

Universidade de Brasília - UnB

Faculdade UnB Gama - FGA

PROJETO INTEGRADOR DE ENGENHARIA 2

CORTADOR DE GRAMA AUTOMATIZADO: Smart Grass



Brasília, DF

2021



CORTADOR DE GRAMA AUTOMATIZADO: Smart Grass

Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA

Brasília, DF
2021

Listas de ilustrações

Figura 1 – Arquitetura geral do projeto eletroeletrônico.	32
Figura 2 – Circuito driver projetado para os motores DC de locomoção.	38
Figura 3 – Layout do circuito <i>driver</i> construído.	38
Figura 4 – Modelo de locomoção.	40
Figura 5 – Esquemático da lógica de controle do sistema de locomoção.	42
Figura 6 – Circuito da fonte de 5V.	43
Figura 7 – Layout da placa de circuito impresso da fonte de 5V.	44
Figura 8 – Circuito do sistema de controle da altura do deck de corte.	46
Figura 9 – Conexão entre o cortador e o aplicativo.	48
Figura 10 – Diagrama de conexão dos sensores levantados.	50
Figura 11 – Densidades de energia e potências para várias tecnologias de bateria.	53
Figura 12 – Circuitos de Carregamento.	56
Figura 13 – Gráfico de tensões na saída do circuito.	56
Figura 14 – Gráfico das correntes de alimentação das baterias.	57
Figura 15 – Circuito detector do nível de carga da bateria.	58
Figura 16 – Simulação da queda de tensão.	59
Figura 17 – Diagrama Unifilar de Alimentação.	61
Figura 18 – Seção mínima dos condutores	62
Figura 19 – Capacidade de condução de corrente, em ampéres	63
Figura 20 – Vista isométrica explodida dos principais subsistemas da parte estrutural do cortador de gramas Smart Grass.	65
Figura 21 – Vista isométrica do cortador Smart Grass com visão dos principais subsistemas de forma transparente.	66
Figura 22 – Renderização da vista isométrica do cortador Smart Grass. Simulação da operação de corte de grama.	66
Figura 23 – Motor DC 12V com caixa de redução acoplada.	69
Figura 24 – Diferencial para cortador de grama.	69
Figura 25 – Juntas de velocidade constante.	70
Figura 26 – Cortador autônomo Husqvarna Automower 435X AWD.	71
Figura 27 – Vista isométrica da caixa de redução.	73
Figura 28 – Vista isométrica explodida da caixa de redução.	75
Figura 29 – Componentes da transmissão entre o eixo de saída da caixa de transmissão e as rodas de tração do cortador de grama.	76
Figura 30 – Numeração dos elementos da caixa de redução.	78
Figura 31 – Condições de contorno aplicadas na simulação do eixo B.	87
Figura 32 – Tensões de von Mises obtidas na simulação do eixo B.	88

Figura 33 – Fatores de segurança para a vida em fadiga do eixo B considerando o método de Gerber e um carregamento alternado de 56 N.	88
Figura 34 – Esquemático do <i>deck</i>	92
Figura 35 – Conexão entre o motor e a lâmina.	92
Figura 36 – Elementos de fixação dos motores nas lâminas.	93
Figura 37 – Guia linear utilizada no projeto.	93
Figura 38 – Detalhe da conexão entre o bloco e a viga de sustentação.	94
Figura 39 – Elemento de fixação das molas.	94
Figura 40 – Fixação das molas no chassi.	94
Figura 41 – Fixação das molas no <i>deck</i>	95
Figura 42 – Fixação da castanha no chassi.	95
Figura 43 – Fixação do motor no <i>deck</i>	96
Figura 44 – Manta de borracha para amortecer vibrações.	96
Figura 45 – Dimensões d_m e l	97
Figura 46 – Tipos de junta de solda utilizadas no sistema de corte e ajuste.	101
Figura 47 – Vista isométrica do chassi do cortador de grama.	103
Figura 48 – Chassi do cortador de gramas Smart Grass atualizado.	104
Figura 49 – Métrica da malha do chassi considerando o parâmetro Element Quality do ANSYS.	105
Figura 50 – Métrica da malha do chassi considerando o parâmetro Aspect Ratio do ANSYS.	105
Figura 51 – Métrica da malha do chassi considerando o parâmetro Skewness do ANSYS.	106
Figura 52 – Condições de contorno utilizadas para a determinação da rigidez à flexão.	107
Figura 53 – Deslocamentos verticais obtidos na simulação para determinação da rigidez à flexão do chassi.	107
Figura 54 – Condições de contorno utilizadas na simulação para determinação da rigidez à torção do chassi.	108
Figura 55 – Deslocamentos verticais para determinação do ângulo de torção do chassi.	108
Figura 56 – Condições de contorno utilizadas para a simulação de verificação do comportamento do chassi quando submetido às cargas dos principais subsistemas.	109
Figura 57 – Tensões de von Mises atuantes sobre a estrutura considerando os carregamentos dos principais subsistemas.	110
Figura 58 – Carroceria.	111
Figura 59 – Vista explodida da carroceria com os elementos que a compõem.	112
Figura 60 – Parâmetros de Malha Inseridos.	117
Figura 61 – Qualidade de Malha.	118
Figura 62 – Visão Aproximada da Malha Gerada	118

Figura 63 – Aspecto Ratio da Malha Gerada.	119
Figura 64 – Número de Elementos de Malha em Função de sua Qualidade.	119
Figura 65 – Condições de Contorno de Análise à Flexão.	120
Figura 66 – Condições de Contorno de Análise de Resistência Estática Lateral. . .	120
Figura 67 – Condições de Contorno de Análise da Resistência Frontal.	121
Figura 68 – Condições de Contorno de Análise da Resistência à Torção.	121
Figura 69 – Condições de Contorno da Análise Modal.	122
Figura 70 – Deformação Total Resultante da Aplicação da Carga Frontal.	128
Figura 71 – Tensão de von Mises Resultante da Aplicação da Carga Frontal. . . .	129
Figura 72 – Deformação Total Resultante da Aplicação da Carga Lateral.	129
Figura 73 – Tensão de von Mises Resultante da Aplicação da Carga Lateral. . . .	130
Figura 74 – Deformação Total Resultante da Aplicação da Carga Vertical.	130
Figura 75 – Tensão de von Mises Resultante da Aplicação da Carga Vertical. . . .	131
Figura 76 – Deformação Total Resultante da Aplicação da Carga Torcional.	131
Figura 77 – Tensão de von Mises Resultante da Aplicação da Carga Torcional. . . .	132
Figura 78 – Modo de Vibração 3.	133
Figura 79 – Modo de Vibração 4.	133
Figura 80 – Modo de Vibração 5.	134
Figura 81 – Parâmetros Definidos para a Malha da Caixa Traseira.	135
Figura 82 – Qualidade da Malha.	136
Figura 83 – Aspecto Ratio da Malha da Caixa.	136
Figura 84 – Métricas da Malha.	137
Figura 85 – Condições de Contorno para Aplicação de Esforço Lateral.	138
Figura 86 – Condições de Contorno Aplicadas à Análise de Resistência à Flexão. .	138
Figura 87 – Condições de Contorno Aplicadas à Análise Modal.	139
Figura 88 – Deformação da Parede Lateral da Caixa Traseira.	140
Figura 89 – Tensão de von Mises sobre a Parede Lateral da Caixa Traseira. . . .	140
Figura 90 – Deformação Sofrida em Função de Esforço Vertical.	141
Figura 91 – Tensão de von Mises Originada da Força Vertical.	141
Figura 92 – Modo de vibração 2.	142
Figura 93 – Modo de Vibração 4.	143
Figura 94 – Modo de Vibração 6.	143
Figura 95 – Conexão Carroceria Chassi.	144
Figura 96 – Conexão Carroceria Chassi Explodida.	145
Figura 97 – Modo de Encaixe da Conexão da Carroceria no Chassi.	145
Figura 98 – Malha.	146
Figura 99 – Gráfico da Qualidade da Malha.	147
Figura 100 – Condições de Contorno: Carga Aplicada.	148
Figura 101 – Condições de Contorno: Suporte Aplicado.	149

Figura 102 – Stress de Von Mises.	150
Figura 103 – Paleta de Cores.	156
Figura 104 – Tipografia.	157
Figura 105 – Cores da logo do <i>Smart Grass</i>	157
Figura 106 – Logos da solução de software.	157
Figura 107 – Telas iniciais do aplicativo	158
Figura 108 – Tela principal - <i>Smart Grass</i>	159
Figura 109 – Fluxo de notificações do cortador para o usuário	160
Figura 110 – Fluxo de mapeamento da aplicação	161
Figura 111 – Fluxo de mapeamento da aplicação	162
Figura 112 – Fluxo de mapeamento da aplicação	162
Figura 113 – Legenda de Algoritmos de Mapeamento e Cobertura de Área	163
Figura 114 – Representação Algoritmos de Mapeamento e Cobertura de Área - Parte 1	163
Figura 115 – Representação Algoritmos de Mapeamento e Cobertura de Área - Parte 2	164
Figura 116 – Representação Algoritmos de Mapeamento e Cobertura de Área - Parte 3	164
Figura 117 – Representação Algoritmos de Mapeamento e Cobertura de Área - Parte 4	165
Figura 118 – Diagrama de Atividades - Modo de Corte Geral	166
Figura 119 – Diagrama de Atividades - Modo de Corte Concentrado	167
Figura 120 – Representação de algoritmos combinados para solução do PPCR	168
Figura 121 – Diagrama de Arquitetura.	169
Figura 122 – Diagrama de Caso de Uso.	173
Figura 123 – Diagrama de Caso de Classes.	174
Figura 124 – Diagrama de pacotes da estrutura de pastas do projeto.	175
Figura 125 – Diagrama de pacotes - fluxo por funcionalidade do sistema.	176
Figura 126 – Diagrama CI/CD para Mobile.	177
Figura 127 – Diagrama CI/CD para Api Gateway e Serviço de Mapeamento.	180
Figura 128 – Diagrama de GitFlow.	181
Figura 129 – Diagrama de Arquitetura Com Destaque Ao Módulo Embarcado.	182
Figura 130 – Legenda da Representação Arquitetural da Integração Software-Eletrônica.	183
Figura 131 – Representação Arquitetural da Integração Software-Eletrônica.	183
Figura 132 – Diagrama de Sequência da Comunicação com os Sensores.	188
Figura 133 – Representação do Chicote Elétrico.	192
Figura 134 – Caixa Traseira com Componentes Elétricos e Eletrônicos.	193
Figura 135 – Sistema de Corte.	194
Figura 136 – Diagrama de Integração.	196
Figura 137 – EAP das Tarefas do Primeiro Ponto de Controle 1	234
Figura 138 – EAP das Tarefas do Segundo Ponto de Controle 2	235
Figura 139 – EAP das Tarefas do Terceiro Ponto de Controle 3	236
Figura 140 – EAP do Produto	239

Figura 141 – Organograma para organização dos trabalhos no grupo.	243
Figura 142 – Análise SWOT Relativa ao Mercado: Forças e Fraquezas	264
Figura 143 – Análise SWOT Relativa ao Mercado: Oportunidades e Ameaças	265
Figura 144 – Cronograma Geral 1	268
Figura 145 – Cronograma Geral 2	268
Figura 146 – Cronograma Geral 3	269
Figura 147 – Cronograma Geral 4	269
Figura 148 – Cronograma Geral 5	270
Figura 149 – Fluxo de reuniões	271
Figura 150 – Horários das Reuniões Semanais	271
Figura 151 – EAP da Parte Estrutural do Projeto	272
Figura 152 – EAP da Parte Eletrônica do Projeto	273
Figura 153 – EAP da Parte de Energia do Projeto	274
Figura 154 – EAP da Parte de Software do Projeto	275
Figura 155 – Detalhamento do layout do circuito <i>driver</i> dos motores DC de locomoção	286
Figura 156 – Vista da placa do circuito <i>driver</i> dos motores DC de locomoção em 3 dimensões	286
Figura 157 – Vista em 3 dimensões da placa do circuito que regula a tensão da bateria	287
Figura 158 – Cortador de Grama Smart Grass	290
Figura 159 – Desenho Técnico do Chassi com a vista frontal superior	292
Figura 160 – Desenho Técnico do Chassi com a vista lateral	293
Figura 161 – Desenho Técnico da Carcaça da Caixa de Redução	294
Figura 162 – Desenho Técnico do Cubo de Roda	295
Figura 163 – Desenho Técnico do Suporte do Motor de Tração	296
Figura 164 – Desenho Técnico da Tampa da Caixa de Redução	297
Figura 165 – Desenho Técnico do Trem de Engrenagens da Caixa de Redução	298
Figura 166 – Desenho Técnico do Suporte do Motor de Passo	299
Figura 167 – Desenho Técnico do Adaptador Superior Lâminas de Corte	300
Figura 168 – Desenho Técnico do Flange	301
Figura 169 – Desenho Técnico da Mola	302
Figura 170 – Desenho técnico da Base da Carroceria	303
Figura 171 – Desenho técnico da Carroceria Superior	304
Figura 172 – Desenho técnico da Conexão Carroceria Chassi Alto	305
Figura 173 – Desenho técnico da Conexão Carroceria Chassi Baixo	306
Figura 174 – Desenho técnico dos Faróis	307
Figura 175 – Tampa Caixa Traseira	308
Figura 176 – Desenho técnico da Caixa Traseira 1/2	309
Figura 177 – Desenho técnico da Caixa Traseira 2/2	310
Figura 178 – Desenho Técnico da Case do Ublox GPS	311

Figura 179 – Desenho Técnico da Case do Sensor de Umidade.	312
Figura 180 – Desenho Técnico da Caixa Raspberry.	313
Figura 181 – Desenho Técnico da Case Sensor de Distância.	314
Figura 182 – Desenho Técnico da Case Sensor RGB.	315
Figura 183 – Motores na região superior e lâminas na região inferior do <i>deck</i>	317
Figura 184 – Motor de passo TR8.	318
Figura 185 – Diferentes tipos de guias lineares.	319
Figura 186 – Configurações possíveis com duas lâminas.	320
Figura 187 – Configuração de três lâminas.	321
Figura 188 – Diagrama de corpo livre do <i>deck</i>	322
Figura 189 – Valores de F_m em função de F_{el}	324
Figura 190 – Valores de F_m considerando o fator de sustentação f_s	324
Figura 191 – Dimensões da mola.	326
Figura 192 – Exemplo de mola.	326
Figura 193 – Faces auxiliares para representar os patins na posição mais baixa.	329
Figura 194 – Esforços e condições de contorno da simulação estática para o <i>deck</i> na configuração mais baixa.	330
Figura 195 – Esforços e condições de contorno da simulação estática para o <i>deck</i> na configuração mais alta.	330
Figura 196 – Malha do <i>deck</i>	331
Figura 197 – <i>Element quality</i>	331
Figura 198 – <i>Aspect ratio</i>	331
Figura 199 – <i>Skewness</i>	332
Figura 200 – Sistema de coordenadas do <i>deck</i>	332
Figura 201 – Tensões de Von Misses para o <i>deck</i> em sua configuração mais baixa.	333
Figura 202 – Alongamento para o <i>deck</i> em sua configuração mais baixa.	334
Figura 203 – Tensões de Von Misses para o <i>deck</i> em sua configuração mais alta.	334
Figura 204 – Alongamento para o <i>deck</i> em sua configuração mais alta.	334
Figura 205 – Condições de contorno da simulação estática para o <i>deck</i> na configuração mais alta.	336
Figura 206 – Condições de contorno da simulação estática para o <i>deck</i> na configuração mais alta.	336
Figura 207 – Modo 1 de vibração do <i>deck</i> na configuração mais alta.	337
Figura 208 – Modo 2 de vibração do <i>deck</i> na configuração mais alta.	337
Figura 209 – Modo 3 de vibração do <i>deck</i> na configuração mais alta.	338
Figura 210 – Modo 4 de vibração do <i>deck</i> na configuração mais alta.	338
Figura 211 – Modo 5 de vibração do <i>deck</i> na configuração mais alta.	338
Figura 212 – Modo 6 de vibração do <i>deck</i> na configuração mais alta.	339
Figura 213 – Modo 1 de vibração do <i>deck</i> na configuração mais baixa.	339

Figura 214 – Modo 2 de vibração do <i>deck</i> na configuração mais baixa.	340
Figura 215 – Modo 3 de vibração do <i>deck</i> na configuração mais baixa.	340
Figura 216 – Modo 4 de vibração do <i>deck</i> na configuração mais baixa.	340
Figura 217 – Modo 5 de vibração do <i>deck</i> na configuração mais baixa.	341
Figura 218 – Modo 6 de vibração do <i>deck</i> na configuração mais baixa.	341
Figura 219 – Bateria de 12V 15Ah.	344
Figura 220 – Bateria de 24V 30Ah.	345
Figura 221 – Simulação de filtragem.	348
Figura 222 – Curva característica do motor de corte.	353
Figura 223 – Avaliação Paulo Cezar.	364
Figura 224 – Avaliação João Marcos.	364
Figura 225 – Avaliação Alexandre.	365
Figura 226 – Avaliação Bruna.	365
Figura 227 – Avaliação Gabriel Teixeira.	366
Figura 228 – Avaliação Fabiana.	366
Figura 229 – Avaliação Guilherme.	367
Figura 230 – Avaliação Letícia.	367
Figura 231 – Avaliação Renan.	368
Figura 232 – Avaliação Beatriz.	368
Figura 233 – Avaliação GabrielM.	369
Figura 234 – Avaliação Francileide.	369
Figura 235 – Avaliação Karina.	370
Figura 236 – Avaliação Marina.	370
Figura 237 – Avaliação Paulo Eduardo.	371

Listas de tabelas

Tabela 1 – Matriz de decisão sobre o circuito <i>driver</i> dos motores de locomoção	36
Tabela 2 – Componentes e custos para fabricação da placa de controle dos motores de locomoção.	39
Tabela 3 – Componentes do circuito de regulagem da tensão da bateria	45
Tabela 4 – Matriz de decisão para a escolha do sistema de comunicação.	48
Tabela 5 – Descrição dos sensores utilizados.	51
Tabela 6 – Tabela do consumo dos componentes eletrônicos.	52
Tabela 7 – Distribuição da Fiação da Estrutura	64
Tabela 8 – Parâmetros do cortador para cálculo das cargas de resistência ao movimento.	68
Tabela 9 – Torques de resistência ao movimento.	68
Tabela 10 – Matriz de decisão do sistema de tração e manobra.	72
Tabela 11 – Torques resistivos totais e atuantes sobre cada roda motriz.	77
Tabela 12 – Torques atuantes sobre todos os eixos do redutor em condições variadas de operação.	80
Tabela 13 – Características gerais das engrenagens obtidas pelo catálogo do fabricante KHK KOHARA GEAR.	80
Tabela 14 – Valores da potência fornecida por cada motor elétrico individual em vários regimes de trabalho.	82
Tabela 15 – Valores da rotação para todos os eixos considerando os valores extremos da faixa de velocidade do cortador.	83
Tabela 16 – Valores da razão H/n presentes na Equação 2.36.	84
Tabela 17 – Forças tangenciais atuantes sobre as 6 engrenagens considerando o pior cenário de solicitação mecânica.	84
Tabela 18 – Tensões de Lewis atuantes sobre as 6 engrenagens em situação estática. .	85
Tabela 19 – Tensões de Lewis atuantes sobre as 6 engrenagens em situação dinâmica.	86
Tabela 20 – Forças radiais atuantes sobre as engrenagens do redutor considerando o pior cenário.	87
Tabela 21 – Componentes das forças de reação do suporte durante a simulação do eixo B.	89
Tabela 22 – Dados para a validação do motor de passo.	97
Tabela 23 – Componentes do subsistema de corte.	99
Tabela 24 – Componentes do subsistema de ajuste de corte.	100
Tabela 25 – Método de fabricação dos componentes do sistema de corte e ajuste. .	102
Tabela 26 – Dimensões preliminares dos perfis que constituem o chassi do cortador de grama.	103

Tabela 27 – Frequências naturais do chassi.	110
Tabela 28 – Matriz de decisão de materiais para parte superior da carroceria.	114
Tabela 29 – Matriz de decisão de materiais para base e traseira da carroceria.	114
Tabela 30 – Tipo de Carga e Carga Aplicada.	116
Tabela 31 – Estatísticas de Malha.	117
Tabela 32 – Propriedades do Epoxy E-Glass Wet.	124
Tabela 33 – Propriedades do Epoxy E-Glass UD.	125
Tabela 34 – Propriedades do Alumínio.	125
Tabela 35 – Carga Frontal.	126
Tabela 36 – Carga Lateral.	126
Tabela 37 – Carga Vertical.	127
Tabela 38 – Carga de Torção.	127
Tabela 39 – Parâmetros de Análise da Teoria da Tensão Máxima de Falha para o Epoxy E-Glass Wet de 3 mm.	128
Tabela 40 – Tabela de Frequências Naturais da Carroceria.	132
Tabela 41 – Parâmetros de Entrada e Saída da Simulação Estática.	139
Tabela 42 – Modos de Vibração e Frequências Sofridas Pela Caixa Traseira.	142
Tabela 43 – Propriedades do Alumínio 6063-T5.	151
Tabela 44 – Propriedades da Fibra de Vidro E-GLAS.	151
Tabela 45 – Dados de Ensaios de Tração.	152
Tabela 46 – Propriedades do Silicone.	152
Tabela 47 – Propriedades da Borracha Nitrílica.	152
Tabela 48 – Propriedades dos Aços.	153
Tabela 49 – Propriedades dos Polietilenos.	153
Tabela 50 – Propriedades do ABS.	154
Tabela 51 – Propriedades do PLA.	154
Tabela 52 – Ruído Sonoro dos Motores.	155
Tabela 53 – Características de Meios de Comunicação.	169
Tabela 54 – Dados de Comunicação com Sistema de Locomoção.	184
Tabela 55 – Dados de Comunicação com Sensores Ultrassônicos.	185
Tabela 56 – Dados de Comunicação com Sensor GPS.	185
Tabela 57 – Dados de Comunicação com Sensor do Sistema de Corte.	186
Tabela 58 – Dados de Comunicação com Sensor RGB.	186
Tabela 59 – Dados de Comunicação com Sensor IMU.	187
Tabela 60 – Dados de Comunicação com Demais Sensores	188
Tabela 61 – Login.	197
Tabela 62 – Pausar cortador.	198
Tabela 63 – Ligar cortador.	198
Tabela 64 – Visualizar notificações.	198

Tabela 65 – Selecionar Rotas de Corte.	199
Tabela 66 – Agendar Horário de Corte.	199
Tabela 67 – Alterar Altura de Corte.	199
Tabela 68 – Ler QRCode.	200
Tabela 69 – Visualizar Dispositivo Conectado.	200
Tabela 70 – Teste dos Algoritmos de SLAM e PPCR.	200
Tabela 71 – Código e Significado.	216
Tabela 72 – Custo.	216
Tabela 73 – Requisitos de Alto Nível.	223
Tabela 74 – Requisitos da Norma Regulamentadora NR 12 Aplicáveis ao Projeto de Máquinas e Equipamentos.	224
Tabela 75 – Requisitos da Norma Regulamentadora NR 5410	224
Tabela 76 – Requisitos da Norma Regulamentadora NR 5459	225
Tabela 77 – Requisitos da Norma Regulamentadora NR 17094.	225
Tabela 78 – Sistema de identificação de proteção definido pela norma NBR 17094	226
Tabela 79 – Descrição das classes adotadas pelas normas IPC	227
Tabela 80 – Requisitos de Eletrônica.	228
Tabela 81 – Requisitos de Energia.	229
Tabela 82 – Requisitos de Estruturas.	229
Tabela 83 – Requisitos de Software.	230
Tabela 84 – Requisitos Não Funcionais.	230
Tabela 85 – Tabela Lista É, Não É	238
Tabela 86 – Relação dos componentes do grupo de projeto.	242
Tabela 87 – Canais de comunicação adotados pelo grupo.	248
Tabela 88 – Peso por Faixa de Probabilidade.	252
Tabela 89 – Relação entre Peso e Impacto.	252
Tabela 90 – Matriz de Probabilidade.	252
Tabela 91 – Relação entre Risco e Impacto.	253
Tabela 92 – Tipo de Ação.	253
Tabela 93 – Riscos do Projeto.	253
Tabela 94 – Riscos e Ações de Gestão do Projeto.	254
Tabela 95 – Riscos Externos.	254
Tabela 96 – Riscos e Ações de Gestão contra Externos.	255
Tabela 97 – Riscos do Produto.	255
Tabela 98 – Ações Dirigidas aos Riscos do Produto.	256
Tabela 99 – Riscos de Eletrônica.	257
Tabela 100 – Ações de Gestão dos Riscos de Eletrônica.	257
Tabela 101 – Riscos de Energia.	258
Tabela 102 – Ações de Gestão dos Riscos de Energia.	258

Tabela 103 – Riscos de Estrutura.	259
Tabela 104 – Ações de Gestão dos Riscos de Estrutura.	260
Tabela 105 – Riscos de Software.	260
Tabela 106 – Ações de Gestão dos Riscos de Software.	261
Tabela 108 – Cronograma dos Marcos do Projeto	265
Tabela 107 – Tipos de grama	266
Tabela 109 – Contribuições Por Integrante Referente ao PC1.	276
Tabela 110 – Contribuições Por Integrante Referente ao PC2.	280
Tabela 111 – Contribuições Por Integrante Referente ao PC3.	283
Tabela 112 – Vantagens e desvantagens de cada configuração.	321
Tabela 113 – Dimensões da mola.	327
Tabela 114 – Esforços no <i>deck</i>	328
Tabela 115 – Momentos de reação nos patins para o <i>deck</i> em sua configuração mais baixa.	333
Tabela 116 – Momentos de reação nos patins para o <i>deck</i> em sua configuração mais alta.	333
Tabela 117 – Tabela de Frequências naturais do <i>deck</i> na configuração mais alta.	337
Tabela 118 – Tabela de Frequências naturais do <i>deck</i> na configuração mais alta.	339
Tabela 119 – <i>Participation Factor</i> para a configuração mais alta do <i>deck</i>	342
Tabela 120 – <i>Effective Mass</i> para a configuração mais alta do <i>deck</i>	342
Tabela 121 – <i>Participation Factor</i> para a configuração mais baixa do <i>deck</i>	342
Tabela 122 – <i>Effective Mass</i> para a configuração mais baixa do <i>deck</i>	343
Tabela 123 – Bateria de 12V 15Ah : especificações.	345
Tabela 124 – Bateria de 24V 30Ah : especificações.	345
Tabela 125 – Potência elétrica fornecida ao motor.	350
Tabela 126 – Velocidade angular em cada roda.	351
Tabela 127 – Potência mecânica máxima desenvolvida pelas rodas.	351
Tabela 128 – Proporção entre torque e rotação.	351
Tabela 129 – Especificações para o motor de locomoção.	352
Tabela 130 – Matriz de comparação motores de corte.	354

Lista de abreviaturas e siglas

ACE	Authentication and Authorization for Constrained Environments
API	Application Programming Interface
APN	Access Point Name
BMS	Battery Management System
BOM	Bill of Materials
CD	Continuous Deploy (Deploy Contínuo ou Automatizado)
CI	Continuous Integration (Integração Contínua)
DC	Direct Current
EAP	Estrutura Analítica do Projeto
EAR	Estrutura Analítica de Riscos
FIFO	First In First Out
GPS	Global Positioning System
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
IMU	Inertial Measurement Unit
iOS	iPhone Operational System
IOT	Internet of Things
LGPD	Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais
LIDAR	Light Detection and Ranging
LTE	Long Term Evolution
NBR	Norma Brasileira
NR	Norma Reguladora
OS	Operational System
PE	Polietileno

PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PEBD	Polietileno de Baixa Densidade
PEBDL	Polietileno de Baixa Densidade Linear
PID	Proportional Integral Derivative
PPCR	Path Planning of Coverage Region
PWM	Pulse Width Modulation
QR Code	Quick Response Code
RGB	Red, Green, Blue
ROS	Robotic Operation System
RPM	Rotação por Minuto
SIM	Subscriber Identification Module
SLAM	Simultaneous Localization And Mapping
SoC	System on a chip
SPST	Single-Pole Single Throw
TAP	Termo de Abertura do Projeto
TCP	Transmission Control Protocol
UDP	User Datagram Protocol
UI	User Interface
UX	User Experience
XML	Extensible Markup Language

Listas de símbolos

$\omega_{esquerda}$	Velocidade angular de rotação da roda traseira esquerda (em radianos por segundo)
$\omega_{direita}$	Velocidade angular de rotação da roda traseira direita (em radianos por segundo)
Θ_{dir}	Orientação do robô cortador
L	Largura do cortador de grama
R	Raio do conjunto roda-pneu.
v_l	Velocidade linear do centro de massa do cortador.
\dot{x}	Componente horizontal da velocidade linear do centro de massa do cortador
\dot{y}	Componente vertical da velocidade linear do centro de massa do cortador
$\dot{\Theta}_{dir}$	Velocidade angular do centro de massa do robô cortador de grama.
m	Módulo da engrenagem
Z	Número de dentes
D_p	Diâmetro Primitivo
T_s	Torque de saída da caixa de redução
T_e	Torque de entrada da caixa de redução
D_p	Diâmetro primitivo da engrenagem
Z	Número de dentes
F_a	Força de arrasto aerodinâmico
ρ	Massa específica
V	Velocidade do ar relativa ao corpo em movimento
C_D	Coeficiente de arrasto aerodinâmico.
A	Área frontal do veículo

T_t	Torque Total de Resistência ao Movimento
A	Aceleração da gravidade
C_R	Coeficiente de Resistência ao Rolamento
θ	Ângulo de inclinação do cortador em relação ao plano horizontal.
ω	Velocidade angular do conjunto roda-pneu

Sumário

I	INTRODUÇÃO	25
1	INTRODUÇÃO	26
1.1	Problematização	26
1.2	Justificativa	28
1.3	Objetivos	29
1.3.1	Objetivo Geral	29
1.3.2	Objetivos Específicos	29
II	SOLUÇÕES	30
2	SOLUÇÕES PROPOSTAS	31
2.1	Soluções em Eletrônica	31
2.1.1	Arquitetura da solução	31
2.1.1.1	Visão geral dos blocos de trabalho	32
2.1.2	Locomoção	34
2.1.2.1	Definição dos componentes	34
2.1.2.2	Círculo <i>driver</i> de controle dos motores	34
2.1.2.2.1	Escolha da forma de desenvolvimento do círculo <i>driver</i>	34
2.1.2.2.2	Projeto e montagem do círculo <i>driver</i> de controle dos motores	36
2.1.2.3	Modelo matemático de movimentação do cortador	39
2.1.2.4	Lógica de programação para controle dos motores	41
2.1.3	Sistema de Alimentação	42
2.1.3.1	Projeto do sistemas de regulagem de tensão	43
2.1.4	Controle do sistema de corte da grama	45
2.1.5	Integração com aplicativo	47
2.1.5.1	Funcionamento do sistema de comunicação	47
2.1.6	Sistemas de sensoriamento e interface	49
2.1.7	Integração entre os subsistemas de controle	50
2.2	Soluções em Energia	52
2.2.1	Sistema de alimentação	52
2.2.1.1	BMS	54
2.2.2	Módulo Carregador	54
2.2.2.1	Simulação da tensão e corrente fornecida pelo carregador	55
2.2.3	Círculo de detecção do nível da bateria	57
2.2.3.1	Simulação da variação de tensão do círculo de detecção do nível da bateria	58

2.2.3.1.1	Aviso para pouca carga das baterias	59
2.2.4	Distribuição Elétrica	60
2.2.4.1	Dimensionamento dos Condutores	61
2.2.4.2	Distribuição da Fiação na Estrutura	63
2.3	Soluções em Estrutura e Sistemas Mecânicos	65
2.3.1	Sistema de Tração e Manobrabilidade	66
2.3.1.1	Caixa de Redução	73
2.3.1.2	Acoplamento da caixa de redução às rodas	75
2.3.1.3	Dimensionamento	76
2.3.2	Sistema de Corte e Regulagem de Altura	92
2.3.2.1	Dimensionamento do Motor de Passo	96
2.3.2.2	Resumo dos Componentes e Método de Fabricação	98
2.3.3	Sistema de Suporte Estrutural	102
2.3.3.1	Chassi	102
2.3.3.1.1	Alterações realizadas no Chassi	103
2.3.3.2	Carroceria	111
2.3.3.2.1	Desenho Preliminar	111
2.3.3.2.2	Escolha dos materiais	113
2.3.3.2.3	Simulações	115
2.3.3.2.4	Parte superior	115
2.3.3.2.5	Malha	116
2.3.3.2.6	Condições de Contorno	120
2.3.3.2.7	Materiais Aplicados nas Simulações	122
2.3.3.2.8	Resultados e Análises	125
2.3.3.2.9	Simulações com o Compósito de fibra de Carbono Epoxy E-Glass Wet	128
2.3.3.2.10	Análise Modal	132
2.3.3.2.11	Fabricação da Carroceria	134
2.3.3.2.12	Caixa Traseira	134
2.3.3.2.13	Malha da Caixa Traseira	135
2.3.3.2.14	Condições de Contorno da Caixa Traseira	137
2.3.3.2.15	Resultados e Análise da Caixa Traseira	139
2.3.3.2.16	Análise Modal da Caixa Traseira	141
2.3.3.3	Fabricação da Caixa Traseira	143
2.3.3.4	Conexão Carroceria Chassi	144
2.3.3.4.1	Conexão Carroceria Chassi	144
2.3.3.4.2	Análise Estática da Conexão Carroceria Chassi	146
2.3.3.5	Materiais Gerais - Características	150
2.3.4	Ruído Sonoro	154
2.4	Soluções em Software	156

2.4.1	Arquitetura da Informação	156
2.4.1.1	Identidade Visual	156
2.4.1.1.1	Paleta de Cores	156
2.4.1.1.2	Tipografia	156
2.4.1.1.3	Logotipo	157
2.4.1.2	Protótipo	157
2.4.2	Inovação do Software	162
2.4.3	Arquitetura do Software	168
2.4.3.1	Serviços	168
2.4.3.1.1	<i>Smart Grass Cortador - Serviço Embarcado</i>	169
2.4.3.1.2	<i>Smart Grass App</i>	170
2.4.3.1.3	<i>API Gateway</i>	170
2.4.3.1.4	Serviço de Mapeamento	171
2.4.3.1.5	<i>Firebase Authenticate</i>	171
2.4.3.1.6	<i>Firebase Firestore</i>	172
2.4.4	Diagramas de Software	172
2.4.4.1	Diagrama de Casos de Uso	172
2.4.4.2	Diagrama de Classes	173
2.4.4.3	Diagrama de Pacotes	174
2.4.4.3.1	Diagrama de Pacotes Estrutural	174
2.4.4.3.2	Diagrama de Pacotes por Funcionalidade	175
2.4.4.4	Diagramas de CI, CD e GitFlow	176
2.4.4.5	Representação Arquitetural da Integração	182
2.4.4.5.1	Tabela de Integração de Módulos Embarcados	184
2.4.4.6	Diagrama de Sequência	188
2.4.4.7	GitHub	189
3	PLANO DE INTEGRAÇÃO	190
3.1	Integração Software-Eletroeletrônica	190
3.2	Integração Estrutura-Eletroeletrônica	190
3.3	Integração Estrutura-Software	195
3.4	Diagrama de Integração	195
4	PLANO DE TESTES	197
4.1	Software	197
4.2	Energia	200
4.2.1	Teste das Fontes	200
4.2.2	Teste das Baterias	201
4.2.3	Teste dos Motores	201
4.3	Eletrônica	201

4.3.1	Testes sobre as placas de circuito impresso construídas pela equipe	201
4.4	Estrutura	202
4.4.1	Teste de ruído sonoro da rotação das lâminas de corte	202
4.4.2	Teste de esforço do sistema de corte	202
4.5	Testes Funcionais Gerais	203
4.5.1	Desligamento dos motores das lâminas ao erguer o cortador	203
4.5.2	Subida em terreno inclinado 35°	203
4.5.3	Impermeabilidade do conjunto caixa-carroceria	203
4.5.4	Desvio de obstáculos e reconhecimento de terreno sem grama	204
4.5.5	Mapeamento da área de corte	204
4.5.6	Controle da altura de corte	204
5	MANUAIS	206
5.1	Manual de Fabricação	206
5.2	Manual de Montagem	206
5.3	Manual do Usuário	206
5.4	Manual de Instalação do Software	206
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	207
	REFERÊNCIAS	208
	APÊNDICES	215
	APÊNDICE A – CUSTOS	216
	APÊNDICE B – REQUISITOS	222
B.1	Requisitos de Alto Nível	222
B.2	Requisitos Legais – NBR's	223
B.2.1	Requisitos Legais Aplicáveis à Estrutura	223
B.2.2	Requisitos Legais Aplicáveis aos Sistemas eletroeletrônicos	224
B.3	Requisitos Funcionais Específicos	227
B.4	Requisitos de Eletrônica	227
B.5	Requisitos de Energia	228
B.6	Requisitos de Estrutura	229
B.7	Requisitos de Software	229
B.8	Requisitos Não Funcionais	230

