tarraxante M3 x 9,5mm	R\$ 0,04	6	R\$ 0,24
Kit 10 Parafusos M4 10mm	R\$ 9,55	4	R\$ 38,20
Kit 10 Parafusos M6 20mm	R\$ 13,05	2	R\$ 26,10

Kit 10 Parafuso M8 20 mm	R\$ 24,45	1	R\$ 24,45
Kit 10 parafusos M10 60mm	R\$ 31,90	1	R\$ 31,90
Kit 4 Parafuso M12 20mm e 4 porcas sextavadas	R\$ 23,22	1	R\$ 23,22
Kit 50 porcas M12	R\$ 45,97	1	R\$ 45,97
Kit 20 Porcas M8	R\$ 25,40	1	R\$ 25,40
Kit porcas M10 20 peças	R\$ 30,00	2	R\$ 60,00
Kit 20 Porcas borboletas m12	R\$ 54,60	1	R\$ 54,60
Arruela lisa M12	R\$ 0,40	4	R\$ 0,16
Arruela funileiro M8	R\$ 0,73	4	R\$ 2,92
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
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	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
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
Válvula Solenoide DC 12V 1/2 Polegada	R\$39,90	1	R\$39,00

Dominio do site/ano	R\$59,99	1	R\$59,99
Servidor/mês	R\$27,50	1	R\$27,50
Engenheiros	R\$5000	15	R\$75.000,00
		Total	R\$86.408,01

6 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.

6.1 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 22 – Matriz de Riscos

Probabilidade/Impacto	Crítico	Moderado	Leve
Provável	Alta	Alta	Média
Ocasional	Alta	Média	Baixa
Improvável	Média	Baixa	Baixa

6.2 Descrição dos Riscos

6.2.1 Riscos do Projeto, Externos e do Produto

Tabela 23 – 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 24 – 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 25 – 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 26 – 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

6.3 Riscos Técnicos

6.3.1 Riscos Estruturais

Tabela 27 – 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 28 – 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

6.3.2 Riscos Eletrônicos

Os riscos relacionados ao subsistema responsável pela matriz eletrônica do projeto estão descrito de acordo com a tabela a seguir:

Tabela 29 – 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 30 – 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

6.3.3 Riscos Energéticos

Os riscos relacionados ao subsistema de energia foram levantados e estão dispostos na tabela a seguir.

Tabela 31 – 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 32 – 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

6.3.4 Riscos Software

Tabela 33 – 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 34 – 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

7 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 robô 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 2 vezes nas páginas 9 e 198.

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&type = itemamp;tracking_id = a297b10f - 8e93 - 4486 - 9a13 - 76cd08936223>. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 197.

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 2 vezes nas páginas 9 e 197.

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 6 e 59.

ALIEXPRESS. Conector 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 2 vezes nas páginas 9 e 201.

ANTUNES, L. E. C. *A cultura do morango*. [S.l.]: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Clima Temperado, 2011. 58 p. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 74.

ANTUNES, L. E. C.; JÚNIOR, C. R.; SCHWENGBER, J. E. *Morangueiro*. [S.l.]: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Clima Temperado, 2016. Citado 3 vezes nas páginas 21, 24 e 145.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão*. Rio de Janeiro, 2004. Citado na página 80.

ASTRAND B.; BAERVELD, J. An agricultural mobile robot with vision-based perception for mechanical weed control. *Autonomus Robots*, Los Angeles, 2002. Citado na página 22.

ATLASSIAN. *Kanban*. 2021. Disponível em: <<https://www.atlassian.com/agile/kanban>>. Acesso em: 13 Ago. 2021. Citado na página 29.

BAÚ DA ELETRÔNICA. *Fonte bivolt 7,5V / 1A.* 2021. Disponível em: <<https://www.baudaeletronica.com.br/fonte-bivolt-7-5v-1a.html?gclid=>

- CjwKCAjwhOyJBhA4EiwAEcJdcViLXs4bWsgqKV0dD1HCwcYNNU38i6FOf1UGfphTfn0D5M9nQ
BwE>. Citado na página 80.
- BEER, F. et al. Mechanics of materials. 7th_edition. New York. McGraw-Hill Education Ltd, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 94 e 95.
- 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 56.
- 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 61 e 62.
- BOSCH SENSORTEC. *Data sheet BMP280 Digital Pressure Sensor*. 1.14. ed. [S.l.], 2015. Citado na página 57.
- 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 84 e 91.
- CISER. *Carta apresentação*. 2021. Disponível em: <<https://www.ciser.com.br/userfiles/paginas/catalogo-de-produtos-ciser-rev-12-2020.pdf>>. Citado 4 vezes nas páginas 9, 10, 200 e 208.
- 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 9 e 200.
- CISER. *Carta apresentação*. 2021. Disponível em: <<https://www.ciser.com.br/userfiles/paginas/catalogo-de-produtos-ciser-rev-12-2020.pdf>>. Citado 3 vezes nas páginas 10, 204 e 205.
- 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 10 e 204.
- 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 10 e 207.
- COMPANY, B. *Simbologia Gráfica Conforme ISO 1219*. 2021. Disponível em: <https://de-br.resource.bosch.com/media/br/training/treinamentos_2020/arquivos_2/Simbologia_Grifica_ISO1219.pdf>. Citado 2 vezes nas páginas 104 e 106.
- 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 54.
- 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 104.

- 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 104.
- DISFOIL. *Dobradica de Aluminio 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-ARIsAMZ0eet2jQ7cILbSxBKBoEa0ykRDWYP7srhoB9NCYUfLZhjQMfifcLWwcB>. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 203.
- 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 93.
- EMBARCADOS. *Sensores Inerciais – Parte 2*. 2015. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/sensores-inerciais-parte-2/>>. Acesso em: 11 Sep. 2021. Citado 2 vezes nas páginas 6 e 55.
- EMBRAPA. *Coleção: Plantar Morango*. [S.l.]: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Clima Temperado, 2011. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 145.
- ENERGY SAVING ELECTRONICS CO. *YF-S201 black flow sensor*. [S.l.], 2017. Citado na página 60.
- 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 2 vezes nas páginas 10 e 202.
- FETICK, R. J. *MPU6050ight*. 2021. Disponível em : <>. Acesso em: 11 Sep. 2021. Citado na página 55.
- FIALHO, A. B. *Automação Hidráulica, Projetos, Dimensionamento e Análise de Circuitos*. [S.l.]: Erica LTDA, 2007. Citado 3 vezes nas páginas 106, 108 e 109.
- 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 94.
- GEEKS FOR GEEKS ORG. *Multiple Color Detection in Real-Time using Python-OpenCV*. 2020. Disponível em: <<https://www.geeksforgeeks.org/multiple-color-detection-in-real-time-using-python-opencv/>>. Acesso em: 11 Sep. 2021. Citado na página 62.
- GILLESPIE, T. D. *Fundamentals of Vehicle Dynamics*. [S.l.]: Society of Automotive Engineers, 1992. Citado 3 vezes nas páginas 93, 94 e 95.
- GRIFT, T. Robotics in crop production. USA, Urbana, 2012. Citado na página 22.
- GUIRRA ANA PAULA P. M.; SILVA, E. R. *Automação em sistemas de irrigação*. [S.l.: s.n.], 2010. Citado na página 21.

- 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 106.
- HELTEC AUTOMATION. *WiFi LoRa 32 (V2)*. 2018. Disponível em: <<https://heltec.org/project/wifi-lora-32/>>. Acesso em: 5 Sep. 2021. Citado 2 vezes nas páginas 6 e 46.
- JGP. *Bateria Li-ion 18650 7,4v 4400mah Sanyo Com Fio E Termo*. 2021. Disponível em: <https://www.jgpassistencia.com.br/MLB-1739808047-bateria-li-ion-18650-74v-4400mah-sanyo-com-jm#reco_item_pos=1&reco_backend=machinalis-seller-items&reco_backend_type=function&reco_client=vip-seller_items_above-shops&reco_id=8fa82dae-fe51-422a-bfb0-180db3930a90>. Citado na página 79.
- JUNTOLLI F., e. a. Agricultura de precisão. Boletim Técnico do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília, 2013. Citado na página 23.
- LIU, K. et al. A brief review on key technologies in the battery management system of electric vehicles. *Frontiers of Mechanical Engineering*, v. 14, n. 1, p. 47–64, 2019. Citado na página 71.
- LOGAN, D. *A First Course in the Finite Element Method*. [S.l.]: Cengage Learning, 2012. Citado na página 95.
- 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 2 vezes nas páginas 6 e 57.
- MAGAZINELUIZA.COM.BR. *Roda de alumínio aro 8 tratorito motocultivador usinna*. Disponível em: <https://www.magazineluiza.com.br/roda-de-aluminio-aro-8-tratorito-motocultivador/bc8d1b1gka/au/crcr/?&seller_id=usinnamk>. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 200.
- 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 72.
- MARTINELLI, F. *Linha de Aço*. 2021. Disponível em: <<https://fundicaomartinelli.com.br/produtos/aco/>>. Citado 2 vezes nas páginas 87 e 90.
- MB UTILIDADES. *Cabo Fio Rabicho P4 Femea Positivo E Negativo Para Fontes*. 2021. Disponível em: <<https://www.mbutilidades.com.br/cabo-fio-rabicho-p4-femea-positivo-e-negativo-p>>. Citado na página 79.
- MCGINTY, B. *Stress Concentrations at Holes*. Disponível em: <<https://www.fracturemechanics.org/hole.html>>. Citado na página 95.

- MEGSON, T. H. G. *Aircraft structures for engineering students.* [S.l.]: Butterworth-Heinemann, 2016. Citado 2 vezes nas páginas 94 e 95.

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 84 e 91.

OPENCV ORG. *OpenCV.* 2021. Disponível em: <<https://opencv.org>>. Acesso em: 10 Sep. 2021. Citado na página 45.

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 3 vezes nas páginas 6, 49 e 50.

PALOMBINI, M. C. Qual o panorama da produção de morango no brasil? 2019. Disponível em: <<https://revistacampoenegocios.com.br/qual-o-panorama-da-producao-de-morango-no-brasil/>>. Acesso em: 22 Ago. 2021. Citado na página 21.

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 7 e 61.

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 58.

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 72.

RASPBERRY PI ORG. *Raspberry Pi.* 2016. Disponível em: <<https://www.raspberrypi.org>>. Acesso em: 10 Sep. 2021. Citado 2 vezes nas páginas 44 e 45.

RASPBERRY PI TUTORIALS. *Using a Raspberry Pi distance sensor (ultrasonic sensor HC-SR04).* 2017. Disponível em: <<https://tutorials-raspberrypi.com/raspberry-pi-ultrasonic-sensor/>>. Acesso em: 10 Sep. 2021. Citado na página 53.

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/>>. Acesso em: 10 Sep. 2021. Citado na página 60.

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>>. Citado 3 vezes nas páginas 10, 203 e 211.

ROLAMENTOS SKF Energy Efficient. Disponível em: <<https://www.skf.com/br/industries/two-and-three-wheelers/transmission/skf-energy-efficient-bearings>>. Citado 4 vezes nas páginas 9, 10, 198 e 206.

SCRUM GUIDES. *The Scrum Guide*. 2020. Disponível em: <<https://www.scrumguides.org/scrum-guide.html>>. Acesso em: 13 Ago. 2021. Citado na página 27.

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 59.

SENAR. *Olericultura: cultivo do morango*. [S.l.]: Senar, 2019. Coleção Senar 238. Citado na página 76.

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 87 e 90.

SOUZA, 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 4 vezes nas páginas 6, 51, 52 e 54.

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 22.

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 2 vezes nas páginas 9 e 199.

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 23.

TRANI, F. A. P. P. E. Calagem e adubação do morangueiro. p. 16, 2013. Disponível em: <https://www.iac.sp.gov.br/imagem_informacoestecnologicas/89.pdf>. Acesso em: 22 Ago. 2021. Citado na página 21.

UFRGS. *Proteção contra corrossão em metais*. 2021. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/47294/Resumo_10926.pdf?sequence=1>. Citado na página 91.

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 4 vezes nas páginas 9, 10, 198 e 205.

USIBRONZE. ABNT 6351. 2021. Disponível em: <<https://usibronze.com.br/aluminio/abnt-6351/>>. Citado 2 vezes nas páginas 87 e 90.

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-roJM?matt_tool=18956390&putm_source=google_shopping&putm_medium=organic>. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 199.

WIKIPEDIA. *HSL and HSV*. 2021. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/HSL_and_HSV>. Acesso em: 11 Sep. 2021. Citado 2 vezes nas páginas 7 e 62.

WOLF, D. F. et al. Robótica móvel inteligente: Da simulação às aplicações no mundo real). *congresso da SBC*, p. 19, 2009. Citado na página 46.

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 56.

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 92.

Apêndices

APÊNDICE A – TERMO DE ABERTURA DE PROJETO (TAP)

A.1 Descrição do Projeto

O projeto se trata de um mini-trator 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 Mini-Trator de pulverização de alta precisão.

A.3 Objetivo

A.3.1 Objetivos gerais

O objetivo é desenvolver um trator 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 35. Ademais, é importante ressaltar que é possível que um mesmo stakeholder seja classificado em duas ou mais categorias.

Tabela 35 – 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 36, ilustra os riscos organizacionais do projeto tendo em vista as necessidades dos Stakeholders, os riscos, as premissas e o contexto da disciplina.

Tabela 36 – 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 37, é descrito os marcos e suas datas.

Tabela 37 – 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

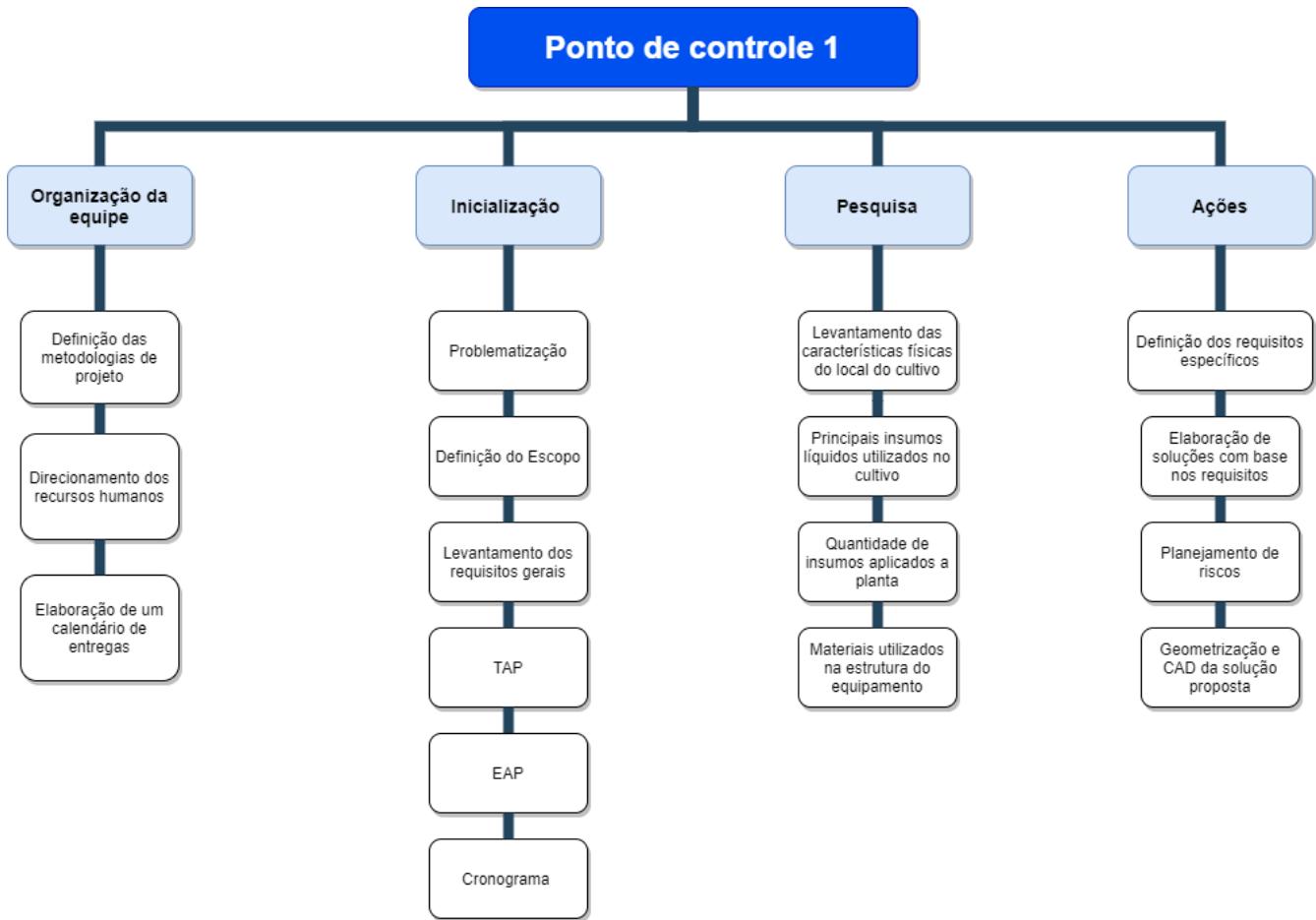


Figura 83 – Organograma da EAP para o ponto de controle 1.

B.2 Ponto de Controle 2

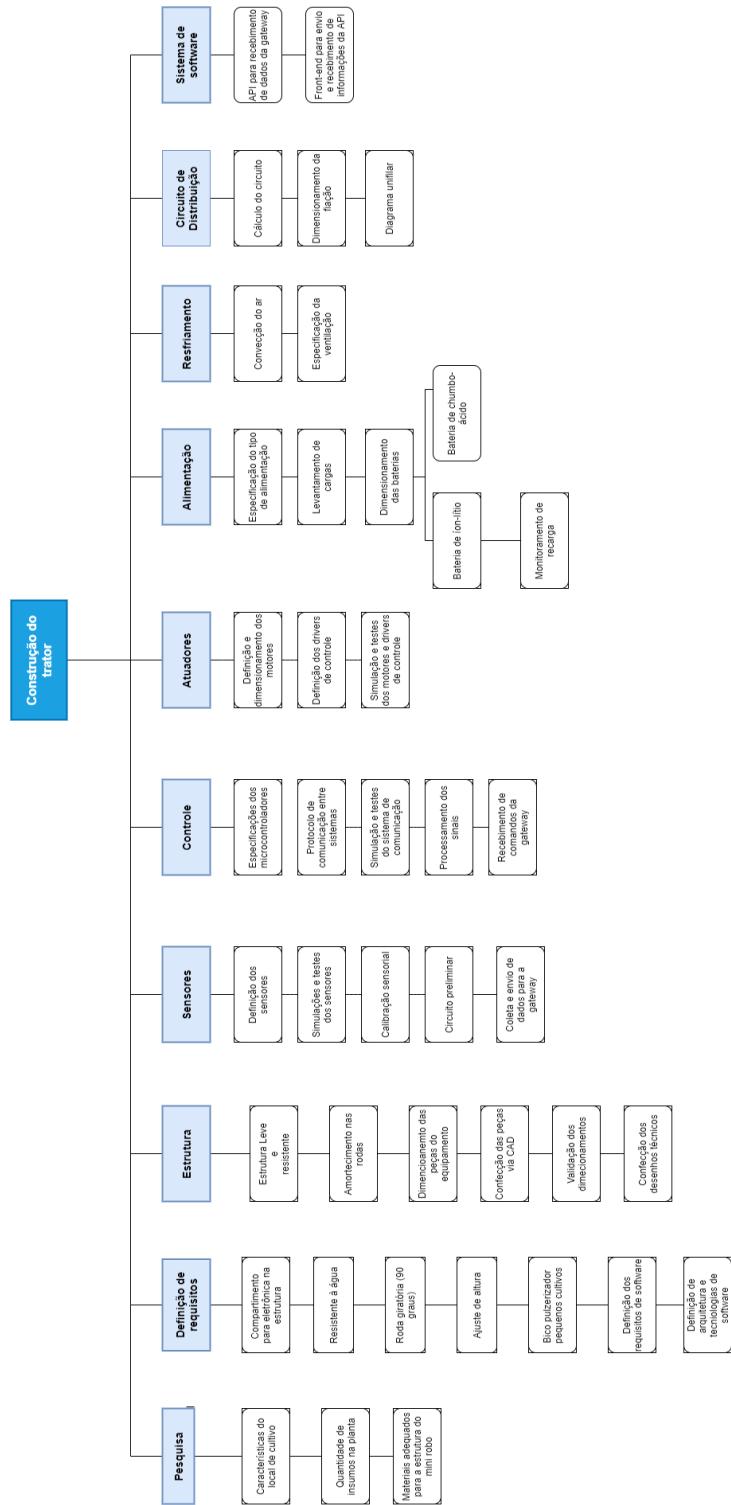


Figura 84 – Organograma da EAP para o ponto de controle 2.