III GERENCIAMENTO

231

	APÊNDICE C – METODOLOGIA APLICADA AO PLANO DE GERENCIAMENTO DO PROJETO	232
C.1	Visão Geral	232
C.2	Gerenciamento da Integração do Projeto	232
C.2.1	Termo de Abertura do Projeto (TAP)	233
C.2.2	Estrutura Analítica do Projeto (EAP)	233
C.3	Gerenciamento do Escopo	236
C.3.1	Definição do escopo do projeto	237
C.3.2	Lista É, Não É	237
C.3.3	Estrutura Analítica do Produto	238
C.4	Gerenciamento do Cronograma	239
C.4.1	Cronograma Geral do Projeto	240
C.5	Gerenciamento da Qualidade	240
C.6	Gerenciamento dos Recursos	241
C.6.1	Recursos humanos	242
C.6.2	Organograma da Equipe do Projeto	242
C.6.3	Funções Desempenhadas pelos Integrantes	243
C.6.3.1	Coordenador Geral	243
C.6.3.2	Diretor de Qualidade	244
C.6.3.3	Diretor Técnico	244
C.6.3.4	Desenvolvedor	245
C.6.4	Gerenciamento de Desenvolvimento de Software	245
C.6.5	Gerenciamento dos Custos	246
C.6.5.1	Aquisições	246
C.7	Gerenciamento das Comunicações	247
C.7.1	Ferramentas de Comunicação	247
C.7.2	Diretrizes de Comunicação	247
C.8	Gerenciamento dos Riscos	248
C.9	Gerenciamento das Partes Interessadas	249
C.10	Monitoramento e Controle	249
	APÊNDICE D – RISCOS	251
D.1	Estrutura Analítica De Riscos (EAR)	251
D.1.1	Riscos do Projeto	253
D.1.2	Riscos do Produto	255
D.1.3	Análise dos Riscos	256
D.1.4	Eletrônica	256
D.1.5	Energia	258

D.1.6	Estrutura e Sistemas Mecânicos	259
D.1.7	Software	260
	APÊNDICE E – TERMO DE ABERTURA DO PROJETO (TAP)	262
E.1	Requisitos que Satisfazem as Necessidades do Cliente	262
E.2	Objetivo do Projeto	263
E.3	Propósito ou Justificação Do Projeto	263
E.4	Stakeholders do Projeto e os Seus Papéis e Responsabilidades	263
E.5	Expectativas dos Stakeholders	264
E.6	Identificação do Gestor do Projeto, e Nível de Autoridade do Gerente	264
E.7	Análise SWOT	264
E.8	Características de Grama por Espécie	265
E.9	Cronograma Macro dos Marcos do Projeto	265
E.10	Premissas Organizacionais	267
E.11	Restrições Organizacionais	267
E.12	Investimento	267
E.13	Restrições e Riscos	267
E.14	Descrição do(s) Subproduto(s) Identificado(s)	267
	APÊNDICE F – CRONOGRAMA GERAL	268
	APÊNDICE G – REUNIÕES	271
	APÊNDICE H – EAP DA PARTE ESTRUTURAL DO PROJETO	272
	APÊNDICE I – EAP DA PARTE ELETRÔNICA DO PROJETO	273
	APÊNDICE J – EAP DA PARTE DE ENERGIA DO PROJETO	274
	APÊNDICE K – EAP DA PARTE DE SOFTWARE DO PROJETO	275
	APÊNDICE L – CONTRIBUIÇÕES POR INTEGRANTE REFERENTE AO PC1	276
	APÊNDICE M – CONTRIBUIÇÕES POR INTEGRANTE REFERENTE AO PC2	280
	APÊNDICE N – CONTRIBUIÇÕES POR INTEGRANTE REFERENTE AO PC3	283
	APÊNDICE O – LAYOUT DOS CIRCUITOS <i>DRIVERS</i> DE LO-COMOÇÃO	286

APÊNDICE P – LAYOUT DA FONTE DE 5V	287
APÊNDICE Q – CONTROLE DO SISTEMA DE CORTE	288
APÊNDICE R – DESENHO	290
APÊNDICE S – DESENHOS TÉCNICOS	292
S.1 Chassi	292
S.2 Caixa de redução	297
S.3 Sistema de Corte e Ajuste	299
S.4 Carroceria	303
S.5 Caixa Traseira da Carroceria	309
S.6 CADs dos componentes eletrônicos	311
APÊNDICE T – JUSTIFICATIVAS E CÁLCULOS DO SISTEMA DE CORTE E AJUSTE	316
T.1 Justificativa das Escolhas do Sistema de Corte e Ajuste	316
T.1.0.1 Regulagem de Altura do Corte	316
T.1.0.2 Fixação do Motor de Passo	317
T.1.0.3 Guias Lineares	318
T.1.0.3.1 Fixação das Guias Lineares	319
T.1.0.4 Lâmina de Corte	319
T.1.0.4.1 Quantidade de Lâminas	320
T.1.0.5 Dimensionamento de Molas	322
T.1.0.5.1 Cálculo da Constante Elástica	322
T.1.0.5.2 Dimensões das Molas	325
T.1.0.6 Simulação Estática do Deck e Validação das Guias Lineares	327
T.1.0.6.1 Condições das Simulações	327
T.1.0.6.2 Malha	330
T.1.0.6.3 Resultados	332
T.1.0.7 Simulação Dinâmica - Análise Modal	335
T.1.0.7.1 Malha e Condições de Contorno da Simulação Modal	335
T.1.0.7.2 Resultados	336
APÊNDICE U – MEMÓRIA DE CÁLCULOS DA SOLUÇÃO ENERGÉTICA	344
U.1 Características das baterias	344
U.2 Dimensionamento do Carregador	346
U.2.1 Fonte de Tensão	346
U.2.2 Transformador	346
U.2.3 Retificador	346

U.2.4	Filtração	347
U.2.5	Regulador de Tensão e Corrente	348
U.3	Dimensionamento dos motores de locomoção	348
U.4	Dimensionamento dos motores de corte	352
APÊNDICE V – ATA DE REUNIÕES GERAIS		355
V.1	Reunião 01: 24/07/2021	355
V.2	Reunião 02: 29/07/2021	355
V.3	Reunião 03: 31/07/2021	356
V.4	Reunião 04: 02/08/2021	356
V.5	Reunião 05: 06/08/2021	357
V.6	Reunião 06: 13/08/2021	358
V.7	Reunião 07: 20/08/2021	359
V.8	Reunião 08: 27/08/2021	359
V.9	Reunião 09: 03/09/2021	360
V.10	Reunião 10: 10/09/2021	360
V.11	Reunião 11: 17/09/2021	360
V.12	Reunião 12: 24/09/2021	361
V.13	Reunião 13: 01/10/2021	361
V.14	Reunião 14: 08/10/2021	362
V.15	Reunião 15: 15/10/2021	362
V.16	Reunião 16: 22/10/2021	362
APÊNDICE W – AVALIAÇÃO DOS INTEGRANTES		364
APÊNDICE X – MANUAIS		372
X.1	Manual de Fabricação	372
X.2	Manual de Montagem	412
X.3	Manual do Usuário	460

Parte I

Introdução

1 Introdução

Esse capítulo tem por objetivo apresentar uma visão geral da problematização, da justificativa e dos objetivos gerais e específicos do presente projeto.

1.1 Problematização

As áreas verdes são vistas cada vez mais como elementos indispensáveis aos centros urbanos, seja por conta de suas funcionalidades relacionadas ao equilíbrio do meio ambiente e do clima, seja por conta da função social que elas podem exercer dentro das cidades ao possibilitarem a criação de ambientes de recreação e lazer aos cidadãos locais, o que coopera para a qualidade de vida dos cidadãos ([PINA, 2011](#)). Mas para que possam oferecer o máximo de benefícios, essas áreas precisam receber manutenção constante, com podas das árvores e das plantas, bem como cortes frequentes da grama, segundo a frequência e altura exigida para cada espécie de grama, a fim de evitar acúmulo de entulhos e o surgimento de pragas ([AREASVERDESDASCIDADES, 2018](#)).

As áreas verdes são importantes para a manutenção da qualidade ambiental e visual das cidades, uma vez que assumem um papel de equilíbrio entre espaço modificado para construção de assentamento urbano e meio ambiente natural ([LIMA E AMORIM, 2006](#)). A falta de áreas verdes em um centro urbano, por exemplo, pode levar a um ambiente de desconforto térmico geral, a alterações no microclima local e a alagamentos e inundações em alguns centros urbanos brasileiros durante as chuvas de verão. Em sentido contrário, as áreas verdes auxiliam na diminuição da temperatura, uma vez que ajudam a absorver a radiação solar, evitando que toda a radiação solar que chega ao solo seja transformada em calor, e na manutenção da umidade do solo, haja vista seu potencial para absorver as águas da chuva e armazená-las nos aquíferos ([BONAFE, 2021](#)).

Quando se trata de gramado em si, esse coopera, ainda, para a nutrição do solo, a prevenção de erosão e a absorção da água da chuva por parte do solo, cooperando para a manutenção dos aquíferos e, assim, diminuindo a probabilidade de falta de água potável disponível para o consumo humano dentro dos ambientes urbanos ([OLSEN, 2021](#)). Além disso, há ainda o benefício da prevenção de alagamentos e inundações causados por chuvas de verão ([OLSEN, 2021](#)).

Mas, para se obter os benefícios proporcionados pelas áreas gramadas, é preciso realizar uma manutenção constante e adequada da grama, de forma a manter a paisagem com um visual esteticamente agradável, a evitar acúmulo de entulho e lixo entre porções de vegetação densa e, por fim, a prevenir o desenvolvimento de pragas nas áreas de vegetação

urbanas (STEINER C., 2013).

A manutenção dos espaços gramados urbanos, atualmente, é realizada, em sua maioria, com a utilização de cortadores de grama motorizados com motores a combustão ou elétricos. Os tipos de máquinas mais comuns no mercado brasileiro correspondem a roçadeiras, aparadores e cortadores de grama, além de tratores cortadores de grama (CARDOSO, 2019). Todos esses equipamentos são operados pessoalmente pelos usuários, o que pode levar à ocorrência de acidentes tanto em relação aos seus operadores (ROSSO, 2020), quanto em relação a pessoas que passem pelo local de corte da grama (CMA, 2019).

A maioria dos trabalhadores brasileiros que executa esse tipo de atividade utiliza cortadores de grama motorizados que potencializam o risco de lesões e doenças ocupacionais (GOVSP, 2008).

Ademais, existe o custo associado aos cortadores de grama que exigem um operador para funcionar. Quanto maior a área de corte ou o número de equipamentos de corte de grama a serem operados, maior a demanda de pessoal, aumentando o custo do serviço e o tempo de trabalho.

Por outro lado, terrenos com gramado exigem cuidados especiais em relação à manutenção adequada à espécie de grama cultivada (AMP, 2021). Assim, para cada espécie de grama, há um tipo de manutenção mais indicado para a boa saúde da grama no longo prazo (ver a Tabela 107, apresentada no Apêndice E). Algumas espécies de grama, por exemplo, exigem uma poda de 3 cm de altura, outras, de 5 cm, outras ainda, de 8 cm, para que elas possam manter seu crescimento normalmente após o corte, do contrário, podem secar e morrer ou, no melhor dos casos, voltar a crescer na direção errada, formando "tufos" de grama no meio do gramado (ITOGRASS, 2021).

Nesse sentido, a manutenção e permanência de um gramado bem tratado exige a escolha de uma máquina ideal para o corte, que considere fatores como o tipo de grama, suas características, incluindo a altura da poda, a topografia do terreno e o tamanho da área (KENNEDY, 2019), além dos custos de operacionalização do equipamento.

Diversas empresas já perceberam os problemas acima citados relacionados à manutenção de gramados e trataram de olhar para eles como uma oportunidade de negócio. No mercado brasileiro, por exemplo, já são ofertados, desde 2018, cortadores de grama autônomos que não necessitam ser operados manualmente, nem exigem um operador com presença constante na área de trabalho (BEMPARANÁ, 2018), o que ajuda a prevenir acidentes e coopera para a diminuição de custos de manutenção de áreas verdes gramadas. Além disso, os cortadores autônomos ofertados no mercado nacional possuem sistema de regulagem de altura de corte, permitindo que se escolha a altura ideal de poda conforme a espécie de grama podada e coopera para a manutenção da saúde da grama no longo prazo. Entretanto, as ofertas de cortadores de grama no mercado brasileiro ainda são compostas

por produtos importados, sem desenvolvimento ou produção nacional, e restringem-se a apenas duas empresas (ver Análise SWOT no Apêndice 142).

Com a intenção de minimizar os riscos e problemas enfrentados na manutenção de áreas gramadas, o Smart Grass, um robô cortador de grama automatizado, está sendo projetado para ser extremamente simples de utilizar e oferecer total praticidade durante o processo de aparar a grama de grandes áreas, sejam elas de instituições públicas ou privadas. Não funcionará a base de gasolina e nem precisará de fios para alimentação elétrica durante o período de operação do cortador, uma vez que ele possuirá um sistema de armazenamento da energia a ser utilizada durante seu funcionamento. Ele também possuirá sistema para desviar de obstáculos, poderá atuar em alguns terrenos íngremes, realizar manobras de forma automatizada e permitirá ao usuário a escolha da altura de corte da grama em função das espécies de grama inseridas em seu banco de dados. Sendo um produto automatizado e independente de operador, cooperará para reduzir o risco de acidentes durante seu uso e para a diminuição de custos de corte de grama, além de não emitir gases tóxicos e ser capaz de cortar longas faixas de grama em um menor período de tempo.

1.2 Justificativa

Diante do contexto apresentado na Problemática do presente projeto, o produto aqui proposto, um cortador de grama automatizado, justifica-se não somente pelo fato de poder auxiliar instituições públicas e privadas na manutenção de seu gramado sem incorrerem no mesmo nível de risco de acidentes dos cortadores de grama que precisam ser operados pessoalmente pelo usuário, ou pelo fato de possibilitar uma manutenção da grama com um menor custo ao longo do tempo, mas, também, pelo fato de ser o primeiro cortador de grama automatizado desenvolvido nacionalmente.

Existem inúmeros modelos de cortadores de grama automatizados, inclusive guiados por GPS, no mercado nacional, como os cortadores da empresa Husqvarna e da fabricante Karcher (ver Análise SWOT no Apêndice 142). Mas, todos os modelos são importados, o que lhes confere um alto custo. Nesse sentido, a ideia por trás do desenvolvimento de cortador de grama automatizado tem por base não apenas seus benefícios para o usuário final, mas também a possibilidade de inserção, no mercado nacional, de um cortador de grama de menor custo, desenvolvido e fabricado no Brasil, o que também pode gerar benefícios econômicos e sociais para o país ao abrir as portas para a geração de emprego e renda nacionalmente. Muitas objeções podem ser feitas a essa última justificativa. Entretanto, o fato é que a simples tentativa de se desenvolver tecnologia nacional já aponta para novas possibilidades dentro do contexto econômico e social nacionais.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo deste projeto consiste em projetar e desenvolver um aparelho cortador de grama de nome Smart Grass, cuja principal função consistirá em aparar grama em gramados de instituições públicas e privadas com um mínimo de intervenção humana.

1.3.2 Objetivos Específicos

Os objetivos gerais deste projeto deverão ser alcançados por meio da realização dos seguintes objetivos específicos, os quais serão destrinchados em pacotes de trabalho e entregas periódicas de atividades no momento oportuno. Os objetivos específicos, então, consistirão em:

- Desenvolver um cortador de grama automatizado;
- Desenvolver um sistema de sensoriamento e controle capaz de dar autonomia ao cortador;
- Desenvolver uma estrutura com carroceria e chassi compactos, impermeáveis e resistentes;
- Desenvolver um sistema de corte com regulagem da altura de corte e escolha da frequência semanal de corte por parte do usuário;
- Desenvolver aplicativo para controle e monitoramento do cortador pelo usuário;
- Desenvolver um sistema de mapeamento da área e das rotas de corte de forma autônoma pelo cortador;
- Integrar os dados oriundos do sistema de sensoriamento;
- Desenvolver um sistema de baixo consumo energético, mas com autonomia suficiente para a realização de um ciclo de trabalho
- Assegurar que o ruído sonoro emitido pelo cortador de grama Smart Grass seja igual ou inferior ao sugerido pela legislação.

Parte II

Soluções

2 Soluções propostas

O time está encarregado da execução do projeto, montando, conforme planejado, relatórios técnicos incluindo:

- Dados de Engenharia
- Projeto de Fabricação
- Projeto de Montagem
- Revisão de Projeto
- Simulação
- Pesquisa de possíveis fornecedores
- Relatório de Pesquisa Técnica

2.1 Soluções em Eletrônica

O projeto eletrônico foi separado em etapas, adotando-se uma combinação das metodologias *top-down* e *bottom-up* (PMI, 2017). A primeira etapa consiste na definição dos objetivos e das funções executadas pelo circuito. O principal resultado dessa primeira etapa é a arquitetura da solução e a compreensão geral do projeto. A etapa seguinte constitui-se na separação do projeto em sub-blocos de funcionalidades específicas e a validação de cada um por meio de simulações, programação lógica, e cálculos de projeto. A última etapa então é a integração dos sub-blocos para formação do projeto completo e validado. A partir dessa metodologia de desenvolvimento, foi construída a estrutura analítica do projeto no âmbito de eletrônica destacada no Apêndice I.

2.1.1 Arquitetura da solução

Com base nos requisitos gerais do produto final e nos iniciais de eletrônica, descritos no segundo capítulo desse trabalho, foi criado o esquemático do sistema eletroeletrônico, Figura 1, com o objetivo de se desenvolver uma visão geral do produto final. O esquemático montado apresenta os circuitos e sensores planejados para o cumprimento do protótipo, assim como o sistema de alimentação a ser desenvolvido. Esse planejamento inicial é imprescindível para definição do escopo e das necessidades de processamento do projeto.

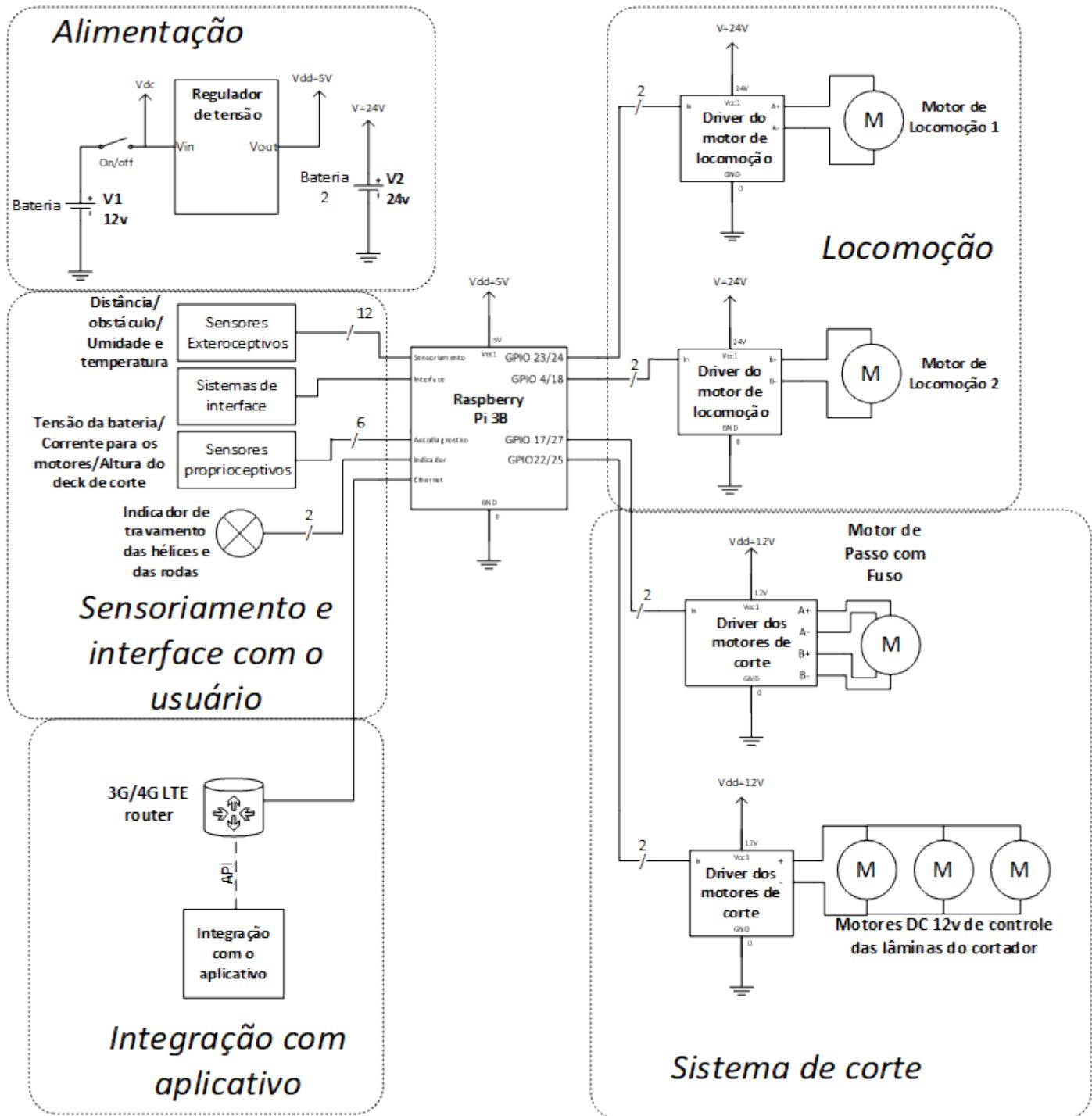


Figura 1 – Arquitetura geral do projeto eletroeletrônico.

2.1.1.1 Visão geral dos blocos de trabalho

O passo seguinte foi a identificação dos sub-blocos de trabalho. Como demonstra a figura 1, foram identificadas cinco funções principais que definem as partes da segunda etapa do projeto: sistema de regulagem da alimentação; sistemas de sensoramento e interface com o usuário; controle de locomoção; controle do sistema de corte; integração com o aplicativo. Essa identificação de subsistemas é uma forma de desenvolvimento,

incluída na metodologia *top-down*, conhecida como "dividir para conquistar"(GROVE, 2020), consiste em dividir o problema em partes menores para facilitar a solução, sem, no entanto, ignorar a integração entre todos os subsistemas.

Com relação ao sistema de regulagem da alimentação, foi desenvolvida uma fonte de tensão de 5V a partir da aplicação de um regulador sobre a tensão da bateria principal. Essa fonte de tensão é responsável pela alimentação de componentes e também representa o nível alto nos circuitos digitais utilizados. O projeto do circuito de alimentação inclui, ainda, um botão liga/desliga retentivo do tipo SPST (*Single-Pole Single Throw*, do inglês, um polo e uma posição)(Figura 1).

Como descrito na Figura 1, A locomoção do cortador será feita a partir de um circuito *driver*, responsável por fornecer a corrente necessária ao motor. Esse circuito *driver* deve receber do controlador dois sinais diferentes: o primeiro, um sinal do tipo lógico-digital, 1 ou 0, para indicar o sentido de rotação de cada motor; e o segundo, um sinal PWM (Pulse Width Modulation) para determinar a velocidade do giro do eixo de cada motor. Uma vez que a manobrabilidade da estrutura depende de um controle independente dos motores em cada lado da estrutura, o controlador enviará sinais independentes para cada circuito *driver*.

Na sequência, o sistema de corte, como pode ser visto na Figura 1, constitui-se de: um circuito *driver* e um motor de passo, responsáveis pela altura do suporte das hélices; além de um segundo *driver* para controle dos três motores que realizam o movimento das lâminas de corte. Na configuração descrita, o controle de altura de corte é feito por um motor de passo, cujo eixo tem forma de parafuso. Esse componente permite determinar a posição do *deck* de corte com base no número de passos do motor. Já para o controle dos motores de movimento das hélices, o objetivo é controlar a velocidade, a parada e o início do movimento a depender da atuação dos demais sensores do sistema.

Como na Figura 1, o sistema de sensoriamento é responsável por duas grandes funções: o diagnóstico exteroceptivo, que detecta situações externas ao robô em si; e diagnóstico proprioceptivo, responsável por monitorar as condições de funcionamento do próprio sistema. Entre as funções dos sensores exteroceptivos está a detecção de obstáculos, medida de distância percorrida, e detecção de temperatura e umidade do solo. Já sob a responsabilidade dos sensores proprioceptivos está o auto diagnóstico de grandezas, como: a corrente fornecida aos motores, a tensão da bateria e a altura do *deck* de corte. A partir dessas informações é possível o controle preciso dos componentes mecânicos da estrutura.

Outro aspecto envolvendo os sensores é a interação com o usuário. Nesse ponto foi planejado um sistema de tela com menu simples para controle local do usuário. As opções entregues ao usuário envolvem a escolha da altura de corte da grama, a seleção do modo de recarga, e a opção de desligamento. Outros indicadores também foram selecionados

para indicar ao usuário condições como: travamento das hélices de corte, nível baixo de bateria e impossibilidade de movimento do robô.

Finalmente, a integração com o aplicativo foi pensada de modo a facilitar a adaptação do usuário com o uso do cortador durante a rotina diária. O aplicativo apresentará notificações de mal funcionamento ou travamento do sistema de corte e locomoção, informações sobre o nível da bateria, além de informar dados sensoriais, como: temperatura e umidade, e ainda possibilitar o acompanhamento do robô em funcionamento.

2.1.2 Locomoção

O sistema de locomoção utilizado no projeto do cortador de grama é de tração diferencial, isto é, a locomoção será feita por dois motores independentes ligados às duas rodas traseiras. Esse sistema, movimento por tração diferencial, consiste em dois motores com movimento independente; duas rodas, nas quais os motores são conectados para gerar a tração necessária ao movimento da estrutura; e rodas livres na parte frontal, para viabilizar o movimento das rodas traseiras. A partir dessa definição, foram selecionados os motores, desenvolvidos os circuitos de controle e programada a lógica de controle descritos nesta seção.

2.1.2.1 Definição dos componentes

O sistema de locomoção, descrito na Figura 1, inclui dois motores DC e circuitos *drivers* independentes para manobrabilidade do robô. Visando alcançar os parâmetros de rotação e de torque definidos pela equipe de estruturas na Seção 2.3.1, foram escolhidos os motores DC modelo XD60D94-12Y-50S da fabricante shanrya. O motor possui torque nominal de 10 $kgf.cm$ e rotação de 8500 rpm com carga. Essas definições viabilizam o desenvolvimento de um sistema de redução, feito pela equipe de estruturas na seção 2.3.1.1, para fornecer o torque final necessário para movimentar o cortador de grama em terrenos com inclinação de até 35°. Baseando-se nessas características dos motores e nas especificações dos demais dispositivos cortadores de grama automatizados disponíveis no mercado, estimou-se a velocidade para variar entre 0,5 e 1 m/s (ver Análise SWOT no Apêndice E).

2.1.2.2 Circuito *driver* de controle dos motores

2.1.2.2.1 Escolha da forma de desenvolvimento do circuito *driver*

Uma vez definidos os componentes, buscou-se soluções para os respectivos circuitos de controle, responsáveis pela direção e velocidade do cortador. Foram consideradas duas opções: construir o próprio circuito com base nas especificações do motor escolhido, ou comprar o circuito *driver* comercial, *off the shelf*. Em ambos os casos, o circuito deve ser

capaz de realizar o controle de velocidade por sinal PWM, identificar sobrecarga, possuir capacidade de condução de pelo menos 15A de corrente e tensão de alimentação de 24V, para satisfazer as especificações de potência do motor selecionado e ser compatível com o projeto.

Nesse sentido, para comparação, foi selecionado o circuito ponte H comercial modelo BTS7960B da fabricante *NovalithIC*. Esse módulo ponte H possui capacidade de corrente de até 43A e tensão de alimentação podendo variar entre 5 e 45V, especificações suficientes para o correto funcionamento dos motores. Além disso, o módulo ponte H trabalha com o controle de velocidade por meio de sinais com modulação PWM, o que o torna compatível com a forma de controle adotada no cortador de grama. Porém, cada módulo controla apenas um dos motores, por isso é necessária a compra de dois componentes BTS7960B, cujo preço unitário é de R\$94,10.

Além dos critérios mínimos mencionados, que devem ser atendidos por ambas as soluções propostas, a escolha da solução para o projeto foi feita com base na comparação dos seguintes aspectos: os custos de ambas as soluções; complexidade de desenvolvimento, caso em que o critério utilizado foi buscar a solução com maior aplicação dos processos de desenvolvimento da área de engenharia eletrônica; e disponibilidade de informações sobre aspectos práticos do funcionamento do circuito. Com base nesses critérios foi montada a matriz de decisão mostrada na Tabela 1. Na matriz de decisão apresentada, cada aspecto recebeu um peso entre 1 e 5, com relação a cada solução proposta. A soma dos pesos indica a melhor solução com base nos critérios analisados.

Especificamente dentro do contexto da disciplina de projeto integrador 2, foi dada a preferência para o projeto com maior complexidade de implementação para valorizar a aplicação de conhecimentos específicos da engenharia eletrônica. Observou-se, ainda, que o custo de desenvolvimento do circuito específico do projeto é menor que a metade do custo da compra de dois módulos *Driver Ponte H* BTS7960B, por isso, a solução escolhida foi o projeto e desenvolvimento do circuito pela equipe de eletrônica. Apesar disso, qualquer das soluções propostas pode ser usada na montagem do sistema de locomoção.

Tabela 1 – Matriz de decisão sobre o circuito *driver* dos motores de locomoção

	Complexidade de implementação	Disponibilidade resultados práticos	Custo	
Descrição	Considerou-se a solução com maior aproveitamento na área de engenharia eletrônica	Considerou-se a disponibilidade de datasheet ou de resultados de testes práticos	Considerou-se o custo de cada opção	
Opções levantadas	Complexidade de implementação	Quantidade de threads no canal	Custo	TOTAL
Projeto e construção do circuito driver	5	2	5	12
Driver comercial ponte H BTS7960B	1	5	3	9

2.1.2.2.2 Projeto e montagem do circuito *driver* de controle dos motores

Assim, o circuito *driver* projetado está descrito na Figura 2. Esse sistema foi primeiramente simulado no software *Proteus Professional v8* e posteriormente montado com a ferramenta *Altium Designer v17*. No esquemático mostrado, foram construídas duas pontes H com transistores de potência modelo IRF3205, escolhidos devido à sua corrente de dreno e capacidade de fornecer potência ao motor. Diodos modelo BAS40-04 também foram incluídos para proteção do circuito contra surtos de corrente devidos aos enrolamentos do motor.

Nesse circuito, apenas dois sinais são transmitidos entre a Raspberry Pi e a ponte H: direção do giro do eixo do respectivo motor e a velocidade desse mesmo movimento. A direção do movimento de giro do eixo do motor depende dos transistores acionados. Assim, a direção do giro de cada roda é controlado pela Raspberry Pi por um sinal digital que terá nível lógico negado por uma porta NAND com ambas as entradas conectadas entre si, formando uma configuração equivalente a uma porta NOR. O sinal transmitido e o negado, então, são aplicados a transistores em lados opostos da ponte H, essa configuração permite o controle de direção com apenas um sinal de controle e evita curtos durante o acionamento do circuito.

No esquemático da Figura 2, o sinal de controle da direção é conectado ao circuito integrado UDN2982A, que funciona como um *high-side driver* para o sinal de controle da

ponte H. Com esse circuito é possível acionar os transistores que formam a ponte H com tensão superior à de limiar, evitando-se assim um aquecimento maior dos transistores se estivessem trabalhando na região linear. Por fim, foi utilizada uma porta NAND com as entradas conectadas, funcionando com lógica NOR, para gerar o segundo bit de controle sempre oposto ao recebido da Raspberry Pi. O mesmo circuito é replicado para o segundo motor, que compartilha com o primeiro motor apenas o circuito integrado UDN2982A.

Já o controle de velocidade, foi construído um circuito controlado por PWM que liga a ponte à referência terra do circuito. Esse circuito responsável pelo controle da velocidade é composto por um optoacoplador, que recebe o sinal PWM em 3,3 V e controla a porta do transistor IRF3205, cujo terminal fonte está ligado ao terra. Dessa forma, o tempo em que a ponte H está ativada depende do duty-cycle do sinal PWM recebido, realizando-se assim o controle de velocidade, possibilitando aceleração e parada.

Uma vez construído o esquemático (Figura 2) e testado o circuito, foi desenvolvido o *layout* da placa de circuito impresso para o circuito *driver* dos motores de locomoção através do software *Altium Designer v17* (Figura 3). A placa de circuito impresso (PCB) projetada para ambos os motores está apresentada na Figura 3, e foi desenvolvida sobre o substrato FR4, constituído de fibra de vidro, com constante dielétrica relativa, ϵ_r , igual a 4,2 e tangente de perdas, θ_{perdas} igual a 0,022 (ABNT, 2016). Esse material é comumente utilizado em circuitos operando em até 1GHz e foi escolhido para evitar perdas dielétricas e obter integridade dos sinais PWM na PCB durante o funcionamento do sistema. A placa foi desenvolvida com dimensões 63,5 mm de largura e 142,24 mm de comprimento, com furos para fixação por parafuso padrão M3 em cada extremidade.

A placa gerada seguiu as especificações da norma NBR IEC 62326-1, que estipula requisitos físicos básicos para aprovação de desempenho de circuitos impressos (ABNT, 2016). Tendo isso em vista, buscou-se evitar angulações de 90° para as trilhas roteadas, além disso as trilhas foram definidas com base na capacidade de corrente de projeto, foi aplicada uma largura de 0,36 mm para cada Ampére de corrente que deve atravessar a trilha. Também foram observados os padrões da norma IPC 6011 relativos à fabricação, projeto, inspeção e testes da placa, considerando a classificação do projeto como classe 2 pela norma (IPC, 1996), como descreve a tabela 79. Outras vistas do layout são destacadas no Apêndice O.

O projeto completo desse circuito *driver* teve um custo de R\$87,77. Esse valor envolve a compra de componentes e a fabricação da placa final pela empresa *JLC PCB*, e foi contabilizado nos custos de projeto descritos no Apêndice A. A Tabela 2 descreve os componentes utilizados e o orçamento previsto.

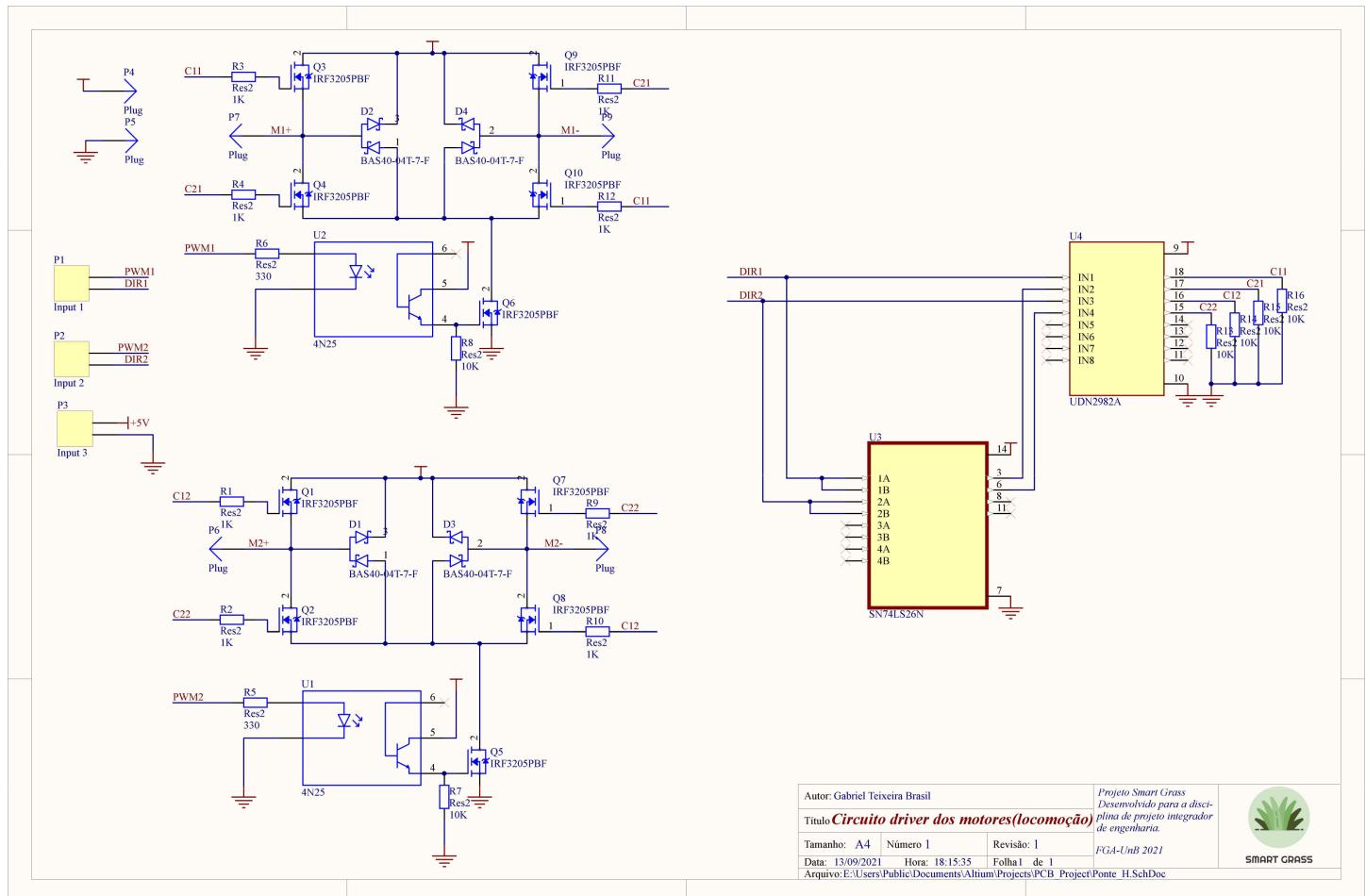


Figura 2 – Circuito driver projetado para os motores DC de locomoção.

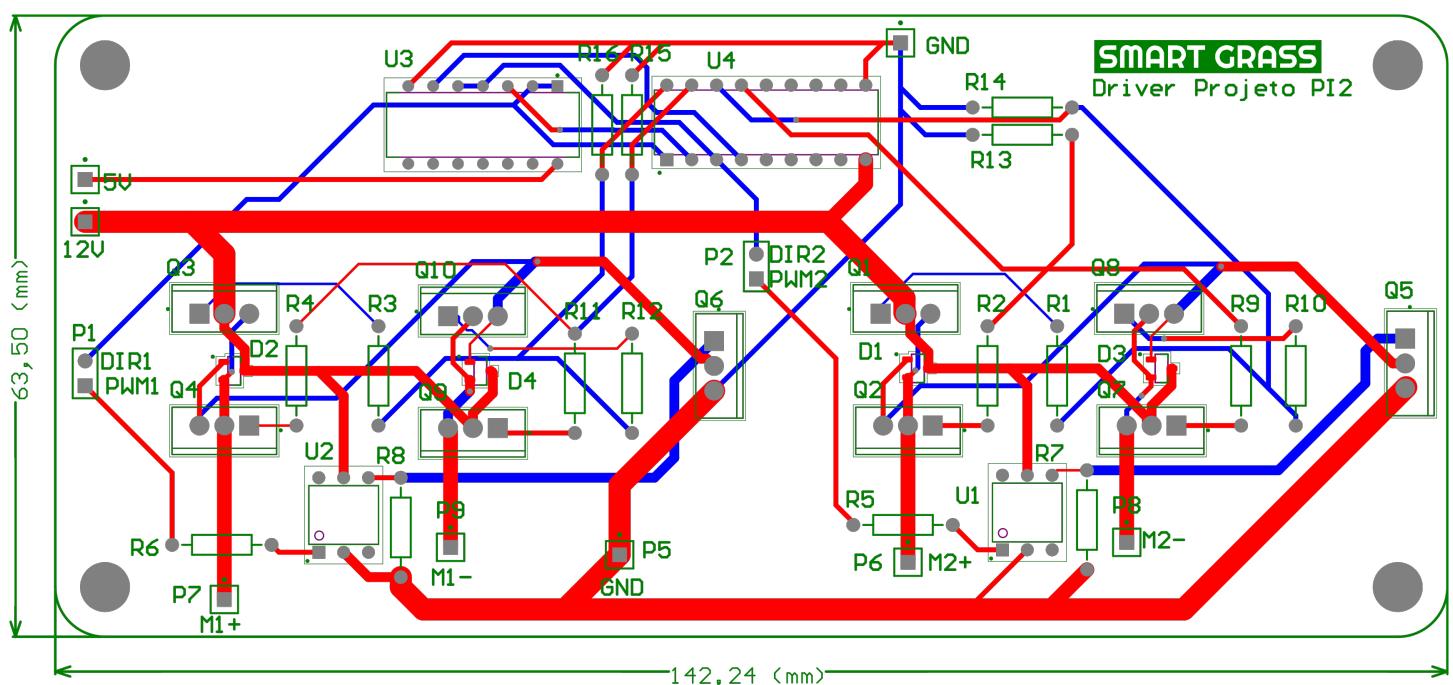
Figura 3 – Layout do circuito *driver* construído.

Tabela 2 – Componentes e custos para fabricação da placa de controle dos motores de locomoção.

Componente	Potência	Fabricante	Preço unitário	Quantidade
Transistores IRF3205PBF	200W	Infineon	R\$ 0,75	10
Diodo BAS40-04T-7-F	150mW	Diodes	R\$ 2,58	4
Pinos de conexão			R\$ 0,77	1
Circuito integrado SN74LS26N		Texas Instruments	R\$ 5,94	1
Optoacoplador 4N25	150mW	Vishay Semiconductors	R\$ 2,84	2
High side driver UDN2982A		Allegro MicroSystems	R\$ 3,52	1
Resistor MBA02040C1001F-C100	400mW	Vishay	R\$ 0,74	16
Impressão da placa PCB duas camadas e área de 10000mm ²		JLC PCB	R\$ 38,19	1 pacote de 5 placas

2.1.2.3 Modelo matemático de movimentação do cortador

Um modelo matemático é uma representação simplificada de um sistema físico. Nesse projeto, essa abordagem foi utilizada para o desenvolvimento do sistema de controle do movimento do cortador de grama.

Para auxiliar o desenvolvimento do modelo matemático, foi construída a representação gráfica do sistema mostrada na Figura 4. A imagem apresenta as variáveis consideradas no projeto do sistema de controle, entre elas, as variáveis de entrada do sistema são: $\omega_{esquerda}$ e $\omega_{direita}$, que indicam a velocidade angular de rotação, em radiano por segundo, das rodas traseiras esquerda e direita, respectivamente. Com base nessas duas variáveis de entrada, o cortador é movimentado para qualquer ponto (x,y) e orientação, Θ_{dir} , no referencial global, definido pela posição inicial do robô cortador, assim, a posição e a orientação do cortador são as variáveis de saída do sistema de controle. Já as constantes L , distância entre as rodas do robô, e R , raio das rodas traseiras do cortador, devem ser medidas em metros e são grandezas conhecidas descritas na seção 2.3.

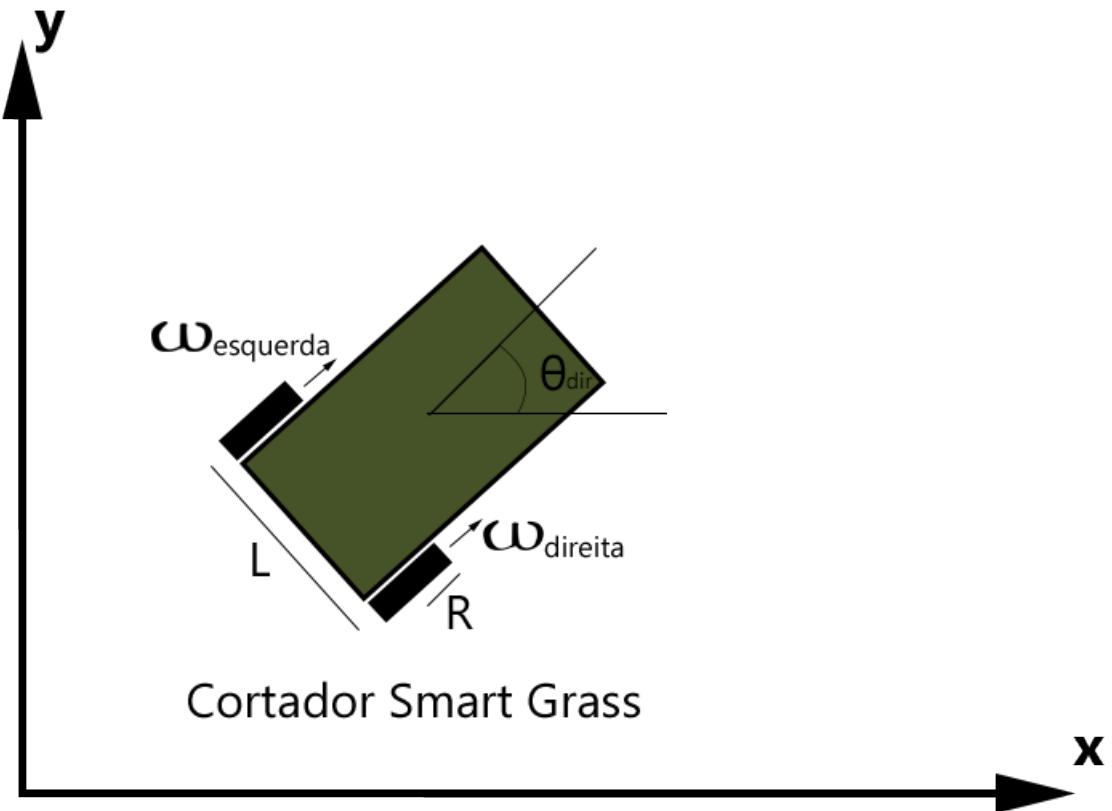


Figura 4 – Modelo de locomoção.

Nesse sistema, a velocidade linear do robô é definida pela frequência de rotação dos motores, $\omega_{esquerda}$ e $\omega_{direita}$, em radianos por segundo, e pelo tamanho do raio do conjunto roda-pneu traseiro (R). Dessa forma, a velocidade linear é dada pelo produto da rotação média e o tamanho do comprimento das rodas traseiras, como demonstra a Equação 2.1 (SPONG; HUTCHINSON; VIDYASAGAR, 2008), onde v_l é a velocidade linear do centro de massa do cortador em movimento.

$$v_l = R \times \frac{\omega_{esquerda} + \omega_{direita}}{2} [m/s] \quad (2.1)$$

Uma vez que esse modelo tem duas dimensões, tem-se que a velocidade linear definida na Equação 2.1 pode ser decomposta na direção de cada eixo. Assim, considerando-se a orientação do robô cortador, Θ_{dir} , as componentes de velocidade horizontal (\dot{x}) e vertical (\dot{y}) são dadas pelo produto entre a velocidade linear do centro de massa do robô e, respectivamente, o cosseno e o seno do ângulo de orientação da estrutura. As Equações 2.2 e 2.3, abaixo, resumem esses resultados e possibilitam o controle da posição do cortador para qualquer ponto (x,y) com referência à posição inicial do robô (DUDEK; JENKIN, 2010).

$$\dot{x} = v_l \times \cos \Theta_{dir} = \left(R \times \frac{\omega_{esquerda} + \omega_{direita}}{2} \right) \times \cos \Theta_{dir} [m/s] \quad (2.2)$$

$$\dot{y} = v_l \times \sin \Theta_{dir} = \left(R \times \frac{\omega_{esquerda} + \omega_{direita}}{2} \right) \times \sin \Theta_{dir} [m/s] \quad (2.3)$$

Já o controle da direção da estrutura do cortador é feito através do cálculo da frequência de rotação do centro de massa do cortador de grama. Diferentemente da velocidade linear, a variação da orientação do robô, $\dot{\Theta}_{dir}$ é proporcional à diferença da velocidade de rotação entre ambas as rodas traseiras e inversamente proporcional à largura (L) da estrutura. Essa variável do modelo é dada pela equação 2.4 (DUDEK; JENKIN, 2010), abaixo.

$$\dot{\Theta}_{dir} = R \times \left(\frac{\omega_{direita} - \omega_{esquerda}}{L} \right) [rad/s] \quad (2.4)$$

A partir das relações mostradas até este ponto, é possível descrever a velocidade angular de rotação das rodas direita e esquerda do robô em função das velocidades linear e angular do centro de massa da estrutura do cortador. As Equações 2.5 e 2.6 (DUDEK; JENKIN, 2010) representam essa relação entre a rotação dos motores e as velocidades linear e angular do robô, e foram utilizadas no programa em *python* desenvolvido para o controle dos motores em integração com o módulo embarcado desenvolvido pela equipe de software, como descreve a Seção 2.1.2.4, em seguida.

$$\omega_{direita} = \frac{2v_l + \dot{\Theta}_{dir}L}{2R} [rad/s] \quad (2.5)$$

$$\omega_{esquerda} = \frac{2v_l - \dot{\Theta}_{dir}L}{2R} [rad/s] \quad (2.6)$$

2.1.2.4 Lógica de programação para controle dos motores

O controle dos motores será feito em conjunto com a equipe de software através de módulos, programados pelas equipes de eletrônica e software, que comunicam o estado das rodas entre si utilizando o framework ROS (Robot Operating System). Do ponto de vista de software, será desenvolvido um módulo de processamento embarcado responsável pela aplicação das rotinas de localização e movimentação do cortador (ver seção 2.4.2). Calculada a posição futura do cortador, o módulo desenvolvido em eletrônica é acionado para o controle dos motores.

A Figura 5 apresenta de forma simplificada a atuação de cada um dos módulos de eletrônica e software para controle da locomoção. Nesse diagrama, o sensor de rotações do motor, *encoder*, é o meio adotado para o controle eletrônico, pois permite monitorar a distância percorrida por cada roda, a cada novo comando recebido do módulo de processamento embarcado, e assim identificar a nova posição do cortador. Nesse sistema, a posição e a velocidade do cortador são ratificadas pelo módulo embarcado desenvolvido pela equipe de *software* por meio das informações fornecidas pelo conjunto de sensores de medida inercial e pelo GPS. Além disso, o módulo programado pela equipe de eletrônica

deve indicar o travamento das rodas enviando um sinal de alarme à solução da equipe de software. Essas comunicações entre módulos são feitas através do protocolo de comunicação XMLRPC, esse protocolo é baseado em HTTP e é definido no framework ROS entre um *Publisher*, programa que publica a informação em um tópico, e um *Subscriber*, módulo que lê a informação no tópico(KOUBAA, 2017).

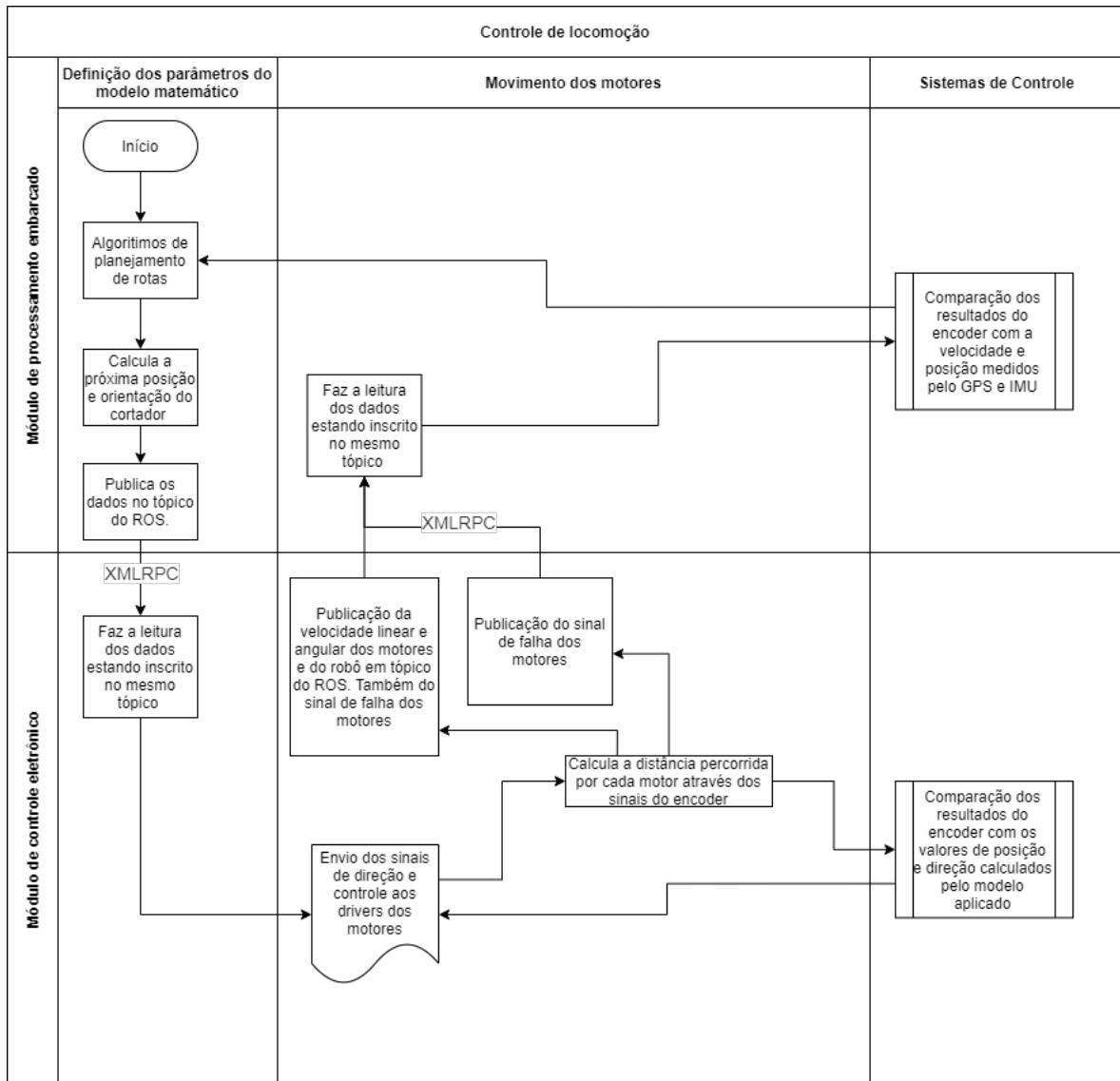


Figura 5 – Esquemático da lógica de controle do sistema de locomoção.

2.1.3 Sistema de Alimentação

O sistema de alimentação foi projetado em conjunto com a equipe de energia para fornecer a potência necessária ao funcionamento dos demais subsistemas. O sistema de alimentação será composto, além dos componentes descritos na seção 2.2.1, por placas de distribuição e circuitos reguladores de tensão desenvolvidos pela equipe de eletrônica.

2.1.3.1 Projeto do sistemas de regulagem de tensão

O circuito de regulagem de tensão foi pensado para se obter a tensão de cinco volts necessária para a alimentação da Raspberry Pi e do roteador celular. A topologia de circuito desenvolvida, mostrada na Figura 6, inclui o regulador ajustável LM350, que possui corrente de até três amperes de saída. Também foram incluídos diodos de proteção na entrada do circuito, para evitar que a conexão da bateria na posição errada danifique o projeto. Já o transistor darlington TIP127 foi utilizado para ampliar a capacidade de corrente da fonte projetada.

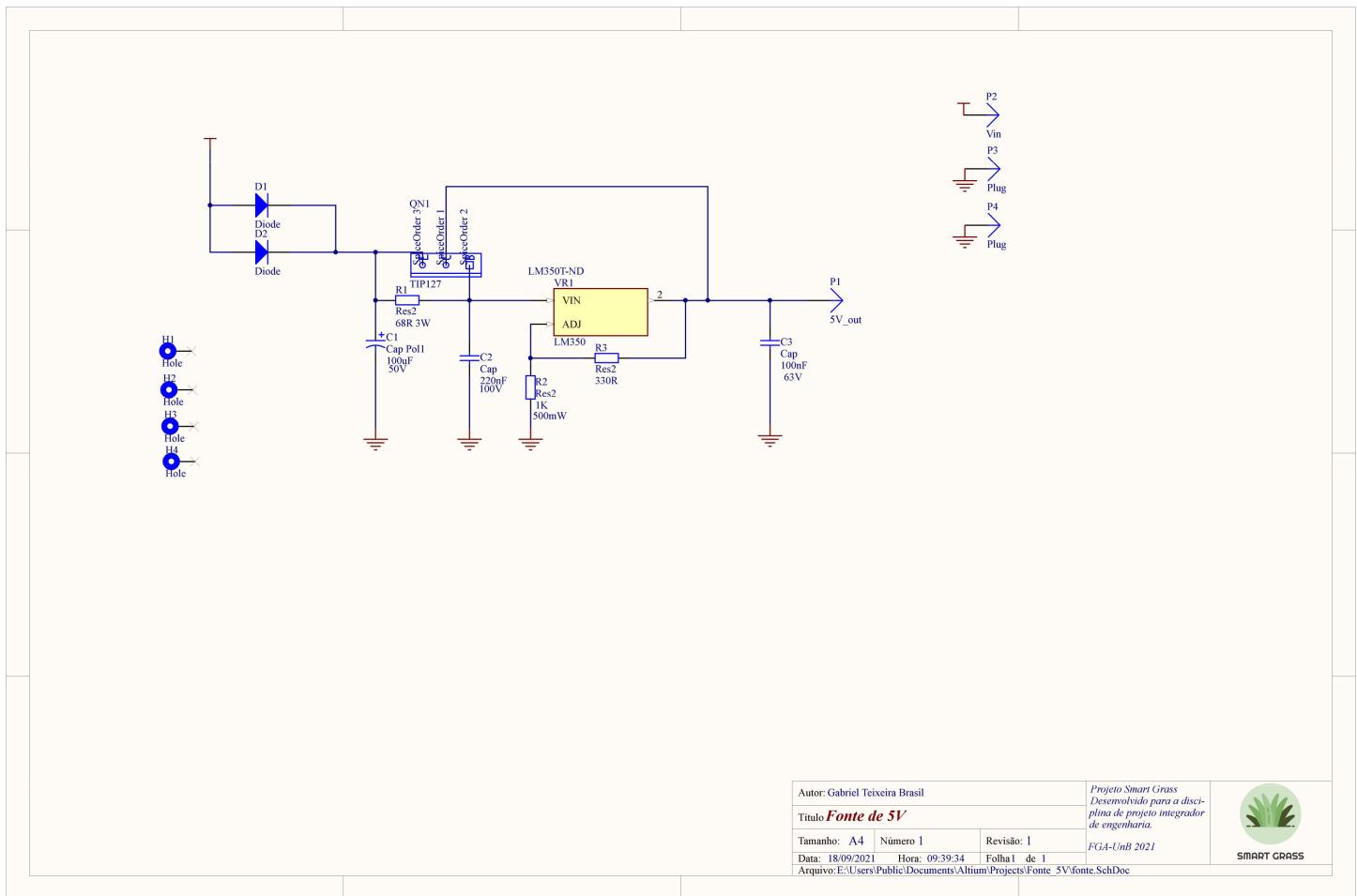


Figura 6 – Circuito da fonte de 5V.

Uma vez projetada a topologia do circuito da fonte, foi montado também o layout do projeto mostrado na Figura 7. A Placa foi montada com apenas uma face sobre substrato de fibra de vidro. A placa segue os padrões de projeto, testes, fabricação e documentação da norma IPC-6011 para circuitos classe 2 (IPC, 1996) e também foi preparada para encaixe na estrutura por furos padrão M3 nas extremidades. As dimensões da placa foram: 73,66 mm de comprimento e 48,26 mm de altura, como mostra a Figura 7. As demais vistas da placa desenhada se encontram no Apêndice P.

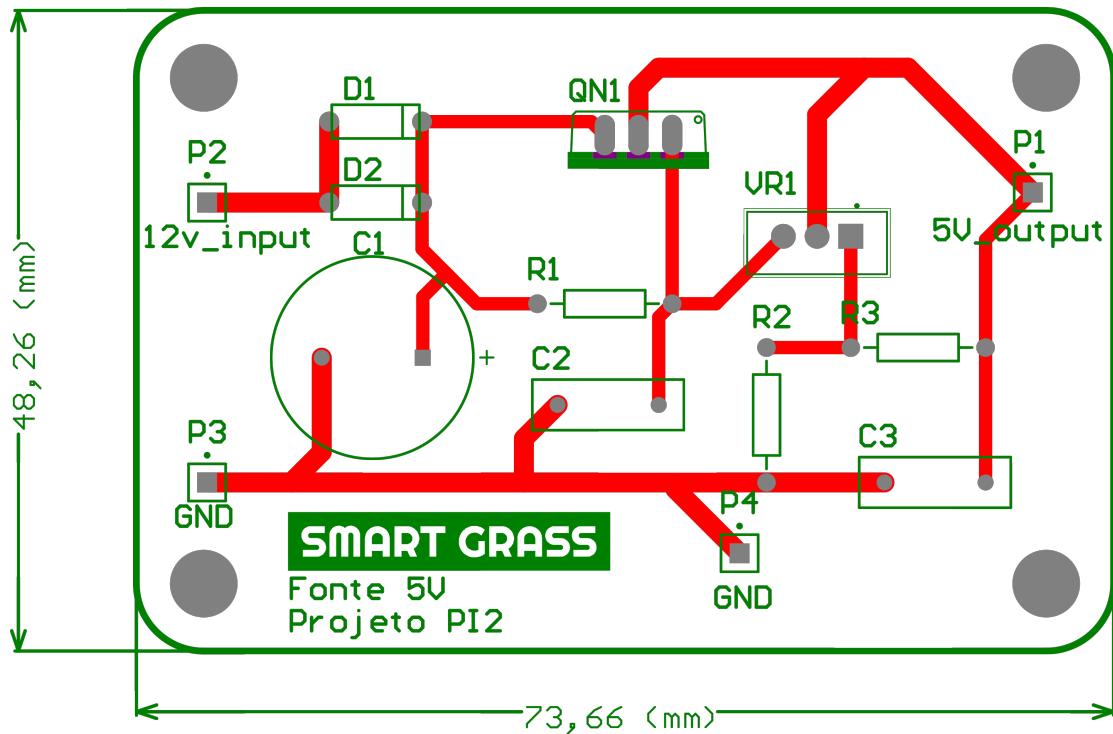


Figura 7 – Layout da placa de circuito impresso da fonte de 5V.

Foi levantado ainda o custo de impressão da placa projetada para a fonte de 5 volts, que resultou em R\$37,71. A Tabela 3 descreve os componentes utilizados e o custo de cada um. Além disso o custo de desenvolvimento da placa foi contabilizado no Apêndice A deste trabalho.

Tabela 3 – Componentes do circuito de regulagem da tensão da bateria

Componente	Fabricante	Preço unitário	Quantidade
Capacitor eletrolítico	United Chemi-Com	R\$ 0,73	1
Capacitor cerâmico	KEMET	R\$ 0,36	2
Pinos de conexão	(HuInfinito)	R\$ 0,77	10
Diode	Texas Instruments	R\$ 0,50	2
Transistor TIP127	STMicroelectronics	R\$ 0,66	1
High side driver UDN2982A	Allegro MicroSystems	R\$ 3,52	1
Resistor	Vishay	R\$ 0,74	5
Resistor 68O hms	Ohmite	R\$ 1,70	1
Regulador de tensão LM350	TI National Semiconductor	R\$ 2,96	1
Impressão da placa PCB com uma face	JLC PCB	R\$ 15,02	1

2.1.4 Controle do sistema de corte da grama

O controle do sistema de corte será separado em 3 partes:

- Controle da altura das lâminas.

Para melhoria do sistema de corte definido anteriormente, foi necessário, por questão de segurança, incluir três molas no atuador linear para diminuir a carga e evitar que o motor suportasse sozinho todo o peso do suporte de hélices, ver seção T.1.0.5. No entanto, esse atuador tem como característica no *datasheet* que a velocidade de movimento varia em relação à carga, após a inclusão das molas e levando em consideração o tempo hábil de desenvolvimento do trabalho, essa adição tornaria inviável a utilização de um controle PID (Proportional-integral-derivative).

Para solucionar essa questão, foi considerado utilizar apenas controle proporcional, mas esse tipo de controle continuaria gerando um erro associado, que é a diferença entre o valor medido da variável controlada com o valor desejado. Após análise das opções existentes no mercado, o atuador linear foi substituído por um motor de passo com fuso, essa mudança mostrou ser uma opção mais precisa e mais barata para o controle de altura do sistema de corte.

O motor de passo NEMA 17 17HS4401 foi escolhido para garantir precisão e estabilidade para o controle de altura da plataforma de lâminas. O motor de passo

é controlado por um *driver* conectado a *Raspberry Pi*, que por sua vez usa a linguagem de programação *Python* para controlar o motor usando uma biblioteca de código aberto. O uso do fuso acoplado ao motor de passo transforma um movimento rotativo em um movimento linear, para garantir que a precisão do movimento desejado aconteça. Essa junção torna o uso do sensor ultrassônico Hc-sr04, citado no ponto de controle anterior, desnecessário para o controle da altura das lâminas.

As conexões eletrônicas e a *interface* de comunicação entre o motor de passo e a *Raspberry Pi* são fornecidas, com ênfase nos fundamentos do motor de passo. A biblioteca permite o controle dos parâmetros específicos do *driver* DRV8825, divididos para orientar o usuário sobre como a variação de cada parâmetro afeta o comportamento do motor, explorando características simples como a direção de passo (sentido horário e anti-horário) e o incremento de passo (passo completo, meio passo) para especificar a velocidade e a precisão do movimento do motor. Abaixo o circuito do sistema de controle:

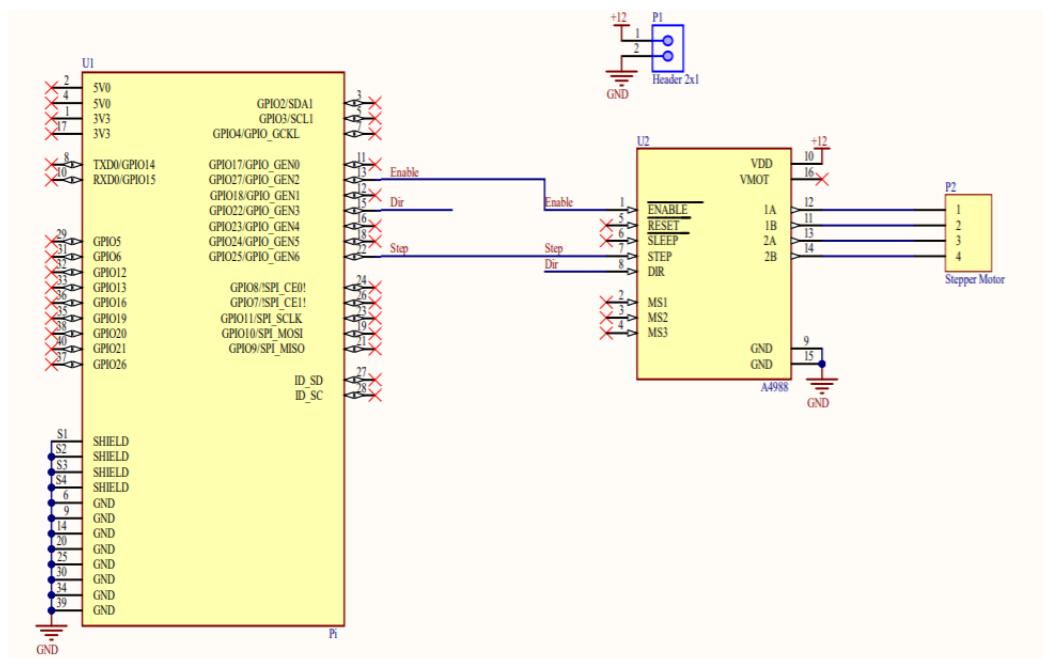


Figura 8 – Circuito do sistema de controle da altura do deck de corte.

O sistema de controle do motor de passo por *Raspberry Pi* envolve o *driver* DRV8825 que possui pinagens DIR, STEP, EN, VCC e GND, e o terminal de alimentação ligado a uma fonte de alimentação de 12V 2A. O sistema de regulagem tem no aplicativo uma possibilidade de escolha de altura de corte que vai variar de 1 em 1 cm partindo de 2cm até 6cm.

- #### • Controle da Velocidade das Lâminas

O controle da velocidade das lâminas foi construído utilizando uma saída PWM(Pulse-Width Modulation), para permitir o controle da energia fornecida as lâminas, da Raspberry Pi conectada ao motor.

Para controle da velocidade foram utilizadas 3 velocidades, onde o modo silencioso será (33% da velocidade nominal do motor), o modo normal será (66% da velocidade nominal do motor) e o modo turbo será (100% da velocidade nominal do motor).

- Controle de parada das lâminas

Por se tratar de um sistema de segurança, para evitar possíveis acidentes foi utilizado apenas um sensor para agir sobre o sistema de frenagem. Caso algo enrosque nas lâminas, um sensor de corrente ACS758 poderá detectar um aumento repentino e assim desativar a corrente dos motores.

2.1.5 Integração com aplicativo

Do ponto de vista do sistema embarcado, a comunicação com o aplicativo depende da conexão da placa Raspberry Pi com a internet. Além disso, não é possível garantir a existência de uma rede wi-fi estável, pois o produto encontra aplicação em ambientes institucionais de médio porte. Com isso em vista, foram definidas duas opções para transmissão de dados do cortador ao aplicativo e vice-versa: o primeiro baseado no sistema GSM e o segundo dependente de um roteador do tipo celular. A matriz de decisão disposta na Tabela 4 apresenta as principais características de cada sistema. Esse método foi utilizado para justificar a escolha do sistema de comunicação via rede SIM(*Subscriber Identification Module*) com uso de um roteador celular.

Entre os critérios de comparação utilizados para escolha do sistema de comunicação, a geração do protocolo é importante, pois indica também o propósito para o qual o sistema é desenvolvido. Sistemas de segunda geração, como o GSM, por exemplo, são otimizados para transmissão de voz, enquanto sistemas de terceira e quarta geração oferecem mais estabilidade na transmissão de dados(HEINE, 1999).

2.1.5.1 Funcionamento do sistema de comunicação

A integração com o software, como descrito na Figura 1, é formada por um roteador celular, que acessa a rede através de cartões SIM (*Subscriber Identification Module*) e viabiliza o controle remoto das informações fornecidas pelo robô. Para isso, foi escolhido o roteador WR11 M600 da fabricante DIGI (DIGI, 2021). A escolha se deu pelo baixo consumo de potência da peça, dez watts de pico; seu tamanho compacto e baixo peso, 0,22 kg; e disponibilidade de duas portas mini-SIM para sistema de redundância.

Uma vez instalado, a conexão é definida através de uma APN (*Access Point Name*) pública fornecida pela operadora de escolha do usuário, esse parâmetro é o nome do

Tabela 4 – Matriz de decisão para o escolha do sistema de comunicação.

	Simplicidade de implementação	Estabilidade	Custo	
Descrição	Considerou-se a complexidade de implementação e a experiência prévia com o sistema.	Considerou-se a geração de cada protocolo (2G/3G/4G)	Considerou-se o custo de cada opção	
Opções levantadas	Simplicidade de implementação	Estabilidade	Custo	TOTAL
Utilizar um módulo GSM para comunicação	3	2	4	9
Utilizar um roteador celular para comunicação	4	5	3	12

gateway que permite a conexão entre redes diferentes. Em seguida a APN determina um endereço IP estático ao cortador, que pode ser definido pelo usuário. Então, é definida uma porta específica para recepção e transmissão de dados com o módulo embarcado na Raspberry Pi, e o roteador é configurado para realizar "*port forwarding*", esse processo redireciona pedidos de informações pelo IP público do cortador para o endereço e porta programada para comunicação com a Raspberry Pi. Finalmente para segurança dos dados transmitidos foi usada uma VPN para criptografia. A Figura 9 demonstra o sistema descrito e a Seção 2.4.4 descreve a implementação desse sistema trabalhada em conjunto entre as equipes de eletrônica e software.

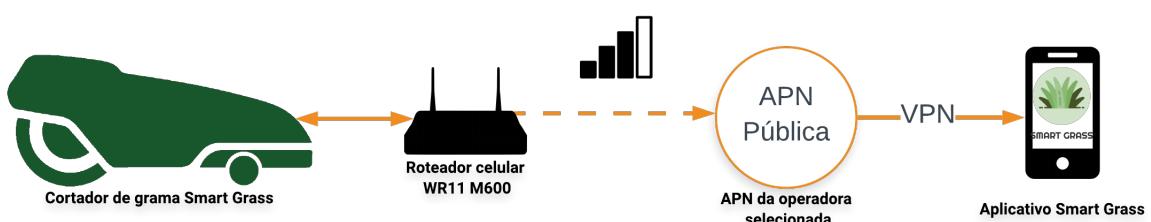


Figura 9 – Conexão entre o cortador e o aplicativo.

2.1.6 Sistemas de sensoriamento e interface

Como demonstrado na Figura 1, os sensores foram separados em exteroceptivos e proprioceptivos, com relação ao tipo de informação fornecida pelo componente, devido à necessidade de que o cortador de grama funcione de forma automatizada, monitorando tanto o ambiente externo quanto as próprias condições de funcionamento. Tendo esses requisitos em vista, foram definidos os componentes e sensores necessários, visando realizar de forma exteroceptiva: o mapeamento local, por sensor de distância infravermelho (LIDAR, light detection and ranging); a localização pelo aplicativo, por sensor GPS (Global positioning system); identificação de grama, por sensor de cor RGB; detecção de direção, feito pelo conjunto de sensores acelerômetro, magnetômetro e giroscópio que compõem o sistema de medida inercial (IMU); e detecção de temperatura e umidade, por sensor próprio. Já para aplicação proprioceptiva são elencados os seguintes componentes e funções: detecção do nível da bateria, por circuito conversor analógico digital; Detecção de corrente fornecida aos motores, por sensor amperímetro; altura do suporte do sistema de corte, por sensor ultrassônico. A Figura 10, abaixo, descreve a conexão desses componentes com a Raspberry Pi, destacando também as portas utilizadas para cada sensor e o protocolo de comunicação quando utilizado.

Cada sensor tem uma função programada em python para aquisição e conversão dos dados, essas funções estão disponíveis no repositório [Github](#), desenvolvido pela equipe de eletrônica, e serão utilizadas no desenvolvimento do módulo de controle embarcado desenvolvido no âmbito da equipe de software (Seção 2.4.2). Os dados recebidos dos sensores selecionados, detalhados na Tabela 5, serão utilizados no controle do cortador no algorítimo de geração de rotas. Os programas desenvolvidos para os sensores podem ser encontrados no repositório ([GITHUB, 2021c](#)).