B.3 Ponto de Controle 3

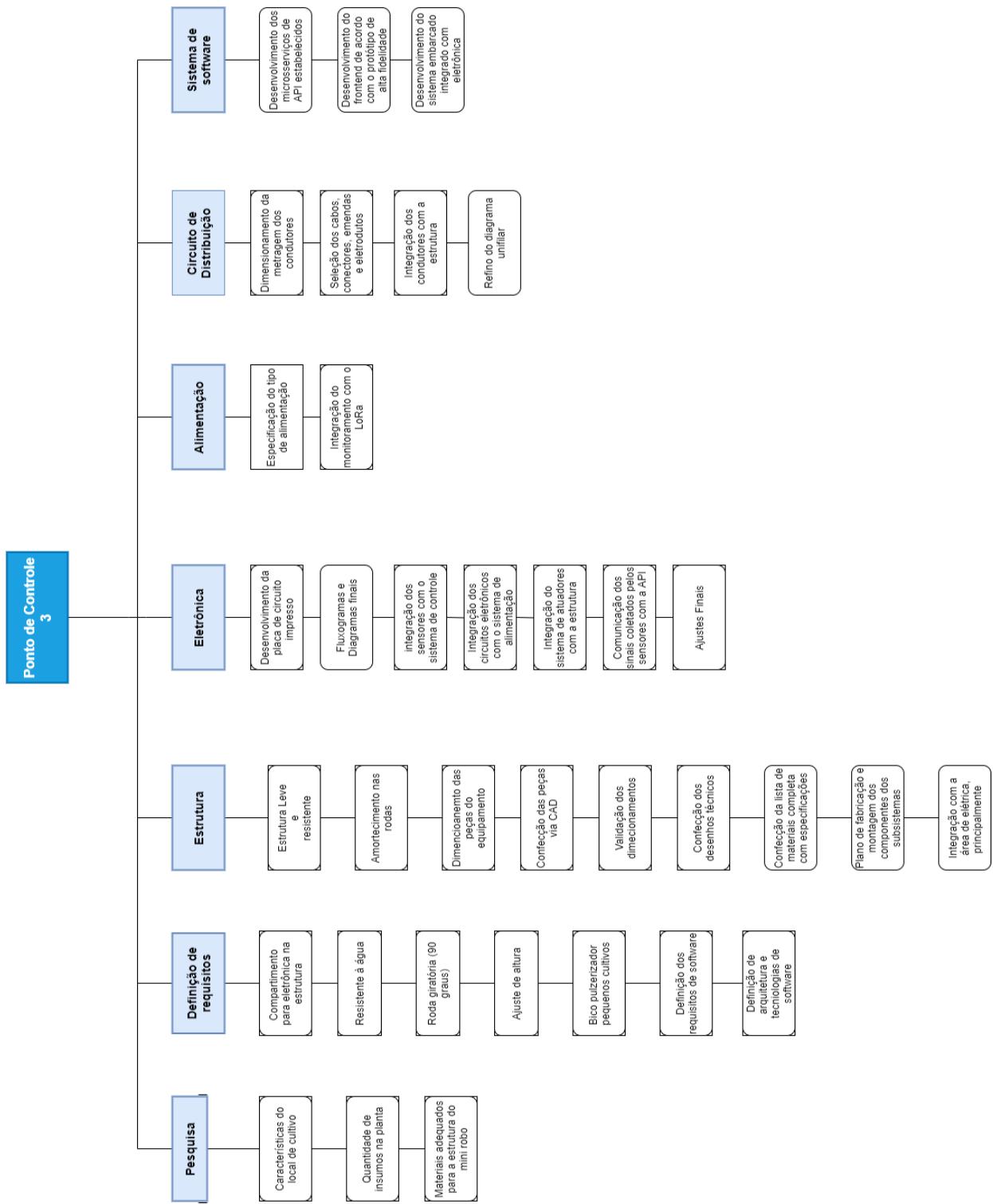


Figura 85 – Organograma da EAP para o ponto de controle 3.

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 87 é apresentado o arranjo final da equipe de 15 membros.

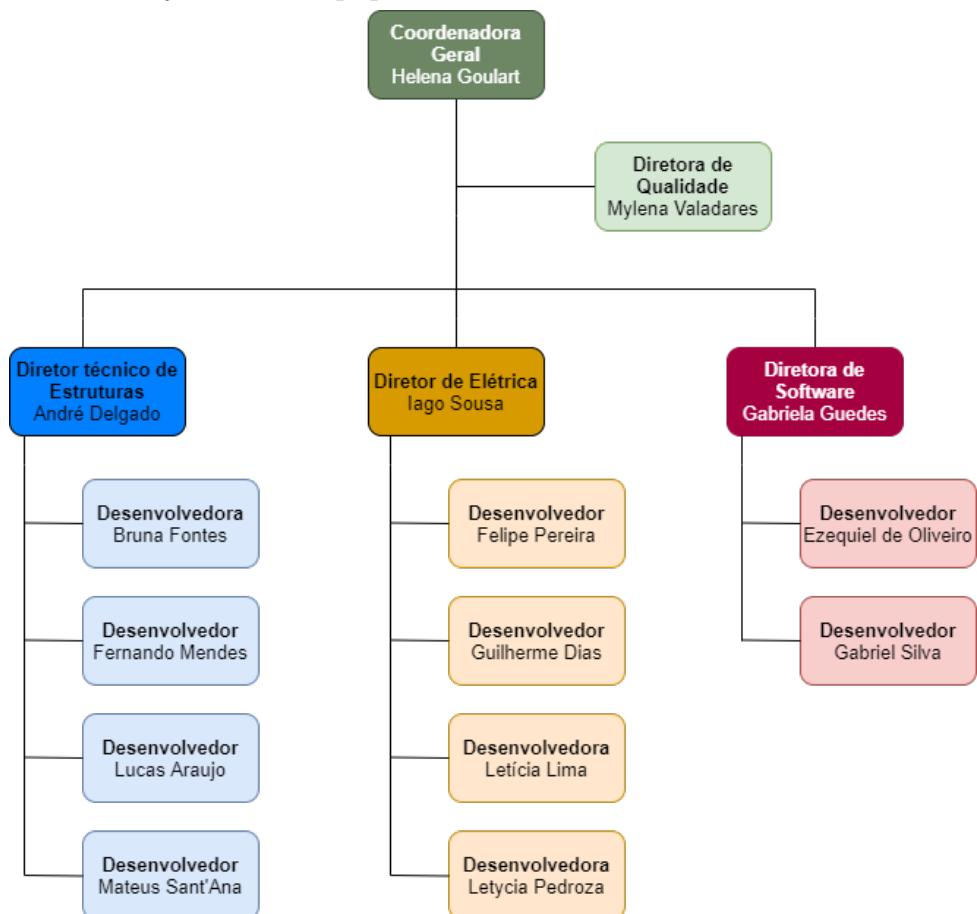


Figura 86 – Organograma da equipe do projeto

C.3 Contribuição dos membros

Tabela 38 – Contribuição dos membros para o PC2

Nome	Matrícula	Área	Contribuição
Bruna Letícia Souza Fontes	160160162	Estruturas	Revisão dos textos da estrutura; Escrita do relatório; Levantamento das opções de bicos aspersores para a irrigação; Adequação do bico aspersor para o sistema de irrigação; Levantamento da teoria e dos requisitos para a simulação do sistema de irrigação que serão incorporados ao PC3
Fernando Barroso V. Mendes	180031864	Estruturas	Revisão dos Desenhos Técnicos da Estrutura; Levantamento de equações e cálculos para simulação estrutural; Realização da simulação estrutural preliminar no Ansys; Teste de convergência de malha das simulações; Revisão da formatação no Latex da parte de Estrutura.
Lucas Messias Cunha de Araujo	160133718	Estruturas	Levantamento das equações e cálculos para dimensionamento da rigidez das molas e o amortecimento dos amortecedores.

Mateus Silva Sant'Ana	160137683	Estruturas	Simulações estruturais e análises das simulações, levantamento da teoria para cálculos analíticos, simulação de flambagem estrutural, escrita do relatório e avaliação de componentes estruturais para fabricação em impressão 3D e orçamento de peças para serem fabricadas em impressão 3D.
André do Nascimento Delgado	160111960	Estruturas	Aprimoramento e assembly do modelo em CAD; Desenvolvimento e simulação do sistema hidráulico de fertirrigação; Levantamento das equações e cálculos para dimensionamento do motores; Levantamento dos equipamentos comerciais passíveis de compra; Pesquisa dos valores comerciais médios dos componentes compráveis; Pesquisa das normas de desenhos técnicos mecânicos e hidráulicos; Confecção dos desenhos técnicos.

Felipe Chermont Pereira	160119570	Elétrica	Atualização da introdução, Atualização da EAP, Atualização da tabela de custos; Estudo e análise de componentes eletrônicos; auxilio na definição dos motores e controladores de velocidade, auxilio na simulação dos controles de velocidade, documentação da seção de atuadores e da solução de eletrônica
Guilherme Simões Dias	160123364	Elétrica	Atualização da descrição da seção de sensores; Atualização da arquitetura de eletrônica; Pesquisa, realização de testes, desenvolvimento de códigos e escrita dos subtópicos referentes ao transdutor de indutância LDC1101, sensor de pressão e temperatura BMP280, sensor ultrassônico HC-SR04 e sensor de fluxo YF-S201; Auxílio no dimensionamento dos motores; Auxílio na atualização da introdução; Atualização da tabela de custos;

Iago	160124701	Elétrica	Pesquisa e implementação de algoritmo de segmentação de cor na Raspberry Pi para detecção de mudas de morango; Pesquisa e simulação do acelerômetro e giroscópio GY-521 MPU6050 na ESP32; Auxílio na decisão dos componentes eletrônicos; Estudo da comunicação entre Raspberry Pi e ESP32 por protocolo MQTT; Atualização da solução de eletrônica
Leticia de Souza Lima	160012163	Elétrica	Levantamento de cargas dos componentes; Pesquisa e aprimoramento da escolha do tipo de bateria; Estudo da respectiva norma e realização dos dimensionamentos dos condutores; Estudo da respectiva norma e confecção do diagrama unifilar; Documentação da seção de condutores elétricos; Pesquisa de material e especificação. Revisão das seções de baterias e resfriamento.

Letycia Vitoria de Almeida Alves Pedroza	170108333	Elétrica	Levantamento de cargas dos componentes; Pesquisa e aprimoramento da escolha do tipo de bateria; Estimativa de uso, dimensionamento e seleção da bateria principal e respectiva fonte de alimentação; Dimensionamento e seleção da bateria secundária e respectiva fonte de alimentação; Auxílio na escolha dos motores DC; Auxílio na etapa de modelagem da simulação fluidodinâmica. Documentação da seção de baterias; Pesquisa de componentes e especificação; Revisão das seções de condutores elétricos e resfriamento.
Mylena Araujo Valadares	170163580	Elétrica	Levantamento de cargas dos componentes; Pesquisa e aprimoramento da escolha do tipo de bateria; Proposta de resfriamento dos componentes internos, por meio de escolha de um cooler adequado; Simulação fluidodinâmica de transferência térmica com trocadores de calor com o ANSYS; Documentação da seção de resfriamento; Revisão das seções de baterias e condutores elétricos.

Ezequiel De Oliveira Dos Reis	160119316	Software	Criação do protótipo de alta fidelidade; Estudo sobre a comunicação utilizando LoRaWan; Diagramação inicial dos dados e pacotes presentes no backend e frontend da aplicação; Documentação da arquitetura de software de todos os serviços; Atualização de custos
Gabriel Batista Albino da Silva	160028361	Software	Protótipo de baixa fidelidade; Documentação da arquitetura do software embarcado; Estudo e definição dos protocolos de comunicação; Elaboração do diagrama de comunicação; Estudo e documentação sobre o protocolo LoraWAN; Diagrama de casos de uso;
Gabriela Barrozo Guedes	160121612	Software	Criação dos repositórios no github; Inicialização dos projetos de backend e frontend, dockerizados e na estrutura discutida com o time; Documentação da arquitetura do software, especificando cada serviço; Diagrama de dados; Diagrama de Pacotes; Índice dos repositórios; Protótipo de alta fidelidade.

Helena Bretas Goulart	160124034	Software	Identidade visual; Documento de arquitetura do software embarcado; Estudo e definição dos protocolos de comunicação; Elaboração do diagrama de comunicação; Diagrama de Casos de Uso; Documentação das principais decisões de software.
-----------------------	-----------	----------	---

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 39 apresenta as ferramentas de comunicação a serem utilizadas durante o projeto.

Tabela 39 – 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

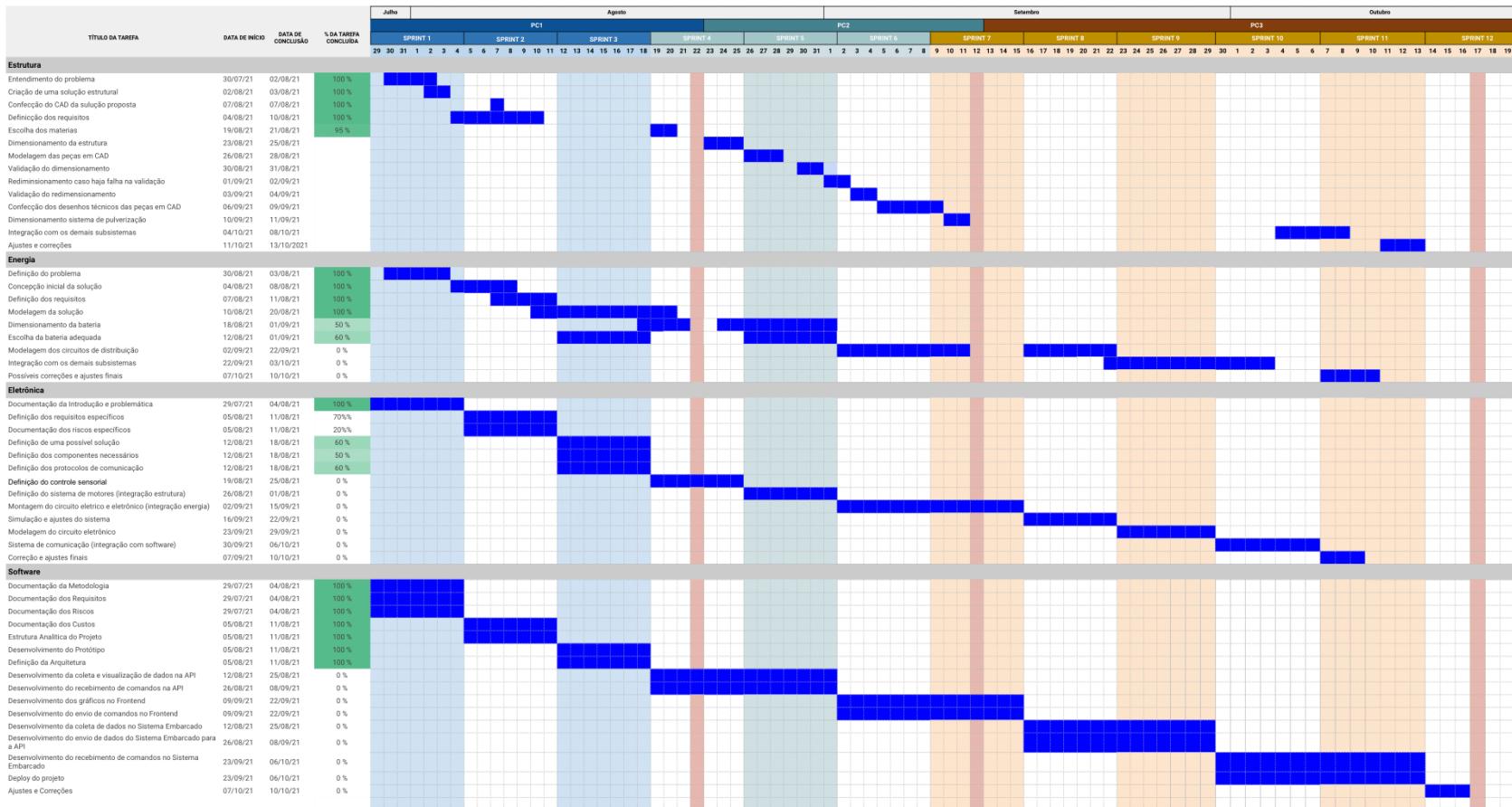


Figura 87 – Cronograma do Projeto

APÊNDICE F – Identidade visual e protótipos

F.1 Protótipo de baixa fidelidade



Figura 88 – Página Inicial



Figura 89 – Página de status do trator

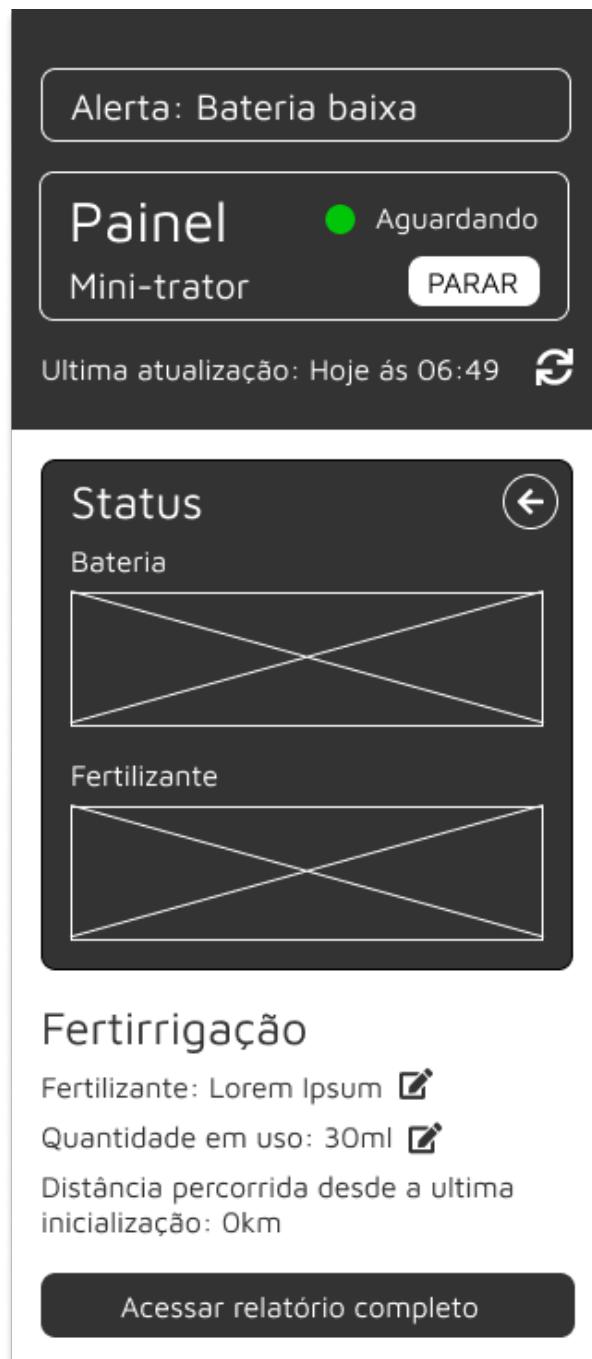


Figura 90 – Página de erro

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 mini-trator nas plantações de morango.