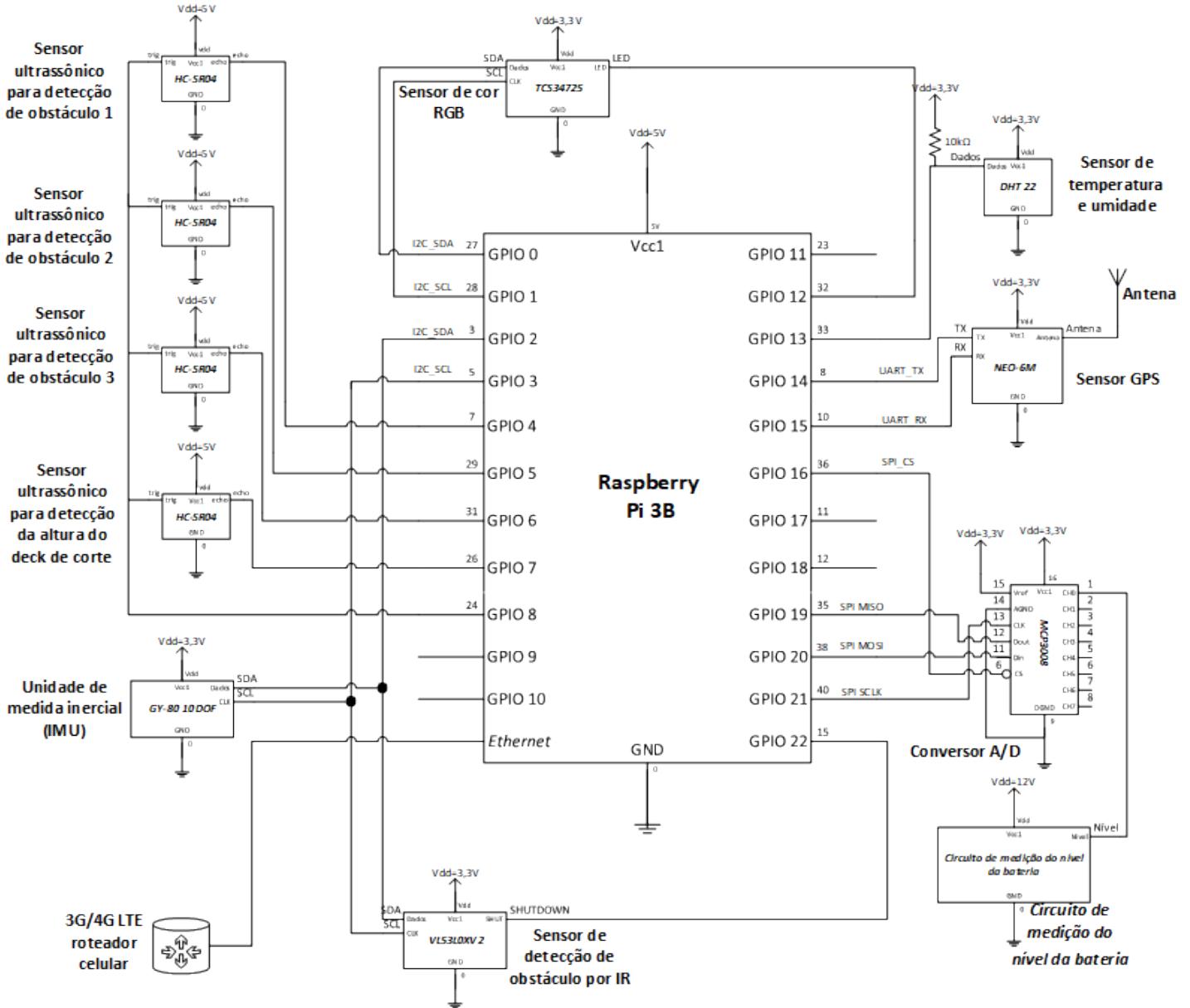


Figura 10 – Diagrama de conexão dos sensores levantados.

2.1.7 Integração entre os subsistemas de controle

Finalmente, a última etapa de projeto consiste na integração das partes do projeto, uma vez validadas individualmente. Dado que cada subsistema eletrônico descrito anteriormente depende de um sistema de controle executado na Raspberry Pi, e que todos os programas ao serem construídos de forma modular, podem ser simulados individualmente, foi escolhido o *framework* ROS (Robotic Operation System) para a integração entre os subsistemas de eletrônica e software que dependem de comunicação assíncrona e bidirecional.

Esse sistema é um *framework* de desenvolvimento de software para robótica, que viabiliza a construção e simulação de aspectos de propósito geral do projeto de um robô

Tabela 5 – Descrição dos sensores utilizados.

Equipamento	Loja/Fabricante	Quantidade
Raspberry Pi 3 Model B+ Anatel	FilipeFlop	1
Roteador celular	DIGI	1
Sensor Ultra-sônico Hc-sr04	Cytron technologies	4
Módulo GPS NEO-6M Com Antena	ublox	1
Sensor de Umidade e Temperatura/ DHT11	AoSong	1
Sensor RGB	Texas advanced optoelectronic solutions	1
Sensor de distância por infravermelho VL53L0XV2	ST life augmented	1
Amperímetro integrado	Allegro microsystems	3
Unidade de medida inercial (IMU) GY-80 10 DOF	InvenSense	1

(QUIGLEY; GERKEY; SMART, 2015), assim como a integração de diferentes partes com funções específicas de um robô. Além de *open source*, esse sistema foi criado com a proposta de oferecer grande modularidade. Para isso, o sistema trabalha com os seguintes elementos: "nós", programas executáveis; "tópicos", meio de troca de mensagens entre os nós; e "serviços", requisições de ações ou dados entre os nós (KOUBAA, 2017). A Seção 2.4.3.1.1 detalha, ainda, as opções de comunicação estudadas e o processo de escolha do framework ROS para comunicação com o sistema embarcado desenvolvido pela equipe de software, já a Seção 2.4.4.5 apresenta diagramas de integração entre as áreas de eletrônica e software, sobre os quais se baseou o desenvolvimento do projeto.

Diante disso, simulações dos subsistemas de sensoriamento e locomoção foram desenvolvidas, em colaboração com a equipe de software, no programa Gazebo, que possui integração nativa com o sistema ROS. As simulações desenvolvidas visam por a prova os algorítimos criados para o sistema de locomoção e detecção de obstáculos. A simulação está disponível no repositório da equipe no [Github](#) (GITHUB, 2021c). Para o funcionamento correto das simulações, é necessária a instalação do *framework ROS Noetic*, além disso, devem ser seguidas as instruções detalhadas no arquivo "Readme.md".

2.2 Soluções em Energia

2.2.1 Sistema de alimentação

O sistema de alimentação do projeto foi feito levando em consideração que a autonomia do cortador deve ser de aproximadamente uma hora e trinta minutos. O dimensionamento do sistema leva em consideração o tempo de uso para cada equipamento, sendo definidos as classificações dos componentes como ([DENTON, 2004](#)):

- Uso contínuo: em poucos momentos é desativado, o mais comum é que fique ativo durante todo o funcionamento;
- Uso prolongado: usado durante a maior parte do tempo, mas existem casos de interrupção durante o funcionamento;
- Uso intermitente: só é usado em períodos específicos e permanece desligado a maior parte do tempo.

A Tabela 6 mostra o consumo energético de cada componente eletrônico, assim como o consumo total do sistema, os componentes definidos como "outros" são componentes que possuem baixa corrente de operação e podem ser desconsiderados nos cálculos.

Tabela 6 – Tabela do consumo dos componentes eletrônicos.

Classificação	Componente	Quantidade	Potência total (W)
Prolongado	Motor DC RS555	3	35
Contínuo	Motor Locomoção	2	480
Intermitente	Motor de Passo	1	1,2
Contínuo	Raspberry Pi 3	1	12,5
Contínuo	Roteador Celular	1	6
Contínuo	Outros componentes	-	1
	Total	-	535,7

Para o fornecimento de energia aos componentes, foi analisado que a melhor forma de alimentação é por meio de baterias, visto que o cortador de grama é automático e autônomo, rondando grandes áreas. Nesse contexto, uma fonte de alimentação contínua, conectada ao cortador por meio de cabos, enquanto o sistema funciona se tornaria inviável. Para a escolha da bateria ([MARLON, 2020](#)), foram considerados alguns critérios:

- Consumo do sistema;

- Composição da bateria;
- Tensão de operação dos componentes.

A capacidade da bateria é o fator principal para sua escolha. Como mostrado na Tabela 6, o sistema como um todo requer 535,7 Watts e, assim, foi estipulada uma bateria com capacidade de fornecimento de potência de 180Wh (Watts por hora) para a demanda de energia à todos os componentes e aos motores de corte e de passo, os cálculos para dimensionamento do motor de corte estão mostrados no Apêndice U.4. Para os motores de locomoção, foi escolhida outra bateria de 24V e 720Wh (Watts por hora) devido ao melhor rendimento deles com essa tensão, os cálculos de dimensionamento destes motores estão mostrados no Apêndice U.3. Com isso, é possível calcular o tempo de autonomia do sistema, sendo considerado a bateria de 24V para cálculos pois ela controlará um sistema que estará sempre em estado contínuo, então $t = 720\text{Wh}/480\text{W}$, resultando em uma autonomia de aproximadamente 1 hora e 30 minutos.

A composição da bateria é um fator importante para seu dimensionamento, a Figura 11 apresenta uma representação gráfica da densidade de potência em função da densidade de energia, a nível de célula, das principais tecnologias de baterias disponíveis comercialmente. Como se pode observar, a bateria do tipo chumbo-ácido aponta densidade de energia inferior a todas as outras tecnologias (30 Wh/kg) e, destacando-se sobre as demais tecnologias, a que apresenta maior densidade de energia (170 Wh/kg) é a bateria de lítio, bem como elevada densidade de potência.

Na Tabela Periódica, o lítio é o terceiro elemento mais leve, possui um alto potencial eletroquímico e pequeno raio iônico, características que possibilitam à bateria de lítio-íon apresentar elevada densidade de energia e potência. Além disso, em razão de suas características internas, possibilita recarga rápida, apresenta elevado desempenho em aplicação cíclica, baixa auto descarga, elevada eficiência de recarga (cerca de 95 por cento) e elevada vida útil (ARANHA, 2018).

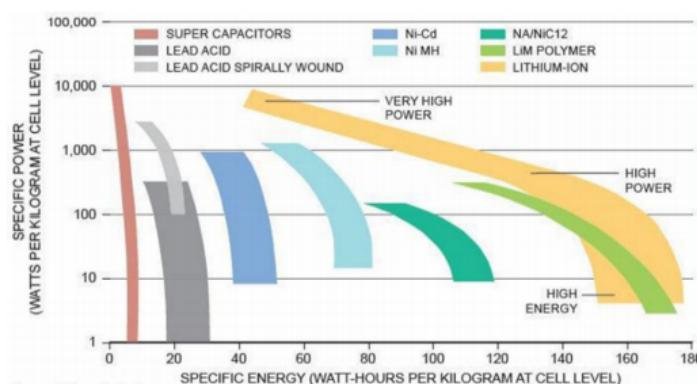


Figura 11 – Densidades de energia e potências para várias tecnologias de bateria.

Sendo assim, foi escolhida a bateria de lítio-íon recarregável *Aegis Battery 12V 15Ah*, da marca *Aegis*, com dimensões de comprimento, largura e altura iguais a 120 mm, 70 mm, 70 mm respectivamente, e com peso de 1,05 kg para os componentes eletrônicos e motores de passo e de corte, e foi escolhida a bateria , da mesma marca, com dimensões de comprimento, largura e altura iguais a 150 mm, 230 mm, 70 mm e com peso de 4,40 kg. As baterias possuem mais de mil ciclos de vida e conta com um sistema de proteção BMS (*battery management system*), que será detalhado melhor no tópico seguinte.

Os componentes que necessitam de uma tensão menor para a sua operação serão regulados pelo regulador de tensão desenvolvido pelo grupo de eletrônica 6

2.2.1.1 BMS

O BMS (*Battery Management System*) é um sistema eletrônico embarcado que, no caso desse projeto, acompanha a bateria, estando dentro da sua carcaça e integrado às células. Nesse sistema existe um microcontrolador que se comunica com o circuito integrado (CI) que é dedicado ao controle do estado da carga da bateria, tanto quanto sua descarga (ARANHA, 2018). O BMS tem sua importância para as baterias de íons de lítio pois as células desse tipo de bateria trabalham individualmente e em diferentes tensões quando estão sendo carregadas, e sua função é controlar individualmente cada célula de forma que caso ocorra sobrecarga ou diminuição de carga, o BMS desconectará o circuito da bateria, além de manter sempre as células equalizadas no quesito tensão para evitar sobretensão e sobreaquecimento (VILLALVA, 2021).

Embora as baterias de lítio apresentam diversas vantagens, suas células demandam padrões rígidos de operação, seja na recarga ou descarga. As baterias de lítio-íon são frágeis e requerem um circuito de proteção contra curto-circuito, sobretensão, descarga profunda e temperatura de operação, como o BMS. Por isso, foi escolhida uma bateria já com esse sistema embutido.

2.2.2 Módulo Carregador

Para realizar a recarga da bateria foi projetado um carregador que será conectado à rede elétrica. O carregador deve oferecer a tensão, corrente e frequência necessárias para o equipamento funcionar, atendendo a demanda energética da bateria, fundamental no sistema de energização do cortador. Sendo assim, foram elencadas as principais características da bateria que influenciam diretamente o projeto do carregador:

- Possui vida útil de até 1000 ciclos ou mais;
- Descarga profunda permitida de até 100%;
- Capacidade nominal de 30 Ah;

- Tensão de 24 V;
- Pode ser totalmente carregada antes de uma descarga total.

Para o projeto do carregador, foi criada uma fonte de alimentação com um transformador abaixador para transformar a tensão de 220 V proveniente da rede elétrica para 38 V, uma ponte de diodos retificadores para transformar a corrente alternada para corrente contínua compatível com a entrada da bateria, um capacitor para filtrar a corrente contínua e dois transistores de 5A para o aumento da corrente (RODOLFO, 2020) (KITS, 2016).

A partir da ponte de diodos, foram separados dois circuitos de carregamento, um para a bateria de 12V usando um divisor de tensão por meio de resistores para a diminuição da tensão de 38V para 30V, um regulador de tensão LM7812 para a saída de tensão em 12V e um capacitor para filtrar a corrente contínua. O outro circuito para a bateria de 24V usa um regulador de tensão LM7824 para a saída de tensão em 24V. De acordo com as especificações do fabricante, a corrente nominal de carregamento que a bateria de 12V suporta é de 5A e a bateria de 24V é de 5A igualmente. A Figura 12 apresenta os circuitos criados:

Após a conexão da fonte externa ao cortador de grama por meio de um conector IEC 320 C14, ao lado de dentro haverá um conector emenda para a separação da corrente para ambas placas de circuitos de carregamento de cada bateria.

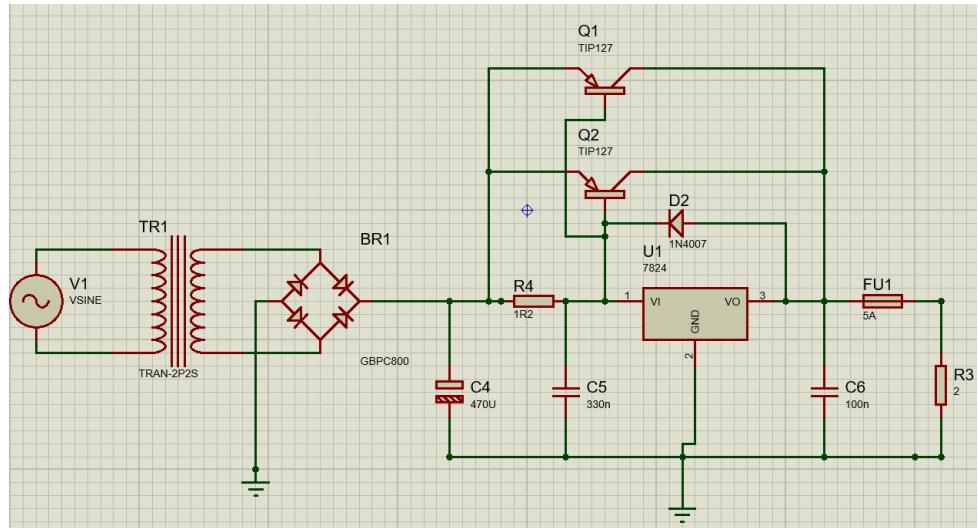
Assim, o circuito do sistema da alimentação foi elaborado para a associação dos componentes do sistema, onde tem-se os seguintes componentes conectados:

- Bateria 12 V/15 Ah e 24V/30Ah;
- Transformador 220 Vca para 38 Vca;
- Ponte Retificadora 10A;
- Reguladores de tensão e corrente LM7812 e LM7824.

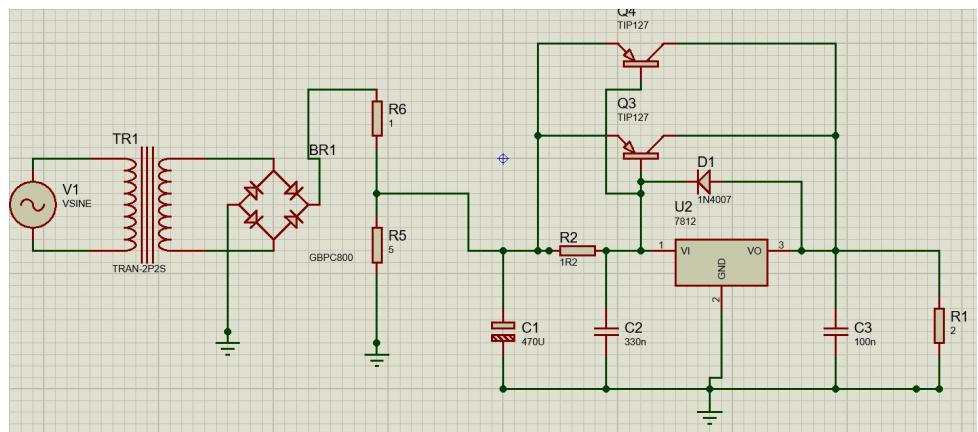
Os cálculos para dimensionamento do carregador encontram-se no Apêndice U.

2.2.2.1 Simulação da tensão e corrente fornecida pelo carregador

Para a compreensão e validação dos circuitos da fonte de carregamento foi utilizado o software Proteus para a realização de simulações do comportamento dos circuitos. A figura 13 mostra as tensões nas saídas de cada circuito de carregamento.



(a) Circuito de carregamento da bateria de 24V



(b) Circuito de carregamento da bateria de 12V.

Figura 12 – Circuitos de Carregamento.

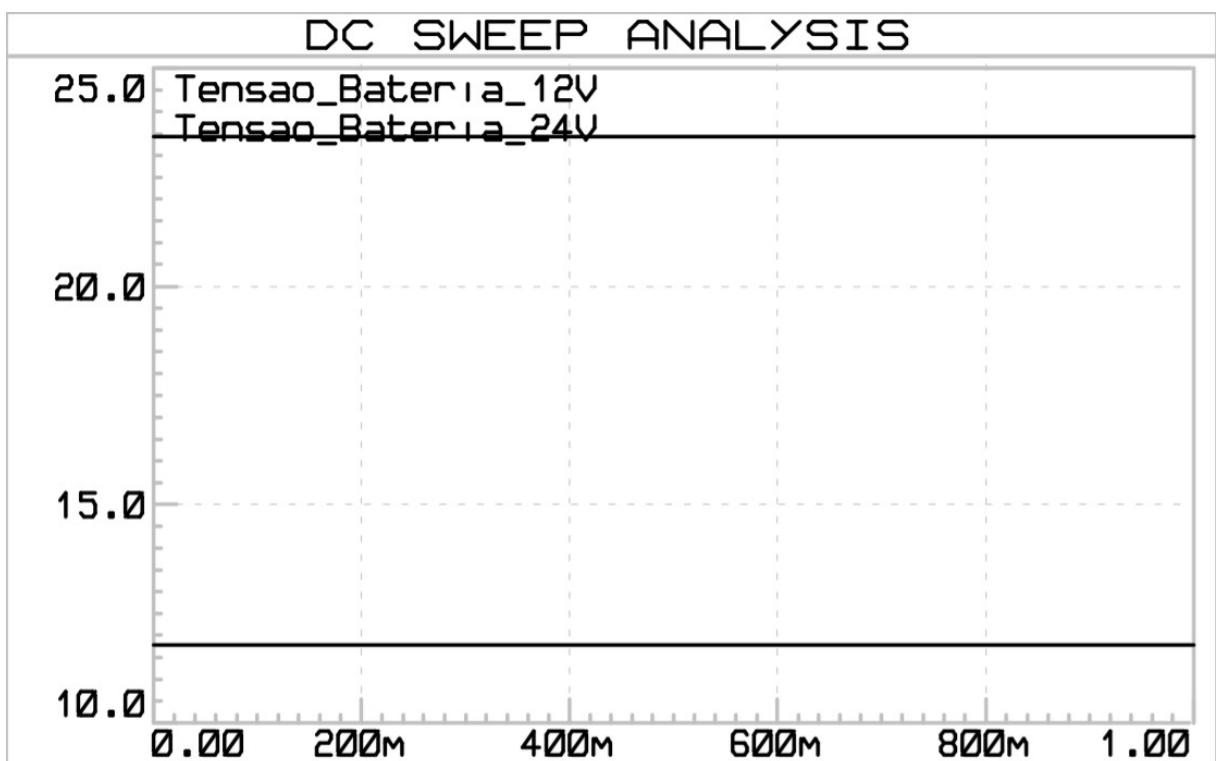


Figura 13 – Gráfico de tensões na saída do circuito.

A figura 14 mostra a corrente constante que chega à bateria de cada circuito.

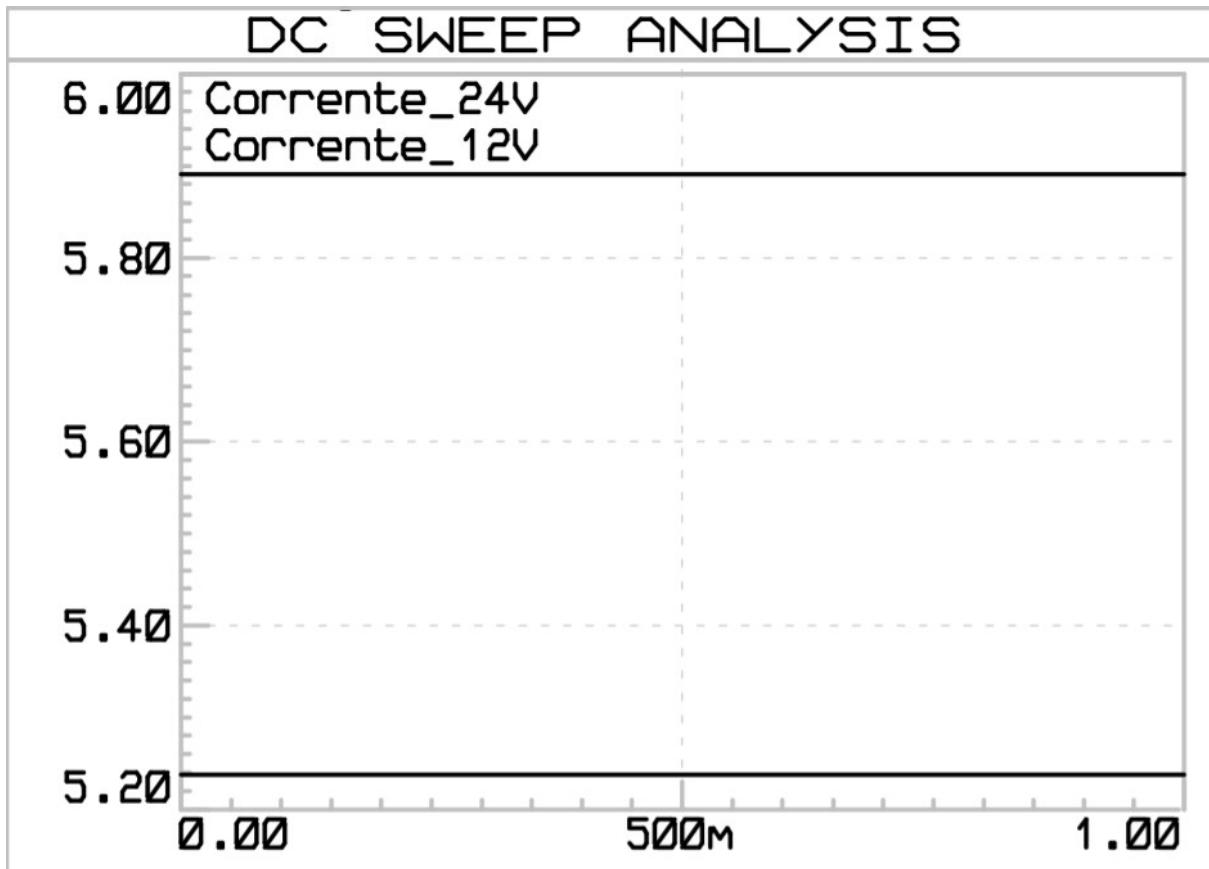


Figura 14 – Gráfico das correntes de alimentação das baterias.

2.2.3 Circuito de detecção do nível da bateria

A Raspberry necessita de uma leitura de informações relacionadas ao nível da bateria. Para essa leitura, a tensão oriunda da bateria de 12 V necessita ser reduzida para 3.3 V da entrada da Raspberry.

No circuito da Figura 15, foi utilizado um divisor de tensão, com base na equação 2.7. Onde foram escolhidos os resistores comerciais $R1$ de $132\text{ k}\Omega$, $R2 = 47\text{ k}\Omega$, já a tensão da bateria foi simulada por uma fonte ideal de tensão, disponível no software *Proteus*, com o valor $V_{entrada}$ de 12 V.

$$\frac{R2}{R2 + R1} \times V_{entrada} \quad (2.7)$$

O amplificador operacional LM358 foi utilizado como buffer analógico de impedância, de forma a reduzir a alta impedância oriunda da bateria.

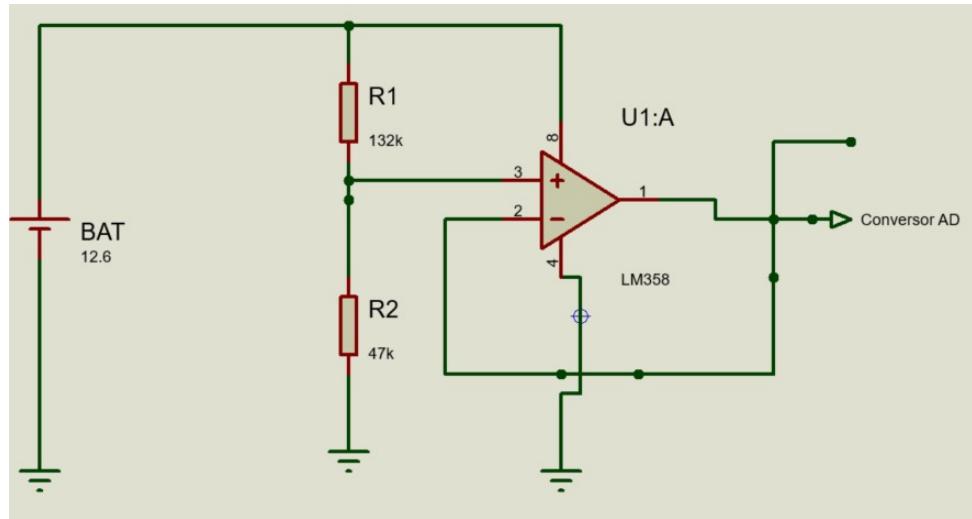
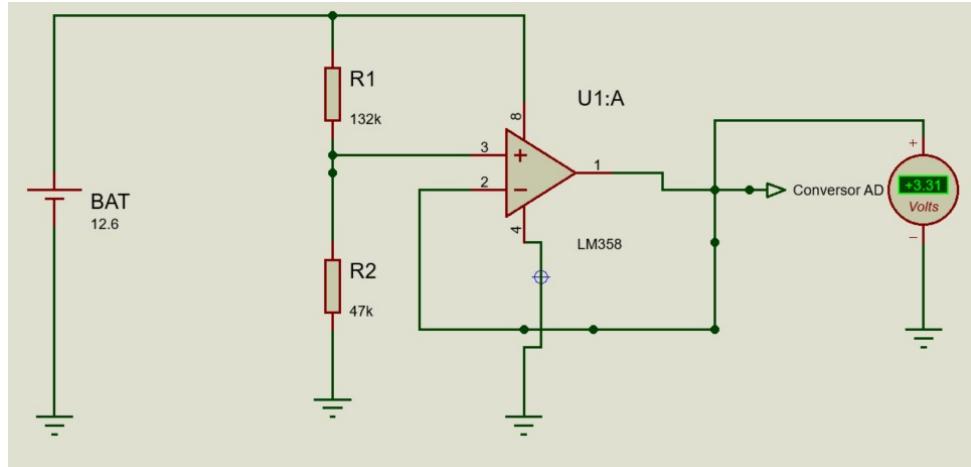


Figura 15 – Circuito detector do nível de carga da bateria.

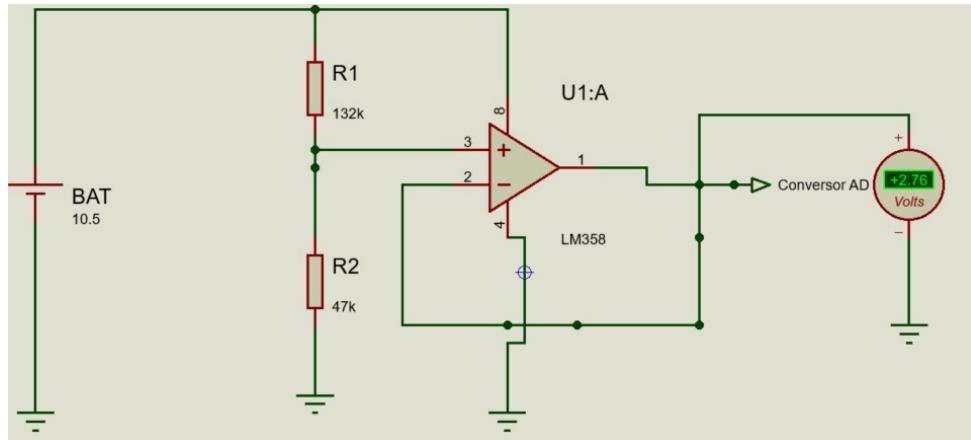
2.2.3.1 Simulação da variação de tensão do circuito de detecção do nível da bateria

O circuito de detecção de carga da bateria deve acompanhar a variação da mesma, ou seja, quando a tensão da bateria decai, a tensão de saída do circuito deve diminuir proporcionalmente, para isso, foi usado o software *Proteus* para a simulação dessa queda, usando um voltímetro digital e reduzindo a tensão da bateria.

Na Figura 16(a), é mostrada a simulação da tensão da bateria com sua carga total, e, a Figura 16(b), a tensão da bateria pela metade (10.5 V). Considerando-se que a tensão de operação da bateria pode variar desde 8.4 V a 12.6 V.



(a) Circuito de Nível com a bateria completamente carregada.



(b) Circuito de Nível com a sua carga energética pela metade.

Figura 16 – Simulação da queda de tensão.

2.2.3.1.1 Aviso para pouca carga das baterias

Para entendimento de quando deverá ser notificado no aplicativo a necessidade de carregamento, dois requisitos foram levados em consideração:

- A diferença de tensão que a bateria atua;
- O tempo que o cortador gasta para voltar de onde saiu, considerando a maior distância possível.

As duas baterias foram dimensionadas para fornecer energia elétrica constante no tempo de 1h e meia para tanto os componentes eletrônicos tanto os motores. Será utilizado como parâmetro de pouca tensão a bateria de 12V, pois é a bateria que estará interligada com a Raspberry. A tensão de operação dessa bateria é entre 12.6V e 8.4V. E, está sendo considerado uma distância máxima de 300 metros que o cortador está desde o seu ponto de início de corte.

O aviso de pouca carga para o usuário deve ser dado de forma que ainda dê tempo e eficiência para o cortador voltar para o lugar inicial, onde será possivelmente mais próximo de um ponto de carregamento, com folga também para ainda continuar fazendo seu trabalho por alguns minutos.

A velocidade linear do cortador é entre 0.5m/s e 1m/s e deverá ser considerado a pior hipótese, quando a velocidade é menor. Então, com base na equação 2.9:

$$V = \frac{d}{t} \quad (2.8)$$

$$t = \frac{300m}{0,5m/s} = 600\text{segundos} = 10\text{minutos} \quad (2.9)$$

- v é a velocidade linear;
- d é a distância percorrida;
- t é o tempo.

O cortador precisa de 10 minutos de autonomia no mínimo para retornar. Foi utilizado o valor de 30 por cento restante de tensão na bateria para dar o aviso de pouca carga. As equações abaixo 2.10 e 2.11 mostram qual é o nível de tensão e tempo de funcionamento referente à esta porcentagem:

$$\Delta V = 12,6V - 8,4V = 4,2V \rightarrow 4,2V \times 30\% = 1,26V \quad (2.10)$$

$$V_{Aviso} = 8,4V + 1,26V = 9,66V \rightarrow t = 2,5h \times 30\% = 150min \times 30\% = 45\text{minutos.} \quad (2.11)$$

A tensão reconhecida pela Raspberry para o aviso de pouca carga é de 9.66V e o tempo de duração a partir do aviso será de 45 minutos, tempo suficiente para o cortador trabalhar e retornar ao seu ponto de início.

2.2.4 Distribuição Elétrica

O diagrama unifilar da Figura 17 mostra toda a distribuição da alimentação energética do projeto. Todo o sistema foi dividido em um circuito de alimentação externo que ficará ao lado externo do cortador, e também um interno que ficará ao lado de dentro do cortador. Foi escolhido um fusível de vidro de 30 A 250 V para proteger o sistema em caso de sobretensão da corrente oriunda da rede elétrica na hora do carregamento. Está sendo

representado no diagrama a ligação entre a bateria de 12V e os sistemas que necessitam operar na tensão de 12 V , sendo representado por um barramento, e também é mostrado de que forma a bateria se conecta ao conversor para distribuir a tensão de 5 V necessitada pela raspberry para sua operação.Na parte superior do diagrama está sendo mostrado o único caminho de energia entre a bateria de 24V e o sistema de motores de locomoção. Está representado também a seção dos fios, que sua escolha será explicada na próxima seção.

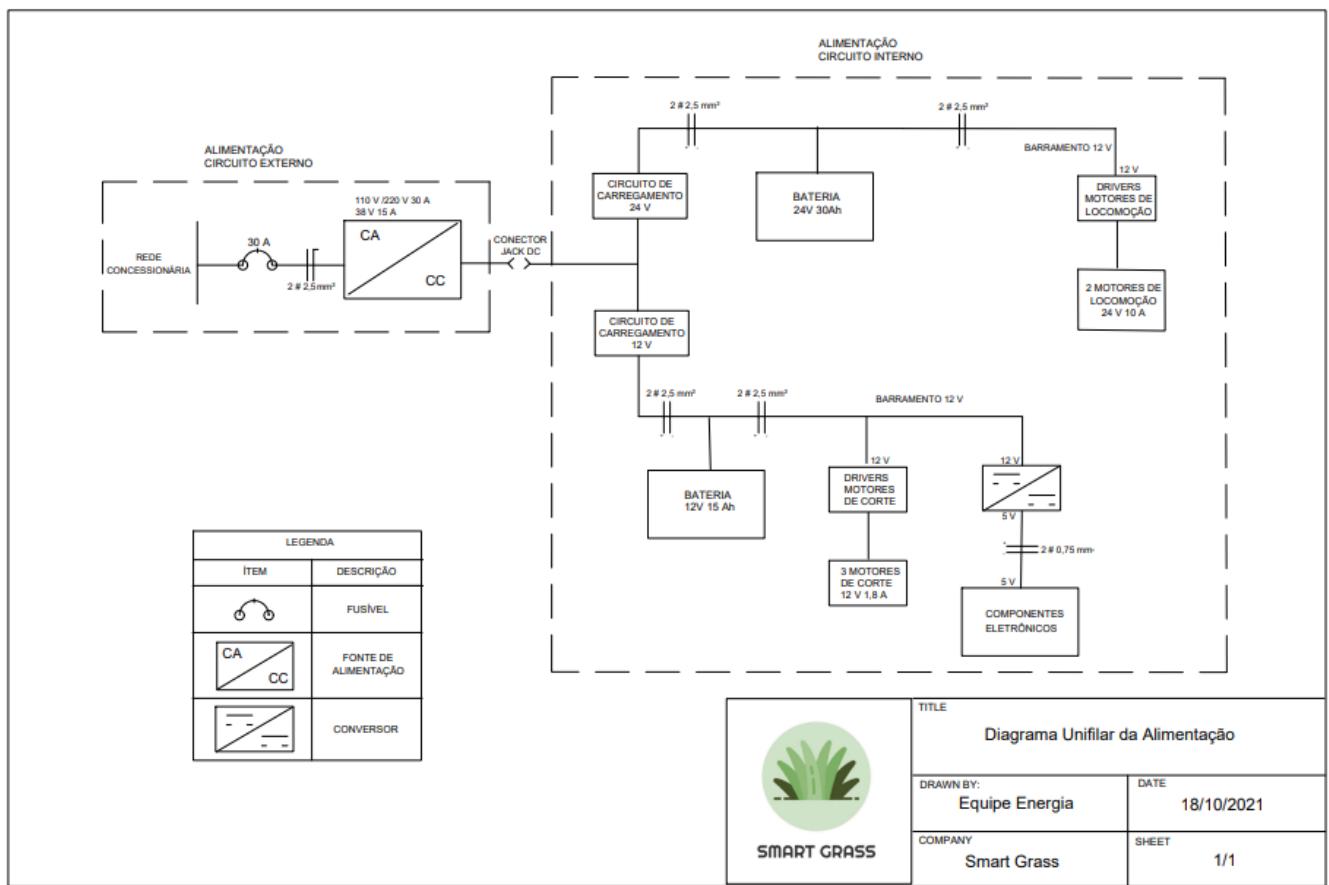


Figura 17 – Diagrama Unifilar de Alimentação.

2.2.4.1 Dimensionamento dos Condutores

O dimensionamento dos condutores foi realizado com base na norma ABNT NBR 5410/2004 (ABNT, 2004), obedecendo aos seguintes critérios:

- Determinação da seção dos condutores pelo critério da seção mínima;
- Determinação da seção dos condutores pela capacidade de condução de corrente nas condições de instalação.

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
	Linhos flexíveis com cabos isolados		Como especificado na norma do equipamento
		Para qualquer outra aplicação	0,75 Cu ⁴⁾
		Circuitos a extrabaixa tensão para aplicações especiais	0,75 Cu

¹⁾ Seções mínimas ditadas por razões mecânicas
²⁾ Os circuitos de tomadas de corrente são considerados circuitos de força.
³⁾ Em circuitos de sinalização e controle destinados a equipamentos eletrônicos é admitida uma seção mínima de 0,1 mm².
⁴⁾ Em cabos multipolares flexíveis contendo sete ou mais veias é admitida uma seção mínima de 0,1 mm².

Figura 18 – Seção mínima dos condutores

O método de referência de instalação que mais se aproxima com o projeto, de acordo com a NBR 5410, é o E: cabo multipolar ao ar livre.

O primeiro critério é obtido através da tabela 47 da norma, cujos tipos de linha e utilização do circuito são apresentados. Esta tabela pode ser vista na Figura 18. Segundo a Norma Regulamentadora NR 10 ([NR-10, 2004](#)), um circuito é considerado de extrabaixa tensão quando possui uma tensão inferior à 50 V em corrente alternada ou inferior à 120 V em corrente contínua. Diante disso, os condutores podem ser classificados como “Linhos flexíveis com cabos isolados – circuitos a extrabaixa tensão para aplicações especiais”. Assim, a seção mínima que pode ser adotada para os condutores é de 0,75 mm².

O segundo critério é obtido através da corrente total do projeto e na análise da tabela 38 da norma, mostrada na Figura 19. A corrente total do projeto pode ser calculada através da potência total consumida pelos componentes e pela tensão demandada do circuito. Conforme a Tabela 6, a corrente é de 30 A. Foi considerado o caso de maior corrente, visto que atenderá todas as situações.

Analizando a corrente e a tabela, foi escolhida a seção de 2,5 mm².

As seções dos condutores serão selecionadas de forma que corresponda ao maior valor calculado em função dos critérios mencionados, levando em consideração o valor da corrente que passa por eles. Como a corrente dos componentes eletrônicos são baixas, o critério de seção mínima é o suficiente para eles. Já para os motores, será considerada a seção de 2,5 mm².

Tabela 38 — Capacidades de condução de corrente, em ampéres, para os métodos de referência E, F e G

Condutores: cobre e alumínio

Isolação: PVC

Temperatura no condutor: 70°C

Temperatura ambiente de referência: 30°C

Seções nominais dos condutores mm ²	Métodos de referência indicados na tabela 33							
	Cabos multipolares		Cabos unipolares ⁽¹⁾					
	Dois condutores carregados	Três condutores carregados	Dois condutores carregados, justapostos	Três condutores carregados, em trifólio	Três condutores carregados, no mesmo plano			
	Método E	Método E	Método F	Método F	Justapostos	Espaçados	Horizontal	Vertical
								
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	
Cobre								
0,5	11	9	11	8	9	12	10	
0,75	14	12	14	11	11	16	13	
1	17	14	17	13	14	19	16	
1,5	22	18,5	22	17	18	24	21	
2,5	30	25	31	24	25	34	29	

Figura 19 – Capacidade de condução de corrente, em ampéres

2.2.4.2 Distribuição da Fiação na Estrutura

O posicionamento dos fios no interior do cortador foi definido pela equipe de energia, juntamente com a equipe de estruturas, a partir de medições dos possíveis caminhos a serem percorridos pelos fios, com a finalidade de encontrar a melhor disposição entre eles. A Tabela 7 apresenta de forma simplificada o caminho percorrido pela fiação, mostrando os componentes de saída e de chegada, com suas respectivas correntes, comprimentos e seções.

Tabela 7 – Distribuição da Fiação da Estrutura

Componente de saída da corrente	Componente de chegada da corrente	Corrente de chegada (A)	Comprimento (mm)	Seção (mm²)
Bateria 12V	Conversor SN74LS26N	4,0	100	0,75
Conversor SN74LS26N	Raspberry Pi 3 Model B+	2,5	500	0,75
Raspberry Pi 3 Model B+	Sensor Ultra-Sônico Hc-sr04 (traseiro)	0,004	565	0,75
	Sensor Ultra-Sônico Hc-sr04 (lateral direito)	0,004	1190	0,75
	Sensor Ultra-Sônico Hc-sr04 (lateral esquerdo)	0,004	1190	0,75
	Sensor Ultra-Sônico Hc-sr04 (interno)	0,004	350	0,75
	Sensor de Umidade e Temperatura DHT22	0,0025	565	0,75
	GPS	0,01	400	0,75
	Unidade de Medida Inercial (IMU)	0,0036	355	0,75
	Sensor RGB TCS34725	0,02	880	0,75
	Sensor de distância por infravermelho VL53L0XV2	0,114	1230	0,75
	Driver dos motores de corte	5,4	610	2,5
	Driver do motor	1	650	2,5
Driver dos motores de corte	Motor DC RS555-SH-4033 (direito)	1,8	150	2,5
	Motor DC RS555-SH-4033 (esquerdo)	1,8	150	2,5
	Motor DC RS555-SH-4033 (frontal)	1,8	150	2,5
Driver do motor de passo	Motor de passo NEMA 17	1	100	2,5
Bateria 24V	Driver do motor de locomoção (direito)	10	250	2,5
	Driver do motor de locomoção (esquerdo)	10	250	2,5
Driver do motor de locomoção (direito)	Motor DC XD60D94-12Y-50S (direito)	10	100	2,5
Driver do motor de locomoção (esquerdo)	Motor DC XD60D94-12Y-50S (direito)	10	100	2,5

2.3 Soluções em Estrutura e Sistemas Mecânicos

A parte estrutural do cortador de gramas Smart Grass é composta por 3 principais subsistemas, são estes: sistema de tração e manobrabilidade, sistema de corte e sistema de suporte estrutural (chassi e carroceria). Alguns dos principais subsistemas estão representados na Figura 20 de forma explodida.

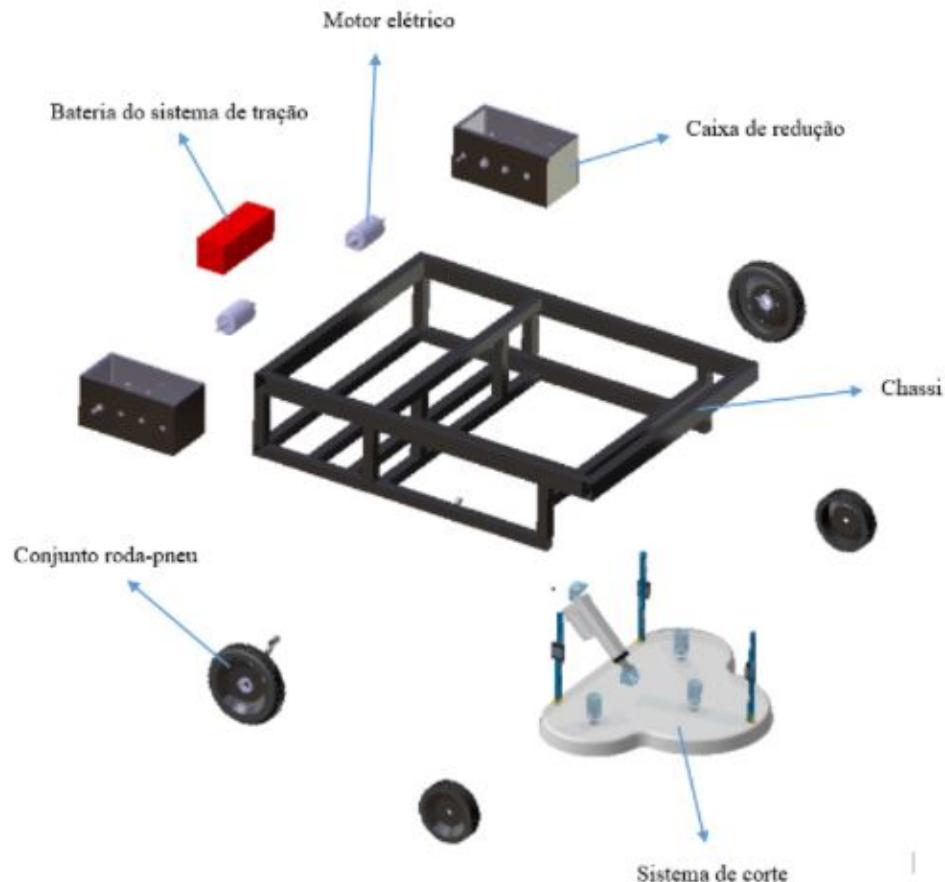


Figura 20 – Vista isométrica explodida dos principais subsistemas da parte estrutural do cortador de gramas Smart Grass.

Na Figura 21 é possível ver a montagem dos principais subsistemas de forma transparente, ou seja, mostrando os seus componentes internos.

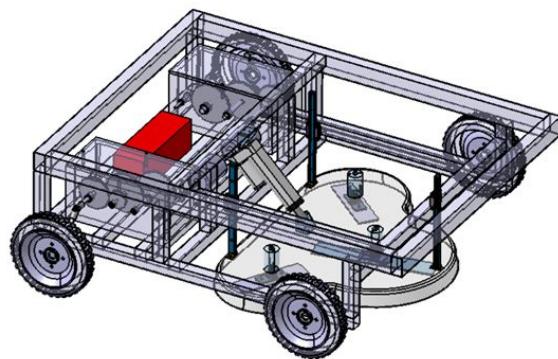


Figura 21 – Vista isométrica do cortador Smart Grass com visão dos principais subsistemas de forma transparente.

Na Figura 22 é possível ver a renderização representando a operação simulada do cortador de grama Smart Grass.



Figura 22 – Renderização da vista isométrica do cortador Smart Grass. Simulação da operação de corte de grama.

2.3.1 Sistema de Tração e Manobrabilidade

O sistema de tração é responsável por transmitir a potência dos motores elétricos para as rodas que, por sua vez, deverão ser submetidas à um torque suficientemente elevado para permitir o movimento do veículo em diversas condições de operação. Para o cortador Smart Grass, foi estabelecido uma faixa de velocidades entre 0,5 m/s e 1 m/s e altura máxima de subida em acente de 35° de inclinação. Para que o cortador se movimente, é necessário que o torque fornecido às rodas seja maior do que o torque de resistência atuando sobre estas devido às forças de oposição ao movimento (Road Loads). As forças de oposição consideradas para o cálculo dos esforços (torques) de reação ao movimento do veículo foram: resistência ao rolamento das rodas, força de arrasto aerodinâmico, componente da força peso do próprio veículo em inclinações. Ressalta-se que não foi encontrada uma forma de quantificar a resistência ao movimento devido ao corte da grama.

Segundo (GILLESPIE, 1992), a parcela de força aerodinâmica com maior signifi-

cância em oposição ao movimento de um veículo de passeio é o arrasto. De acordo com a Equação 2.12, é possível calcular a componente de força aerodinâmica devido ao arrasto para um determinado corpo em movimento:

$$F_a = \frac{1}{2}\rho V^2 C_D A \quad (2.12)$$

Onde,

F_a = força de arrasto aerodinâmico (N)

ρ = massa específica ($\frac{kg}{m^3}$)

V = velocidade do ar relativa ao corpo em movimento (m/s)

C_D = coeficiente de arrasto aerodinâmico (adimensional)

A = área frontal d veículo (m^2)

Ressalta-se que o coeficiente aerodinâmico C_D na Equação 2.12 é obtido experimentalmente para cada tipo de veículo. Além disso, é possível observar que a força de arrasto é proporcional ao quadrado da velocidade do veículo. Entretanto, esta parcela foi desconsiderada para o cálculo das forças de resistência ao movimento do cortador, pois não possui grande influência em baixas velocidades (GILLESPIE, 1992).

A parcela de resistência ao rolamento contabiliza toda a perda de energia devido à deformação do pneu, bem como contato com o solo nas mais diversas situações e é determinado experimentalmente. Esta parcela de resistência está presente em qualquer velocidade do cortador de grama. Nos cálculos realizados para estimar o torque total devido às forças resistivas utilizou-se um coeficiente de resistência ao rolamento de 0,015 presente nos veículos de passageiro em solo de concreto, conforme citado por (GILLESPIE, 1992).

A terceira parcela de força resistiva devida é a componente da força peso do veículo na direção do movimento para planos inclinados. O torque resistivo total devido às parcelas das forças resistivas ao movimento pode ser determinado por meio da Equação 2.13:

$$T_t = mg (C_R + \sin\theta) R + \frac{1}{2}\rho C_D A \omega^2 R^3 \quad (2.13)$$

Onde,

T_t = torque total de resistência ao movimento (Nm)

A = área frontal do veículo (m^2)

C_R = coeficiente de resistência ao rolamento (adimensional)

θ = ângulo de inclinação do cortador em relação ao plano horizontal (rad)

R = raio do conjunto roda-pneu (m)

ω = velocidade angular do conjunto roda-pneu (rad/s)

g = aceleração da gravidade local ($\frac{m}{s^2}$)

Considerando a equação acima e os parâmetros relativos ao cortador (conforme a Tabela 8), foi possível calcular os torques (conforme a Tabela 9) resistivos atuantes nas rodas trativas do cortador de grama.

Tabela 8 – Parâmetros do cortador para cálculo das cargas de resistência ao movimento.

Massa	50 kg
Raio roda	0,1016 m
Coef. Rolamento	0,015

Tabela 9 – Torques de resistência ao movimento.

Inclinação	Inclinação	Torque	Torque
Ângulo (deg)	Seno do ângulo (rad)	N*m	kgf*cm
-10	-0,17	-7,9	-80,6
-5	-0,09	-3,6	-36,7
0	0,00	0,7	7,6
5	0,09	5,1	51,9
10	0,17	9,4	95,8
15	0,26	13,6	139,1
20	0,34	17,8	181,4
25	0,42	21,8	222,3
30	0,50	25,7	261,6
35	0,57	29,3	299,0

Para realizar o sistema de tração do cortador de grama Smart Grass os membros da equipe de estruturas e eletrônica discutiram sobre seis principais possibilidades de sistemas. Os sistemas discutidos foram os seguintes:

- Sistema A: Tração e manobra realizadas por motor elétrico diretamente acoplado às rodas motor elétrico DC com caixa de redução, baixa rotação e alto torque, vide Figura 23. Nesta configuração a equipe de eletrônica seria responsável por selecionar um motor capaz de transmitir torque suficiente para a roda a superar os torques resistivos atuantes sobre as rodas de tração em todas as condições de operação do cortador (torques previamente determinados pela equipe de estruturas). Neste tipo de sistema, a manobra do veículo também seria realizada concomitantemente à tração, sendo o controle do esterçamento realizado por meio da potência e rotação do motor elétricos, que são controlados pela equipe de eletrônica. Ressalta-se que, para que a manobra seja realizada, é necessário o controle individual da rotação de cada roda, pois as velocidades angulares devem ser diferentes e são dadas

em função do ângulo de esterçamento que o cortador se propõe a realizar. Ademais, as rodas dianteiras não possuem função trativa. A vantagem deste sistema está na implementação relativamente mais prática e com melhor controle de velocidades. A grande desvantagem é o custo elevado dos motores com caixa de redução acoplada.



Figura 23 – Motor DC 12V com caixa de redução acoplada.

- Sistema B: Tração com sistema de diferencial no eixo traseiro e sistema de manobra no eixo dianteiro. Este sistema é caracterizado por possuir um diferencial mecânico no eixo traseiro do cortador, de modo a permitir a transmissão de potência de apenas um motor elétrico para ambas as rodas traseiras, sendo, ainda, capaz de compensar as diferenças das rotações entre as rodas traseiras do cortador durante as curvas. O sistema de manobra frontal deste sistema é eletromecânico, comandado por atuador.



Figura 24 – Diferencial para cortador de grama.

- Sistema C: Tração realizada por um motor elétrico. O motor é conectado a um eixo que, por sua vez, é acoplado e desacoplado às rodas por meio de um mecanismo acionado por atuador. Ora o movimento é transmitido para uma das rodas, ora é transmitido para a outra roda, ora é transmitido para ambas as rodas. A vantagem deste sistema é permitir que os sistemas de tração e manobra sejam realizados no mesmo eixo. A grande desvantagem, entretanto, é a complexidade do mecanismo de atuação para realizar o acoplamento e desacoplamento dos eixos.

- Sistema D: Tração com sistema de manobra e tração traseiros (motor central, junta homocinética e diferencial traseiro). Este sistema é caracterizado por possuir apenas um motor elétrico acoplado à um eixo que, por sua vez, é acoplado à uma junta de velocidade constante (junta homocinética) que conecta dois eixos que se intersectam, permitindo a transmissão de potência entre eixos não paralelos e de modo que a velocidade angular entre os dois eixos seja igual (o que não ocorre na junta universal por exemplo). Esta junta permite que a potência do motor elétrico seja transmitida ao diferencial traseiro (Figura 24). O mecanismo de manobra é realizado por meio de atuador que, por sua vez, realiza a manobra do veículo sem interromper o fluxo de potência para as rodas de tração. Entretanto, uma grande desvantagem deste sistema é a limitação das juntas homocinéticas encontradas no mercado quanto à inclinação do eixo movido em relação ao eixo motor. A Figura 25 apresenta dois exemplos de juntas de velocidade constante consideradas para a implementação deste sistema.



(a) Junta homocinética para aplicação automotiva. (b) Junta Thompson de velocidade constante.

Figura 25 – Juntas de velocidade constante.

- Sistema E: Tração com sistema de manobra e tração traseiros (motor e bateria na parte traseira – após a articulação e sem junta homocinética). Eixo traseiro com diferencial. Este sistema é caracterizado por possuir 2 chassis, sendo um para suporte do sistema de corte de grama e o outro para a tração e manobra do veículo. O chassis utilizado para a tração é responsável por suportar os motores elétricos e a bateria do cortador. Uma conexão articulada é utilizada para conectar os dois chassis. Ressalta-se que, assim como o Sistema D, o Sistema E é inspirado no cortador de grama autônomo Husqvarna Automower 435X AWD, conforme a Figura 26.



Figura 26 – Cortador autônomo Husqvarna Automower 435X AWD.

- Sistema F: Tração realizada por meio de 2 motores elétricos de corrente contínua, os quais são conectados à duas caixas de redução projetadas pelo grupo de estruturas de modo a atender a necessidade de torque e velocidade para todas as condições de operação do cortador. As caixas de redução, por sua vez, serão conectadas às rodas de tração do cortador.

Para decidir entre os subsistemas de tração e manobrabilidade mencionados, foi construída uma matriz de decisão, na qual foram considerados os seguintes fatores:

- Factível (eletrônica): este fator determina se o projeto é ou não factível para a equipe de eletrônica. A nota 1 indica que não é possível implementar determinado subsistema e a nota 5 indica que é totalmente possível implementar o subsistema do ponto de vista da eletrônica. OBS: este item foi preenchido pela equipe de Eletroeletrônica.
- Factível (estrutura): este fator determina se determinado subsistema é ou não factível do ponto de vista estrutural. A nota 1 indica que determinado subsistema não é possível de ser realizado e a nota 5 indica que é totalmente possível realizar o subsistema do ponto de vista da eletrônica.
- Funcional (compatibilização de torque e velocidade): este item determina se determinado subsistema é capaz de fornecer torque suficiente para que o cortador seja capaz de subir uma inclinação máxima de 35° numa velocidade entre 0,5 e 2 m/s. A nota 1 indica que não é possível (de forma alguma) realizar este processo e a nota 5 indica que é totalmente possível realizar o processo.
- Funcional (grandes ângulos de esterçamento): este fator determina se determinado subsistema é capaz de realizar grandes esterçamentos, ou seja, se é capaz de fazer o cortador girar bastante em um ângulo considerável (pelo menos 180°) sem percorrer grandes distâncias. A nota 1 indica que não é possível (de forma alguma) realizar este processo e a nota 5 indica que é totalmente possível realizar o processo.

- Compatível com os outros componentes: este fator determina se determinado subsistema de tração e manobra irá interferir ou não no funcionamento dos outros subsistemas. A nota 1 indica que o subsistema de tração irá interferir totalmente no funcionamento de outro subsistema, ou seja, não é compatível com os outros componentes do cortador de grama. Já a nota 5 indica que o subsistema de tração e manobra não irá prejudicar os outros subsistemas, ou seja, não interfere negativamente no funcionamento dos outros componentes.
- Custo: este fator determina se o custo de implementação de determinado subsistema é ou não favorável. A nota 1 indica que o custo de implementação do subsistema é completamente inviável e a nota 5 indica que o custo de implementação do subsistema é completamente viável.
- Tempo: este fator determina se o tempo para implementação e validação do subsistema será favorável considerando o cronograma do projeto durante o período da disciplina. A nota 1 indica que o tempo para implementar e validar o projeto é muito elevado em relação ao tempo disponível para tal atividade. Já a nota 5 indica que o tempo para implementação e validação do subsistema é completamente viável.
- Trabalho estrutural (análises): este fator determina se o subsistema irá ou não requerer um elevado nível de trabalho da parte estrutural no que diz respeito ao dimensionamento dos componentes, bem como a compatibilização com os outros subsistemas e o estabelecimento dos torques e velocidades previstos para o projeto. A nota 1 indica que o trabalho não requer (ou requer muito pouco) trabalho da equipe de estruturas. Já a nota 5 indica que a participação da equipe de estruturas para implementação e validação do subsistema é indispensável. Ressalta-se que este fator só será considerado no âmbito da disciplina de Projeto Integrador 2.

Tabela 10 – Matriz de decisão do sistema de tração e manobra.

Sistemas	A	B	C	D	E	F
Factível (eletrônica)	5	4	3	3	5	5
Factível (estrutura)	5	2	3	2	4	5
Funcional (compatibilização de torque e velocidade)	3	3	4	3	4	4
Funcional (grandes ângulos de esterçamento)	5	5	5	2	4	5
Compatível com os outros componentes	5	2	3	3	4	5
Custo	1	3	3	4	3	4
Tempo	5	3	2	2	2	3
Trabalho estrutural (análises)	2	5	5	5	5	5
Total	31	27	28	24	31	36

2.3.1.1 Caixa de Redução

A caixa de redução foi construída para majorar o torque do motor elétrico, sendo, dessa forma, possível movimentar o cortador nas mais diversas condições de operação. A caixa de redução está representada na Figura 27 e o projeto preliminar pode ser descrito pelas seguintes etapas:

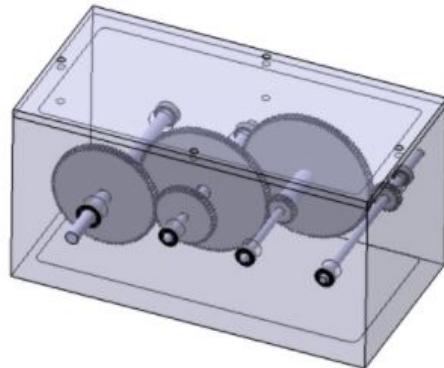


Figura 27 – Vista isométrica da caixa de redução.

1. Seleção de engrenagens para proporcionar um aumento no torque de saída em, no mínimo, 37 vezes. Para se obter esta relação foram utilizadas 6 engrenagens finas (todas com 6 mm de largura) e de dentes retos com módulo unitário, sendo:
 - a) 2 engrenagens com 20 dentes.
 - b) 2 engrenagens com 100 dentes.
 - c) 1 engrenagem com 80 dentes.
 - d) 1 engrenagem com 45 dentes.

A partir da Equação 2.14 (BUDYNAS R. G.; NISBETT, 2011), temos:

$$D_p = mZ \quad (2.14)$$

Onde,

m = módulo da engrenagem [m]

Z = número de dentes [adimensional]

D_p = diâmetro primitivo [m]

A relação entre os torques de saída e entrada por ser determinada pela Equação 2.15:

$$T_s = T_e \frac{D_{p1} D_{p2} D_{p5}}{D_{p2} D_{p3} D_{p6}} = T_e \frac{(100)(100)(80)}{(20)(20)(45)} = 44.4 T_e \quad (2.15)$$

Onde,

$$T_s = \text{torque de saída da caixa de redução (Nm)}$$

$$T_e = \text{torque de entrada da caixa de redução (Nm)}$$

$$D_p = \text{Diâmetro primitivo da engrenagem } i \text{ (} i = \text{contador de 1 a 6) (m)}$$

A partir da Equação 2.15, é possível observar que o torque de saída da caixa de redução é o torque de entrada multiplicado em aproximadamente 44 vezes, ou seja, com este conjunto de tração o cortador é capaz de subir um acente de 35º conforme determinado pelos requisitos.

2. Posicionamento e determinação das dimensões da caixa de modo a evitar interfe- rências entre os componentes.
3. Seleção de mancais de rolamento comerciais. Todos os mancais foram selecionados com base nas características dinâmicas e estáticas de carga do rolamento. Foram utilizados os seguintes mancais:
 - a) 4 mancais de rolamento de esferas rígidas SKF 619/6-2Z;
 - b) 3 mancais de rolamento de esferas rígidas SKF 61800 – 2Z; e
 - c) 1 mancal de rolamento SKF W 63802 2Z.
4. Determinação das dimensões e material dos eixos. Os diâmetros dos eixos foram determinados de forma preliminar a partir dos diâmetros dos furos das engrenagens. Sendo assim, existem ressaltos concentradores de tensão que necessitarão de uma avaliação mais rigorosa durante os cálculos de validação do projeto. O material preliminar selecionado para os eixos de transmissão de potência foi o aço de médio teor de carbono SAE 1045 devido à sua resistência mecânica relativamente elevada e boa usinabilidade ([CHIAVERINI, 1986](#)), o que será relevante para a fabricação do eixo devido às diferenças de diâmetros nos eixos intermediários da caixa de redução.
5. Determinação das dimensões e material da caixa de redução. As dimensões da caixa de redução foram determinadas com base no posicionamento adequado dos componentes de transmissão. A caixa é composta por uma carcaça de liga de alumínio magnésio, pois segundo ([CHIAVERINI, 1986](#)) estas possuem a melhor combinação entre propriedades mecânicas, resistência à corrosão, usinabilidade e, além disso, podem ser facilmente anodizadas. As caixas serão fabricadas pelo processo de usinagem e, a princípio, será utilizada uma liga Al-Mg da série 5XXX. Os componentes da caixa de redução podem ser vistos com mais detalhes na Figura 28.

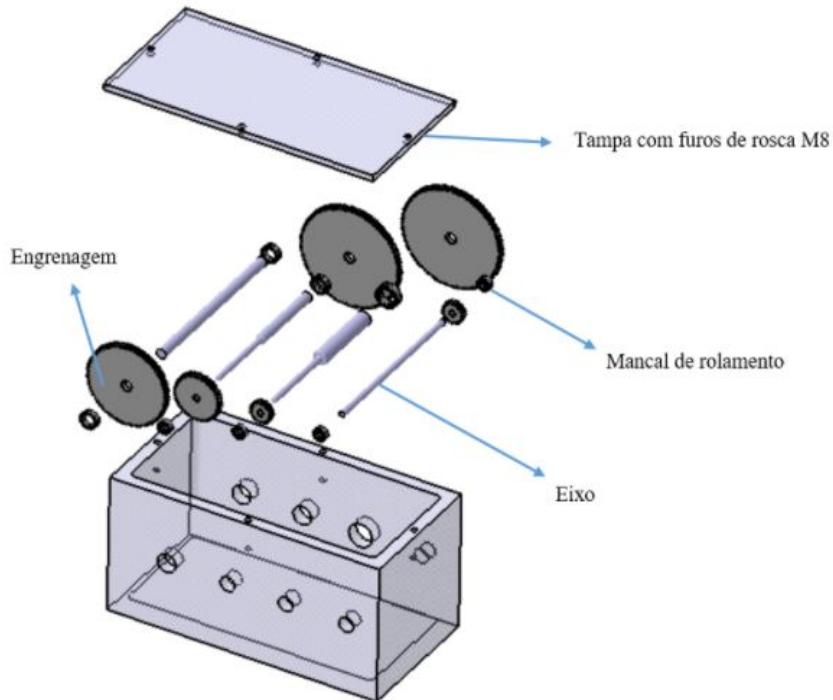


Figura 28 – Vista isométrica explodida da caixa de redução.

2.3.1.2 Acoplamento da caixa de redução às rodas

Para o acoplamento entre o eixo de saída da caixa de redução e as rodas de tração, foram utilizados 2 juntas universais para compensar a diferença de altura entre a caixa de redução e o conjunto roda-pneu, conforme representado na Figura 29. Além disso, foram utilizados um eixo de conexão entre as juntas universais e um cubo de roda. O cubo de roda será utilizado para a fixação das rodas por meio de parafusos M8. Neste sistema, as juntas foram selecionadas com base no diâmetro do eixo de saída da caixa de redução, que é de 10 mm. O material das juntas, por sua vez, é aço, porém não especificado pelo fabricante ([EASYTRONICS, 2021](#)). O eixo de conexão entre as juntas também deve ser de 10 mm e de aço SAE 1045 pelo fato de conter boas propriedades mecânicas necessárias para esta aplicação. Além disso, o cubo de roda foi projetado para ser fabricado pela equipe de estruturas por meio de usinagem e furação. O material preliminar, assim como para os demais eixos, será o aço SAE 1045 por conta das boas propriedades mecânicas e boa usinabilidade. Entretanto, ressalta-se que será necessário um dimensionamento apurado das peças deste conjunto, sobretudo do cubo de roda, que experimenta carregamentos cíclicos e possui concentrador de tensão devido ao filete, conforme mostrado na Figura 29. O conjunto roda-pneu do sistema de tração foi selecionado comercialmente e possui diâmetro de 8 polegadas (0,2032 m), conforme representado na Figura 29 ([AMAZON, 2021](#)). As rodas serão furadas de modo a permitir o acoplamento ao cubo de roda projetado pela equipe de estruturas.

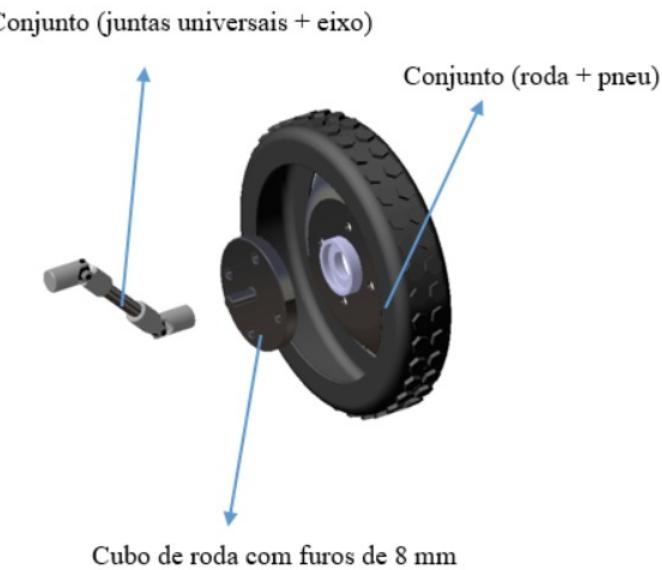


Figura 29 – Componentes da transmissão entre o eixo de saída da caixa de transmissão e as rodas de tração do cortador de grama.

2.3.1.3 Dimensionamento

O projeto de um eixo de transmissão de potência é iterativo por sua própria natureza. Dessa forma, a seleção de componentes como engrenagens e mancais, bem como os diâmetros das diversas seções de um eixo são dependentes entre si (BUDYNAS R. G.; NISBETT, 2011). Além disso, deve-se considerar a forma de fixação entre os componentes de cubo (mancais e engrenagens). Para iniciar o dimensionamento de uma caixa de transmissão é necessário estabelecer os requisitos de projeto, bem como hipóteses. Os principais requisitos são:

- Velocidade entre 0,5 e 1 m/s para o cortador de gramas;
- Permitir que o cortador seja capaz de superar os torques resistivos ao movimento considerando a massa e as inclinações de operação do cortador;
- Ser compacta o suficiente para caber no compartimento inferior da caixa traseira;
- Manter os eixos de entrada e de saída alinhados pela conveniência da disposição dos elementos de tração (motores elétricos e baterias); e
- Baixa manutenção.

A principal hipótese simplificadora trata-se da constância da potência transmitida. Devido à alta eficiência das engrenagens, quando bem montadas, bem como dos mancais de rolamento, considera-se que a potência transmitida pelos motores elétricos é aproximadamente a mesma potência fornecida às rodas motrizes.

Segundo (BUDYNAS R. G.; NISBETT, 2011) não há uma sequência precisa para o projeto de um sistema de transmissão de potência, como a caixa de redução utilizada no cortador, por exemplo. Entretanto é possível estabelecer uma sequência tendo em vista o conhecimento das dependências entre as partes incorporadas no projeto. Dessa forma, estabelece-se a seguinte sequência para este projeto:

1. Requerimentos de potência e torques gerais para as condições de operação do cortador

Para realizar o dimensionamento da caixa de redução, é necessário determinar os requerimentos de torque de saída do sistema, neste caso, torques iguais ou maiores do que os torques de resistência ao movimento do cortador. Estes requerimentos irão estabelecer as dimensões gerais do sistema. Parte desta etapa foi realizada para o relatório do Ponto de Controle 1. Na Tabela 11 é possível observar os requisitos de torques para o veículo como um tordo e os torques resistivos atuantes sobre cada conjunto (motor + caixa de redução).

Tabela 11 – Torques resistivos totais e atuantes sobre cada roda motriz.

Inclinação	Torques Resistivos			
	Total		Em cada roda	
Ângulo [deg]	Nm	kgf*cm	Nm	kgf*cm
-10	-7,9	-80,6	-4,0	-40,3
-5	-3,6	-36,7	-1,8	-18,3
0	0,7	7,6	0,4	3,8
5	5,1	51,9	2,5	25,9
10	9,4	95,8	4,7	47,9
15	13,6	139,1	6,8	69,6
20	17,8	181,4	8,9	90,7
25	21,8	222,3	10,9	111,2
30	25,7	261,6	12,8	130,8
35	29,3	299,0	14,7	149,5

2. Determinação dos torques nas engrenagens

As engrenagens da caixa de redução serão nomeadas de 1 a 6 (sobescritos nos termos que denotam o torque e o raio da engrenagem, bem como demais parâmetros de engrenagens) conforme representado na Figura 30. Além disso, os eixos de transmissão de potência serão nomeados por letras de A a D, conforme a Figura 30. A partir disso, determina-se os torques atuantes em cada engrenagem do sistema de acordo com a Equação 2.16.

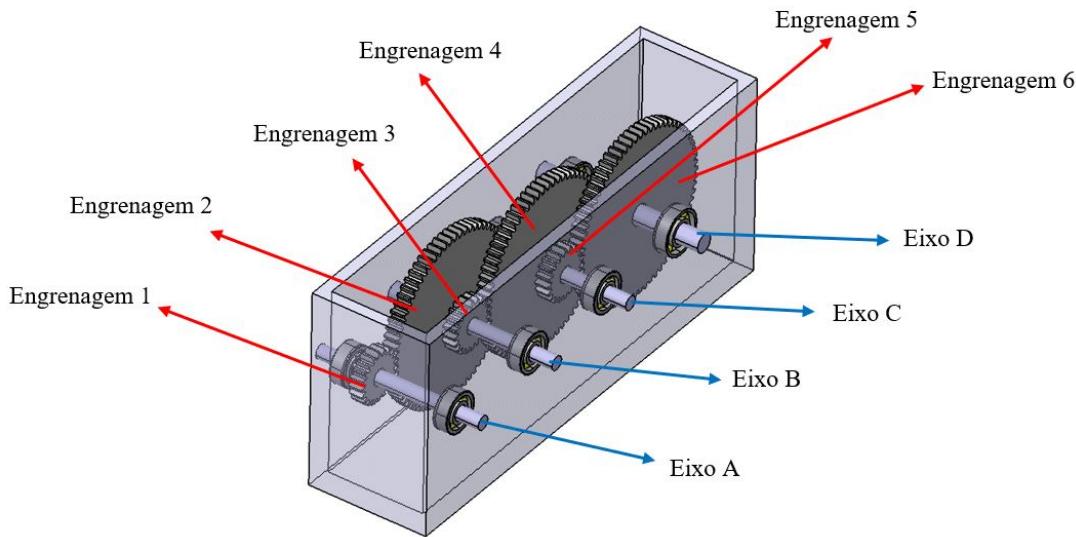


Figura 30 – Numeração dos elementos da caixa de redução.

$$T_i = F * r_i \quad (2.16)$$

O raio considerado para os cálculos de transmissão de potência é o raio primitivo de cada uma das engrenagens engraxadas. De acordo com a terceira lei de Newton, as forças que se desenvolvem na interface de contato entre as engrenagens devem possuir o mesmo módulo e sentido contrário. Por conta disso, o sentido do giro é alterado da engrenagem motora em relação à engrenagem movida. Dessa forma, tem-se:

$$\frac{T_1}{R_1} = \frac{T_2}{R_2} \rightarrow T_2 = \frac{R_2}{R_1} T_1 \quad (2.17)$$

Como as engrenagens 3 e 2 estão postas sob o mesmo eixo e estas giram de forma solidária (giro das engrenagens concomitantemente ao eixo, permitido a transmissão de potência da engrenagem para o eixo), infere-se que os torques desenvolvidos em ambas as engrenagens devem ser iguais. Com isso, tem-se:

$$T_2 = T_3 \quad (2.18)$$

$$\frac{T_3}{R_3} = \frac{T_4}{R_4} \rightarrow T_4 = \frac{R_4}{R_3} T_3 = \frac{R_4 R_2}{R_3 R_1} T_1 \quad (2.19)$$

Por fim, os torques que se desenvolvem no eixo de saída são determinados da seguinte maneira:

$$T_4 = T_5 \quad (2.20)$$

$$\frac{T_5}{R_5} = \frac{T_6}{R_6} \rightarrow T_6 = \frac{R_6}{R_5} T_5 = \frac{R_6 R_4 R_2}{R_5 R_3 R_1} T_1 \quad (2.21)$$

O termo que multiplica T_1 é uma constante que depende dos raios primitivos de todas as engrenagens. Este termo será denotado como ‘i’ e referido como “relação de transmissão global da caixa de redução”. Dessa forma, a Equação 2.22 torna-se:

$$T_6 = i * T_1 \quad (2.22)$$

Calcula-se a relação entre os torques de entrada e saída do redutor da seguinte maneira:

$$T_6 = \frac{D_{p1} * D_{p3} * D_{p5}}{D_{p2} * D_{p4} * D_{p6}} T_1 = \frac{70 * 70 * 70}{20 * 20 * 20} T_1 = 42,875 T_1 \quad (2.23)$$

Os torques atuantes sobre os eixos A, B, C e D (mostrados na Figura 30) podem ser determinados com base nas equações previamente estabelecidas para os torques nas engrenagens. A partir disso, calcula-se os torques sobre os eixos em função dos torques exigidos para o movimento do veículo, ou seja, os torques de saída da caixa de redução para as condições de operação do cortador. Como a resistência aerodinâmica foi desconsiderada na análise (devido às baixas velocidades) os torques são aproximadamente constantes para uma determinada inclinação, conforme representado nos dados da Tabela 11. A seguir, são estabelecidas as relações entre os torques em todos os eixos da caixa de redução e os torques exigidos para o movimento do cortador. A partir disso, determina-se os valores das solicitações torcionais em todos os eixos para as diversas condições de operação do cortador de gramas, isto é, para as mais variadas inclinações de trabalho.

$$T_A = \frac{T_D}{i} \quad (2.24)$$

$$T_B = \frac{R_3}{R_4} T_C \quad (2.25)$$

$$T_C = \frac{R_5}{R_6} T_D \quad (2.26)$$

T_D = torque de saída da caixa de redução \geq torque de resistência ao movimento

Tabela 12 – Torques atuantes sobre todos os eixos do redutor em condições variadas de operação.