Figura 91 – Logo do Projeto

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 92 – Paleta de Cores

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



Figura 93 – Paleta básica para fontes

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 94 – Página de login mobile

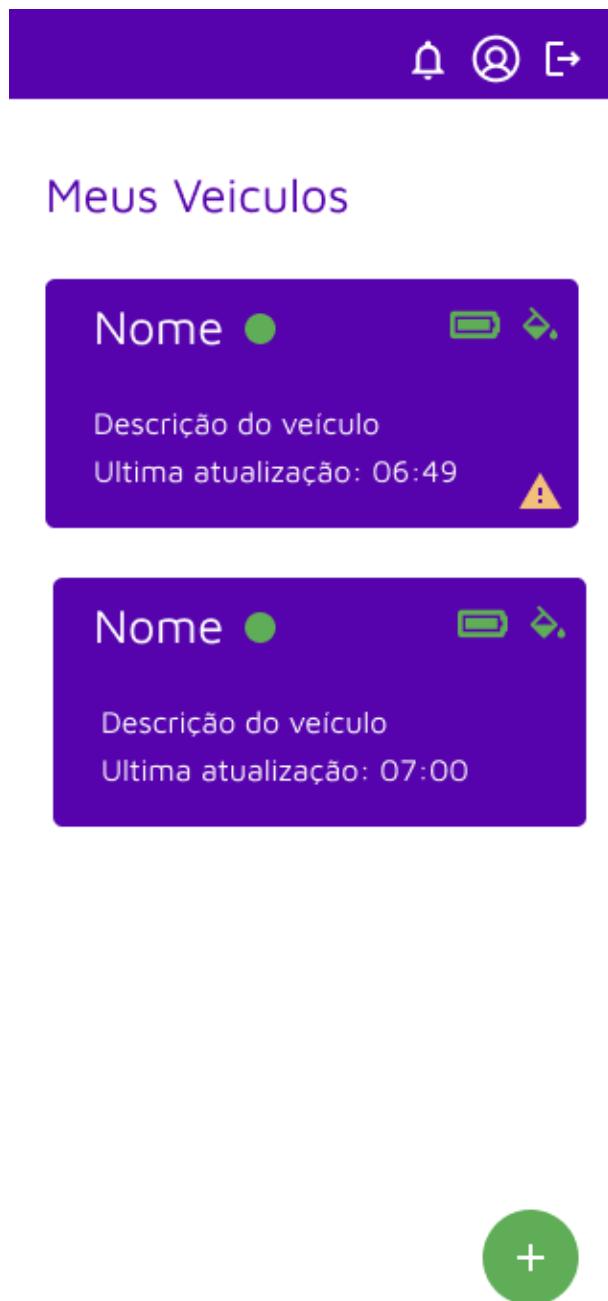


Figura 95 – Página de listagem de veículos mobile

Novo Veiculo

Código do Produto:

Nome:

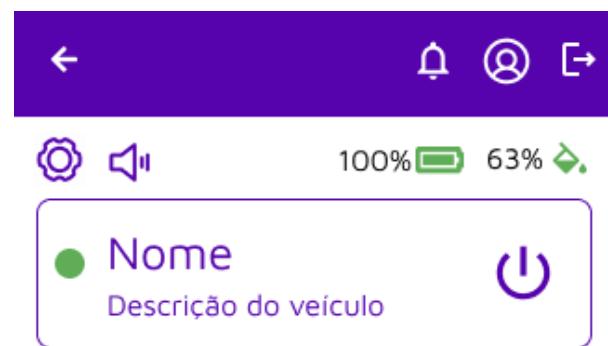
Descrição:

Fertilizante a ser aplicado:

Quantidade de fertilizante por planta:

Cadastrar

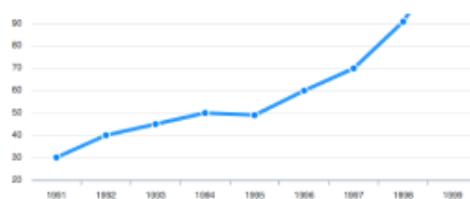
Figura 96 – Página de cadastro de veículos mobile



Fertilizante: Exemplo

Quantidade de uso por planta: 10ml

Utilização de Bateria



Utilização de Fertilizante

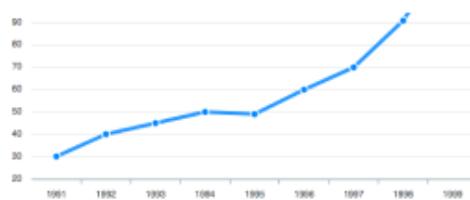
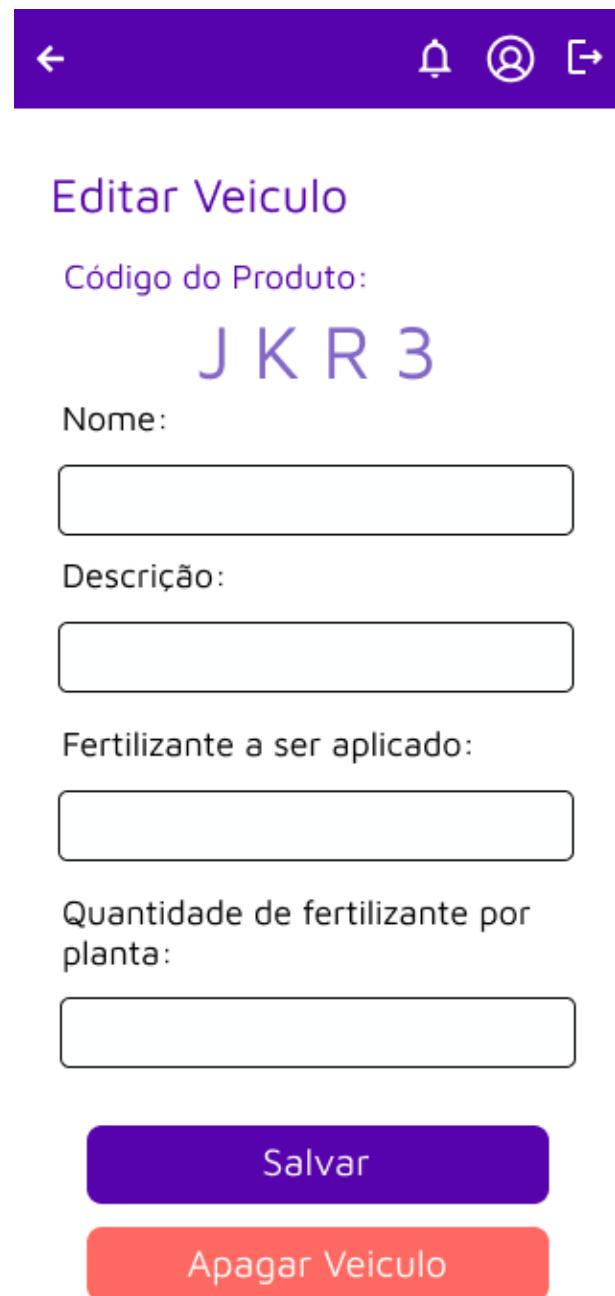


Figura 97 – Página de monitoramento do veículo mobile



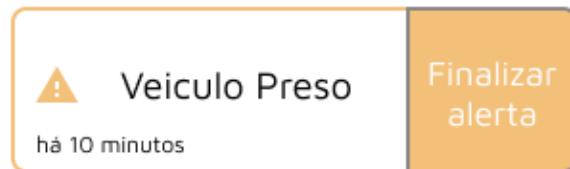
The image shows a mobile application interface for editing a vehicle. At the top, there is a purple header bar with a back arrow on the left and three icons on the right: a bell, a user profile, and a share symbol. Below the header, the title "Editar Veiculo" is displayed in bold black font. A sub-label "Código do Produto:" is followed by the code "J K R 3". The next section is labeled "Nome:" with an input field below it. The following section is labeled "Descrição:" with an input field below it. Then, "Fertilizante a ser aplicado:" is labeled with an input field below it. Next is "Quantidade de fertilizante por planta:" with an input field below it. At the bottom, there are two buttons: a purple "Salvar" button and a red "Apagar Veiculo" button.

Figura 98 – Página de editar veículo mobile



Listas de Alertas

Todos os veículos ▼



Histórico de Alertas



Figura 99 – Página de alertas mobile



Figura 100 – Página de recuperar senha mobile

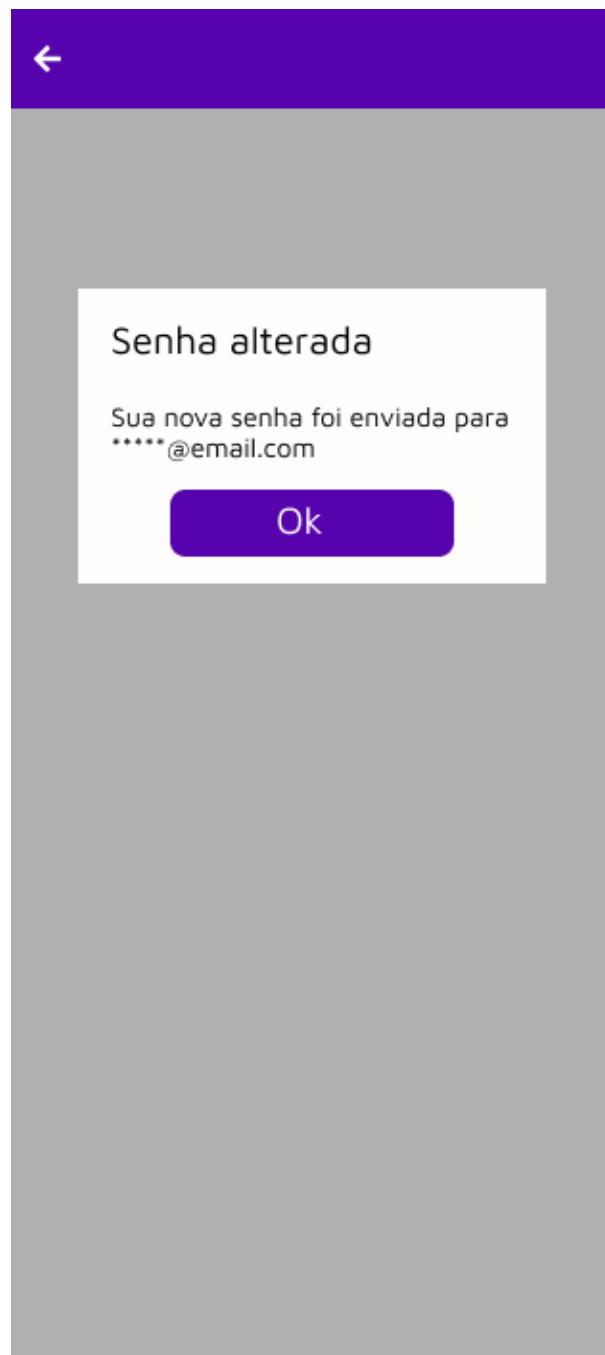


Figura 101 – Alerta de recuperação de senha mobile

Alterar Senha

Para maior segurança
troque sua senha por uma
nova.

Nova senha:

Repetir senha:

Alterar senha

Figura 102 – Página de alterar senha mobile

The screenshot 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 it 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 blue button labeled "Cadastrar" (Register).

←

Novo Usuário

Nome:

Email:

Senha:

Repetir a senha

Cadastrar

Figura 103 – Página de criar usuário mobile

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 blue. The interface is divided into two main sections, each enclosed in a rounded rectangular box with a thin purple border.

Dados Pessoais

Nome:

Email:

Atualizar dados

Alterar senha

Nova senha:

Repetir senha:

Alterar senha

Figura 104 – Página de editar usuário mobile

F.3.2 Protótipo para Desktop

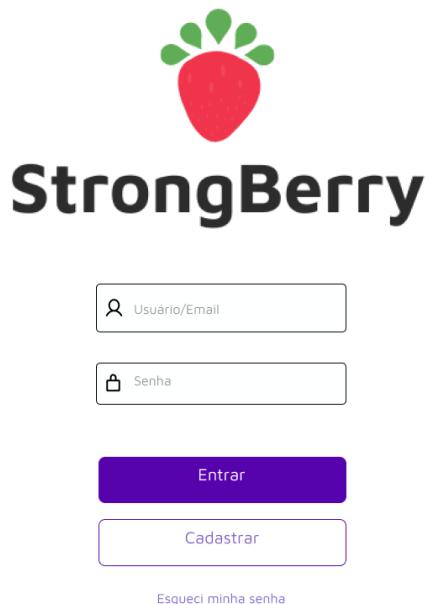


Figura 105 – Página de login Desktop



Meus Veiculos



Figura 106 – Página de Veículos

The screenshot shows a mobile application interface with a purple header bar containing the name "Jorge" and a profile icon. Below the header, the title "Novo Veiculo" is displayed in purple. The main content area contains a form with the following fields:

- Código do Produto:** A field with four input boxes for entering a product code.
- Nome:** An input field for the vehicle's name.
- Descrição:** An input field for the vehicle's description.
- Fertilizante a ser aplicado:** An input field for the fertilizer to be applied.
- Quantidade de fertilizante por planta:** An input field for the quantity of fertilizer per plant.

At the bottom right of the form are two buttons: "Cancelar" (Cancel) in red and "Cadastrar" (Register) in purple.

Figura 107 – Página de Cadastrar Veículos

The screenshot shows a mobile application interface for vehicle management. At the top, there is a purple header bar with the name "Jorge" and a profile icon. Below the header, there are two main sections: "Utilização de Bateria" (Battery Usage) and "Utilização de Fertilizante" (Fertilizer Usage). Each section contains a graph showing usage over time from 1991 to 1999.

Utilização de Bateria

Ano	Utilização (%)
1991	30
1992	40
1993	45
1994	50
1995	50
1996	60
1997	70
1998	85
1999	90

Utilização de Fertilizante

Ano	Utilização (ml)
1991	30
1992	40
1993	45
1994	50
1995	50
1996	60
1997	70
1998	85
1999	90

Alertas

- Veículo Preso** (há 10 minutos) - **Finalizar alerta**
- Pouco Fertilizante** (Periodo: 06/08/21 16:53 até 07/08/21 08:35)
- Pouca Bateria** (Periodo: 15/08/21 10:20 até 13:43)

Nome: Nome
Descrição do veículo

Bateria: 100%

Fertilizante: 63%

Distancia: Ultima distância percorrida: 1km

Fertilizante: Exemplo
Quantidade de uso por planta: 10ml

Figura 108 – Página de Veículo

The screenshot shows a user interface for editing a vehicle. At the top right, there is a purple header bar with the name 'Jorge' and a profile icon. Below the header, the title 'Editar Veiculo' is displayed in a large, bold, dark blue font. Underneath the title, the text 'Código do Produto:' is followed by the code 'JKR3' in a large, bold, dark blue font. The form contains four input fields: 'Nome:' (Name), 'Descrição:' (Description), 'Fertilizante a ser aplicado:' (Fertilizer to be applied), and 'Quantidade de fertilizante por planta:' (Quantity of fertilizer per plant). Each input field has a corresponding empty text box below it. At the bottom right of the form area, there are two buttons: a red button labeled 'Apagar Veiculo' (Delete Vehicle) and a purple button labeled 'Cadastrar' (Register).

Figura 109 – Página de Editar Veículo



Figura 110 – Página de Recuperar Senha

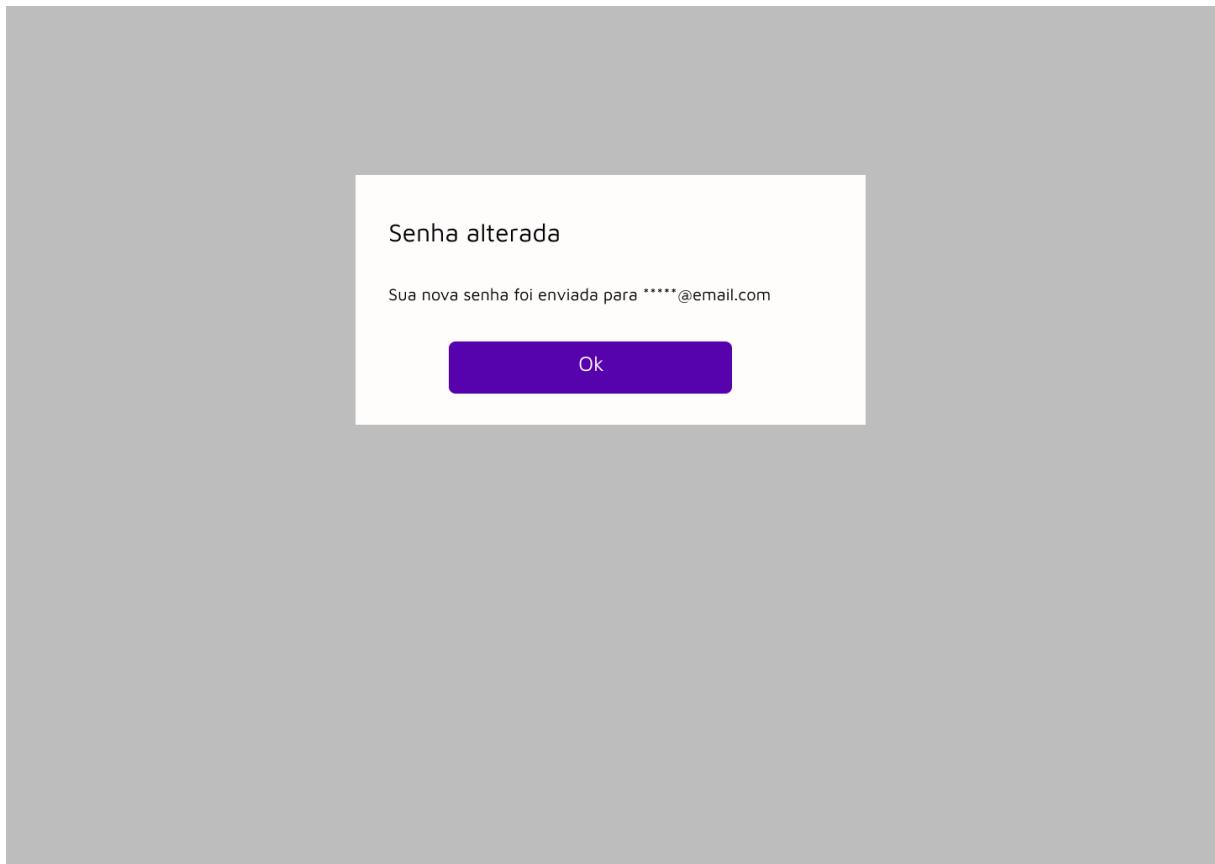


Figura 111 – Alerta de recuperação de senha Desktop

Alterar Senha

Para maior segurança troque sua senha por uma nova.

Nova senha:

Repetir senha:

Alterar Senha

Figura 112 – Página de Alterar Senha Desktop

Novo Usuário

Nome:

Email:

Senha:

Repetir Senha:

Figura 113 – Página de Cadastro de Usuário Desktop



Editar Usuário

The screenshot shows a user interface for editing a user profile. It is divided into two main sections: 'Dados Pessoais' (Personal Data) on the left and 'Alterar senha' (Change Password) on the right.

Dados Pessoais:

- Nome: Jorge
- E-mail: jorginho@email.com

Alterar senha:

- Nova senha: (empty input field)
- Repetir senha: (empty input field)

Buttons:

- Actualizar dados (Update data) in the Dados Pessoais section.
- Alterar senha (Change password) in the Alterar senha section.

Figura 114 – Página de Editar de Usuário Desktop

APÊNDICE G – Dinâmica de Operação

As operações realizadas pelo mini trator podem ser divididas em três sistemas: Direção, Aspersão e Comunicação. Para exemplificar a ideia inicial do funcionamento do Sistema de Direção foi criado o fluxograma da figura 115, que demonstra a tomada de decisões do veículo ao percorrer a plantação.

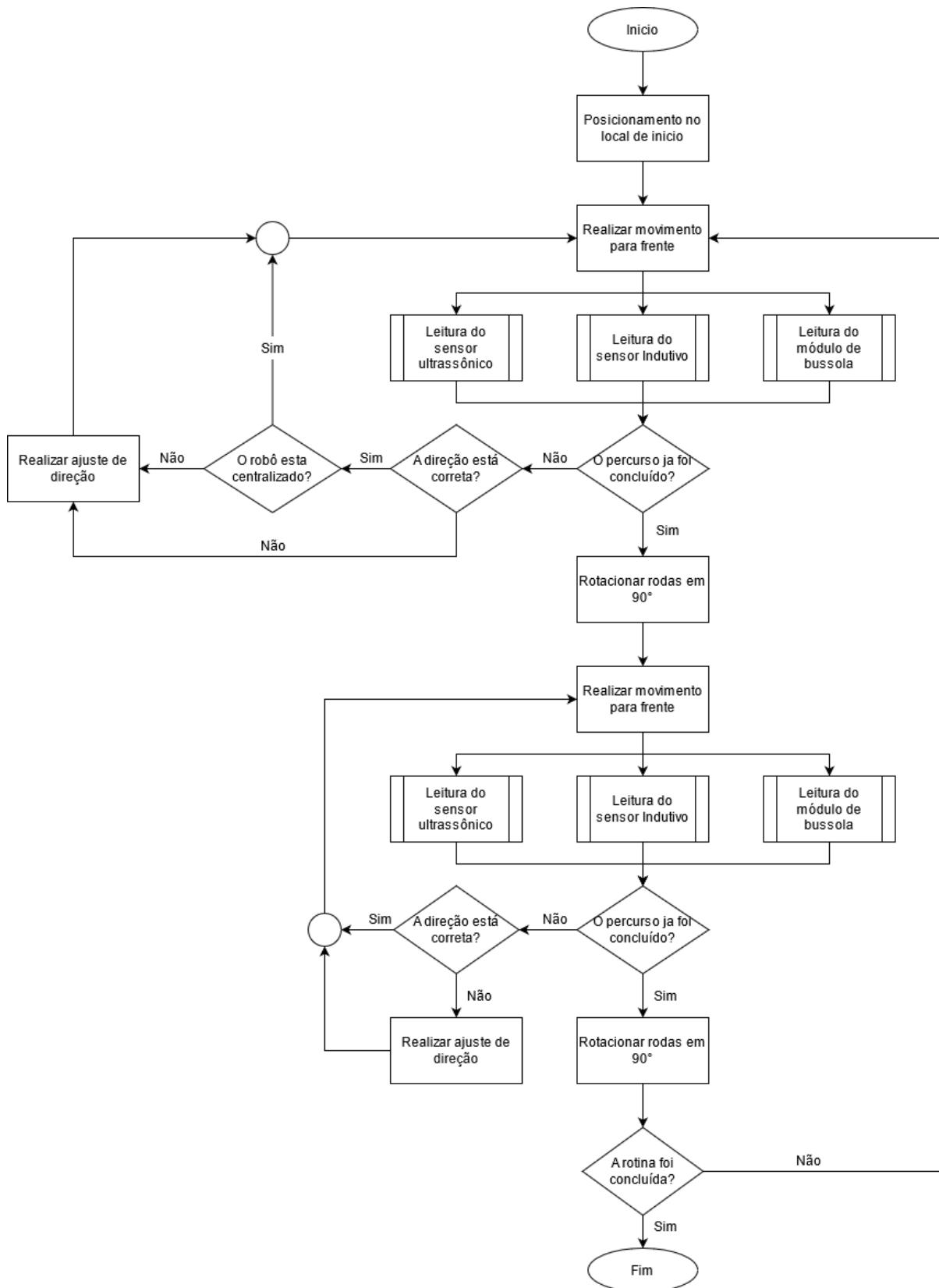


Figura 115 – Fluxograma prévio do Sistema de Direção

APÊNDICE H – Memorial da Solução de Energia

H.1 Dimensionamento dos Condutores

A tabela 47 da NBR 5410 indica a seção mínima dos condutores de acordo com a utilização do circuito, como apresentado na Fig. 116:

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 116 – Tabela 47
Fonte: NBR 5410/2004

A tabela 33 apresenta os tipos de linhas elétricas e um esquema ilustrativo para determinar o método de referência, conforme mostrado na Fig. 117:

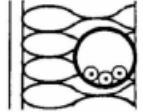
Método de instalação número	Esquema ilustrativo	Descrição	Método de referência ¹⁾
1	 Face interna	Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto de seção circular embutido em parede termicamente isolante ²⁾	A1
2	 Face interna	Cabo multipolar em eletroduto de seção circular embutido em parede termicamente isolante ²⁾	A2
3		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto aparente de seção circular sobre parede ou espaçado desta menos de 0,3 vez o diâmetro do eletroduto	B1

Figura 117 – Tabela 33
Fonte: NBR 5410/2004

A tabela 46, apresentada na Fig. 118, dispõe do número de condutores carregados a ser considerado, em função do tipo de circuito:

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 118 – Tabela 46

Fonte: NBR 5410/2004

Já a tabela 36 foi utilizada para determinar o tipo de material a ser escolhido para os circuitos e a capacidade de condução de corrente para o método de referência escolhido, como visto na Fig. 119:

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												
	(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 119 – Tabela 36

Fonte: NBR 5410/2004

H.2 Diagrama Unifilar

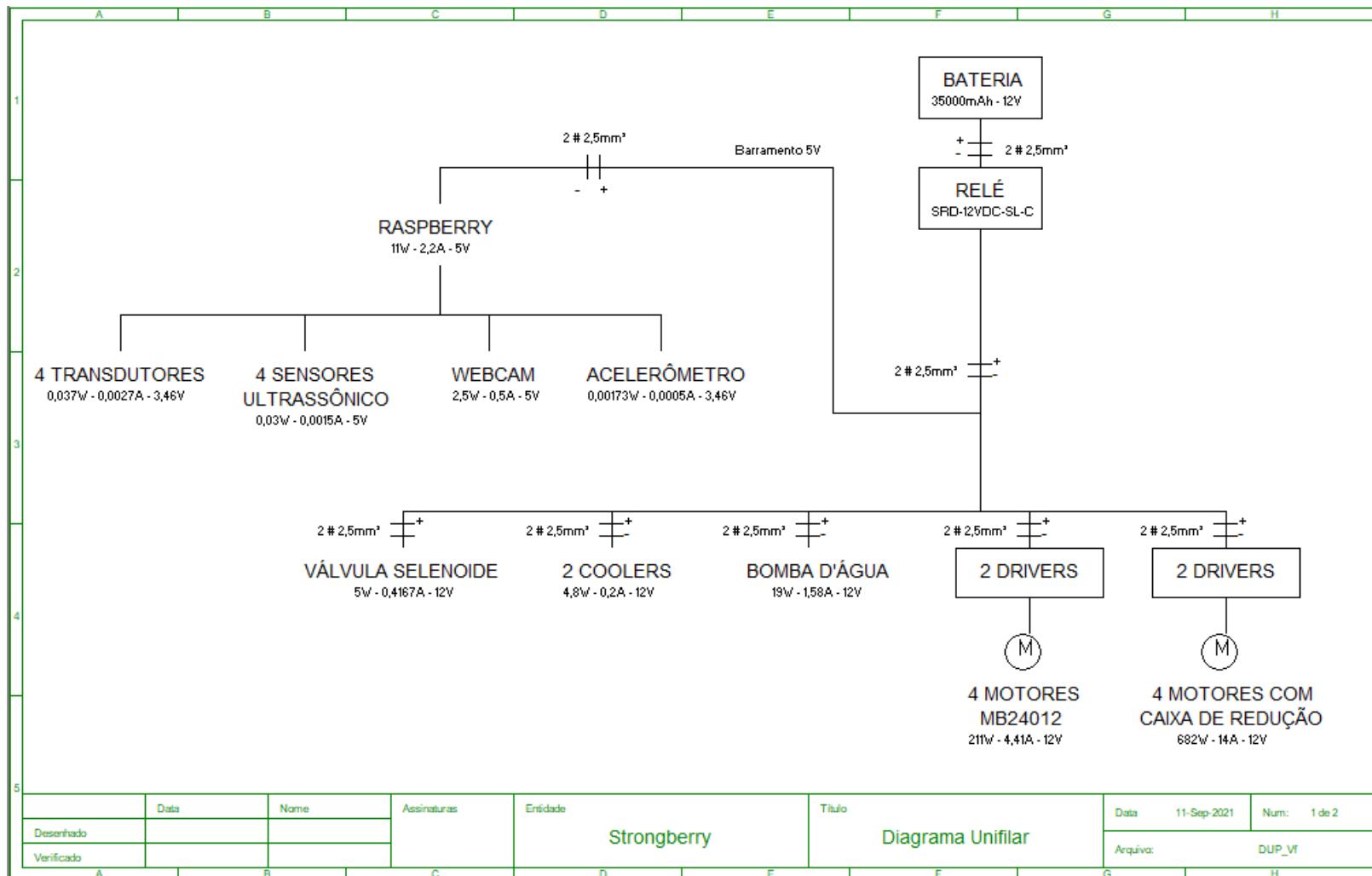


Figura 120 – Diagrama Unifilar da Bateria Principal

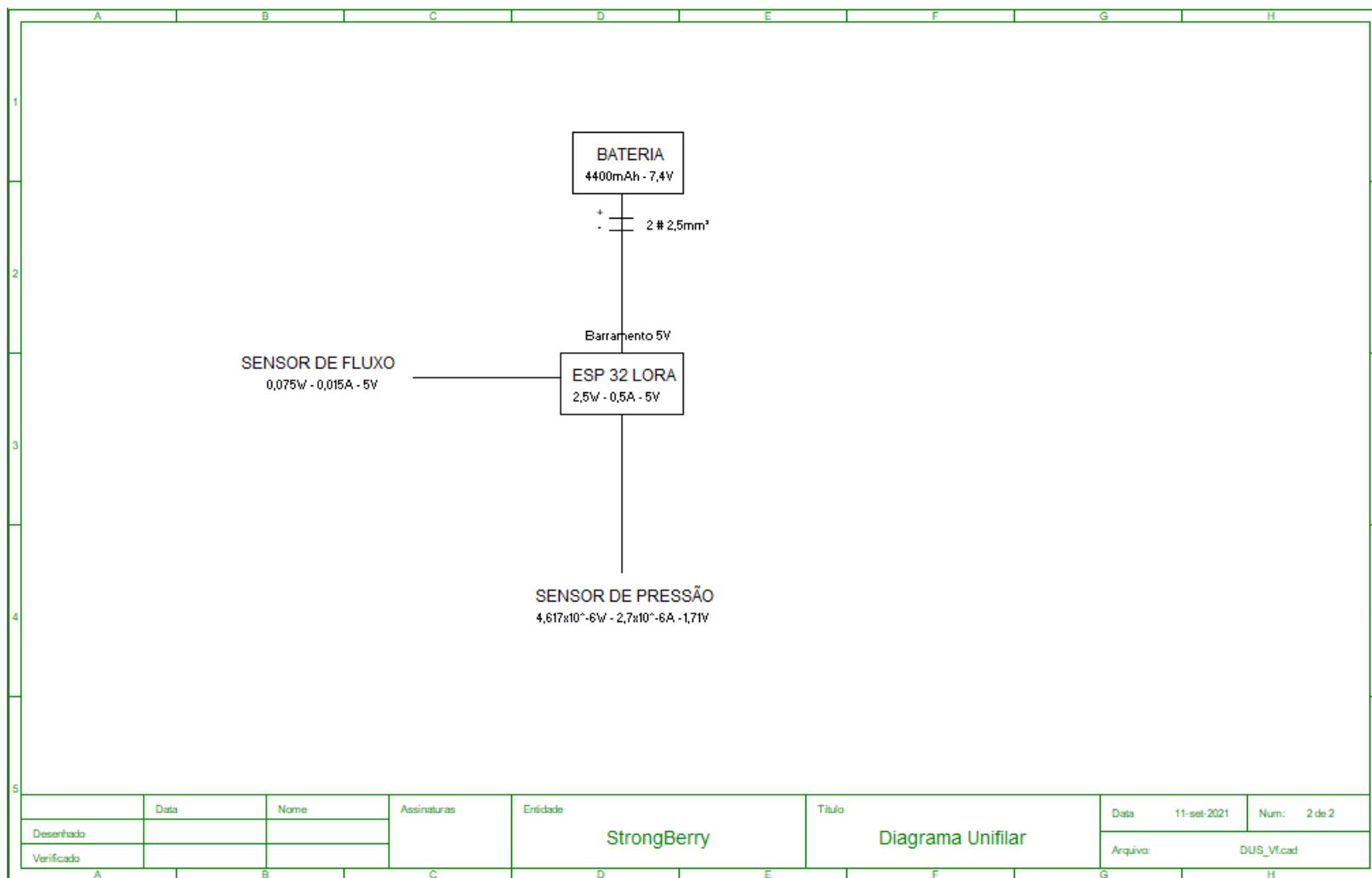


Figura 121 – Diagrama Unifilar da Bateria Secundária

APÊNDICE I – 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.

Anexos

A Componentes e Partes Estruturais



Figura 122 – Acoplamento semi-flexivel para eixos.Fonte: ([ACOPLAMENTO...](#),)



Figura 123 – Bomba hidráulica do tipo turbina.Fonte: ([24V...](#),)



Figura 124 – Amortecedor com mola para scooters. Fonte: ([2...](#),)



Figura 125 – Rolamento com mancal para fixação. Fonte: ([UNIDADES...](#),)



Figura 126 – Rolamento Blindado. Fonte: ([ROLAMENTOS...](#),)



Figura 127 – Tanque plástico 12L com pescador e retorno 2,5cm x 23,0cm x 18,5cm (Comprimento x Largura x Altura) . Fonte: ([TECNOLOGIA](#),)



Figura 128 – Válvula reguladora de fluxo. Fonte: ([VÁLVULA...](#),)

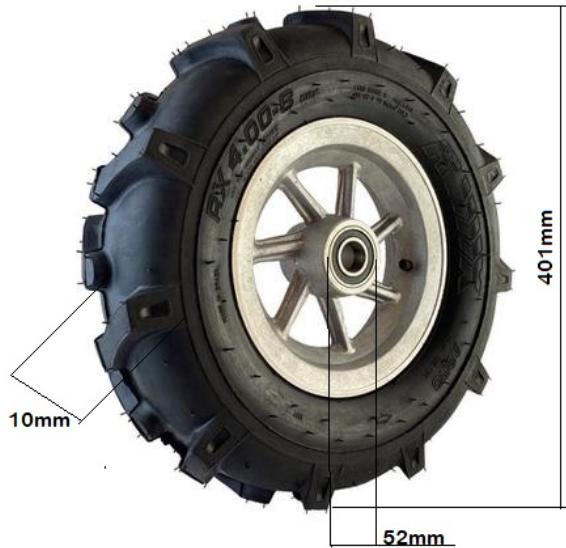


Figura 129 – Modelo de roda e pneu . Fonte:(MAGAZINELUIZA.COM.BR,)

ARRUELA FUNILEIRO INOX 304

Dimensões: Padrão CISER
Material: Aço inoxidável AISI 304/A2-70

Dimensions: Padão CISER
Material: Acero inoxidable AISI 304/A2-70

Dimensions: CISER Standard
Material: Stainless steel AISI 304/A2-70

Linha / Línea / Line 779

Dimensão nominal Dimension nominal Nominal size	Dimensões / Dimensiones / Dimensions			Referência Referencia Reference
	ø A Interno mínimo Interior minimum Minimum inside (mm)	ø B Externo máximo Exterior máximo Maximum outside (mm)	C Espessura máxima Espera máxima Maximum thickness	
3/16"	5,3	25,6	1,7	102 00 4
1/4"	7	28,6	2,2	151 00 4
5/16"	8,3	32,6	2,2	201 00 2
3/8"	10,3	38,6	2,2	251 00 1,5
1/2"	13,3	44,6	3,4	351 00 0,8

Figura 130 – Arruela Funileiro . Fonte:([CISER](http://CISER.COM.BR), 2021a)

Inox 304 - Arruela lisa aba larga
Aço inoxidável 304 (A2) - Arandela plana chapista
304 (A2) stainless steel - Fender washer

ARRUELA LI ABA LARGA INOX 304

Dimensões: DIN 9021
Material: Aço inoxidável AISI 304/A2-70

Dimensions: DIN 9021
Material: Acero inoxidable AISI 304/A2-70

Dimensions: DIN 9021
Material: Stainless steel AISI 304/A2-70

Linha / Línea / Line 778

Dimensão nominal Dimension nominal Nominal size	Dimensões / Dimensiones / Dimensions			Referência Referencia Reference
	ø A Interno mínimo Interior minimum Minimum inside (mm)	ø B Externo máximo Exterior máximo Maximum outside (mm)	C Espessura máxima Espera máxima Maximum thickness	
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

Figura 131 – Arruela Lisa . Fonte:([CISER](http://CISER.COM.BR), 2021b)



Figura 132 – Conector em T. Fonte:([ALIEXPRESS, 2021](#))



Figura 133 – Conector fêmea. Fonte:(??)

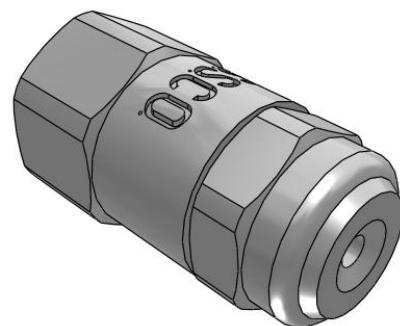


Figura 134 – Bico Micro aspersor
Fonte: (Sray Systems Co)



Figura 135 – Conector macho. Fonte: ([FERRAMENTAS, 2021](#))

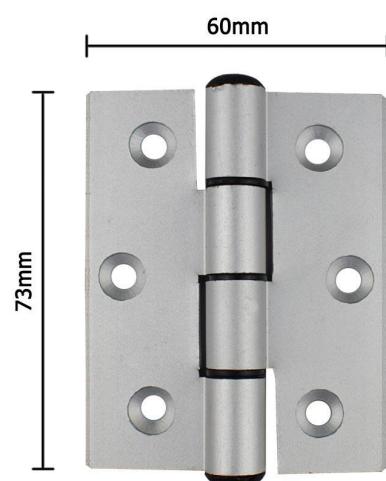


Figura 136 – Dobradiça. Fonte:([DISFOIL, 2021](#))



Figura 137 – Mangueira hidráulica. Fonte:(??)

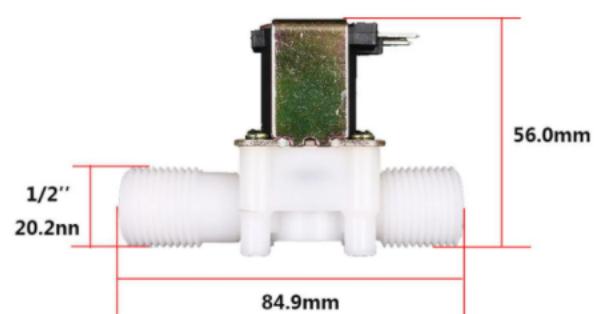


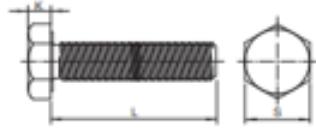
Figura 138 – Válvula solenoide. Fonte:([ROBÓTICA, 2021](#))

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.

Dimensions: DIN 933
Thread: DIN 13 - (ISO 965) - 6g
Material: Stainless steel AISI 304/A2-70
Observation: Austenitic, non-magnetic and cannot be hardened

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 Dimensión nominal / Nominal size	M12	M14	M16	M18	M20	M22
Passo / Pass / 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						
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	

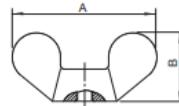
Figura 139 – Parafuso. Fonte:(CISER, 2021c)

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: Stainless steel AISI 304
Observation: Austenitic, non-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 / Linea / Line
MA: 639

Dimensões / Dimensiones / Dimensions

Dimensão nominal Dimensión nominal Nominal size	Passo Paso Pitch	A	B	G	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 140 – Porca borboleta. Fonte:(CISER, 2021d)

PO SX INOX 304

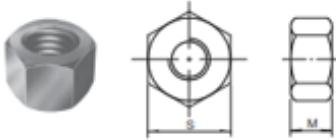
Dimensões: DIN 934
 Rosca: DIN 13 (ISO 965) - 6H
 Material: Aço inox AISI 304

Observação: Austenítico, não magnético e não temperável

Dimensões: DIN 934
 Rosca: DIN 13 (ISO 965) - 6H
 Material: Acero inoxidável AISI 304

Observación: Austenítico, no magnético y no endurecer

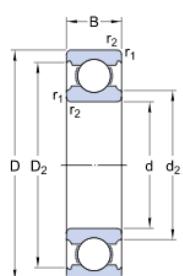
Dimensiones: DIN 934
 Thread: DIN 13 (ISO 965) - 6H
 Material: Stainless steel AISI 304
 Observation: Austenitic, non-magnetic and cannot be hardened



Linha / Línea / Line
MA: 615

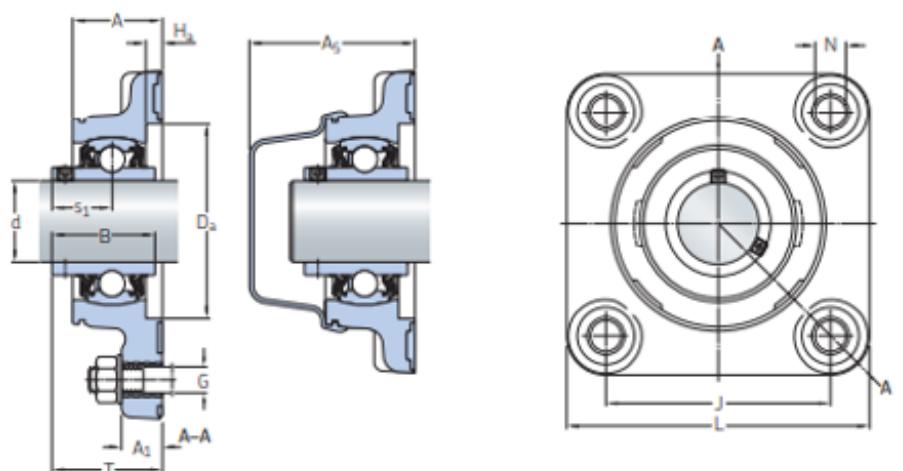
Dimensão nominal Dimensión nominal/ Nominal size	Passo / Paso / Pitch	Dimensões / Dimensiones / Dimensions		Referência Referencia Reference
		S Chave / Entre caras / Across flat	M Altura mínima / Minimum height	
1,6	0,35	3,2	1,05	985 00 1
2	0,4	4	1,35	001 00 1
2,5	0,45	5	1,75	052 00 0,2
3	0,5	5,5	2,15	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 141 – Porcas. Fonte:(CISER, 2021c)

**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 142 – Rolamento blindado. Fonte:(UNIDADES... ,)



d	J	C	C ₀	Limites de carga de fadiga P _u	Velocidade-limite com tolerância do eixo h6	Massa kg	Designações		Tampa de fechamento associada
							Unidade de rolamento	-	
30	83	16,3	11,2	0,475	3 800	0,52	F4BC 30M-TPSS	ECB 506	
	83	19,5	11,2	0,475	3 800	0,52	F4BC 30M-TPZM	ECB 506	
	82,6	16,3	11,2	0,475	3 800	1,4	F4BS5 30M-YTPSS	ECW 206	

Dimensões

d	A	A ₁	A ₅	B	D _g	H _g	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 143 – 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 / 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

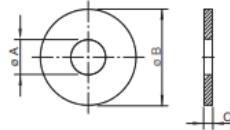
Figura 144 – Parafuso. Fonte:(CISER, 2021e)

ARRUELA FUNILEIRO INOX 304

Dimensões: Padrão CISER
Material: Aço Inox AISI 304/A2-70

Dimensiones: Padrón CISER
Material: Acero inoxidable AISI 304/A2-70

Dimensions: CISER Standard
Material: Stainless steel AISI 304/A2-70



Linha / Línea / Line
779

Dimensão nominal Dimensión nominal Nominal size	Dimensões / Dimensiones / Dimensions			Referência Referencia Reference
	ø A Interno mínimo Interior mínimo Minimum inside (mm)	ø B Externo máximo Exterior máximo Maximum outside (mm)	C Espessura máxima Espesor máxima Maximum thickness	
3/16"	5,3	25,6	1,7	102 00 4
1/4"	7	28,6	2,2	151 00 4
5/16"	8,3	32,6	2,2	201 00 2
3/8"	10,3	38,6	2,2	251 00 1,5
1/2"	13,3	44,6	3,4	351 00 0,8

Figura 145 – Arruela Funileiro . Fonte:(CISER, 2021a)

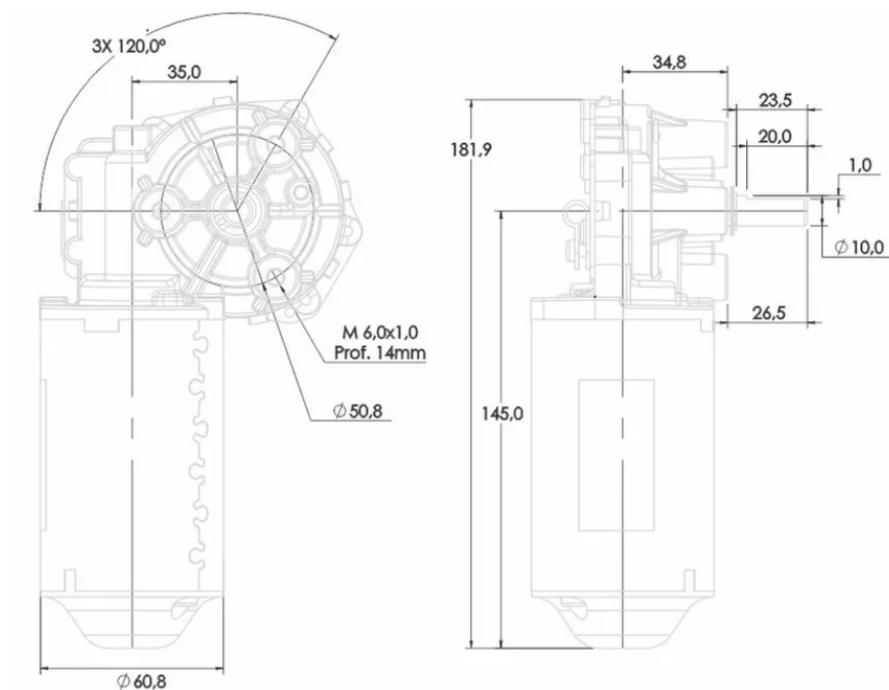


Figura 146 – Motor inferior. Fonte:

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

Wheaton, IL, USA
Find Your Local Sales Office: spray.com/localrep
Find Your Local Web Site: spray.com/localsite

Spraying Systems Co.[®]
Experts in Spray Technology

Figura 149 – Bico Micro Aspersor
Fonte: (Spray Systems Co)

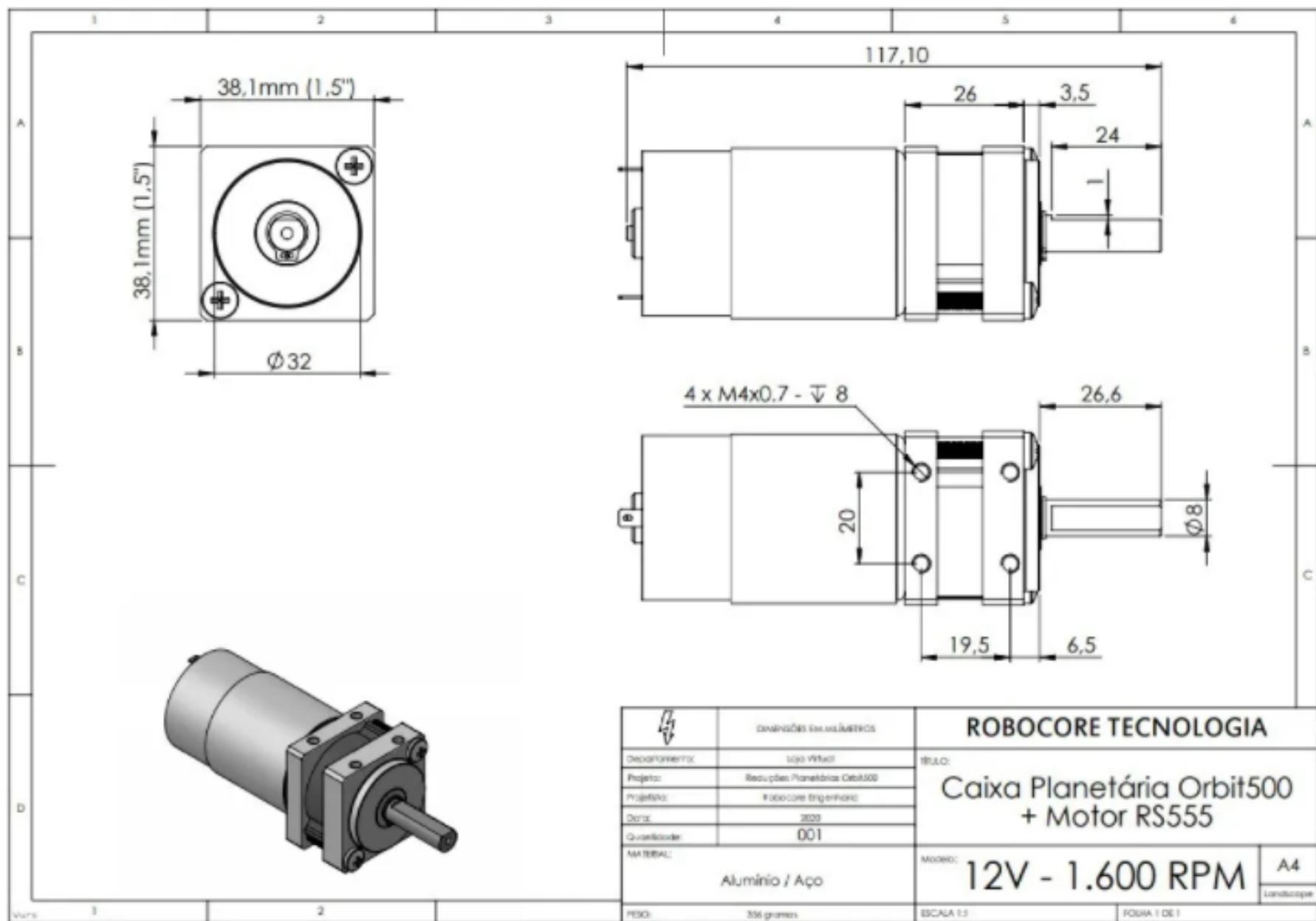


Figura 147 – Motor superior. Fonte:

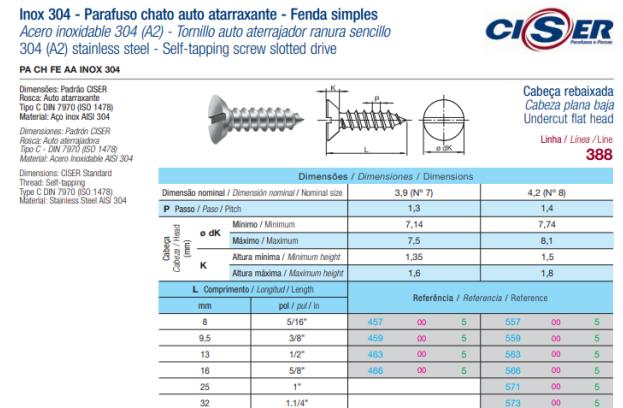
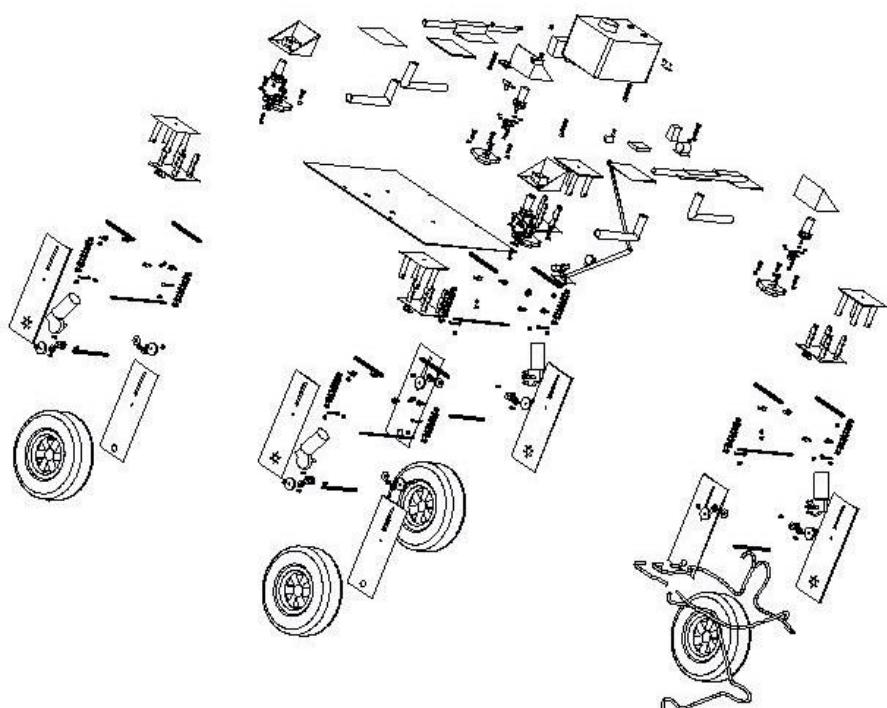
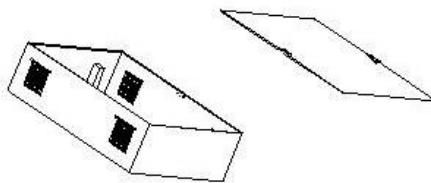


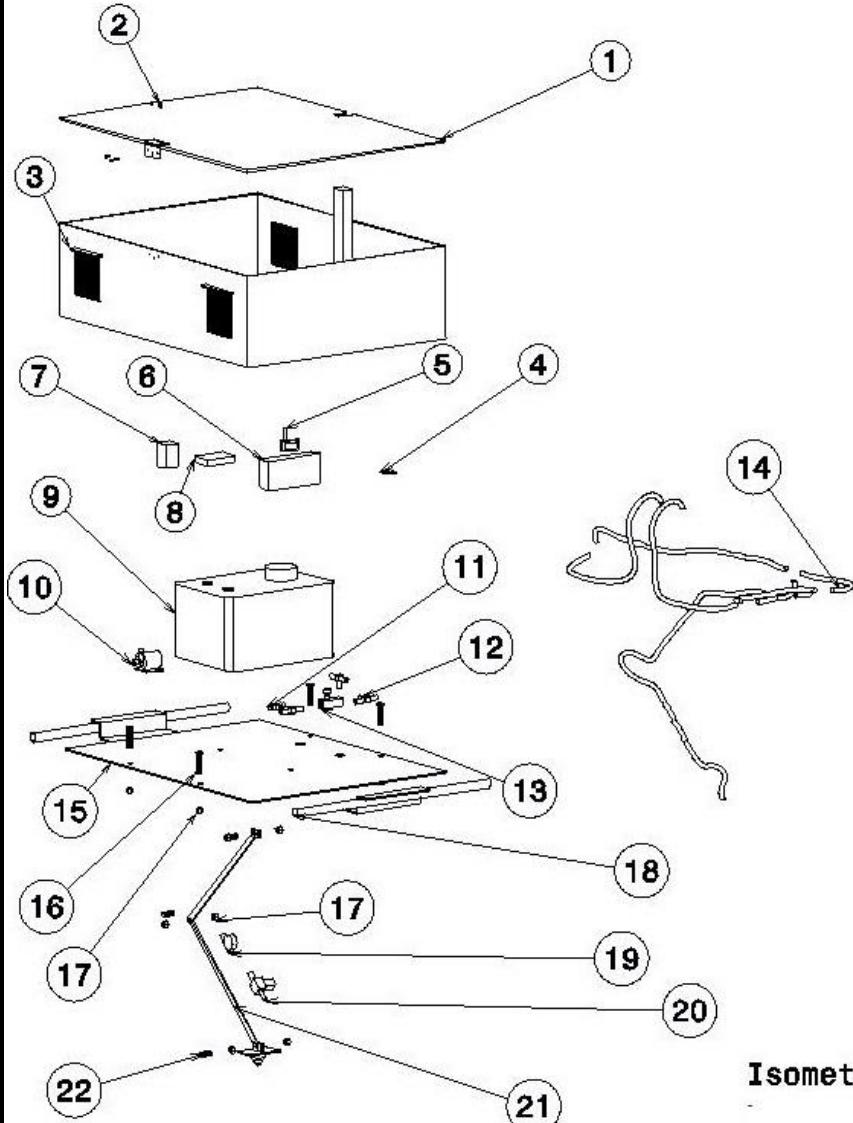
Figura 148 – Parafuso auto atarraxante. Fonte:(ROBÓTICA, 2021)

B Desenhos Técnicos

Isometric view



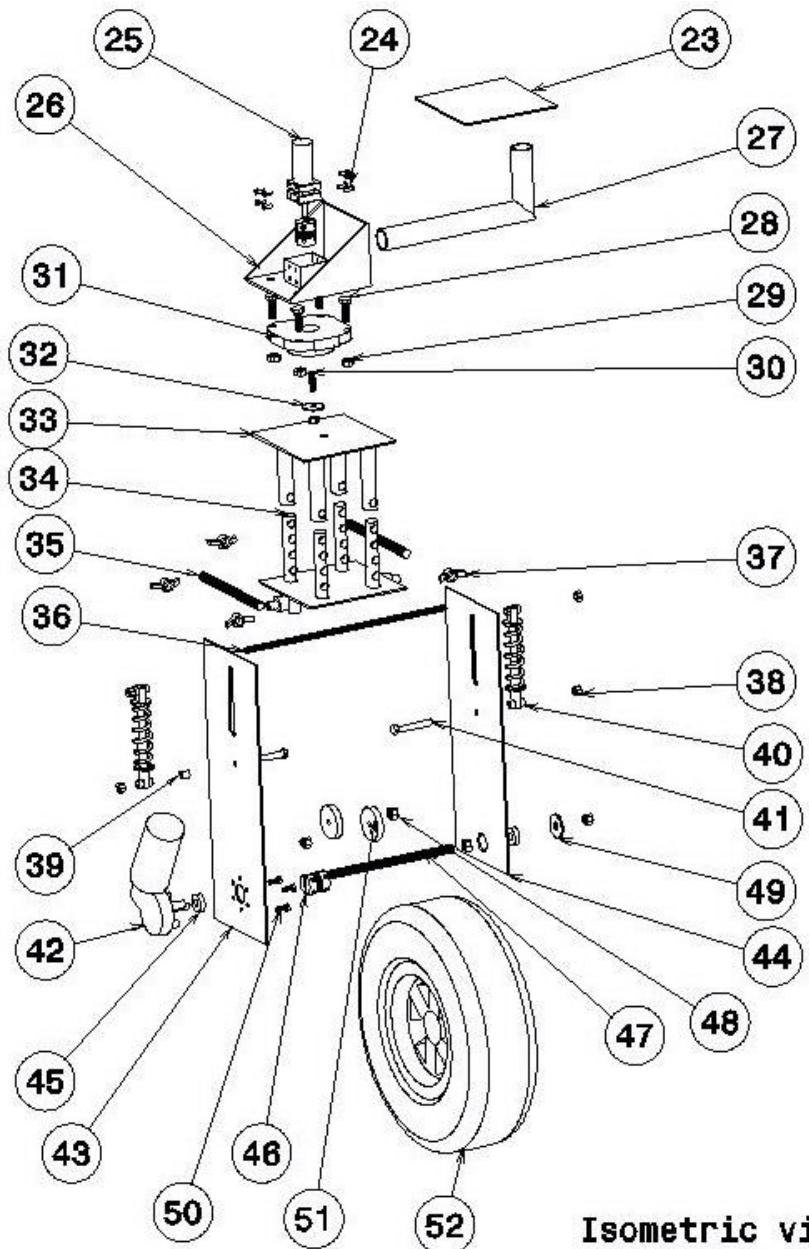
	Titulo: Vista Explodida Completa Modelo 3D: André N. Delgado	Des.nº: 1/31
Brasília – DF	Detalhamento: André N. Delgado	Escala: 1:25
A4	Revisão: Fernando Mendes	Unidade: mm
Data: 11/09/2021	Mat.:	Peso: 100000 g



Isometric view

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	1
21	Suporte do aspersor (montado)	1
22	Barra roscada para o suporte do aspersor ø 12mmx30mm	3

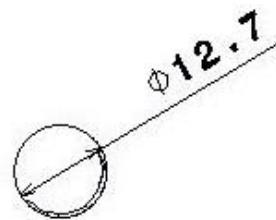
	Titulo: Vista Explodida Corpo central	Des.nº: 2/31
	Modelo 3D: André N. Delgado	
Brasília – DF	Detalhamento: André N. Delgado	Escala: 1:15
A4	Revisão: Fernando Mendes	Unidade: mm
Data: 08/09/2021	Mat.:	Peso: 29000 g



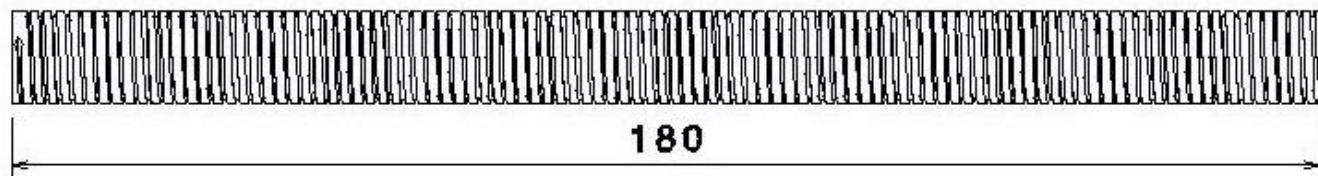
Isometric view

Nº DO ITEM	DESCRÍÇÃO	QUNATIDADE
23	Placa de conexão Tubo/ Assoalho	1
24	Parafuso sextavado ϕ 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 ϕ 10 – 30mm	4
29	Porca M10 chave 17	4
30	Eixo de rotação do conjunto Braço/roda ϕ 8 – 30mm	4
31	Rolamento SKF F4BSS	1
32	Arruela funileiro ϕ 8,3 -32,6mm	1
33	Suporte telescópico (parte superior) (montado)	1
34	Suporte telescópico (parte inferior) (montado)	1
35	Barra rosada para regulagem de altura ϕ 12-180mm	2
36	Barra rosada de fixação dos amortecedores ϕ 8-320mm	1
37	Porca Borboleta ϕ 12- A50 mm	4
38	Porca sextavada ϕ 8- Chave 13	5
39	Espaçador do amortecedor	2
40	Amortecedor traseiro para scooter	2
41	Parafuso sextavado ϕ 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 8x12	1
47	Eixo da roda	1
48	Porca sextavada ϕ 12mm – chave 19	4
49	Arruela lisa de aba larga A-8,3mm e B-24mm	1
50	Parafuso sextavado ϕ 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: 3/31
	Modelo 3D: André N. Delgado	
Brasília – DF	Detalhamento: André N. Delgado	Escala: 1:10
A4	Revisão: Fernando Mendes	Unidade: mm
Data: 08/09/2021	Mat.:	Peso: 17775 g



Front view



Left view



Brasília – DF
A4
Data:
08/09/2021

Título: Barra da regulagem de altura (Rosca padrão M12)

Des.nº: 4/31

Modelo 3D: André N. Delgado



Detalhamento: André N. Delgado

Escala: 1:1

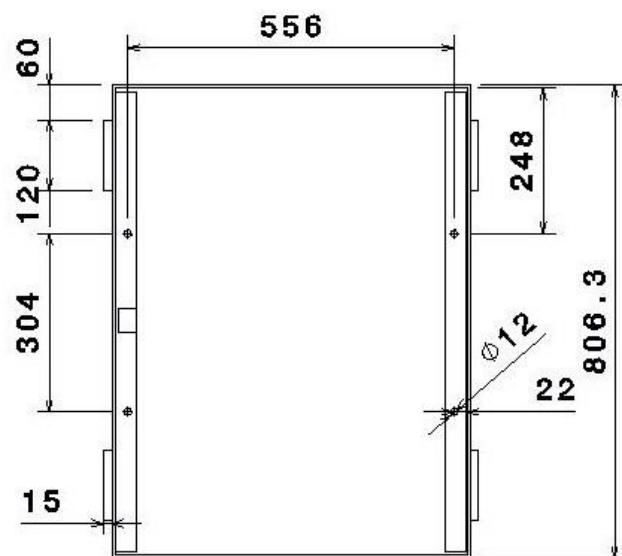
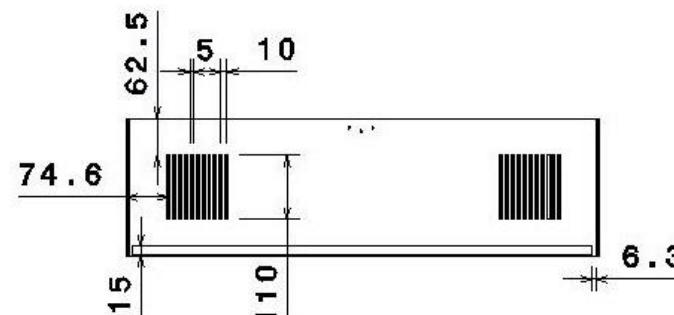
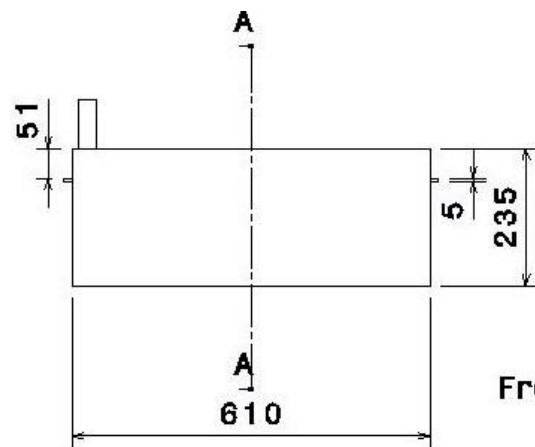
Revisão: Fernando Mendes