Inclinação	Torques Resistivos [Nm]			
Ângulo [deg]	Eixo A	Eixo B	Eixo C	Eixo D
-10	-0,09	-0,32	-1,13	-3,95
-5	-0,04	-0,15	-0,51	-1,80
0	0,01	0,03	0,11	0,37
5	0,06	0,21	0,73	2,55
10	0,11	0,38	1,34	4,70
15	0,16	0,56	1,95	6,82
20	0,21	0,73	2,54	8,90
25	0,25	0,89	3,12	10,90
30	0,30	1,05	3,67	12,83
35	0,34	1,20	4,19	14,67

Para adequar o tamanho da caixa de redução ao cortador, bem como manter uma relação de transmissão adequada para o movimento nas condições de operação previamente estabelecida pelos requisitos, foram selecionados novos tamanhos de engrenagens, de modo que a relação de transmissão global da caixa de redução foi alterada de 44 (conforme mencionado no PC1) para 42,8, com redução considerável de tamanho da caixa de transmissão. Esta relação foi estabelecida em função das engrenagens comerciais disponíveis para realizar a transmissão de potência necessária mantendo-se a caixa compacta. As engrenagens selecionadas são fornecidas pelo fabricante (KHK KOHARA GEAR). Com isso, foram utilizados 3 pares de engrenagens com 70 dentes (coroa) e 20 dentes (pinhão), sendo ambos de módulo unitário e com largura de 6 mm. As características das engrenagens selecionadas estão representadas na Tabela 13

Tabela 13 – Características gerais das engrenagens obtidas pelo catálogo do fabricante KHK KOHARA GEAR.

	Coroa	Pinhão
Ângulo de pressão	20º	20º
Diâmetro do furo (padrão A_{H7} [mm]	8	6
Diâmetro maior [mm]	72	22
Material	S45C	S45C
Módulo [mm]	1	1
Número de dentes	70	20
Peso [kg]	0,18	0,013

3. Determinação da potência entregue às rodas:

A potência das rodas pode ser determinada por meio da Equação 2.27:

$$P = T\omega \quad (2.27)$$

- P = potência fornecida à roda de tração em estudo [W]
- T = torque do eixo de saída da caixa de redução [Nm]
- ω = velocidade angular das rodas de tração [rad/s]

As potências podem ser determinadas para as diversas exigências de torque inerentes ao movimento do cortador de gramas. Estas exigências irão variar em função da inclinação e de possíveis obstáculos no caminho de veículo, visto que os torque e a velocidade do cortador também irão variar. Para o dimensionamento do sistema de transmissão de potência, serão consideradas as potências para diversas inclinações considerando uma faixa de velocidades lineares entre 0,5 e 1 m/s. Para realizar o cálculo da potência, é necessário estabelecer as rotações das rodas trativas correspondentes aos torques presentes na Tabela 11.

Para as velocidades lineares do cortador de grama, é possível determinar as velocidades angulares das rodas de tração correspondentes por meio da Equação 2.28:

$$V = \omega * R \quad (2.28)$$

- V = velocidade linear do cortador [m/s]
- R = raio do conjunto roda-pneu de tração [m]
- ω = velocidade angular das rodas de tração [rad/s]

Considerando a velocidade de 0,5 m/s tem-se:

$$\omega = \frac{0,5 \text{ m/s}}{101 * 10^{-3} \text{ m}} = 4,92 \text{ rad/s} \quad (2.29)$$

A partir da relação de transmissão previamente estabelecida, é possível determinar a velocidade angular do motor de acordo com a Equação 2.29.

$$\omega = 4,92 * i = 4,92 * 42,875 \text{ rad/s} = 210,945 \text{ rad/s} \quad (2.30)$$

Em rotações por minuto (RPM) tem-se:

$$\omega_{RPMmotor} = 210,945 \frac{\text{rad}}{\text{s}} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} * \frac{1 \text{ rotação}}{2\pi \text{ rad}} = 2014,38 RPM \quad (2.31)$$

Considerando a velocidade de 1 m/s tem-se:

$$\omega = \frac{1 \text{ m/s}}{101 * 10^{-3} \text{ m}} = 9,84 \text{ rad/s} \quad (2.32)$$

A correspondente velocidade angular do motor é:

$$\omega_{motor} = 9,84 * 42,875 \text{ rad/s} = 421,9 \text{ rad/s} \quad (2.33)$$

Em rotações por minuto (RPM) tem-se:

$$\omega_{RPMmotor} = 421,9 \frac{\text{rad}}{\text{s}} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} * \frac{1 \text{ rotação}}{2\pi \text{ rad}} = 4028,8 \text{ RPM} \quad (2.34)$$

Por meio da Equação 2.27 calcula-se as potências para os dois valores extremos da faixa de velocidades do cortador considerando diversas inclinações. Os valores obtidos estão representados na Tabela 14.

Tabela 14 – Valores da potência fornecida por cada motor elétrico individual em vários regimes de trabalho.

Inclinação	Potência [kW]	
	Velocidade linear (V) = 0,5 m/s	Velocidade linear (V) = 1 m/s
Ângulo [deg]	Velocidade angular $\omega = 4,92 \text{ rad/s}$	Velocidade angular $\omega = 9,84 \text{ rad/s}$
-10	-0,01945	-0,03890
-5	-0,00885	-0,01769
0	0,00184	0,00368
5	0,01252	0,02505
10	0,02313	0,04625
15	0,03357	0,06714
20	0,04377	0,08754
25	0,05365	0,10730
30	0,06314	0,12627
35	0,07216	0,14431

4. Verificação do desempenho das engrenagens com relação às solicitações mecânicas:

Nesta etapa foi verificada a capacidade das engrenagens de resistirem carregamentos estáticos e dinâmicos decorrentes dos esforços na interface entre os dentes de engrenagens para realizar a transmissão de potência mecânica. A verificação de resistência estática do dente da engrenagem é realizada por meio da equação de Lewis, conforme representado na Equação 2.35:

$$\sigma = \frac{W_t * P}{F * Y} \quad (2.35)$$

Em que:

- W_t = componente tangencial da forma de contato entre as engrenagens [N]
- P = passo diametral [mm^{-1}]

- L = largura de face [mm]
- Y = fator de forma de Lewis [adimensional]

Dessa forma, é necessário obter os valores das forças tangenciais que se desenvolvem em todas as engrenagens da caixa de redução para as diversas condições de operação. A partir disso, considera-se o pior cenário no dimensionamento para garantir o funcionamento do sistema em todos os regimes de carga previstos. Para uma determinada engrenagem com dimensões preestabelecidas, como é o caso deste trabalho, é possível determinar as forças tangenciais por meio da Equação 2.36:

$$W_t = \frac{60000H}{\pi D_i n} \quad (2.36)$$

Em que:

- W_t = força tangencial [kN]
- H = potência [kW]
- D_i = diâmetro da engrenagem i [mm]
- n = rotação da engrenagem [rotações/min]

A partir da Equação 2.36 é possível observar que o termo D_i é constante para uma determinada engrenagem. Dessa forma, é necessário determinar a maior razão H/n , de tal modo a considerar a pior condição de operação para uma determinada engrenagem. A partir das Tabela 14 e 15 é possível verificar as potências (mantidas aproximadamente constante devido à baixa perda de energia durante a transmissão de potência) e as rotações para cada eixo considerando as velocidades lineares de 0,5 e 1 m/s do cortador de gramas.

Tabela 15 – Valores da rotação para todos os eixos considerando os valores extremos da faixa de velocidade do cortador.

Velocidade linear [m/s]	Rotação [RPM]			
	Eixo A	Eixo B	Eixo C	Eixo D
0,5	2014,89	575,68	164,48	46,99
1	4029,78	1151,37	328,96	93,99

Tabela 16 – Valores da razão H/n presentes na Equação 2.36.

Inclinação	Razão H/n para 0,5 e 1 m/s			
Ângulo [deg]	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 3	Eixo 4
-10	-9,7E-06	-3,4E-05	-1,2E-04	-4,1E-04
-5	-4,4E-06	-1,5E-05	-5,4E-05	-1,9E-04
0	9,1E-07	3,2E-06	1,1E-05	3,9E-05
5	6,2E-06	2,2E-05	7,6E-05	2,7E-04
10	1,1E-05	4,0E-05	1,4E-04	4,9E-04
15	1,7E-05	5,8E-05	2,0E-04	7,1E-04
20	2,2E-05	7,6E-05	2,7E-04	9,3E-04
25	2,7E-05	9,3E-05	3,3E-04	1,1E-03
30	3,1E-05	1,1E-04	3,8E-04	1,3E-03
35	3,6E-05	1,3E-04	4,4E-04	1,5E-03
Maior valor	3,6E-05	1,3E-04	4,4E-04	1,5E-03

Considerando os maiores valores H/n presentes na Tabela 16, é possível calcular a maior força tangencial atuante sobre as 6 engrenagens da caixa de redução durante a operação do cortador de gramas Smart Grass. As forças calculadas para o pior cenário de operação das engrenagens estão representadas na Tabela 17.

Tabela 17 – Forças tangenciais atuantes sobre as 6 engrenagens considerando o pior cenário de solicitação mecânica.

Engrenagem		Força tangencial para o pior cenário [kN]
Numeração	Diâmetro primitivo [mm]	
1	20	0,03420
2	70	0,03420
3	20	0,11969
4	70	0,11969
5	20	0,41892
6	70	0,41892

O passo diametral apresentado na Equação 2.37 pode ser calculado sendo:

$$P = \frac{N}{d} \quad (2.37)$$

Em que:

- P = passo diametral [mm^{-1}]
- N = número de dentes [adimensional]
- d = diâmetro primitivo [mm]

Como o número de dentes e o diâmetro primitivo são iguais, o passo diametral é unitário. Segundo (BUDYNAS R. G.; NISBETT, 2011), como regra geral as engrenagens cilíndricas

de dentes retos possuem de 3 a 5 vezes o passo circular ‘ p ’. Este, por sua vez, é calculado pela Equação 2.38:

$$p = \pi * m \quad (2.38)$$

Em que:

- p = passo circular [mm]
- m = módulo da engrenagem [mm]

A partir disso, adotou-se $F = 4p$, ou seja, $F = 4\pi$, já que neste caso as engrenagens possuem módulo unitário.

O termo Y na Equação 2.35 é tabelado e, para uma engrenagem cilíndrica de dente reto com ângulo de pressão de 20° , como é o caso das engrenagens selecionadas. Para uma engrenagem com 20 dentes este valor é de 0,322. Já para uma engrenagem com 70 dentes, este número é de aproximadamente 0,430. A partir disso, calcula-se as tensões de Lewis para o pior caso considerando as 6 engrenagens utilizadas.

Tabela 18 – Tensões de Lewis atuantes sobre as 6 engrenagens em situação estática.

Numeração	Diâmetro primitivo [mm]	Fator de forma de Lewis	Tensão de Lewis [MPa]
1	20	0,322	8,45
2	70	0,43	6,33
3	20	0,322	29,58
4	70	0,43	22,15
5	20	0,322	103,53
6	70	0,43	77,53

Considerando o material de fabricação da engrenagem especificada (aço S45C) conforme mostrado na Tabela 13, é possível verificar que todas as engrenagens são capazes de suportar os esforços estáticos considerando as piores condições de trabalho.

Para verificar o desempenho das engrenagens quando submetidas aos carregamentos dinâmicos, é possível utilizar a Equação 2.39 de Lewis modificada. Esta, por sua vez, introduz o fator de velocidade K_v .

$$\sigma = \frac{K_v * W_t * P}{F * Y} \quad (2.39)$$

Considerando um perfil cortado ou fresado, determina-se o fator K_v por meio da Equação 2.40.

$$K_v = \frac{6,1 + V}{6,1} \quad (2.40)$$

Em que:

- V = velocidade do círculo primitivo da engrenagem [m/s]

Considerando as maiores velocidades das engrenagens, ou seja, quando o cortador se encontra a uma velocidade de 1 m/s, é possível obter os valores das tensões dinâmicas de Lewis. Considerando a tensão de escoamento do material de fabricação das engrenagens 490 MPa, é possível inferir que não haverá falha das engrenagens em qualquer condição de operação do cortador.

Tabela 19 – Tensões de Lewis atuantes sobre as 6 engrenagens em situação dinâmica.

Numeração	Velocidade linear no círculo primitivo [m/s]	Fator de velocidade	Tensão de Lewis dinâmica [MPa]
1	0,09843	1,01614	8,59
2	0,09843	1,01614	6,43
3	0,02812	1,00461	29,72
4	0,34449	1,05647	23,40
5	0,09843	1,01614	105,20
6	0,09843	1,01614	78,78

5. Desempenho dos eixos de transmissão de potência sob ação de cargas radiais:

Os eixos de transmissão da caixa de engrenagens estão submetidos às cargas radiais decorrentes do contato entre as engrenagens. A partir do ângulo de pressão e das cargas tangenciais estabelecidas anteriormente, é possível determinar a parcela de carga axial atuante sobre os eixos, ou seja, a parcela de força não geradora de torque sobre os elementos girantes. Determina-se a componente de força axial por meio da Equação 2.41:

$$\frac{W_r}{W_t} = \tan \phi \quad (2.41)$$

Em que:

- W_r = força radial [N]
- W_t = força tangencial [N]
- ϕ = ângulo de pressão [graus]

A partir da Tabela 20, obtém-se as forças radiais para o pior cenário.

Tabela 20 – Forças radiais atuantes sobre as engrenagens do redutor considerando o pior cenário.

Engrenagem		Força radial para o pior cenário [kN]
Numeração	Diâmetro primitivo [mm]	
1	20	0,01245
2	70	0,01245
3	20	0,04356
4	70	0,04356
5	20	0,15247
6	70	0,15247

Para exemplificar a metodologia de validação dos eixos de transmissão de potência, utilizou-se o eixo intermediário B (que suporta as engrenagens 2 e 3). A partir disso foi realizada uma simulação numérica por meio do método dos elementos finitos. A geometria foi discretizada com elementos sólidos 3D Hex20 que, por sua vez, possuem 20 nós e três graus de liberdade por nó (translações nos eixos X, Y e Z). Este elemento foi escolhido devido à variação de seção da peça, bem como as dimensões gerais, que necessitam de um elemento sólido para que seu comportamento seja devidamente representado quando submetido aos esforços externos. A carga radial devida à superposição dos efeitos das engrenagens 2 e 3 sobre o eixo B geraram uma força de aproximadamente 56 N. Esta, por sua vez, foi aplicada no filete do eixo, que é o local intermediário entre as engrenagens. Além disso, foram aplicados engastes em ambas as extremidades dos eixos, representando os apoios dos mancais da caixa de redução, conforme a Figura 31. Por meio da simulação, foram obtidos os valores da tensão de von Mises para o carregamento estático mencionado. Ademais, foram obtidos os valores da vida em fadiga considerando o critério de Gerber.

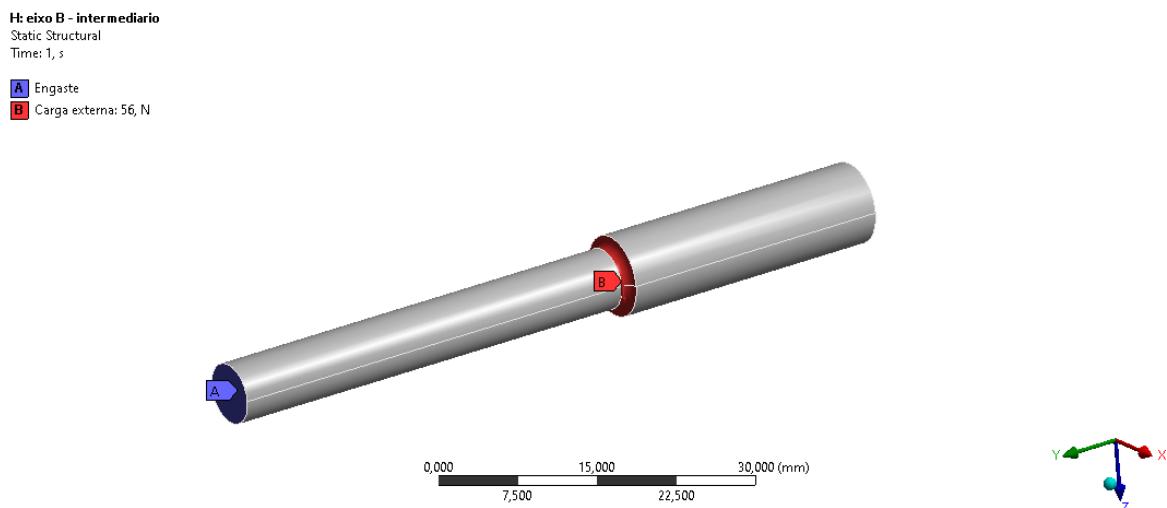


Figura 31 – Condições de contorno aplicadas na simulação do eixo B.

A máxima tensão de von Mises obtida foi de aproximadamente 18,4 MPa e esta, por

sua vez, ocorreu no filete de adoçamento do eixo. Considerando um aço SAE 1045 com tensão de aproximadamente 430 MPa, conforme a Figura 32, obtém-se um coeficiente de segurança de aproximadamente 23.

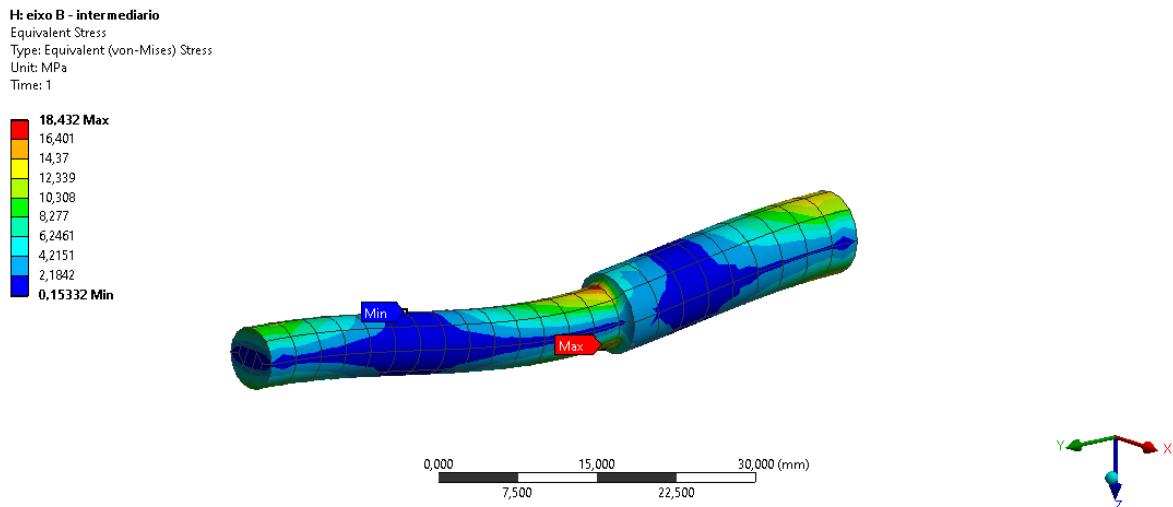


Figura 32 – Tensões de von Mises obtidas na simulação do eixo B.

Para a vida em fadiga do eixo intermediário B, utilizou-se as mesmas condições de contorno do problema estático, porém considerando um carregamento alternado entre 56 N e -56 N. A partir disso, obteve-se um coeficiente de segurança mínimo pelo método de Gerber de aproximadamente 4,7, justamente na região do concentrador de tensão (filete). Dessa forma, é possível afirmar que o eixo de transmissão de potência citado é capaz de ser utilizado em vida infinita, ou seja, acima de 10^6 ciclos de carregamento.

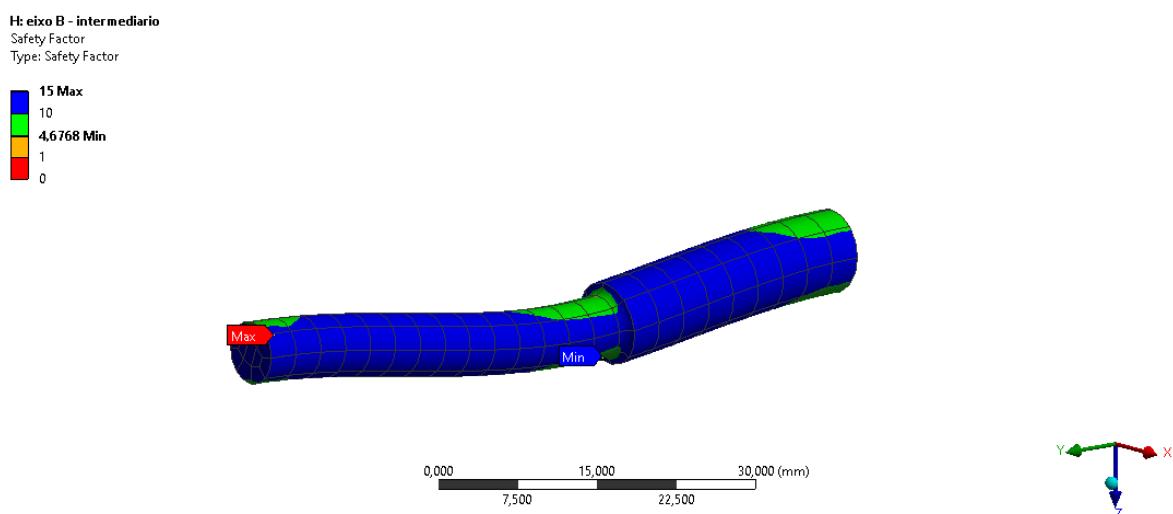


Figura 33 – Fatores de segurança para a vida em fadiga do eixo B considerando o método de Gerber e um carregamento alternado de 56 N.

6. Seleção dos mancais de rolamento de suporte para o eixo

A partir da simulação para o eixo intermediário B, foi possível verificar que, devido à natureza do carregamento e pelo fato das engrenagens utilizadas serem de dentes retos, a parcela de carregamento axial gerada durante a transmissão de potência nos eixos é muito próxima de zero. Dessa forma, utiliza-se a Equação 2.42 fornecida pelo fabricante SKF para selecionar um mancal de rolamento de esferas adequado à aplicação considerada neste trabalho.

$$\frac{W_a}{W_r} \leq e \rightarrow P = W_r \quad (2.42)$$

Em que:

- W_a = carga axial atuante no conjunto de rolamentos [kN]
- W_r = carga radial atuante no conjunto de rolamentos [kN]
- e = fator de cálculo adotado pela SKF [adimensional]
- P = carga dinâmica equivalente no conjunto de rolamentos [kN]

A componentes da força resultante obtida nos apoios do eixo intermediário B estão representadas na Tabela 21. As forças estão orientadas conforme o eixo de coordenadas mostrado na Figura 33.

Tabela 21 – Componentes das forças de reação do suporte durante a simulação do eixo B.

Direção	Força resultante nos apoios [N]
X	1,29E-06
Y	3,75E-07
Z	-56

A partir dos dados da Tabela 21 e da Equação 2.42, é possível observar que a carga radial atuante no conjunto de rolamentos será igual a carga dinâmica P , parâmetro utilizado para a seleção de mancais de rolamento SKF. Considerando o diâmetro do eixo de 6 mm, e a carga dinâmica de 0,056 kN, é possível selecionar o mancal de rolamento SKF 706 ACD/P4A que, por sua vez suporta carga dinâmica de até 1,95 kN e carga estática de 0,75 kN. Além disso, este mancal permite uma velocidade de rotação de até 110000 RPM. Os parâmetros deste mancal são adequados para a operação da caixa de redução do cortador de gramas Smart Grass. Para a outra extremidade do eixo, foi selecionado o mancal de rolamento 719/8 ACE/HCP4A. Este, por sua vez, possui diâmetro de furo de 8 mm, bem cargas dinâmica e estática de 1,68 kN e 0,585 kN, respectivamente. Além disso, a velocidade máxima atingida é de 130000 RPM com lubrificação a graxa. Essas características tornam este mancal adequado para a aplicação na caixa de redução.

Por fim, ressalta-se que os métodos de fixação entre as engrenagens e os eixos será pela própria pressão de contato entre estes elementos (interferência). Além disso, a fixação entre os mancais de rolamento e a carcaça da caixa de redução também será realizada por interferência. Ressalta-se que, devido ao método de fixação das engrenagens sobre o eixo e da alteração da geometria da Caixa de Redução para o PC3 (divisão entre Carcaça e Tampa), não será necessária a utilização de anéis de retenção para prevenir qualquer deslocamento axial, pois estes serão automaticamente prevenidos devido aos motivos citados. Ademais, as engrenagens serão lubrificadas por meio de graxas para evitar qualquer possibilidade de desgaste prematuro, apesar das baixas potências transmitidas pela caixa de redução.

Considerado o ajuste por interferência entre os eixos de transmissão de potência e as engrenagens, optou-se por utilizar o ajuste H7/p6 como valor de entrada para o cálculo da capacidade de torque que este ajuste permite transmitir. Segundo ([BUDYNAS R. G.; NISBETT, 2011](#)), este representa um dos ajustes preferencias do Sistema de Furo Básico (Preferred Metric Limits and Fits, ANSI B4.2 - 1978) e é comumente utilizado para peças que requerem rigidez e alinhamento com acurácia primordial de localização, como o ocorre na Caixa de Redução do cortador Smart Grass. Segundo a Tabela 15 (Afastamentos limites para furos “H”) da norma NBR 6158, para eixos com diâmetro nominal entre 6 e 10 mm, como é o caso dos eixos da Caixa de Redução, o afastamento inferior (EI) é igual a 0, enquanto que o afastamento superior é igual a $+15 \mu m$. Segundo a Tabela 35 da norma supracitada, considerando a tolerância s6 para os eixos, o afastamento inferior (EI) para eixo com diâmetro nominal entre 6 e 10 mm é de $+15 \mu m$. O afastamento superior para esta condição é de $+24 \mu m$.

Considerando que o eixo e a engrenagem possuem mesmo módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson (propriedades que são aproximadamente constantes independentemente do tipo de aço e tratamento termomecânico), é possível calcular a pressão gerada na interface do ajuste por interferência de acordo com a Equação 2.43:

$$p = \frac{E\delta}{2d^3} \left[\frac{(d_0^2 - d^2)(d^2 - d_i^2)}{(d_0^2 - d_i^2)} \right] \quad (2.43)$$

Em que:

- p = Pressão na interface do ajuste [MPa]
- E = Módulo de elasticidade dos materiais [GPa]
- δ = diferença diametral (diferença entre diâmetro externo do eixo e diâmetro interno do furo) [mm]
- d = diâmetro nominal do furo da engrenagem [mm]
- d_0 = diâmetro externo da engrenagem (diâmetro primitivo) [mm]

- d_i = diâmetro interno do eixo (se houver) [mm]

Considerando que os eixos utilizados na Caixa de Redução do Smart Grass são maciços, a Equação 2.43 torna-se:

$$p = \frac{E\delta}{2d^3} \left[\frac{(d_0^2 - d^2)}{(d_0^2)} \right] \quad (2.44)$$

Considerando o valor δ como sendo a maior diferença diametral (de acordo com as tolerâncias estabelecidas), obtém-se, a partir da Equação 2.44, o seguinte resultado para a engrenagem de 70 dentes:

$$p = \frac{200 * 10^9 \text{ Pa} * (24 * 10^{-6} \text{ m})}{2 * 0,008 \text{ m}} \left[\frac{(0,070 \text{ m})^2 - (0,008 \text{ m})^2}{(0,070 \text{ m})^2} \right] \rightarrow p = -296,1 \text{ MPa} \quad (2.45)$$

A partir disso, é possível determinar a força de fricção na interface do ajuste e, posteriormente, o torque que pode ser transmitido pelo ajuste. A força de fricção, por sua vez, pode ser determinada pela Equação 2.46:

$$F_f = fN = f(pA) = f \left[p2\pi \left(\frac{d}{2} \right) l \right] = fp\pi dl \quad (2.46)$$

Em que:

- F_f = força de fricção [N]
- f = coeficiente de fricção entre as superfícies [adimensional]
- A = área de contato entre as superfícies [mm^2]
- l = comprimento da engrenagem [mm]

Segundo (MSPC, 2018b), o coeficiente de atrito entre estático entre duas superfícies de aço de médio teor de carbono sem lubrificação é de 0,74. Como a condição descrita representa o que foi proposto no projeto, optou-se por utilizar esse valor. Substituindo os valores na Equação 2.46, obtém-se:

$$F_f = fp\pi dl = 0,74 * (-296,1 \text{ MPa}) * \pi * 0,008 * 0,006 \text{ m} \rightarrow F_f = -33039,6 \text{ N} \quad (2.47)$$

O torque máximo que pode ser transmitido utilizando o ajuste acima é calculado conforme a Equação 2.48:

$$T = F_f \left(\frac{d}{2} \right) \quad (2.48)$$

$$T = 33039,6 \text{ N} * 0,004 \text{ m} \rightarrow T = -132,2 \text{ Nm} \quad (2.49)$$

Considerando o maior valor de torque ilustrado na Tabela 12, é possível observar que o ajuste interferente utilizado na engrenagem de 70 dentes escolhido é suficiente para permitir a transmissão de torque prevista no projeto.

2.3.2 Sistema de Corte e Regulagem de Altura

Após a conclusão das escolhas preliminares (Seção T.1 do apêndice), foi possível esquematizar a estrutura do *deck*, conforme mostrado na Figura 34.

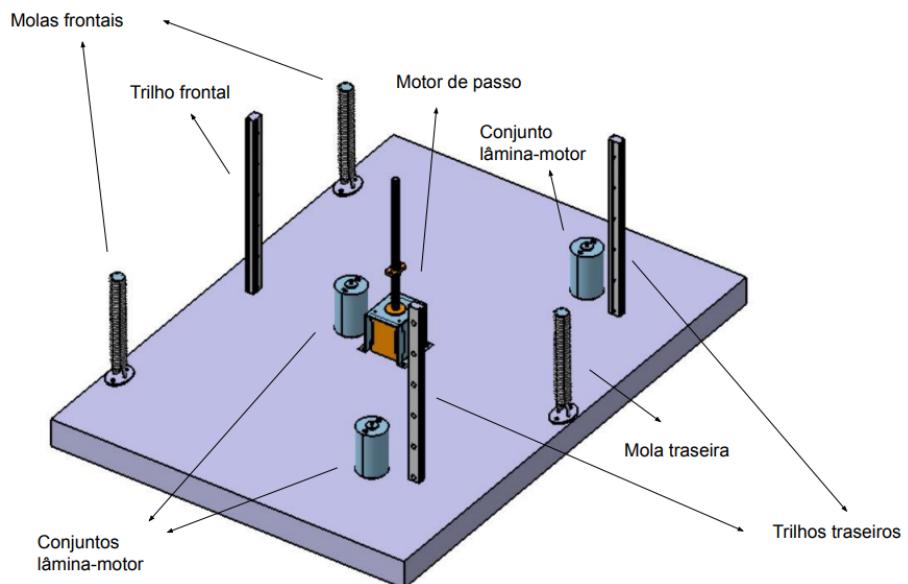


Figura 34 – Esquemático do *deck*.

A Figura 35 mostra a visão geral dos componentes utilizados para a fixação da lâmina. Vale enfatizar que o *deck* foi omitido da figura para fins de visualização e se encontra entre o motor e os demais componentes.

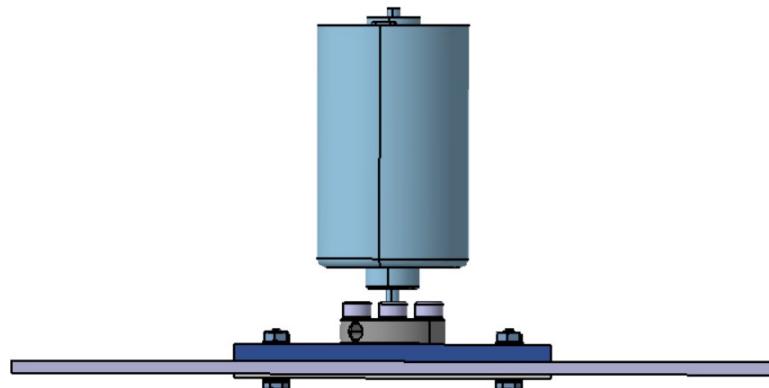


Figura 35 – Conexão entre o motor e a lâmina.

Na Figura 36, estão destacados os principais componentes de fixação da lâmina no motor. A função do acoplamento é transmitir a potência do eixo para o restante do sistema. Para conectar o acoplamento e a lâmina, serão utilizadas placas de aço inox (adaptador e flange) que serão adequadas aos furos das lâminas adquiridas.

Dessa forma, o acoplamento é conectado ao eixo do motor e é fixado no adaptador por meio dos quatro parafusos do acoplamento, mostrados na figura. Por conseguinte, é necessário que os furos do adaptador sejam compatíveis com os parafusos M4 do acoplamento. Para isso, será utilizada uma broca M4 para perfurar os quatro furos referentes aos parafusos.

Para a fixação da lâmina no adaptador, foram utilizados dois parafusos laterais do tipo passante, assim, garantindo que o movimento angular do eixo é o mesmo da lâmina.

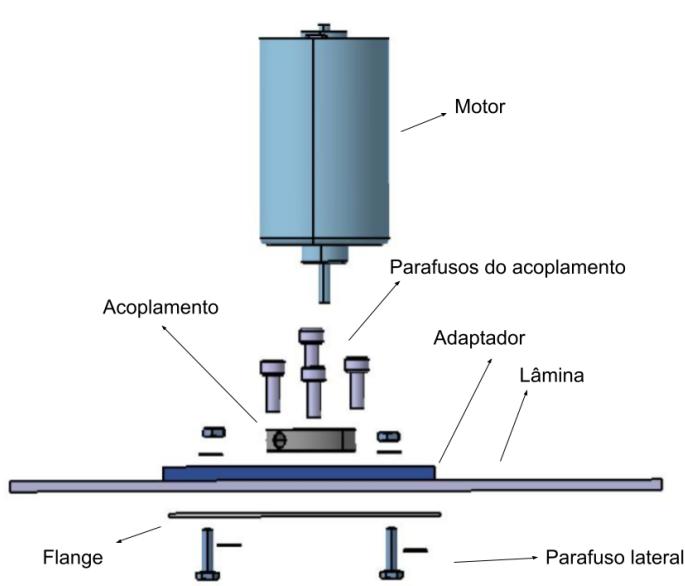


Figura 36 – Elementos de fixação dos motores nas lâminas.

Na Figura 37, está ilustrada a geometria do bloco linear, bem como sua conexão com o trilho. Da figura, é possível observar que a fixação do bloco é realizada por parafusos. Correlato a isso, estão apresentadas na Figura 38 as conexões entre os patins e o chassi.

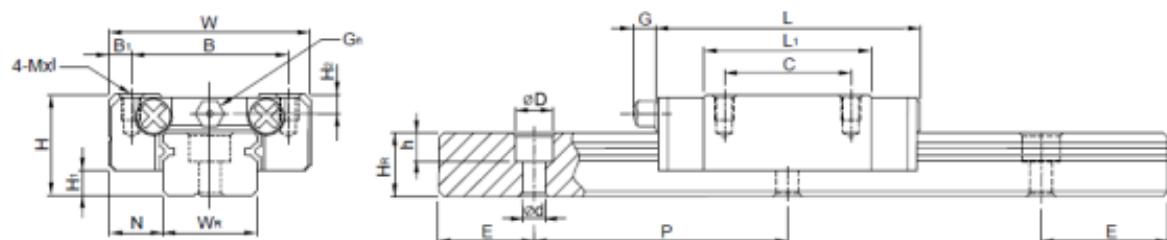


Figura 37 – Guia linear utilizada no projeto.

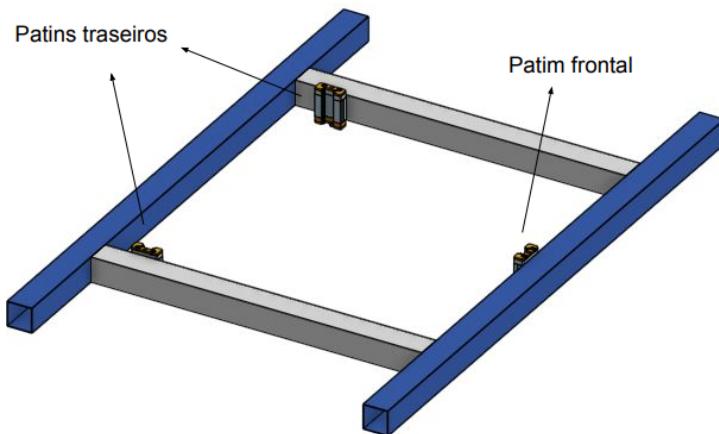


Figura 38 – Detalhe da conexão entre o bloco e a viga de sustentação.

O método de fixação das molas será feito por meio de ganchos (Figura 39), conforme mostrado nas Figuras 40 e 41, no chassi e no *deck*, respectivamente.



Figura 39 – Elemento de fixação das molas.



(a) Visão inferior da fixação das molas no chassi.

(b) Visão superior da fixação das molas no chassi.

Figura 40 – Fixação das molas no chassi.