Unidade: mm

Mat.: Aço Inox 304

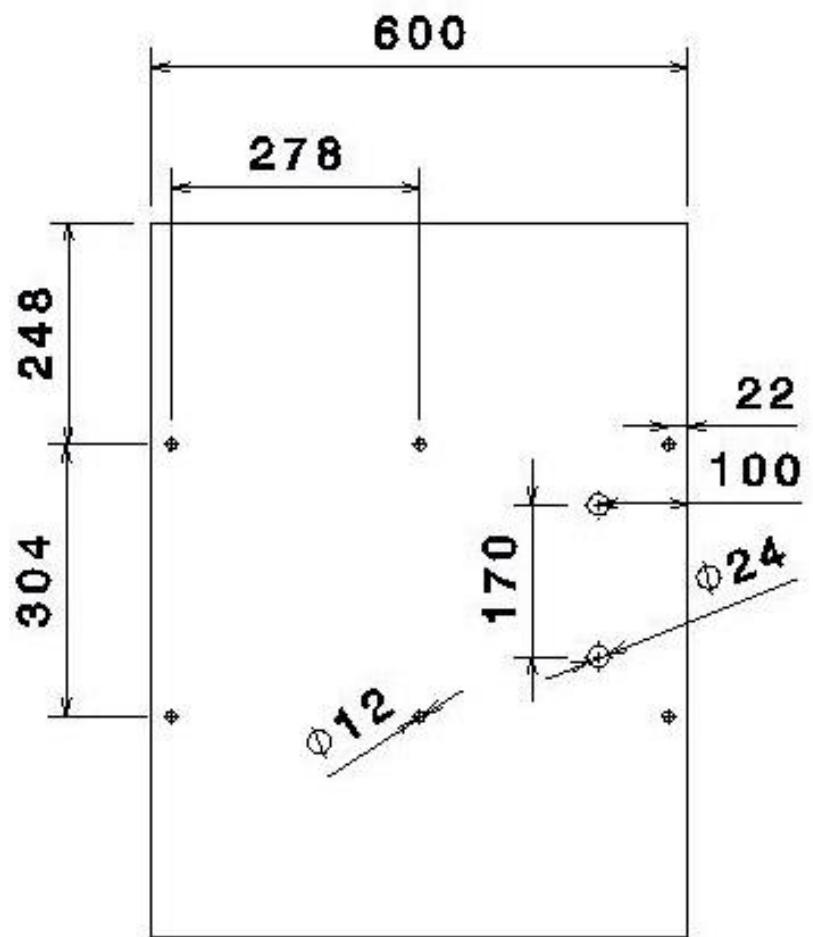
Peso:

166 g

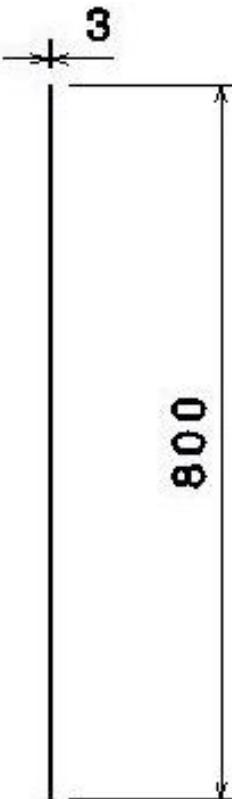


Top view

	Titulo: Capa protetora Modelo 3D: André N. Delgado	Des.nº: 5/31
Brasília – DF	Detalhamento: André N. Delgado	Escala: 1:10
A4	Revisão: Fernando Mendes	Unidade: mm
Data: 08/09/2021	Mat.: Plástico (Nylon)	Peso: 4000 g

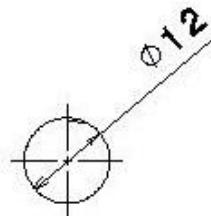


Front view

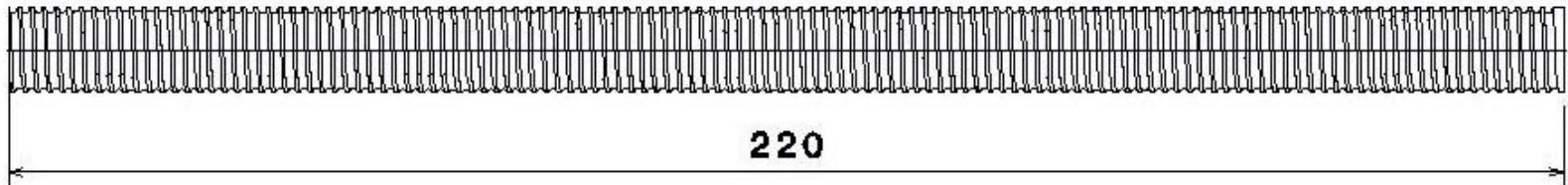


Left view

	Titulo: Chapa base (estrutura central)	Des.nº: 6/31
	Modelo 3D: André N. Delgado	
Brasília – DF	Detalhamento: André N. Delgado	Escala: 1:5
A4	Revisão: Fernando Mendes	Unidade: mm
Data: 08/09/2021	Mat.: Aço 1020	Peso: 10000 g



Front view



220

Left view



Brasília – DF
A4
Data:
08/09/2021

Titulo: Eixo da roda (Rosca padrão M12)

Modelo 3D: André N. Delgado

Detalhamento: André N. Delgado

Revisão: Fernando Mendes

Mat.: Aço Inox 304

Des.nº: 7/31



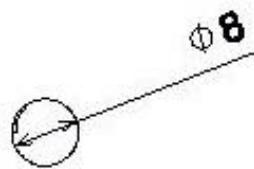
Escala: 1:1

Unidade: mm

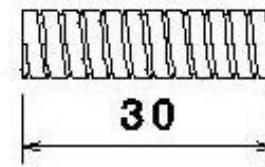


Peso:

174 g



Front view



Left view



Brasília – DF
A4
Data:
08/09/2021

Título: Eixo de rotação do conjunto braço/roda (Rosca padrão M8)

Modelo 3D: André N. Delgado

Detalhamento: André N. Delgado

Revisão: Fernando Mendes

Mat.: Aço Inox 304

Des.nº: 8/31



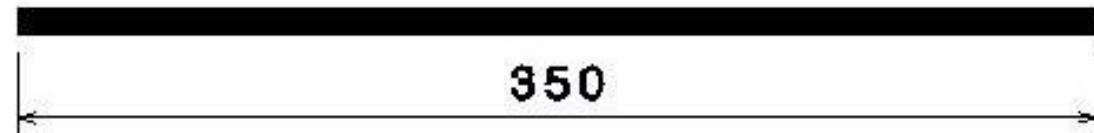
Escala: 1:1

Unidade: mm

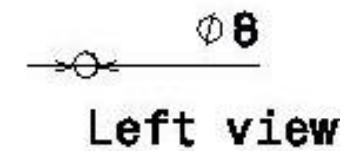


Peso:

8 g

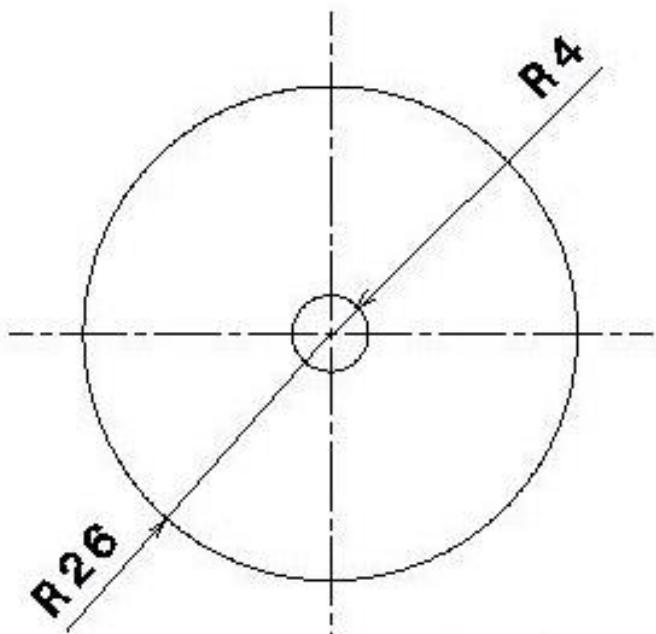


Front view

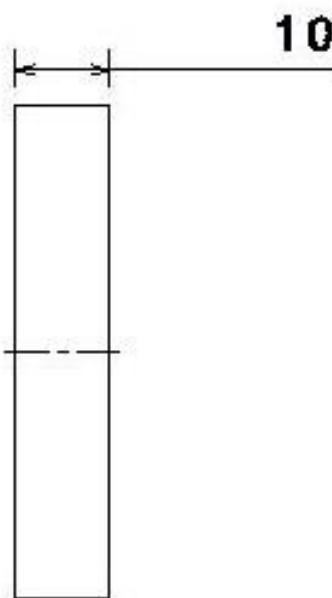


Left view

	Título: Barra de fixação dos amortecedores (Rosca padrão M8)	Des.nº: 9/31
Brasília – DF	Modelo 3D: André N. Delgado	
A4	Detalhamento: André N. Delgado	Escala: 1:3
Data: 08/09/2021	Revisão: Fernando Mendes	Unidade: mm
	Mat.: Aço Inox 304	Peso: 121 g



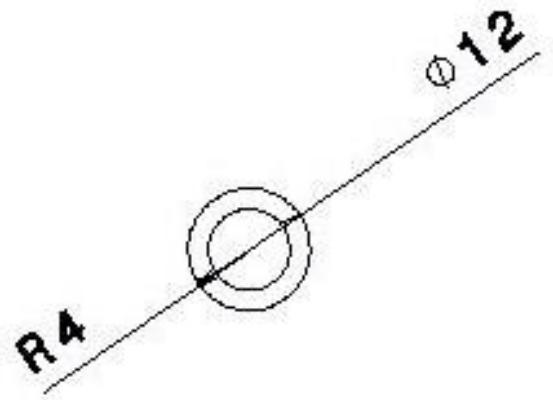
Front view



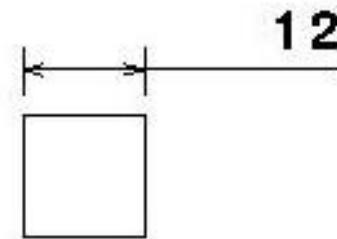
Left view



Título: Apoio interno ao eixo da roda	Des.nº: 10/31
Modelo 3D: André N. Delgado	
Brasília – DF	Detalhamento: André N. Delgado
A4	Escala: 1:1
Data: 08/09/2021	Revisão: Fernando Mendes
	Unidade: mm
	Peso: 163 g



Front view



Left view



Brasília – DF
A4
Data:
08/09/2021

Título: Espaçador do amortecedor

Modelo 3D: André N. Delgado

Detalhamento: André N. Delgado

Revisão: Fernando Mendes

Mat.: Aço 1020

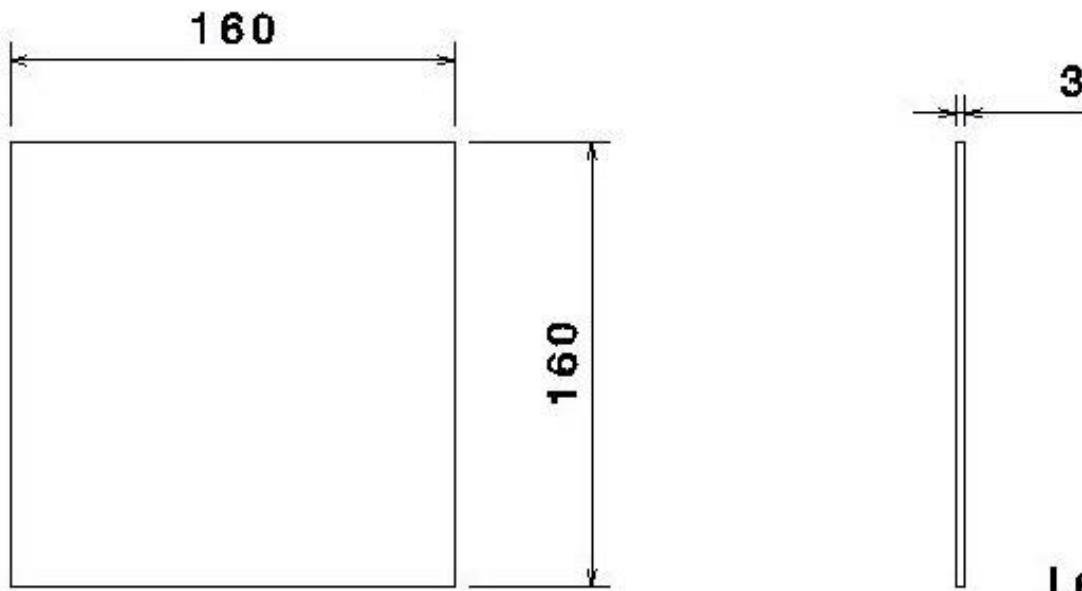
Des.nº: 11/31



Escala: 1:1

Unidade: mm

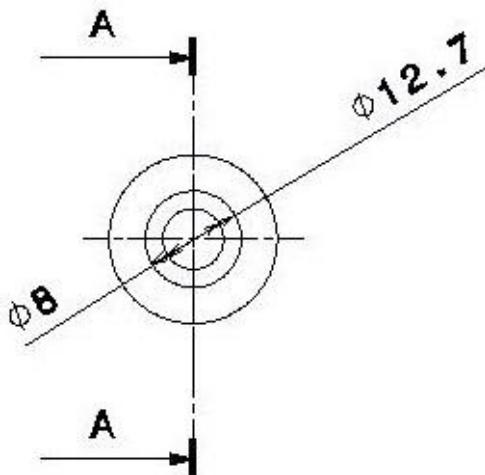
Peso:
6 g



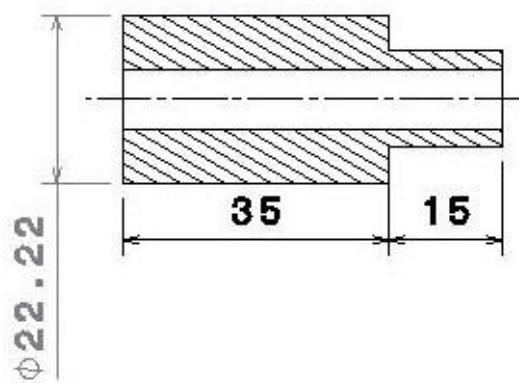
Front view

Left view

	Título: Chapa de conexão (Braços/Corpo central)	Des.nº: 12/31
	Modelo 3D: André N. Delgado	
Brasília – DF	Detalhamento: André N. Delgado	Escala: 1:3
A4	Revisão: Fernando Mendes	Unidade: mm
Data: 08/09/2021	Mat.: Aço 1020	Peso: 604 g

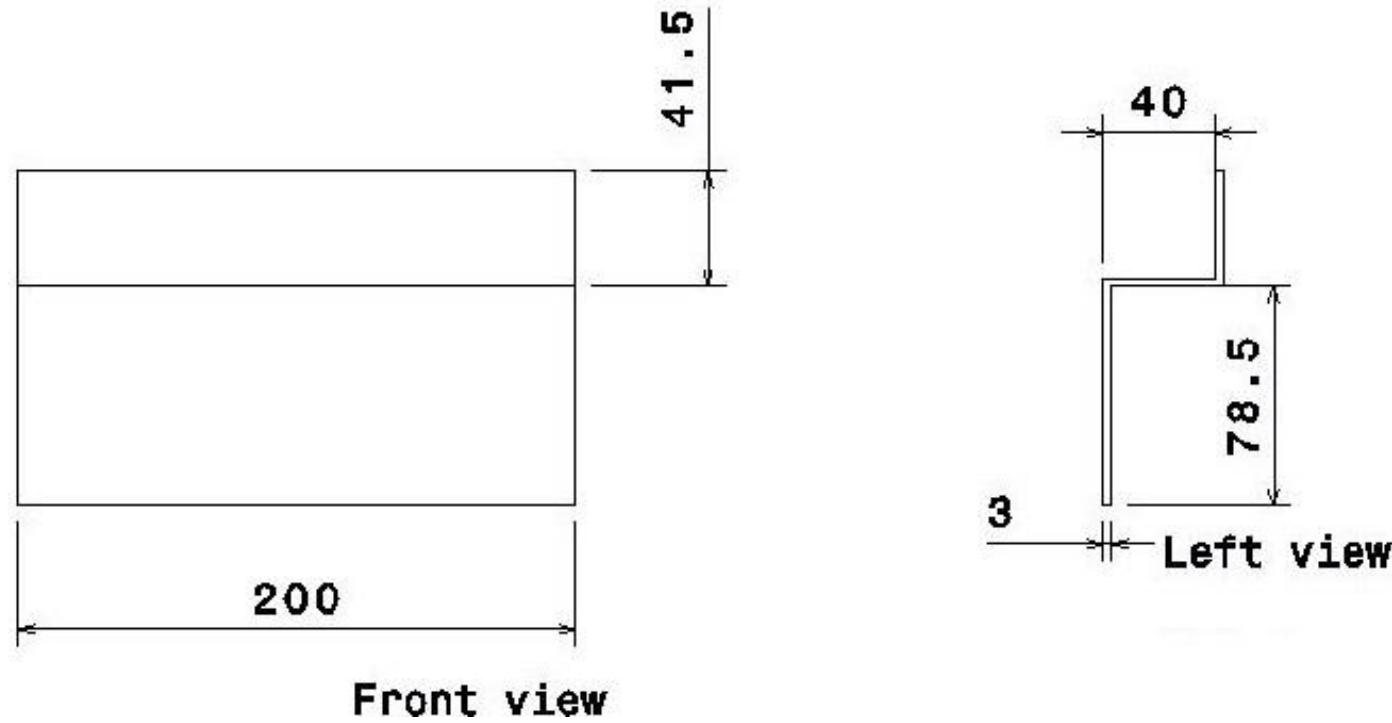


Front view

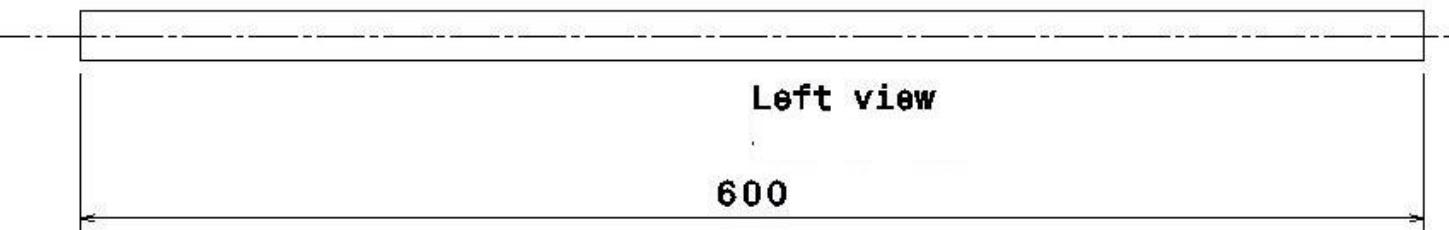
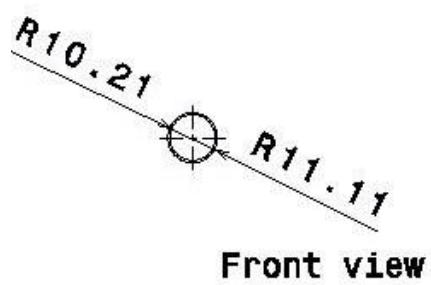


Section view A-A

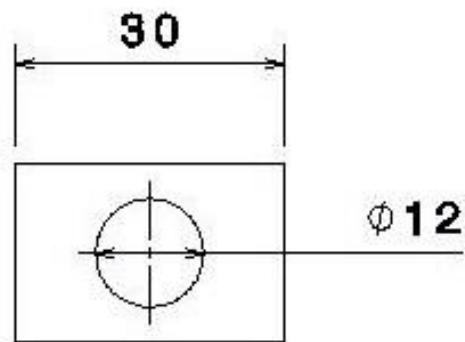
	Título: Suporte da barra de fixação dos amortecedores	Des.nº: 13/31
	Modelo 3D: André N. Delgado	
Brasília – DF	Detalhamento: André N. Delgado	Escala: 1:1
A4	Revisão: Fernando Mendes	Unidade: mm
Data: 08/09/2021	Mat.: Aço 1020	Peso: 102 g



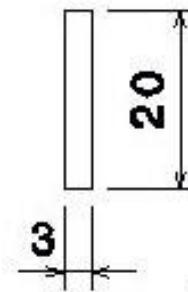
	Título: Suporte de transporte (Placa)	Des.nº: 14/31
	Modelo 3D: André N. Delgado	
Brasília – DF	Detalhamento: André N. Delgado	Escala: 1:3
A4	Revisão: Fernando Mendes	Unidade: mm
Data: 08/09/2021	Mat.: Aço 1020	Peso: 755 g



Título: Suporte de transporte (Tubo)	Des.nº: 15/31
Modelo 3D: André N. Delgado	
Brasília – DF	Detalhamento: André N. Delgado
A4	Escala: 1:3
Revisão: Fernando Mendes	Unidade: mm
Data: 08/09/2021	Peso: 284 g



Front view



Left view



Brasília – DF

A4

Data:
08/09/2021

Título: Suporte do aspersor

Modelo 3D: André N. Delgado

Detalhamento: André N. Delgado

Revisão: Fernando Mendes

Mat.: Aço 1020

Des.nº: 16/31

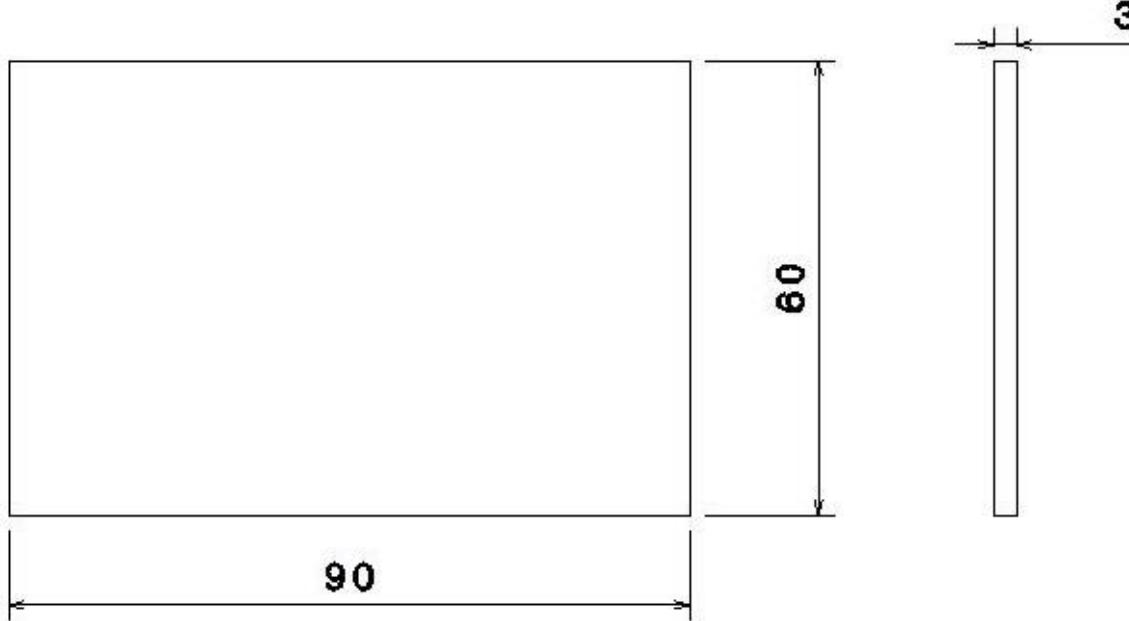


Escala: 1:1

Unidade: mm

Peso:

16 g



Brasília – DF

A4

Data:
08/09/2021

Título: Suporte do bico do aspersor (placa)

Modelo 3D: André N. Delgado

Detalhamento: André N. Delgado

Revisão: Fernando Mendes

Mat.: Aço 1020

Des.nº: 17/31



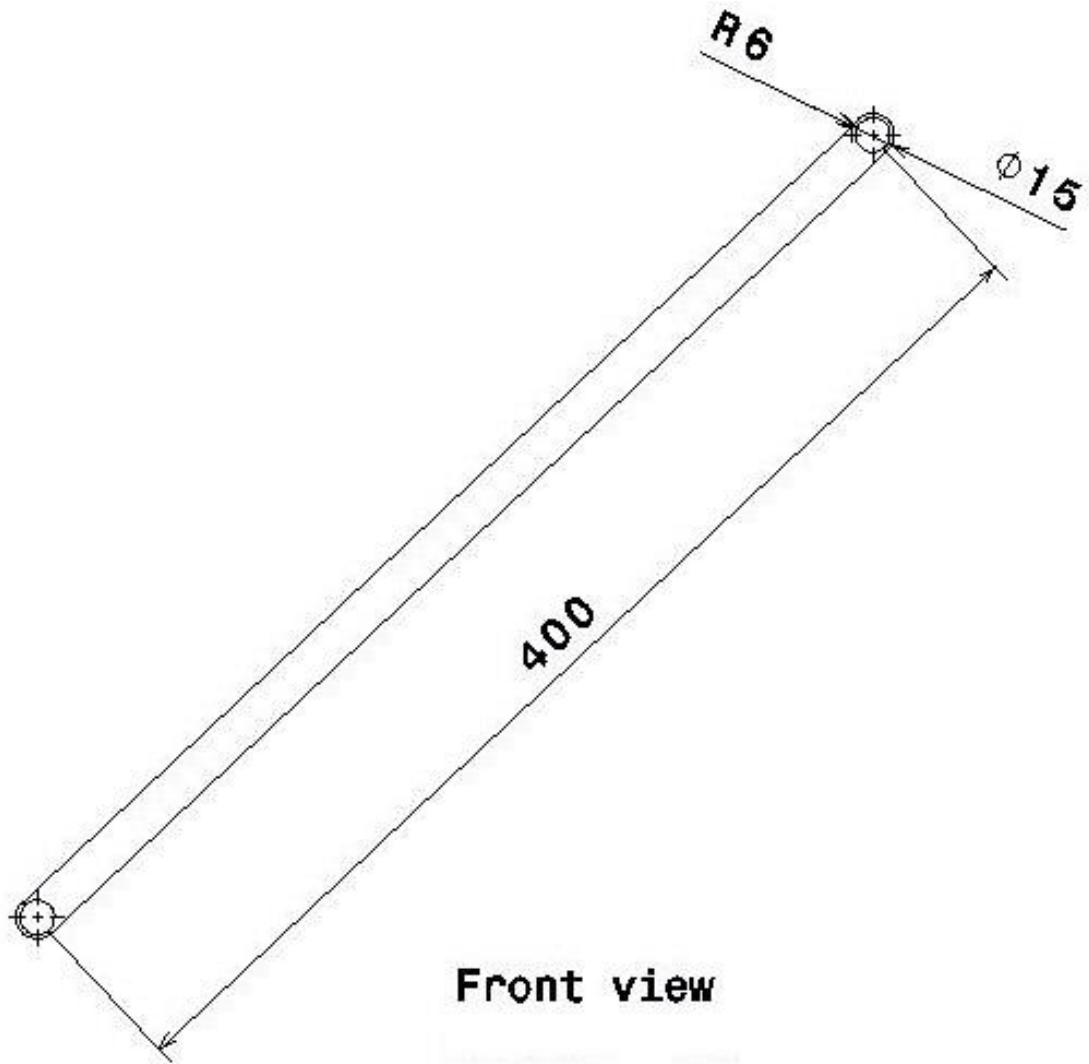
Escala: 1:1

Unidade: mm



Peso:

127 g



Front view



Left view



Brasília – DF
A4
Data:
08/09/2021

Título: Suporte do bico do aspersor (haste)

Modelo 3D: André N. Delgado

Detalhamento: André N. Delgado

Revisão: Fernando Mendes

Mat.: Aço 1020

Des.nº: 18/31



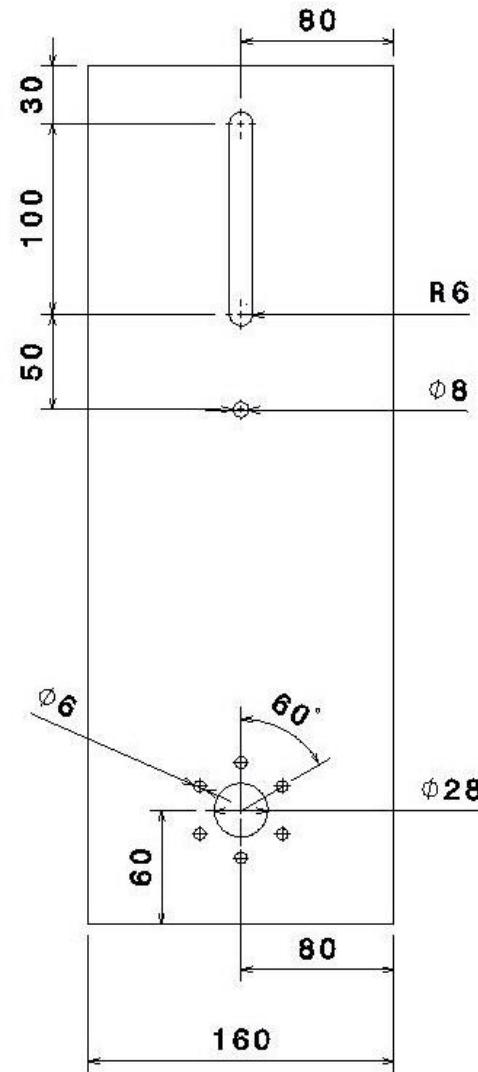
Escala: 1:3

Unidade: mm

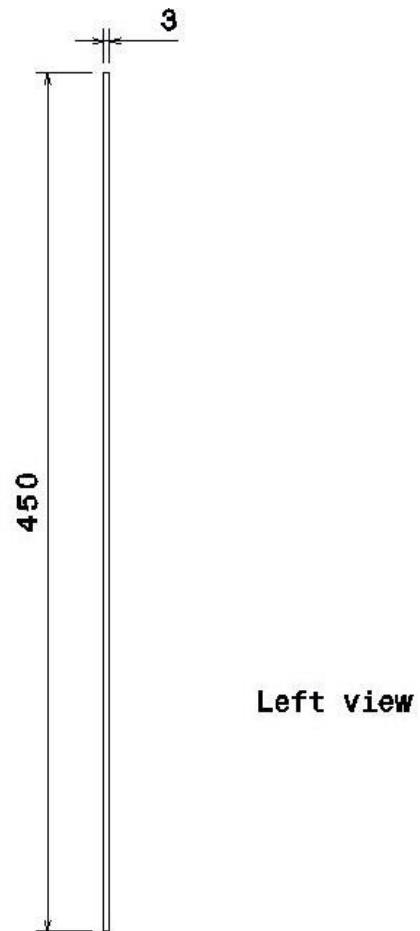


Peso:

14 g



Front view



Left view



Título: Suporte da roda e motor (lado externo)

Des.nº: 19/31

Modelo 3D: André N. Delgado



Brasília – DF Detalhamento: André N. Delgado

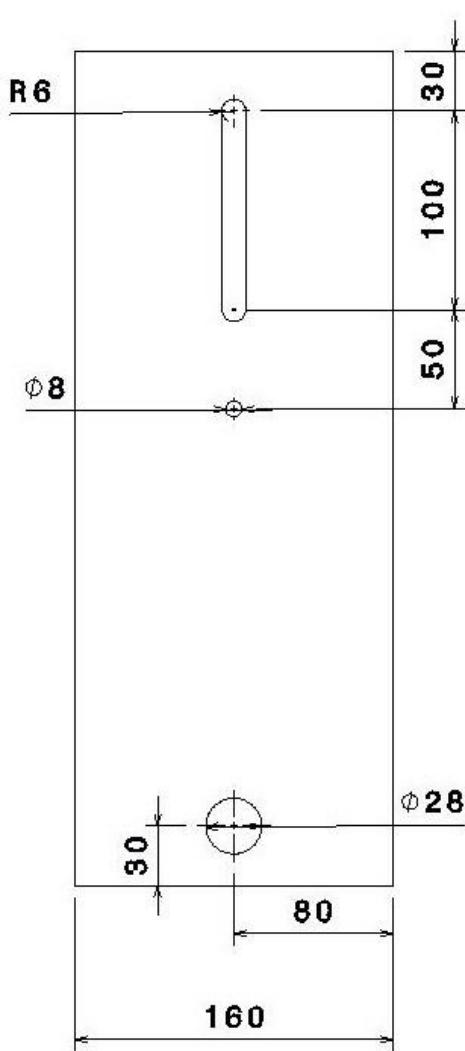
Escala: 1:3

A4 Revisão: Fernando Mendes

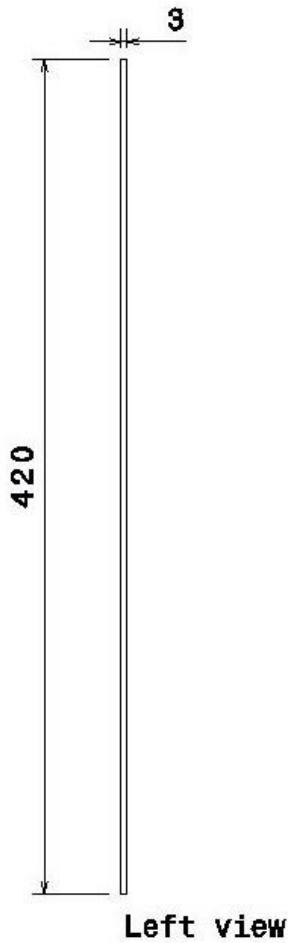
Unidade: mm

Data: Mat.: Aço 1020
08/09/2021

Peso:
1647 g



Front view



Left view



A4

Data:
08/09/2021

Título: Suporte da roda (lado interno)

Modelo 3D: André N. Delgado

Detalhamento: André N. Delgado

Revisão: Fernando Mendes

Mat.: Aço 1020

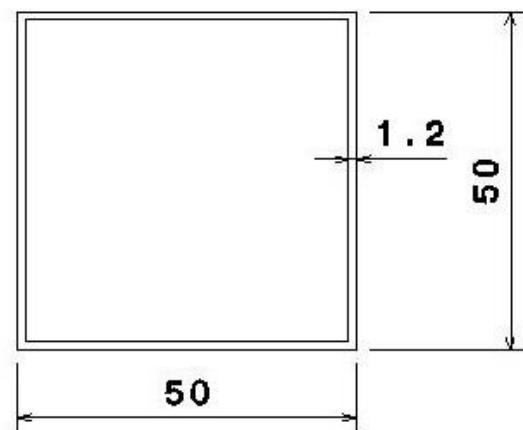
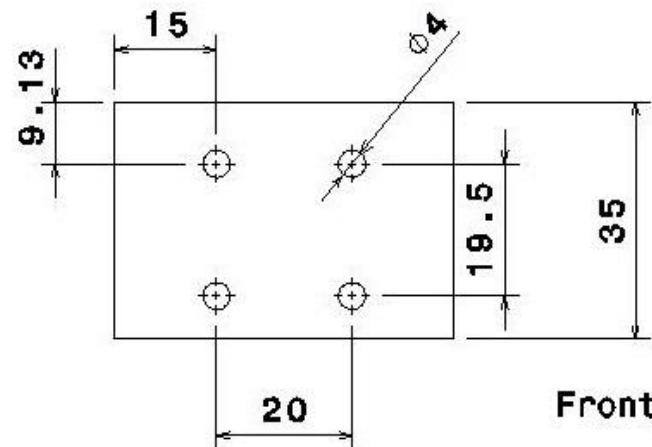
Des.nº: 20/31



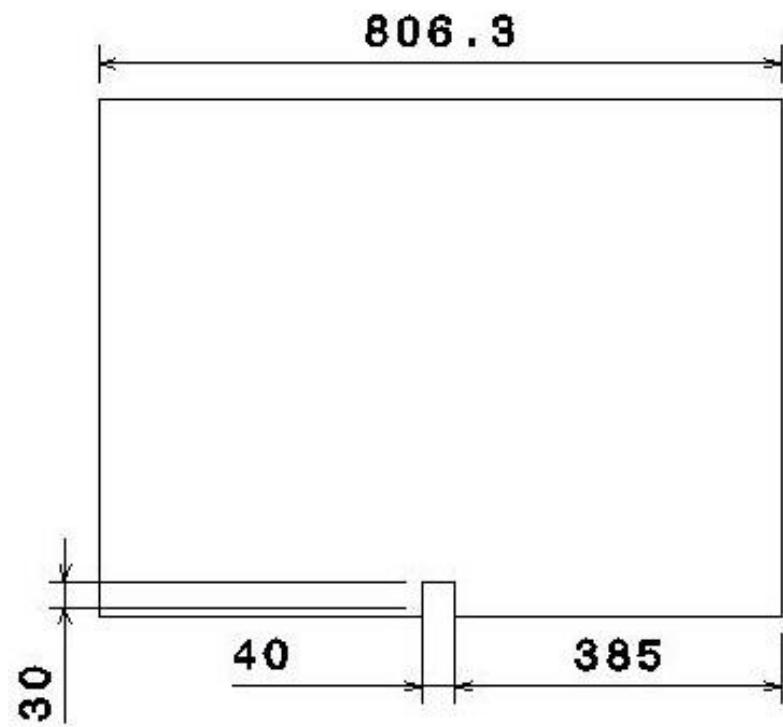
Escala: 1:3

Unidade: mm

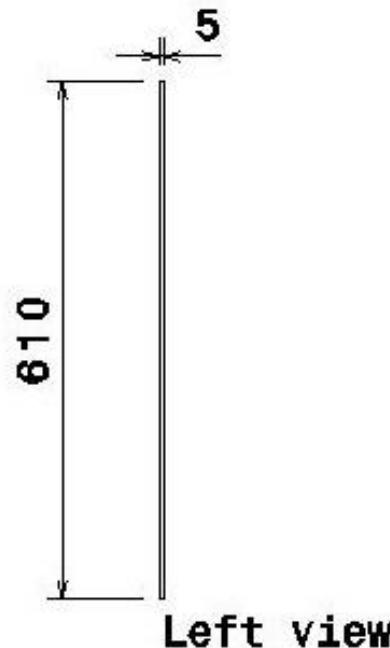
Peso:
1538 g



	Título: Suporte do motor superior Modelo 3D: André N. Delgado	Des.nº: 21/31
Brasília – DF	Detalhamento: André N. Delgado	Escala: 1:1
A4	Revisão: Fernando Mendes	Unidade: mm
Data: 08/09/2021	Mat.: Aço 1020	Peso: 63 g



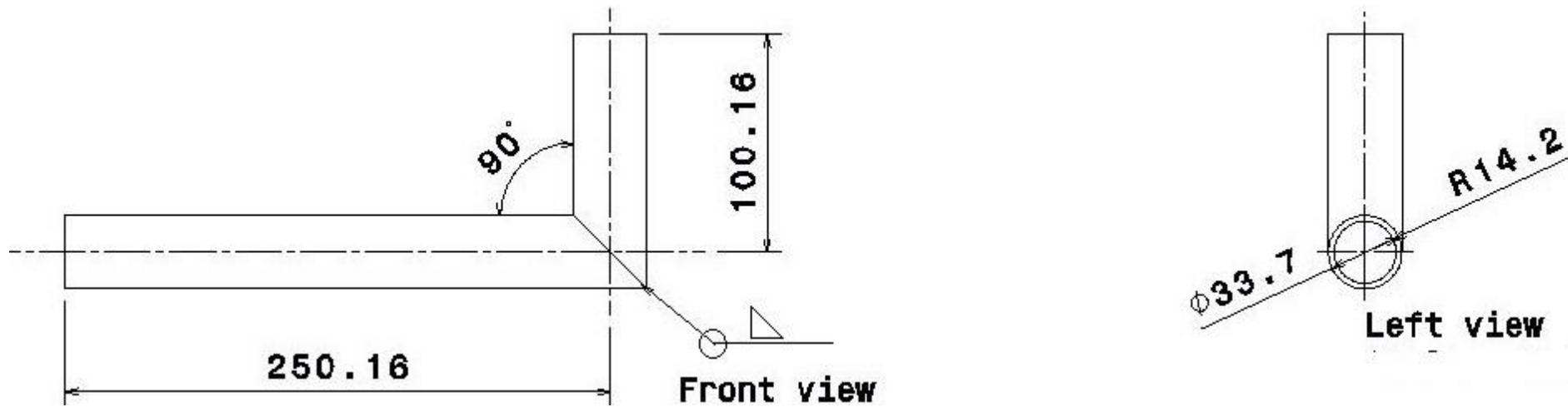
Front view



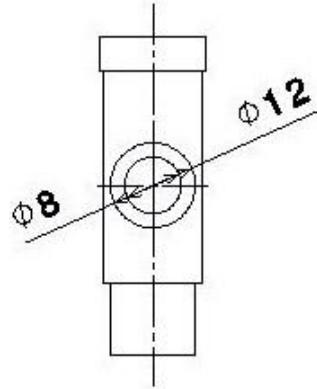
Left view



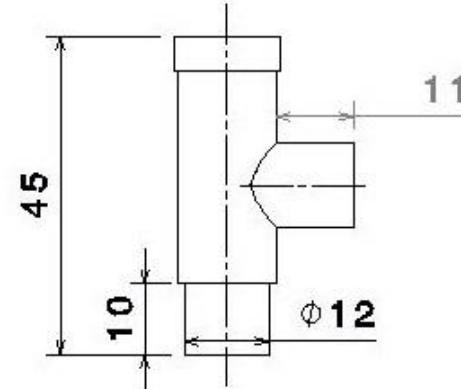
Título: Tampa da capa protetora	Des.nº: 22/31
Modelo 3D: André N. Delgado	
Brasília – DF	Detalhamento: André N. Delgado
A4	Escala: 1:10
Data: 08/09/2021	Revisão: Fernando Mendes
	Unidade: mm
	Peso: 800 g