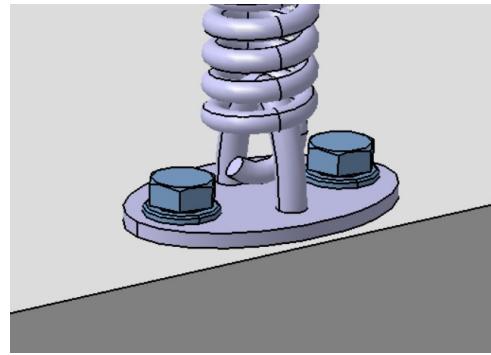
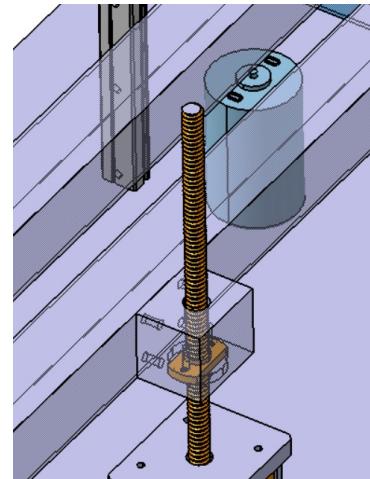


Figura 41 – Fixação das molas no *deck*.

Como a castanha deve permitir o movimento do fuso, foi escolhido um suporte que realiza a fixação no chassi de forma lateral, assim, permitindo a passagem do fuso. Na Figura 42(a), está ilustrado o suporte para a castanha e na Figura 42(b), é possível observar a forma que o componente é fixado no chassi.



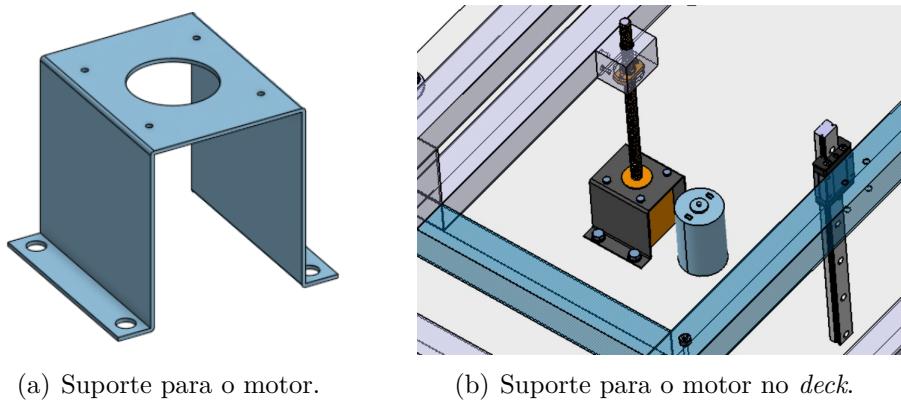
(a) Suporte para a castanha.



(b) Suporte para a castanha no chassi.

Figura 42 – Fixação da castanha no chassi.

Relacionado ao método de fixação do motor, como a fixação é realizada por parafusos na parte superior do motor, é necessário utilizar um componente que permita a fixação pela parte de baixo, de forma que o motor de passo fique posicionado na região superior do *deck*. Na Figura 43(a), está ilustrado o componente de fixação e, na Figura 43(b), é possível observar esse componente no *deck*. O suporte será fabricado para se adequar ao motor utilizado e mais detalhes do método de fabricação se encontram na Seção 2.3.2.2.

Figura 43 – Fixação da motor no *deck*.

Como o sistema é excitado por vibrações dos motores das lâminas, serão utilizadas mantas de borracha (Figura 44) entre cada patim e o chassi e entre o suporte da castanha e o chassi. Assim, serão cortados os pedacos a partir do rolo de manta, bem como os furos por onde passam os parafusos de fixação dos patins no chassi.



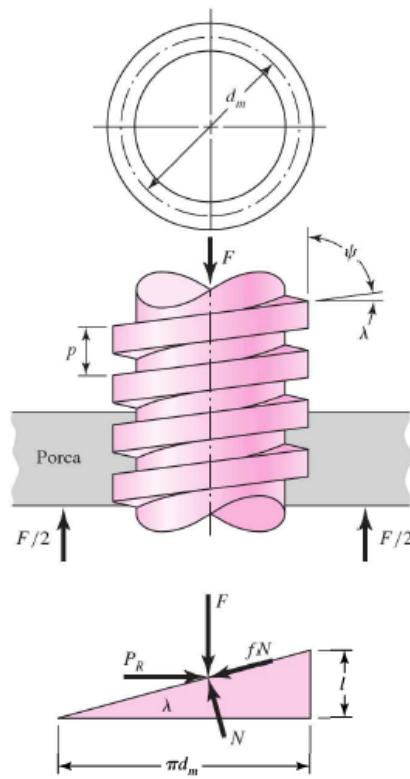
Figura 44 – Manta de borracha para amortecer vibrações.

2.3.2.1 Dimensionamento do Motor de Passo

Considerando a carga axial e a força de atrito, os torques requeridos para levantar e abaixar a carga, respectivamente, são dados pelas Equações 2.50 e 2.51 (BUDYNAS R. G.; NISBETT, 2011), em que as dimensões l e d_m podem ser encontradas na Figura 45, F é a carga axial sendo movimentada pelo motor de passo e f é o fator de atrito.

$$T_R = \frac{Fd_m}{2} \left(\frac{l + \pi f d_m}{\pi d_m - fl} \right) \quad (2.50)$$

$$T_L = \frac{Fd_m}{2} \left(\frac{\pi f d_m - l}{\pi d_m + fl} \right) \quad (2.51)$$

Figura 45 – Dimensões d_m e l .

Pelo dimensionamento das molas (Seção T.1.0.5), a força máxima exercida pelo motor de passo é $P_{deck}/100$. Como os valores de d_m e l são dados conhecidos e o fator de atrito entre cobre e aço está em torno de 0,53 (MSPC, 2018a), é possível obter os valores de T_R e T_L .

Substituindo os valores da Tabela 22 nas Equações 2.50 e 2.51, é possível encontrar os valores de T_R e T_L exigidos pelo sistema.

Tabela 22 – Dados para a validação do motor de passo.

Dado	Valor
f	0,53
d_m	7 mm
l	2,5 mm
F	1,14 N

$$\begin{aligned}
 T_R &= \frac{Fd_m}{2} \left(\frac{l + \pi f d_m}{\pi d_m - fl} \right) \Rightarrow T_R = \frac{1,14[N] \times 7[mm]}{2} \left(\frac{2,5[mm] + \pi \times 0,53 \times 7[mm]}{\pi \times 7[mm] - 0,53 \times 2,5[mm]} \right) \\
 &\Rightarrow T_R = 0,0027 N \cdot m
 \end{aligned} \tag{2.52}$$

$$\begin{aligned}
 T_L = \frac{Fd_m}{2} \left(\frac{\pi f d_m - l}{\pi d_m + fl} \right) &\Rightarrow T_L = \frac{1,14[N] \times 7[mm]}{2} \left(\frac{\pi \times 0,53 \times 7[mm] - 2,5[mm]}{\pi \times 7[mm] + 0,53 \times 2,5[mm]} \right) \\
 &\Rightarrow T_L = 0,0016 \text{ } N \cdot m
 \end{aligned} \tag{2.53}$$

Assim, das Equações 2.52 e 2.53, é possível afirmar que o torque máximo requerido, considerando a carga axial e o atrito, é $T_R = 0,0027 \text{ } N \cdot m$. Assim, é necessário que o torque máximo do motor de passo seja maior que T_R .

Dessa forma, foi escolhido um motor de passo com torque máximo baixo de $T_{max} = 0,4 \text{ } N \cdot m$. Assim, o coeficiente de segurança é 147. Vale ressaltar que é um coeficiente de segurança bem mais alto do que o necessário, porém, o torque de motores de passo, em geral, está de acordo com esse valor.

2.3.2.2 Resumo dos Componentes e Método de Fabricação

Nas Tabelas 23 e 24, é possível encontrar todos os componentes que fazem parte dos subsistemas de corte e ajuste, respectivamente. Na coluna “condição” está indicado se o produto será **comprado**, sendo uma solução disponível no mercado, ou se será **encomendado**, sendo necessária a fabricação de uma peça unicamente para a montagem do protótipo. Ainda, nas tabelas, é possível encontrar o *link* do produto para o caso de ser comprado. Para o caso em que será fabricado, o *link* levará para a loja/empresa que realizará a fabricação.

Tabela 23 – Componentes do subsistema de corte.

Nome do Componente	Quantidade	Condição	<i>Link</i>
Lâmina 1 - 30 cm	1	Comprado	Brudden
Lâmina 2 - 18 cm	2	Comprado	Alibaba
Motor das lâminas	3	Comprado	Robocore
Acoplamento	3	Comprado	Robocore
Adaptador 1	1	Encomendado	Dimaço
Flange 1	1	Encomendado	Dimaço
Adaptador 2	2	Encomendado	Dimaço
Flange 2	2	Encomendado	Dimaço
Parafusos Philips M3x6 para os motores das lâminas	6	Comprado	Forseti
Parafusos Allen M4x10 para os acoplamento	12	Comprado	Forseti
Parafusos laterais M6x20 - Conjunto 1	2	Comprado	Mercado Livre
Parafusos laterais M6x16 - Conjunto 2	4	Comprado	Americanas
Porcas M6 dos parafusos laterais	6	Comprado	Forseti
Arruelas M6 dos parafusos laterais	12	Comprado	Forseti

Tabela 24 – Componentes do subsistema de ajuste de corte.

Nome do Componente	Quantidade	Condição	<i>Link</i>
Chapas do <i>deck</i> de aço inox	1	Encomendado	Dimaço
Motor de passo NEMA 17 - 0,4 N · m	1	Comprado	Mercado Livre
Fuso TR8 8x300mm	1	Comprado	Proesi
Acoplamento do fuso	1	Comprado	Proesi
Castanha	1	Comprado	Mercado Livre
Elemento de fixação da castanha	1	Comprado	Mercado Livre
Elemento de fixação do motor de passo	1	Encomendado	Dimaço
Parafusos Philips M3x10 para o suporte para castanha	2	Comprado	Forseti
Parafusos Philips M4x35 para o suporte para castanha	4	Comprado	Mercado Livre
Parafusos Philips M3x5 para o suporte do motor de passo (parte superior)	4	Comprado	Usinainfo
Parafusos Allen M5x8 para o suporte do motor de passo (parte inferior - conexão com o <i>deck</i>)	4	Comprado	Forseti
Porcas M5 dos parafusos de fixação das do motor de passo no <i>deck</i>	4	Comprado	Casa do Imã
Guias lineares com cromo 15 mm (linha anti oxidação)	3	Comprado	Prado Automação Industrial
Patins MGN15C	3	Comprado	Prado Automação Industrial
Parafusos Philips M3x35 de fixação dos patins	12	Comprado	Robocore
Manta para vibrações	1	Comprado	Mercado Livre
Molas de tração	3	Encomendado	Isomol
Ganchos das molas	6	Comprado	Mercado Livre
Parafusos sextavados M5x8 para fixação dos ganchos das molas no <i>deck</i>	6	Comprado	Brafer
Parafusos sextavados M5x40 para fixação dos ganchos das molas no chassi	6	Comprado	Brafer
Porcas M5 dos parafusos de fixação das molas	12	Comprado	Casa do Imã

Para os materiais listados na Tabela 23, serão fabricadas para o projeto quatro tipos de peça, os adaptadores e flanges. Existem dois tipos de cada peça, visto que a lâmina frontal exige outro tamanho de furos e distância entre os furos em relação às lâminas traseiras. O material dos adaptadores e flanges será aço inox com corte a laser para o

formato retangular e furos laterais. Porém, os furos centrais dos adaptadores serão feitos com uma broca M4 para a compatibilidade necessária com os parafusos do acoplamento.

Com relação ao sistema de ajuste de corte, será necessário fabricar o *deck*, as molas de tração e o elemento de fixação do motor de fuso no *deck*. Para garantir a durabilidade e resistência contra a umidade do solo ou poças d'água, esses componentes serão de aço inox. Além disso, os furos do *deck* e do componente de fixação do motor de fuso também serão cortados por laser.

Conforme mencionado, as molas serão fabricadas com base nas dimensões necessárias para que se obtenha a constante elástica necessária. Assim, serão encomendadas pela empresa Isomol, referenciada na Tabela 24.

Para o caso do *deck*, serão utilizadas chapas retangulares que serão soldadas para que se obtenha o formato do *deck*. Além disso, as guias também serão soldadas no *deck*. Referente ao processo de solda, a solda para formação do *deck* é do tipo “junta de canto” (Figura 46(a)) e a solda entre a guia e o *deck* é do tipo T (Figura 46(b)). Por ser um método amplamente empregado em aços comuns e aços inoxidáveis e produzir uma conexão de alta qualidade (CHIAVERINI, 1986), foi escolhida a solda TIG. Como as chapas do *deck* são do mesmo material, este também será utilizado como material de adição. Analogamente, para a conexão entre o *deck* e o trilho, como o trilho é de aço com adição de cromo para evitar a oxidação, é possível utilizar o mesmo processo de soldagem TIG, recomendada para todos os tipos de aço.

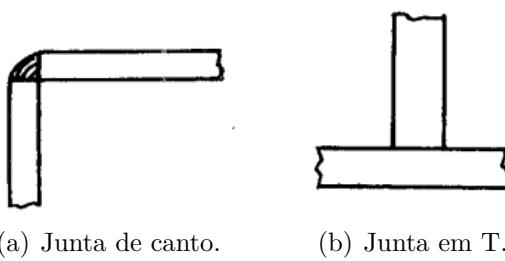


Figura 46 – Tipos de junta de solda utilizadas no sistema de corte e ajuste.

Além disso, o processo de fabricação do componente de fixação do motor de passo é por meio de dobradura de uma chapa com corte a laser.

Por fim, as guias serão compradas com um fabricante, porém, é escolhido o comprimento o trilho no momento da compra. Realizando ajustes no CAD, foi escolhido que o comprimento dos trilhos será de 225 mm.

Na Tabela 25 está resumido o método de fabricação dos componentes mencionados, em que os serviços descritos são realizados pela empresa Dimaço.

Tabela 25 – Método de fabricação dos componentes do sistema de corte e ajuste.

Nome do Componente	Descrição do Método	Material
Adaptador 1	Corte a laser e furos com broca M4	Aço inox
Flange 1	Corte a laser	Aço inox
Adaptadores 2	Corte a laser e furos com broca M4	Aço inox
Flange 2	Corte a laser	Aço inox
<i>Deck</i>	Corte a laser dos furos e soldagem do tipo junta de canto entre as placas e fixação dos trilhos	Aço inox
Elemento de fixação do motor de passo	Chapa plana com dobra e furos por corte a laser dos furos	Aço inox

2.3.3 Sistema de Suporte Estrutural

2.3.3.1 Chassi

O chassi é a estrutura responsável por suportar as cargas dos diversos componentes presentes no veículo terrestre (cargas úteis) e por conter as deformações decorrentes do carregamento externo ([GENTA G, 2008](#)). A estrutura preliminar do chassi do cortador de grama foi construída por meio de tubos comerciais retangulares de paredes finas. Os tubos são constituídos de aço com baixo teor de carbono (SAE 1010) e foram selecionados devido à possibilidade de se realizar uniões parafusadas (entre os diversos subsistemas e chassi) e uniões soldadas (entre os próprios perfis do chassi). As dimensões do chassi, bem como a disposição das vigas e pilares foram estabelecidas de acordo com as necessidades dos principais subsistemas. Dessa forma, é possível dividir o chassi em dois compartimentos principais, sendo um para a fixação do sistema de corte e outro para o suporte dos componentes de tração e alimentação energética do cortador. Entretanto, ressalta-se que o chassi preliminar será submetido à critérios de desempenho, tais como verificação de rigidez à flexão e rigidez à torção.

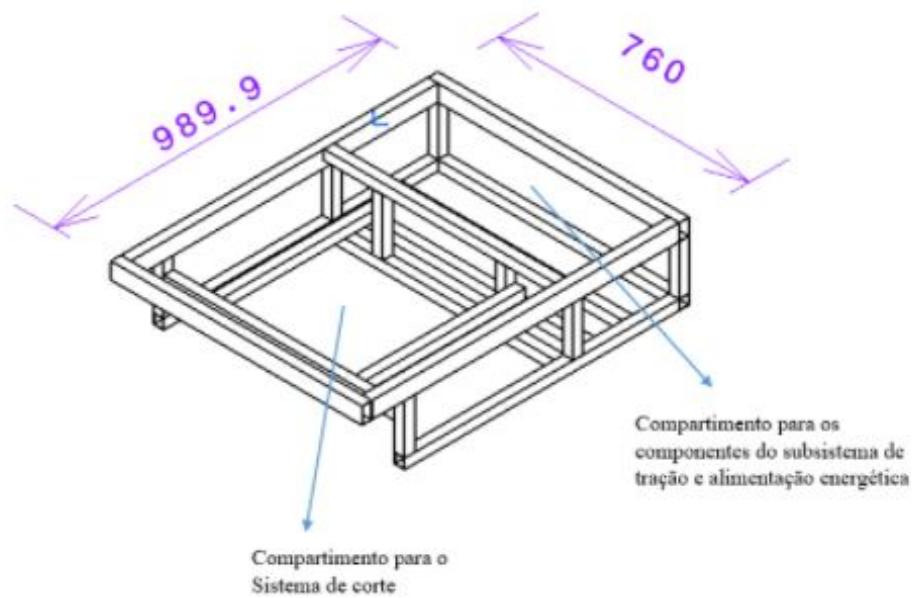


Figura 47 – Vista isométrica do chassi do cortador de grama.

O chassi é predominantemente composto por 2 tipos de perfis com espessura de parede preliminar de 1,20 mm conforme representado na Tabela 26.

Tabela 26 – Dimensões preliminares dos perfis que constituem o chassi do cortador de grama.

Comprimento [mm]	Seção [mm·mm]	Espessura [mm]	Quantidade [unidade]
930	50x30	1,20	2
760	50x30	1,20	2
831	30x30	1,20	2
700	30x30	1,20	4
171	30x30	1,20	2
150	30x30	1,20	6

2.3.3.1.1 Alterações realizadas no Chassi

Foram realizadas algumas alterações no chassi com relação ao Ponto de Controle 1, devido à maior conveniência para o ajuste da altura do sistema de corte. Dessa forma, o chassi foi reajustado para comportar o posicionamento do elemento ativo do sistema de regulagem de altura, no caso, o motor com fuso de esferas NEMA 17. O novo chassi está representado na Figura 48.

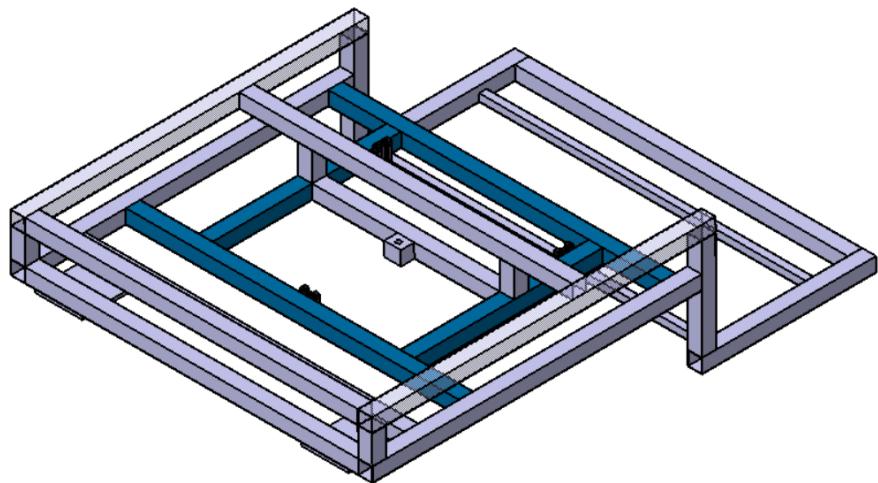


Figura 48 – Chassi do cortador de gramas Smart Grass atualizado.

Para comprovar o desempenho da nova configuração do chassi nas condições em que este se propõe a operar, foram realizadas simulações numéricas por meio do método dos elementos finitos. Devido à geometria dos perfis, optou-se por utilizar elementos de casca, de modo a representar o comportamento da mecânica estrutural adequado presente neste tipo de elemento que, por sua vez, é ditado pela teoria de placa e casca. O modelo em elementos finitos desta estrutura foi discretizado por meio de elementos de casca quadrilaterais com 4 nós (5 graus de liberdade por nó) e elementos quadrilaterais com 8 nós (5 graus de liberdade por nós). A qualidade da malha foi aferida por meio de três parâmetros, são estes: Element Quality, Aspect Ratio e Skewness. Estes parâmetros foram escolhidos por estarem amplamente associados à proximidade da geometria do elemento à uma forma perfeita, ou seja, sem distorções que comprometam os resultados das análises. A partir da Figura 49 é possível observar que a maior parte dos elementos Quad8 e Quad4 estão com o parâmetro Element Quality próximo a 1, o que representa um elemento geometricamente perfeito.

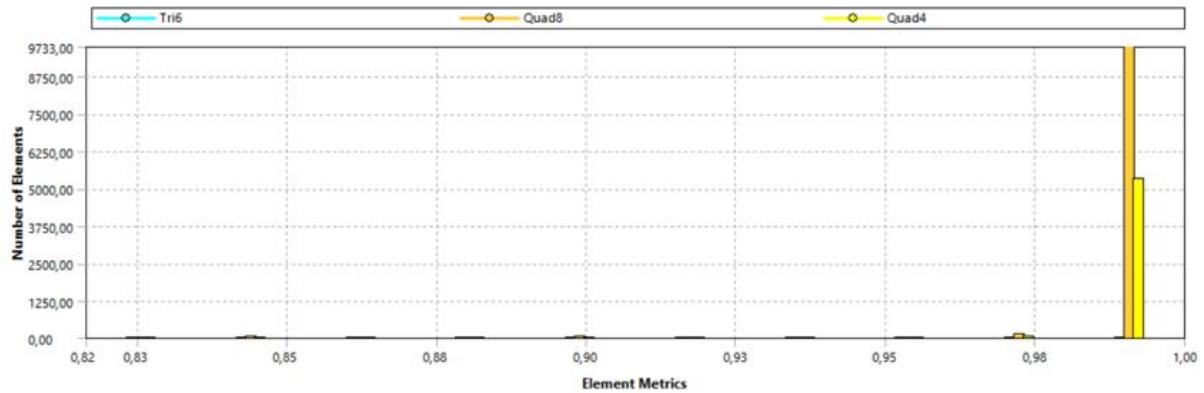


Figura 49 – Métrica da malha do chassi considerando o parâmetro Element Quality do ANSYS.

A partir da Figura 50 observa-se que a grande maioria dos elementos finitos do modelo apresentam o parâmetro Aspect Ratio próximo a 1. Este parâmetro representa a razão entre a maior e a menor aresta de um determinado elemento. Dessa forma, o Aspect Ratio de 1 para um elemento quadrilateral representa um quadrado.

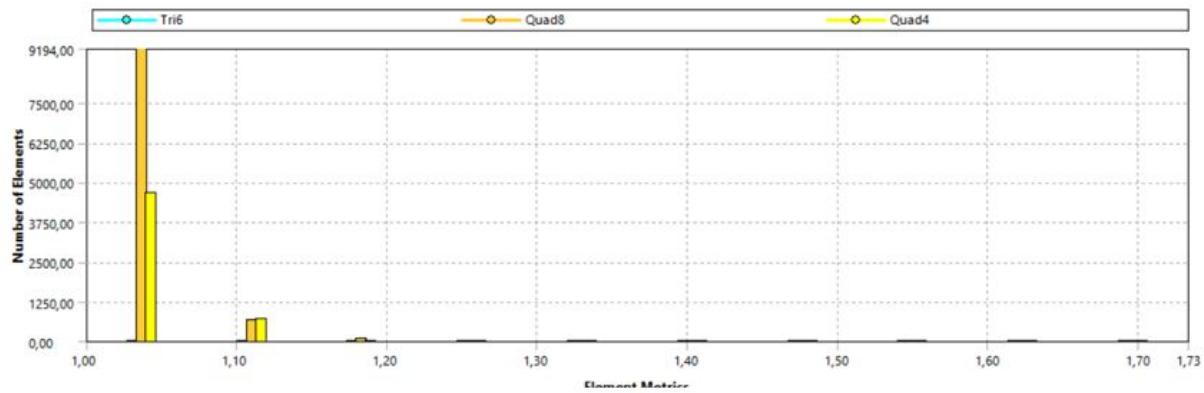


Figura 50 – Métrica da malha do chassi considerando o parâmetro Aspect Ratio do ANSYS.

A Figura 51, por sua vez, representa a métrica de malha para o parâmetro Skewness. Valores entre 0 e 0,25 deste parâmetro representam um elemento excelente (STUDENT, 2021).

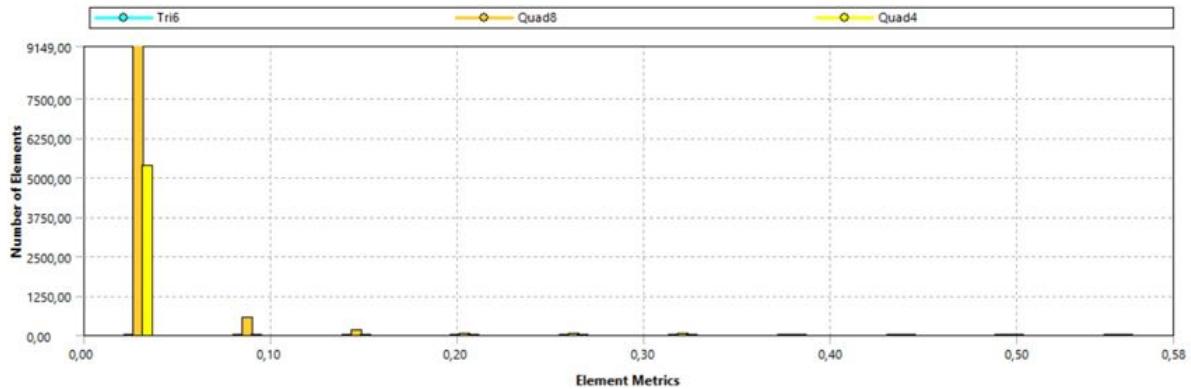


Figura 51 – Métrica da malha do chassi considerando o parâmetro Skewness do ANSYS.

Após a preparação adequada do Modelo em elementos finitos, foram realizadas análises para verificar a resistência estrutural do chassi do cortador de gramas. A primeira simulação realizada foi a verificação da rigidez à flexão do chassi. Este teste, por sua vez, deve ser realizado aplicando-se um carregamento na metade da distância entre eixos do veículo e medindo-se o deslocamento correspondente (GENTA G, 2008). A razão entre o carregamento aplicado e a deflexão do chassi no ponto de aplicação da força resulta na rigidez à flexão deste. Este procedimento pode ser representado pela Equação 2.54:

$$k_{flexao} = \frac{F_{flexao}}{\delta} \quad (2.54)$$

Em que

- k_{flexao} = rigidez à flexão [N/mm]
- F_{flexao} = força aplicada na metade da distância entre os eixos do veículo [N]
- δ = deslocamento vertical (deflexão) na região de aplicação da força [mm]

Para determinar a rigidez à flexão do chassi, aplicou-se um carregamento de 500 N, vide Figura 52. Além disso, foram aplicados engastes nos pontos de fixação das rodas traseiras (por meio de mancais) e das rodas dianteiras (por meio de chapas de aço).

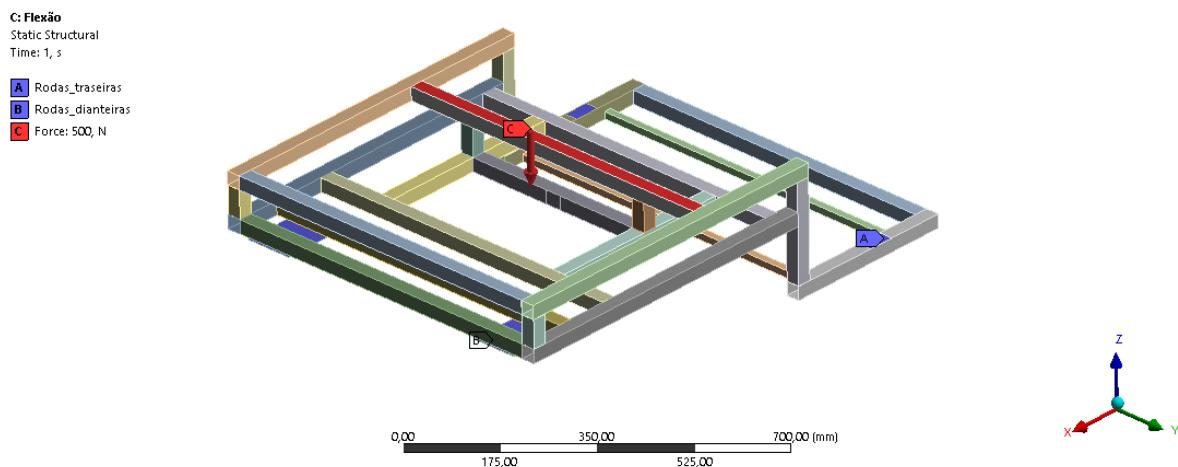


Figura 52 – Condições de contorno utilizadas para a determinação da rigidez à flexão.

O maior deslocamento vertical determinado pela simulação foi justamente na região de aplicação da força. A magnitude do maior valor de deslocamento vertical obtido foi de 0,23 mm, conforme mostrado na Figura 53. A partir da Equação xx calculou-se a rigidez à flexão de 2141,7 N/mm.

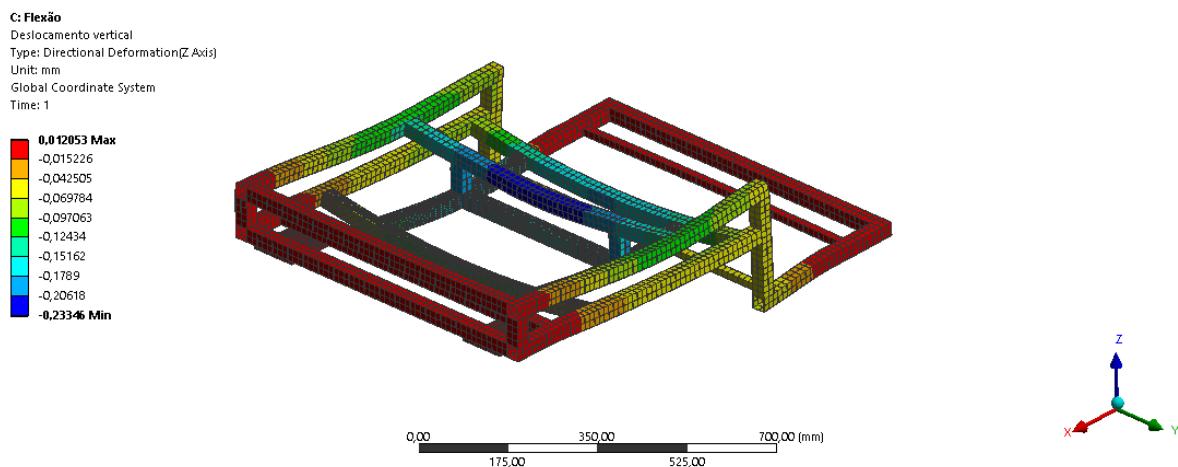


Figura 53 – Deslocamentos verticais obtidos na simulação para determinação da rigidez à flexão do chassi.

Com o objetivo de verificar o desempenho do chassi do cortador de gramas, também realizou-se uma análise para determinação da rigidez à torção dessa estrutura. Esta análise deve ser feita aplicando-se um momento conhecido no eixo dianteiro e medindo-se o deslocamento angular correspondente (GENTA G, 2008). O eixo traseiro deve ser mantido fixo, de modo a permitir o equilíbrio da estrutura durante o teste. Dessa forma, foram aplicadas duas forças de 500 N (com sentidos contrários) nas regiões de fixação das rodas dianteiras. A partir do conhecimento da distância entre os pontos de aplicação da força foi possível determinar o momento gerado em relação ao eixo que passa pelo centro

da metade da distância entre os pontos de aplicação da força (este eixo passa pelo centro do chassi do cortador). O momento calculado foi de 330 Nm, vide Figura 54.

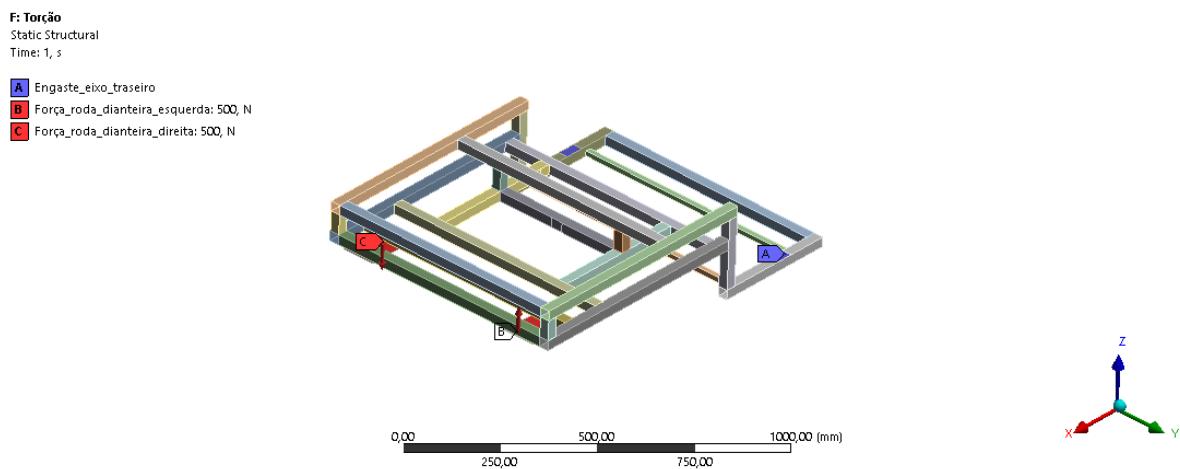


Figura 54 – Condições de contorno utilizadas na simulação para determinação da rigidez à torção do chassi.

A partir dos deslocamentos dos pontos de aplicação da força, foram utilizadas relações trigonométricas para determinar o ângulo de rotação (em radianos) correspondente ao momento aplicado no eixo dianteiro. Os valores de deslocamento obtidos nos pontos de aplicação das forças foram de aproximadamente 3,9 mm, conforme representado na Figura 55.

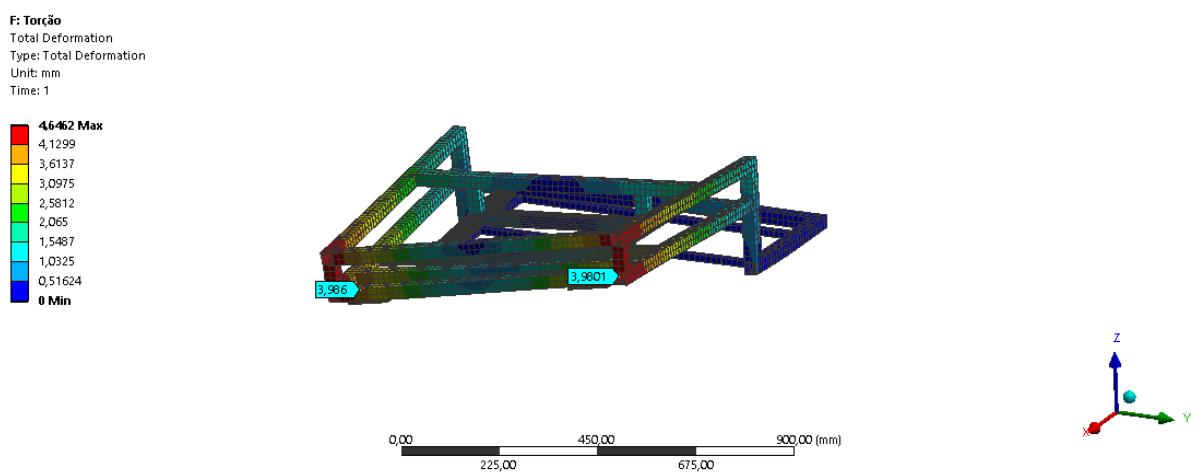


Figura 55 – Deslocamentos verticais para determinação do ângulo de torção do chassi.

Por meio de relação trigonométrica simples, obteve-se um ângulo de rotação de 0,667° (0,012 rad). Para determinar a rigidez à torção utilizou-se a equação:

$$k_{torcao} = \frac{M_{torcao}}{\phi} \quad (2.55)$$

Em que:

- k_{torcao} = rigidez à torção [Nm/rad]
- M_{torcao} = momento aplicado no eixo dianteiro do veículo [Nm]
- ϕ = ângulo de torção correspondente ao momento aplicado [rad]

A partir da Equação 2.55 obteve-se um valor de 27500 Nm/rad para a rigidez à torção.

Também realizou-se uma simulação com o intuito de verificar o comportamento estrutural do chassi quando submetido aos carregamentos dos principais subsistemas. Os carregamentos externos estão representados na Figura 56.