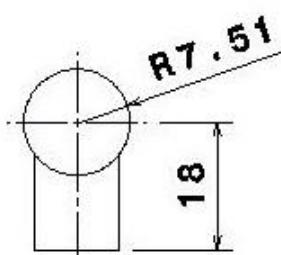
Título: Tubo de ligação (Corpo central/Apoios)	Des.nº: 23/31
Modelo 3D: André N. Delgado	
Brasília – DF	Detalhamento: André N. Delgado
A4	Escala: 1:3
Data: 08/09/2021	Revisão: Fernando Mendes
	Unidade: mm
	Peso: 712 g



Front view

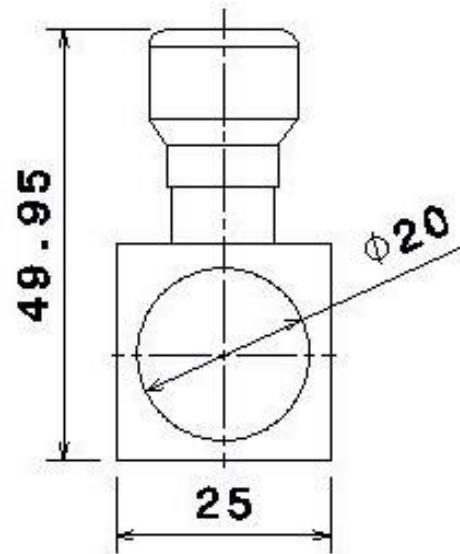


Left view

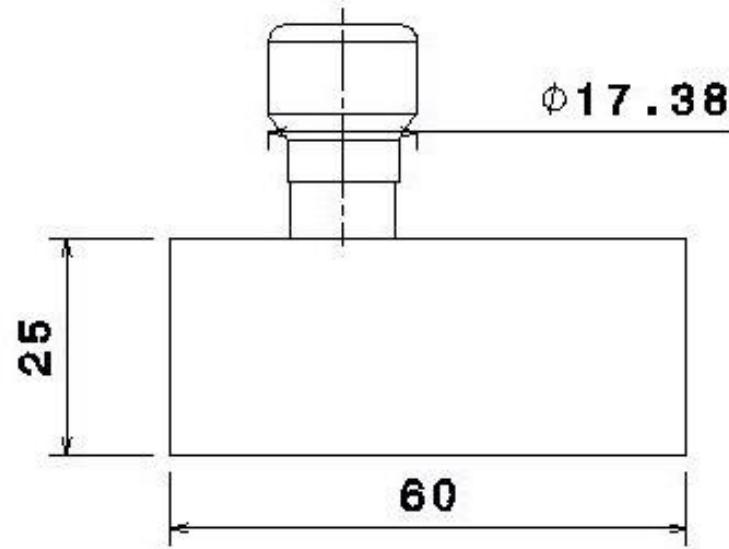


Top view

	Título: Válvula reguladora de pressão (By pass)	Des.nº: 24/31
	Modelo 3D: André N. Delgado	
Brasília – DF	Detalhamento: André N. Delgado	Escala: 1:1
A4	Revisão: Fernando Mendes	Unidade: mm
Data: 08/09/2021	Mat.: Alumínio	Peso: 20 g



Front view



Left view



Brasília – DF
A4
Data:
08/09/2021

Título: Válvula reguladora de vazão

Modelo 3D: André N. Delgado

Detalhamento: André N. Delgado

Revisão: Fernando Mendes

Mat.: Alumínio

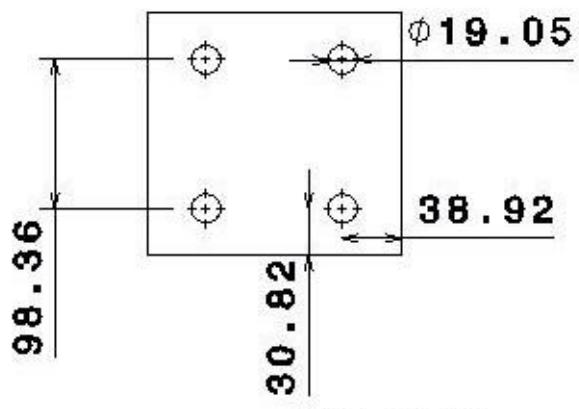
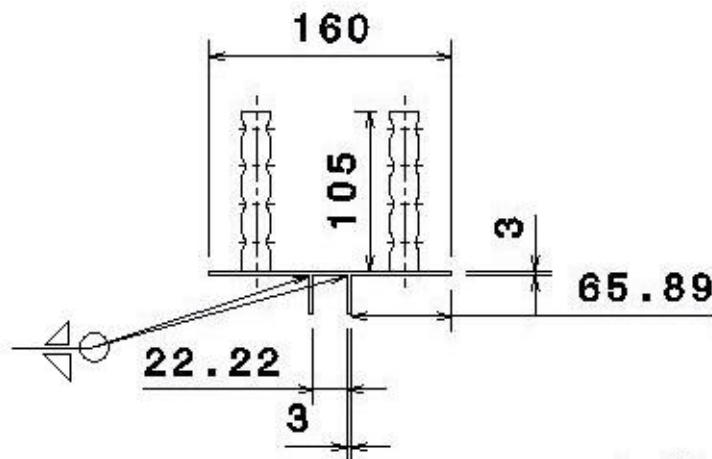
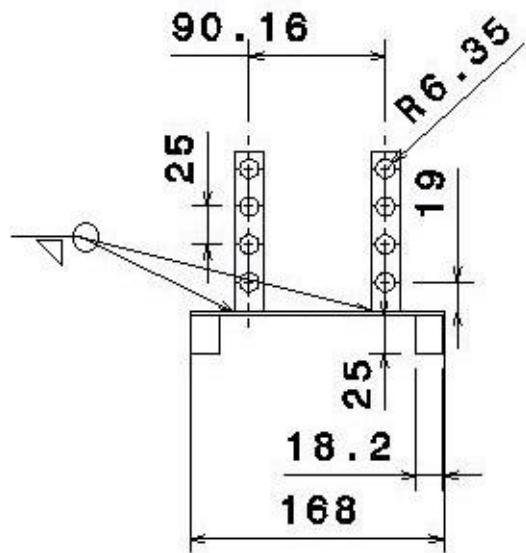
Des.nº: 25/31



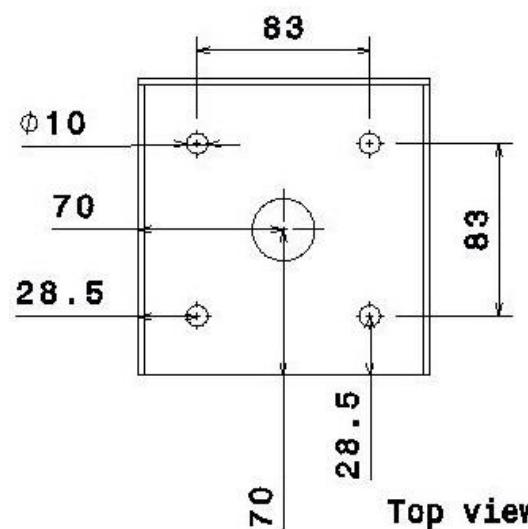
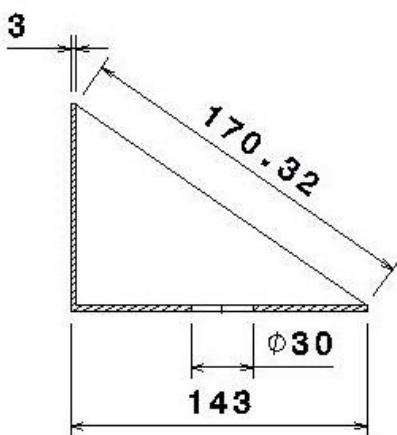
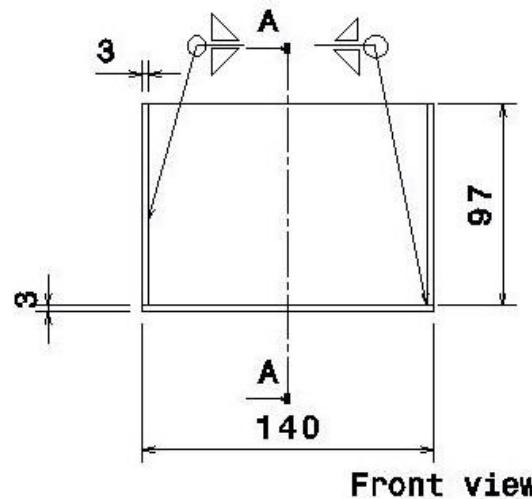
Escala: 1:1

Unidade: mm

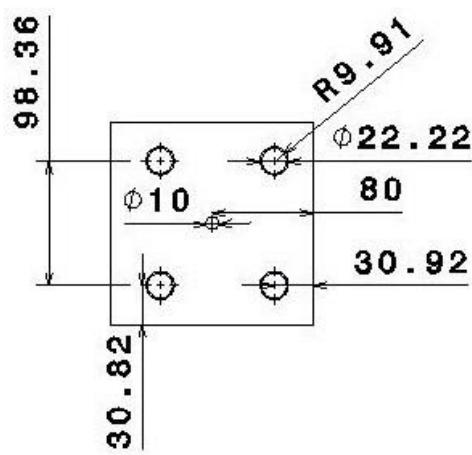
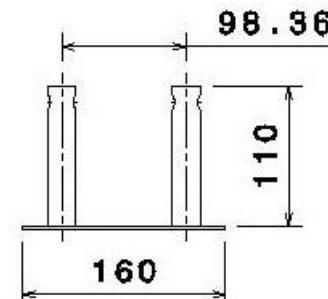
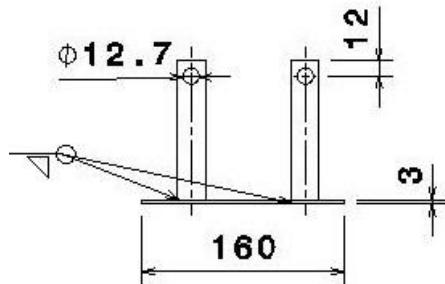
Peso:
40 g



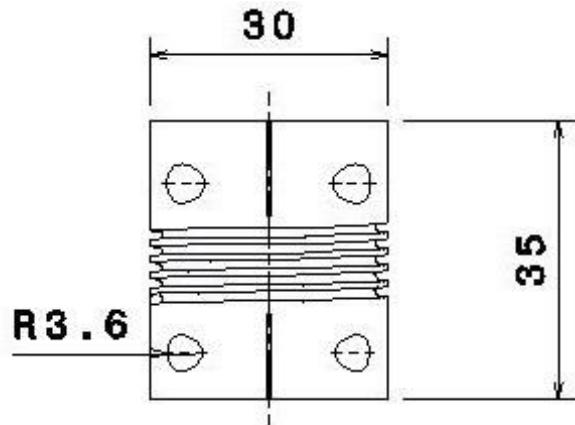
Título: Suporte telescópico (Base)	Des.nº: 26/31
Modelo 3D: André N. Delgado	
Brasília – DF	Detalhamento: André N. Delgado
A4	Escala: 1:5
Data: 08/09/2021	Revisão: Fernando Mendes
	Unidade: mm
	Peso: 676 g



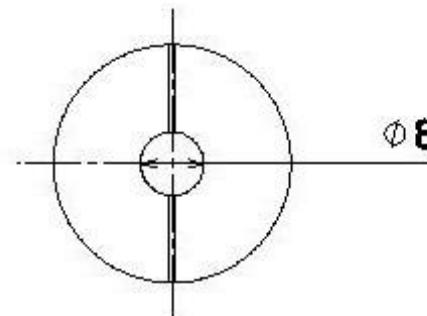
	Título: Suporte motor superior e rolamento de mancal	Des.nº: 27/31
Brasília – DF	Modelo 3D: André N. Delgado	
A4	Detalhamento: André N. Delgado	Escala: 1:3
Data: 08/09/2021	Revisão: Fernando Mendes	Unidade: mm
	Mat.: Aço 1020	Peso: 1085 g



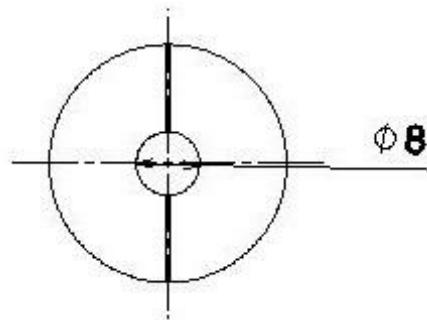
	Título: Suporte telescópio (Parte superior)	Des.nº: 28/31
	Modelo 3D: André N. Delgado	
Brasília – DF	Detalhamento: André N. Delgado	Escala: 1:5
A4	Revisão: Fernando Mendes	Unidade: mm
Data: 08/09/2021	Mat.: Aço 1020	Peso: 866 g



Front view

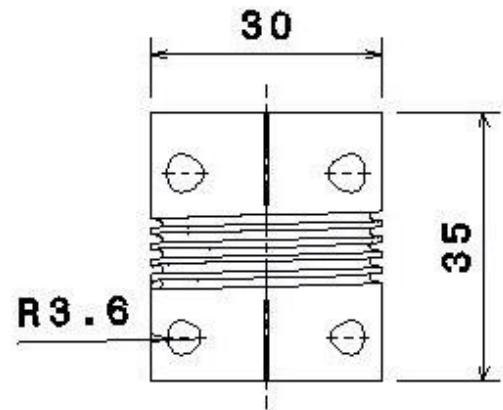


Bottom view

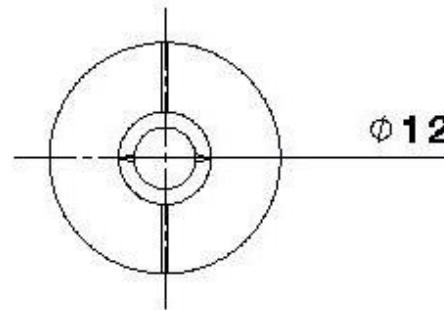


Top view

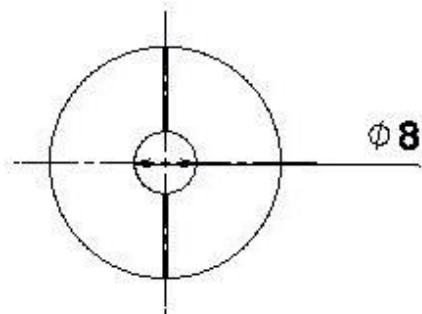
	Titulo: Acoplamento de eixo 8x8	Des.nº: 29/31
	Modelo 3D: André N. Delgado	
Brasília – DF	Detalhamento: André N. Delgado	Escala: 1:1
A4	Revisão: Fernando Mendes	Unidade: mm
Data: 08/09/2021	Mat.: Alumínio	Peso: 25 g



Front view

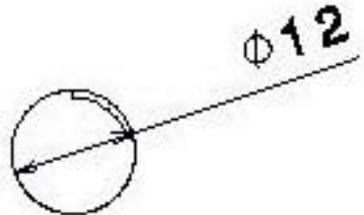


Bottom view

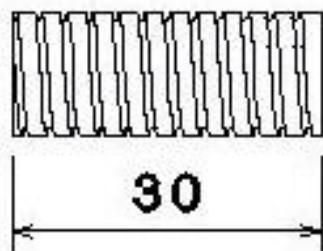


Top view

	Titulo: Acoplamento de eixo 8x12	Des.nº: 30/31
Brasília – DF	Modelo 3D: André N. Delgado	
A4	Detalhamento: André N. Delgado	Escala: 1:1
Data: 08/09/2021	Revisão: Fernando Mendes	Unidade: mm
	Mat.: Alumínio	Peso: 25 g



Front view



Left view



Titulo: Barra roscada para o suporte do aspersor (Rosca padrão M8)

Des.nº: 31/31

Modelo 3D: André N. Delgado



Brasília – DF

Detalhamento: André N. Delgado

Escala: 1:1

A4

Revisão: Fernando Mendes

Unidade: mm

Data:
08/09/2021

Mat.: Aço Inox 304

Peso:
10 g

C 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()

```

D 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

```

E 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()
```

F Análise de Convergência de Malha

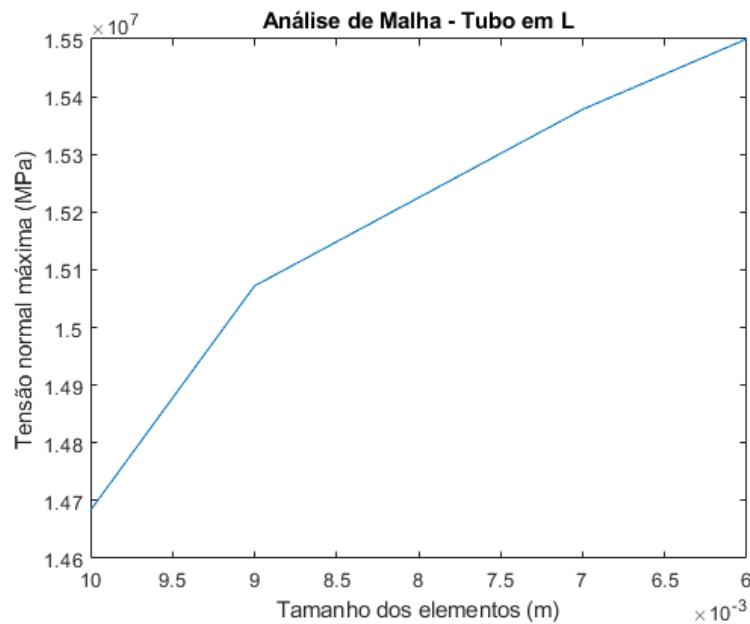


Figura 150 – Análise de convergência do Tubo em L.

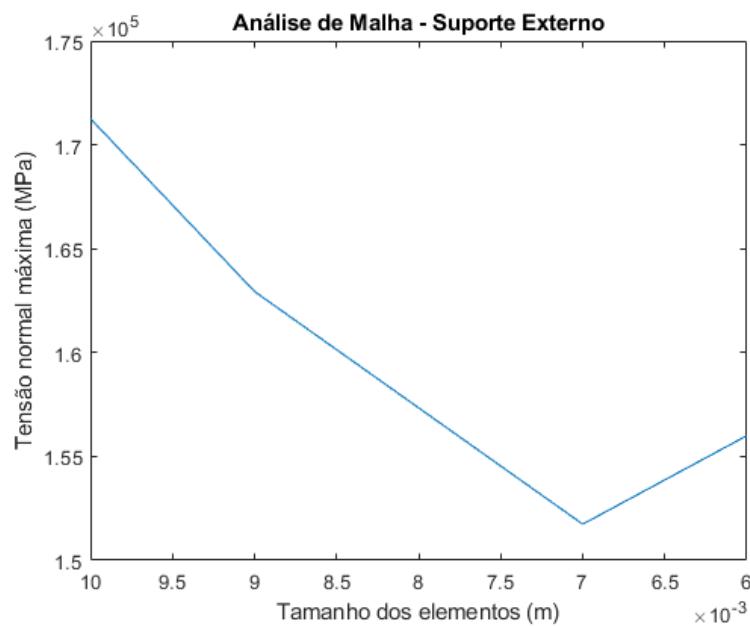


Figura 151 – Análise de convergência do suporte externo.

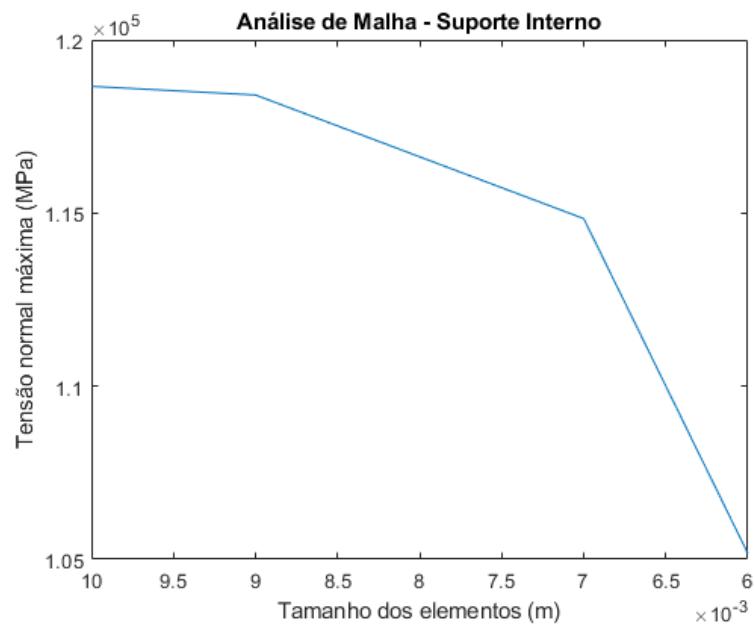


Figura 152 – Análise de convergência do suporte interno.