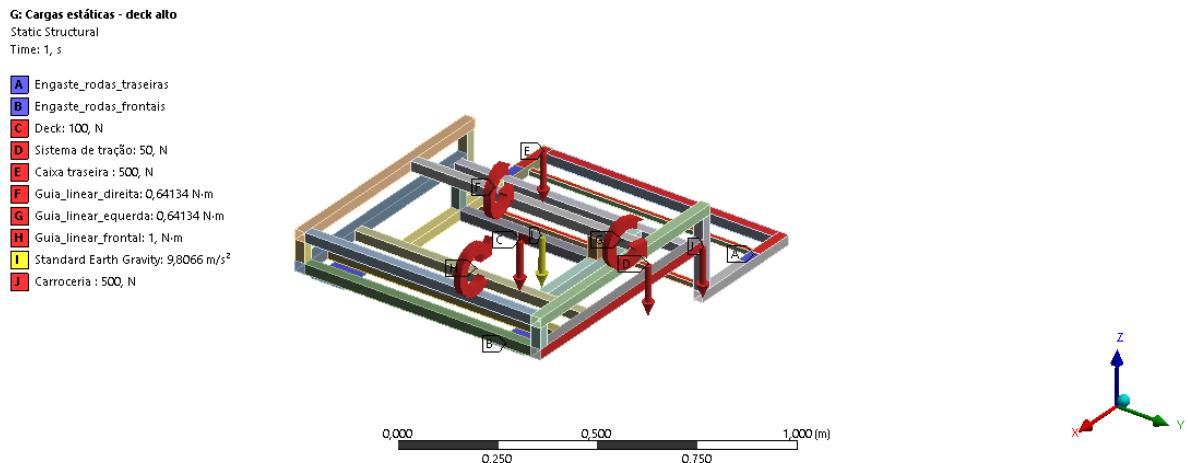


Figura 56 – Condições de contorno utilizadas para a simulação de verificação do comportamento do chassi quando submetido às cargas dos principais subsistemas.

Os valores para a tensão de von Mises foram obtidos, conforme representado na Figura 57. É possível observar que o maior valor de tensão obtido em toda a estrutura foi de aproximadamente 38 MPa. Considerando um aço comercial SAE 1010 com tensão de escoamento de aproximadamente 300 MPa, obtém-se um fator de segurança de 7,9 na região de maior tensão.

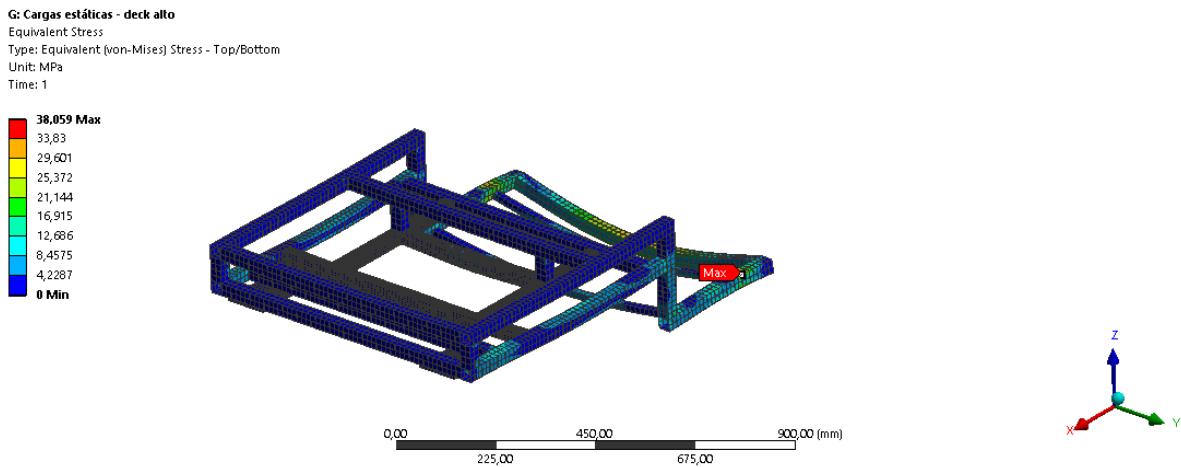


Figura 57 – Tensões de von Mises atuantes sobre a estrutura considerando os carregamentos dos principais subsistemas.

Com o intuito de se determinar as frequências naturais do chassi do cortador de gramas, foi realizada uma análise Modal. Nesta análise, foram considerados os engastes nos pontos de fixação das quatro rodas do cortador, conforme já mostrado na Figura 52, porém desconsiderando o carregamento externo. Foram obtidas as 6 primeiras frequências naturais da estrutura, bem como seus modos de vibração, conforme representado na Tabela 27.

Tabela 27 – Frequências naturais do chassi.

Modo de vibração da estrutura	Frequência natural [Hz]
1	124,58
2	134,67
3	141,92
4	164,21
5	194,42
6	198,37

A partir da Equação 2.56, é possível determinar a frequência de excitação dos motores elétricos de tração a partir da faixa de velocidades angulares especificadas para o cortador.

$$\omega = 2\pi f \quad (2.56)$$

Em que:

- ω = frequência angular [rad/s]
- f = frequência [Hz]

A partir das Equações 2.30 e 2.33, foi verificado que a faixa de velocidades dos motores elétricos de tração está entre 210,945 e 421,9 rad/s. Dessa forma, obtém-se uma faixa de frequências de excitação entre 33,6 e 67,1 Hz, respectivamente. Além disso, outra fonte de vibrações do cortador é o próprio sistema de corte. Os motores elétricos do sistema de corte giram com velocidade de aproximadamente 5000 RPM, o que equivale à 83,33 Hz. A partir dos resultados da Tabela 27 verifica-se que todos os primeiros 6 valores de frequências natural da estrutura estão relativamente distantes das frequências de excitação. Dessa forma, espera-se que possíveis falhas na estrutura decorrentes de vibrações mecânicas possam ser evitadas.

O Chassi contará com uma pintura eletrostática pelo fato de não conter solvente com facilidade na aplicação e na aderência, além de conter uma película de polímero termo-endurecível sobre o alumínio.

Pintura contra corrosão no aço do Chassi.

2.3.3.2 Carroceria

2.3.3.2.1 Desenho Preliminar

A carroceria, apresentada na Figura 134, será composta por três componentes com vértices sem cantos vivos, a fim de evitar ou minimizar danos, tanto para a carroceria quanto para o usuário, causados por impactos diagonais que por ventura venham a ocorrer entre usuário e a carroceria. As paredes da carroceria serão impermeáveis, suas conexões serão vedadas e o material utilizado deverá ser resistente à oxidação e à corrosão.



Figura 58 – Carroceria.

O componente superior da carroceria deverá ser confeccionado em fibra de vidro, com molde desenhado em isopor. A escolha desse tipo de material foi realizada por meio

de comparação entre diversos materiais através da matriz de decisão de materiais que será apresentada posteriormente na Tabela 28. Em comparação com outros materiais analisados, como polímero, aço inox e alumínio, a fibra de vidro foi a que melhor atendeu os principais requisitos elencados na matriz de decisão relacionados à facilidade de fabricação e de custo de fabricação, sem perder para os demais materiais em termos de resistência mecânica, durabilidade e resistência à corrosão e à oxidação.

O componente inferior e o componente traseiro da carroceria serão confeccionados em alumínio, por conta de sua leveza, maior facilidade de fabricação e resistência à corrosão e à oxidação. Essas características, quando comparadas às de outros materiais por meio de atribuição de pesos a cada uma, deram ao alumínio uma nota melhor, o que ajudou na escolha por esse material. A matriz de decisão de materiais desses dois componentes será melhor elucidada na Tabela 29.

A Figura 59 mostra a vista explodida da carroceria e seus principais componentes.

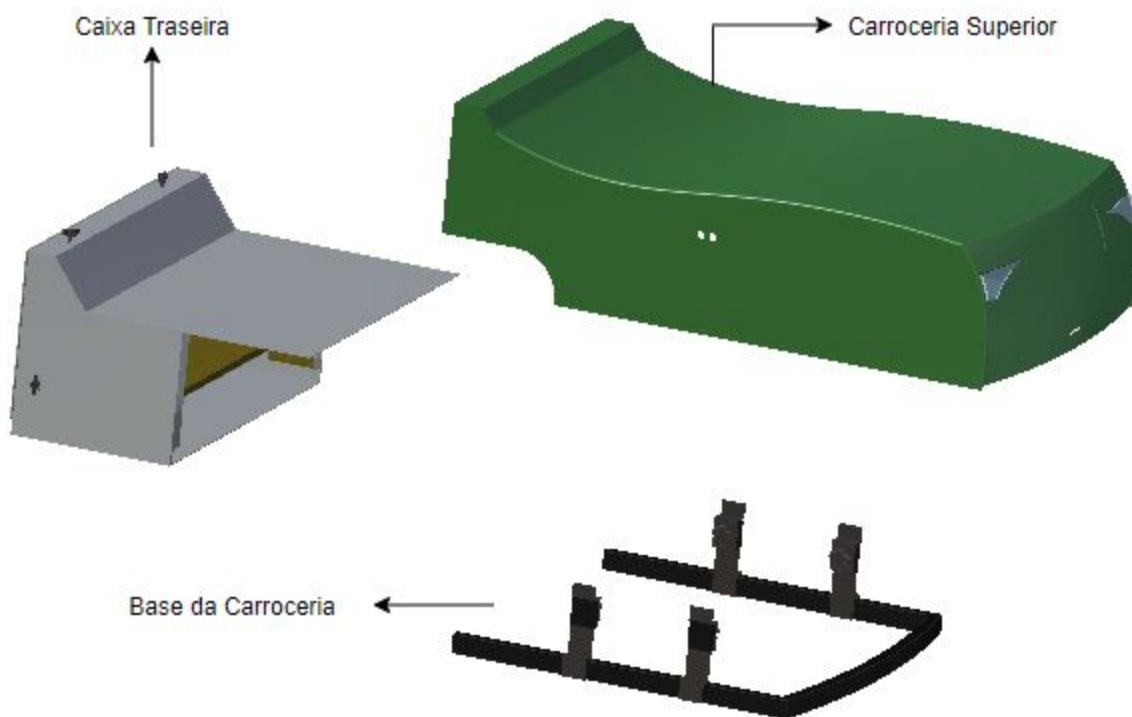


Figura 59 – Vista explodida da carroceria com os elementos que a compõem.

As principais dimensões da carroceria são:

- Altura total: 342 mm;
- Largura: 785 mm;
- Comprimento total: 1197 mm.

2.3.3.2.2 Escolha dos materiais

A seleção de materiais é uma parte imprescindível de todo projeto de engenharia, visto que está relacionada a características que influenciam o projeto dos elementos que compõem os subsistemas ou, em alguns casos, o sistema inteiro ([SHIGLEY J. E.; MISCHKE, 2005](#)). Ademais, a escolha de materiais também implica no design do produto final, na percepção do produto pelo o consumidor, no custo e na escolha do processo de fabricação. Por conseguinte, a etapa de seleção de materiais torna-se interdisciplinar e de suma importância para se obter êxito no desenvolvimento de um projeto.

Nesse sentido, os materiais a serem utilizados na fabricação da carroceria tiveram suas escolhas baseadas em critérios técnicos, tais como, rugosidade da superfície, massa, resistência à corrosão e à oxidação, resistência mecânica, facilidade de seu uso na fabricação dos componentes considerados, custo envolvido em sua aquisição e no processo de fabricação exigido pelo material e impermeabilidade.

Cada um dos critérios acima recebe um valor entre 1 e 5 correspondente ao peso do critério na fabricação e no resultado final dos componentes que integram o conjunto carroceria. A atribuição dos pesos aos critérios de análise é subjetiva e pretende identificar os critérios que têm maior peso no projeto e os que possuem peso menor.

Em seguida, são analisados os valores quantitativos e as características qualitativas de cada material e comparados com os valores e características dos demais materiais.

A atribuição dos pesos para as características dos materiais é subjetiva. Entretanto, a atribuição dos pesos às características quantitativas, como densidade, resistência mecânica e custo, é realizada em função dos valores obtidos para cada tipo de material, segundo o critério considerado. Assim, a fibra de vidro possui densidade de $0,0025\text{ g/cm}^3$, enquanto o aço inox tem densidade de 8 g/cm^3 e, o alumínio 6030, $2,7\text{ g/cm}^3$. Comparando os três materiais, a fibra de vidro receberia o maior peso, o alumínio, o peso intermediário e, o aço inox, o menor peso entre todos, haja vista que o material de menor densidade aparenta ser mais importante para o projeto, uma vez que a massa do cortador de grama deverá ficar abaixo de 50 kg.

Uma vez atribuídos os pesos às características quantitativas e qualitativas de cada material, segundo cada critério analisado, multiplica-se o valor do peso dado ao critério pelo peso dado ao material ([AHMAD, 2006](#)). Por fim, somam-se todos os valores resultantes das multiplicações, e o material que obtiver o maior valor resultante da soma será classificado como favorito a ser selecionado para o projeto em desenvolvimento. Foi por meio desse procedimento, então, que se construiu a matriz de decisão de materiais para o componente superior da carroceria. A Tabela 28 traz os resultados da análise e apresenta, por fim, a fibra de vidro como o material mais apropriado para o emprego desejado segundo os critérios considerados, haja vista sua pontuação total ter sido superior à dos

demais materiais analisados.

Tabela 28 – Matriz de decisão de materiais para parte superior da carroceria.

Critérios	Peso	Polietileno	Aço Inox	Alumínio	Fibra de Vidro
Superfície Lisa	5	5	5	4	4
Densidade	3	5	3	4	5
Resistência à Corrosão por Água Salgada	4	5	5	4	5
Resistência à Oxidação	5	4	2	5	5
Resistência Mecânica	5	4	5	4	5
Facilidade de Fabricação	4	1	3	3	4
Custo	5	1	3	3	4
Impermeabilidade	5	5	5	5	5
Pontuação Total	-	134	141	150	166

A tabela 29, por sua vez, traz os resultados da análise de possíveis materiais a serem utilizados na fabricação da base e da traseira da carroceria. Por conta da maior facilidade de se fabricar esses componentes com perfis ou tubos de aço inox ou alumínio quando comparada à necessidade de produção de molde para se utilizar a fibra de vidro nesse processo, optou-se por dar maior peso ao aço inox e ao alumínio segundo o critério de "Facilidade de Fabricação", o que modificou os resultados da tabela anterior, e resultou no alumínio como o material de maior pontuação nessa análise.

Assim, considerando a conveniência do processo e as características dos materiais melhor pontuados, optou-se por escolher a fibra de vidro para a fabricação da parte superior da carroceria e o alumínio, para a base e a traseira da carroceria.

Tabela 29 – Matriz de decisão de materiais para base e traseira da carroceria.

Critérios	Peso	Polietileno	Aço Inox	Alumínio	Fibra de Vidro
Superfície Lisa	5	5	5	5	4
Densidade	3	5	3	4	5
Resistência à Corrosão por Água Salgada	4	5	5	4	5
Resistência à Oxidação	5	4	2	5	5
Resistência Mecânica	5	4	5	4	5
Facilidade de Fabricação	4	1	5	5	3
Custo	5	1	4	5	5
Impermeabilidade	5	5	5	5	5
Pontuação Total	-	134	154	168	162

2.3.3.2.3 Simulações

2.3.3.2.4 Parte superior

A parte superior da carroceria foi desenhada levando em consideração os requisitos de: estética agradável, função estrutural de proteção do interior contra agentes externos e proteção dos componentes internos contra entrada de fluidos. Nesse sentido, a carroceria superior precisa ser esteticamente agradável, resistente a pequenos impactos e impermeável.

Por conta disso, foi decidido fazer uma carroceria inteiriça, com design elegante, que pudesse cobrir a maior parte do chassi, utilizando material impermeável, e capaz de resistir a esforços comumente encontrados em ambientes de uso comum, como o peso de um animal domesticado, de uma criança ou de um objeto de uso comum.

A Norma Regulamentadora NR-12 ([NR-12, 2019](#)) exige que dispositivos de máquinas internos ou que ofereçam perigo aos ser humano sejam protegidos por proteções estruturais fixas ou móveis. Segundo a Norma Regulamentadora NR-12, então, as proteções devem ser projetadas e construídas de modo a atender aos seguintes requisitos de segurança:

- a) cumprir suas funções apropriadamente durante a vida útil da máquina ou possibilitar a reposição de partes deterioradas ou danificadas;
- b) ser constituídas de materiais resistentes e adequados à contenção de projeção de peças, materiais e partículas;
- c) fixação firme e garantia de estabilidade e resistência mecânica compatíveis com os esforços requeridos;
- d) não criar pontos de esmagamento ou agarramento com partes da máquina ou com outras proteções;
- e) não possuir extremidades e arestas cortantes ou outras saliências perigosas;
- f) resistir às condições ambientais do local onde estão instaladas;
- g) impedir que possam ser burladas;
- h) proporcionar condições de higiene e limpeza;
- i) impedir o acesso à zona de perigo;
- j) ter seus dispositivos de intertravamento protegidos adequadamente contra sujidade, poeiras e corrosão, se necessário;
- k) ter ação positiva, ou seja, atuação de modo positivo; e
- l) não acarretar riscos adicionais.

A NR-12 não traz parâmetros de resistência para as proteções físicas. Entretanto, como ela afirma que a proteção física não pode trazer riscos adicionais e deve impedir acesso aos dispositivos que oferecem risco, decidiu-se por uma estrutura compacta e com resistência necessária para suportar o peso de uma criança ou de um animal domesticado de grande porte. Nesse caso, escolheu-se uma massa de 50 kg e multiplicou-se por 2, para se adicionar um fator de segurança, como parâmetro para a resistência física da carroceria. Utilizou-se $g = 10 \text{ m/s}^2$.

Para as regiões laterais da carroceria, utilizou-se a própria massa do cortador de grama como parâmetro de análise estrutural, uma vez que os impactos frontais, laterais ou traseiros que porventura venham a ocorrer durante a operação do equipamento, não estarão sujeitos a velocidade superior a 1 m/s.

Assim, os parâmetros gerais de análise estrutural da carroceria foram sintetizados na Tabela 30:

Tabela 30 – Tipo de Carga e Carga Aplicada.

Tipo de Carga	Carga Aplicada [N]
Frontal	50
Lateral	50
Vertical	1000
Torção	50

O carregamento aplicado à análise de torção normalmente é determinado pelo comportamento do chassi durante a movimentação do equipamento em terreno acidentado.

2.3.3.2.5 Malha

A simulação foi realizada com o apoio do software *Ansys*. A malha foi construída levando em consideração o detalhamento necessário para a obtenção de resultados precisos, mas, também, com vistas à capacidade computacional da estação de trabalho. A determinação da malha seguiu duas exigências, quais sejam:

- a) Refinamento suficiente para obtenção de resultados precisos;
- b) Custo computacional como restrição ao refinamento da malha.

Com base nessas exigências, inseriu-se os parâmetros apresentados na Figura 60 na definição da malha, gerando as estatísticas apresentadas na Tabela .

Details of "Mesh"	
<input type="checkbox"/>	Display
	Display Style Element Quality
<input type="checkbox"/>	Defaults
	Physics Preference Mechanical
<input type="checkbox"/>	Relevance 0
	Element Order Quadratic
<input type="checkbox"/>	Sizing
	Size Function Proximity and Curvature
	Relevance Center Medium
	Span Angle Center Medium
<input type="checkbox"/>	Curvature Normal Angle Default (30,0 °)
<input type="checkbox"/>	Num Cells Across Gap Default (3)
	Proximity Size Function Sources Faces and Edges
<input type="checkbox"/>	Min Size 3,0 mm
<input type="checkbox"/>	Proximity Min Size Default (8,01570 mm)
<input type="checkbox"/>	Max Face Size 10,0 mm
<input type="checkbox"/>	Growth Rate Default
	Automatic Mesh Based Defeaturing On
<input type="checkbox"/>	Defeature Size Default (1,50 mm)
	Minimum Edge Length 0,139220 mm
<input type="checkbox"/>	Quality
	Check Mesh Quality Yes, Errors
	Error Limits Standard Mechanical
<input type="checkbox"/>	Target Quality Default (0.050000)

Figura 60 – Parâmetros de Malha Inseridos.

Tabela 31 – Estatísticas de Malha.

Nodes	78412
Elements	26059
Mesh Metric	Nome

Com os parâmetros acima, foi obtida a malha com a qualidade representada na Figura 61. É possível notar nessa figura que o elemento de menor qualidade teve uma métrica de 0,5. Quanto mais próximo de 1 a métrica da qualidade de malha, melhor a qualidade do elemento de malha.

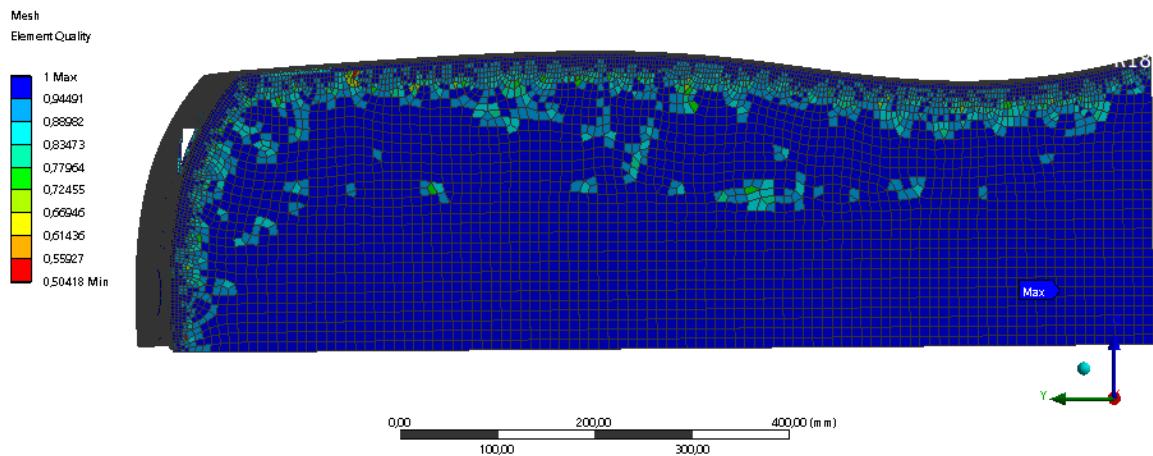


Figura 61 – Qualidade de Malha.

Na Figura 62, é possível ver mais de perto a qualidade da malha gerada.

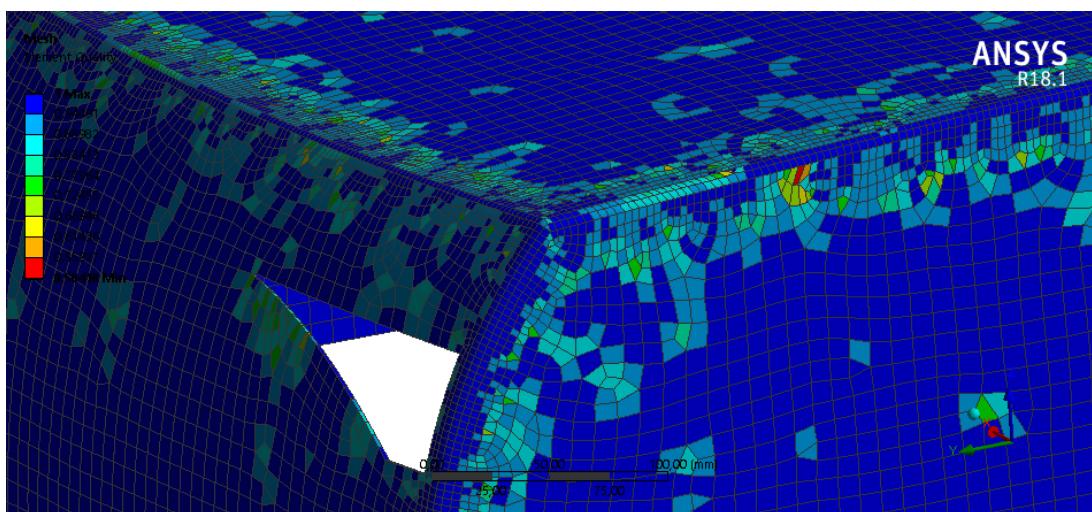


Figura 62 – Visão Aproximada da Malha Gerada

O Aspect Ratio é um parâmetro para análise da qualidade da malha. Ele corresponde à razão entre o maior e o menor lado da forma geométrica do elemento. Quanto mais próximo for esse valor de 1, mais próximo esse elemento estaria de um formato geométrico semelhante a um quadrado, que representa um elemento de malha perfeito. A Figura apresenta a malha gerada e os valores da Aspecto Ratio obtidos. Como se pode notar, a maioria dos elementos obteve um Aspecto Ratio igual a 1, com uma minoria tendo um valor entre 1 e 2, e uma pequena porção obtendo valor acima de 2.

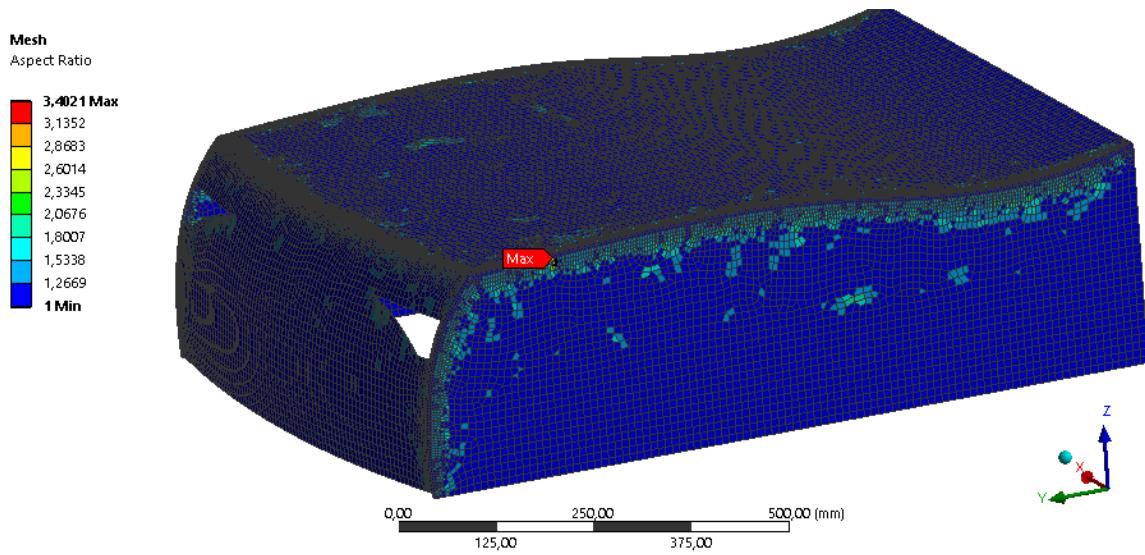


Figura 63 – Aspecto Ratio da Malha Gerada.

A Figura 64 apresenta, em formato de gráfico de barras, o número de elementos de malha em função da qualidade dos elementos. Podemos notar que a maior parte dos elementos estão bem próximos de 1. Isso indica uma malha consistente para análises estáticas e modais.

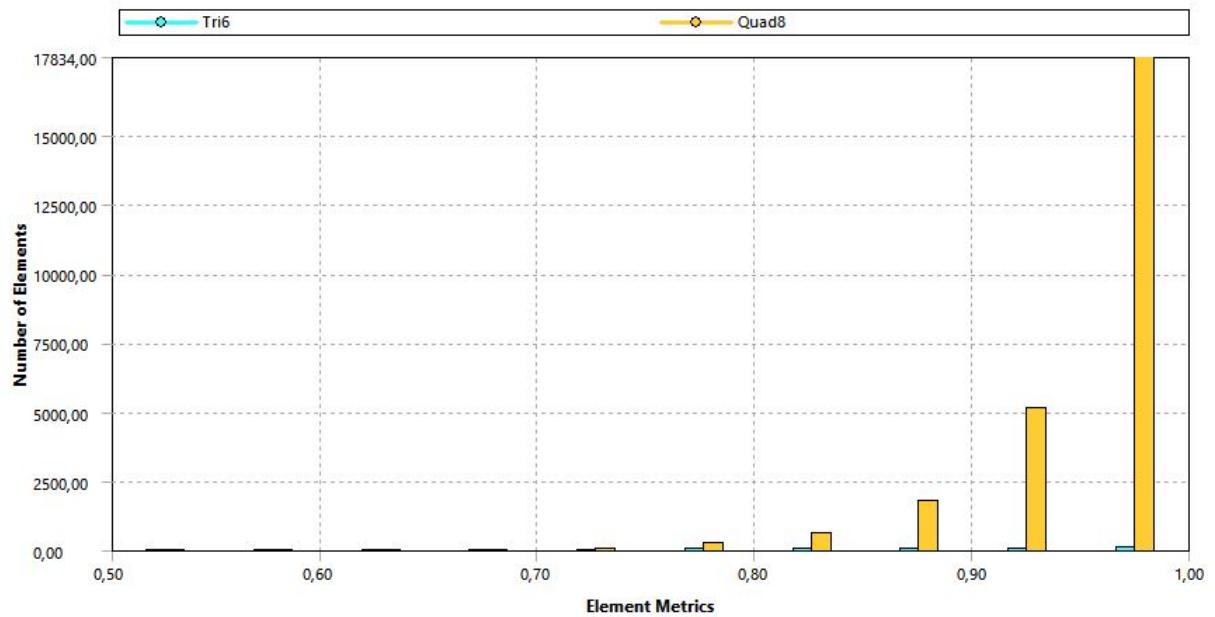


Figura 64 – Número de Elementos de Malha em Função de sua Qualidade.

Essa malha poderia ser melhorada em uma situação em que isso fosse possível. Entretanto, diante das limitações computacionais, ela foi utilizada como qualidade apresentada para a realização das simulações computacionais.

2.3.3.2.6 Condições de Contorno

Para a análise da resistência à flexão, foram estabelecidas as condições de contorno apresentadas na Figura 65, com a aplicação da Força Vertical na parte superior da carroceria, ponto A, e de suporte fixo nas arestas inferiores das paredes laterais, representadas pelo ponto B.

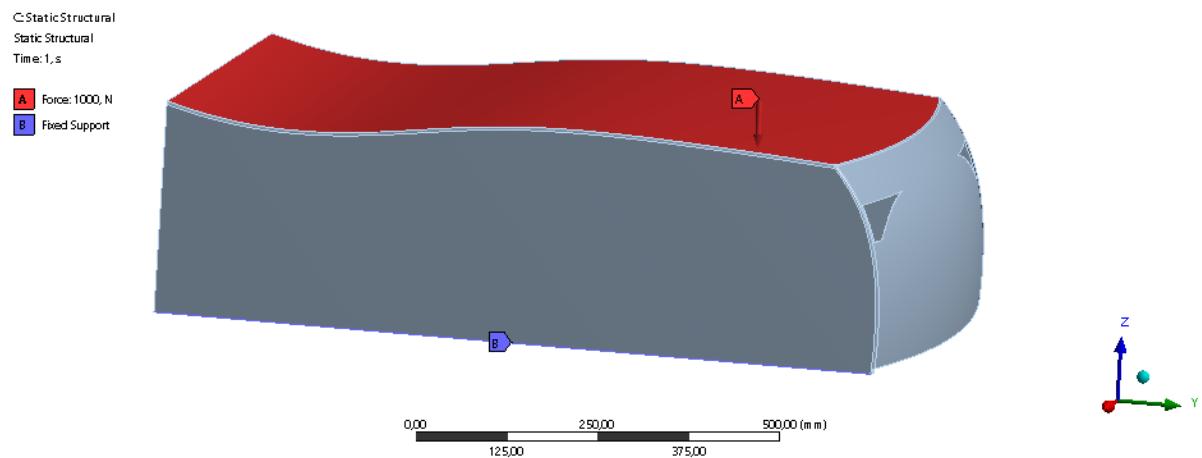


Figura 65 – Condições de Contorno de Análise à Flexão.

A resistência a esforço lateral estático foi simulada a partir das condições de contorno apresentadas na Figura 66, em que o ponto B representa o suporte fixo aplicado à lateral direita e, o ponto A, a Força Lateral aplicada à lateral esquerda.

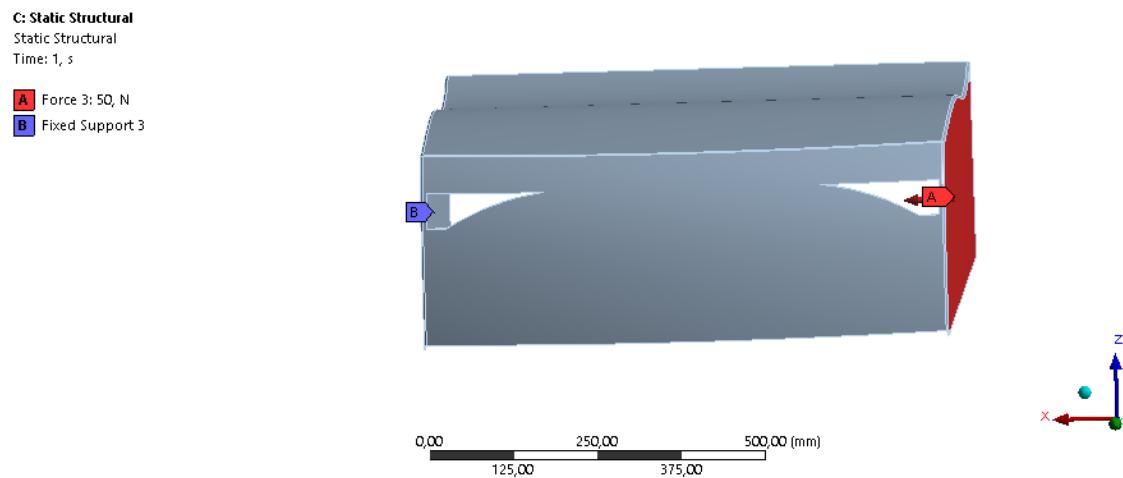


Figura 66 – Condições de Contorno de Análise de Resistência Estática Lateral.

A análise de resistência frontal, por sua vez, teve como condições de contorno as condições estabelecidas na Figura 67, a a Força Frontal aplicada na parte frontal da carroceria, e os suportes aplicados nas arestas da parte traseira.

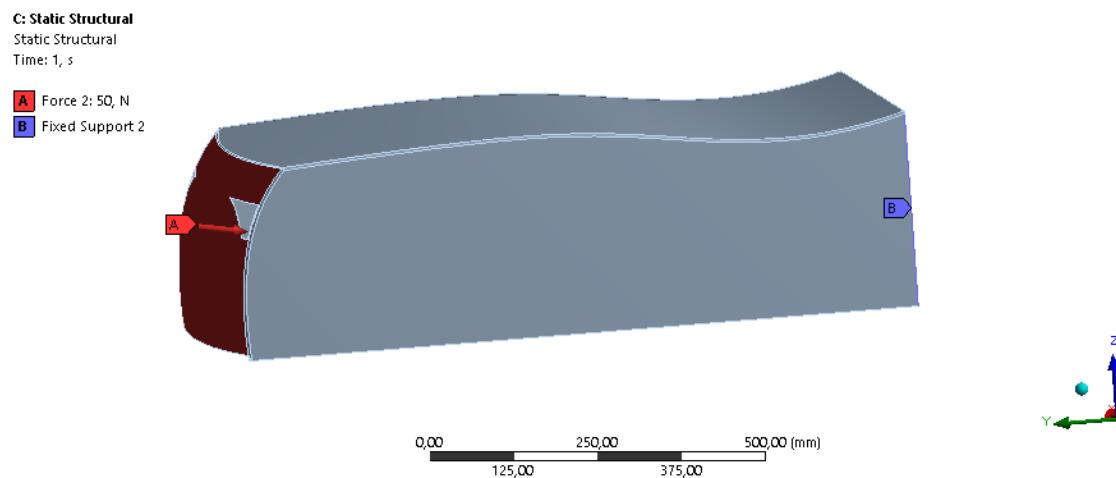


Figura 67 – Condições de Contorno de Análise da Resistência Frontal.

Por fim, foi realizada simulação torcional com o intuito de se visualizar o possível comportamento da carroceria durante operação do cortador de grama em terrenos acidentados. A Figura 68 apresenta as condições de contorno, com os suportes fixos colocados em bases fixadas nas duas extremidades traseiras, e as forças aplicadas em bases fixadas nas extremidades dianteiras. A carroceria foi cortada para simplificação da geometria da estrutura e facilitar os cálculos por parte do simulador.

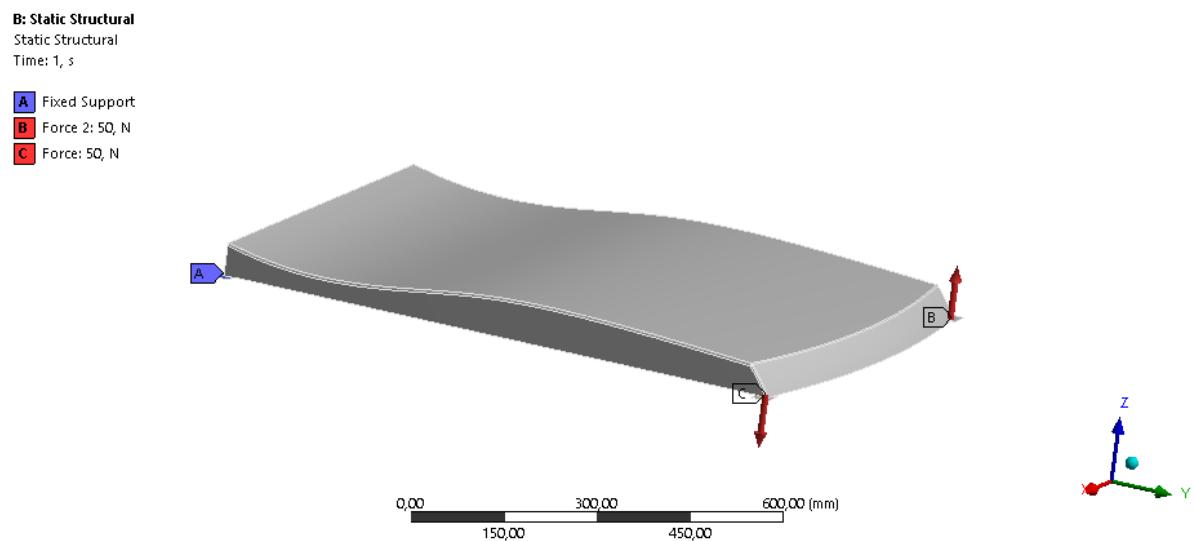


Figura 68 – Condições de Contorno de Análise da Resistência à Torção.

Enfim, as condições de contorno aplicadas à análise modal está apresentadas na Figura 69. Como as laterais da carroceria serão coladas em suportes laterais a serem fixados no chassi, colocou-se suporte fixo na aresta de cada lateral da carroceria, antes de se inicializar a simulação.

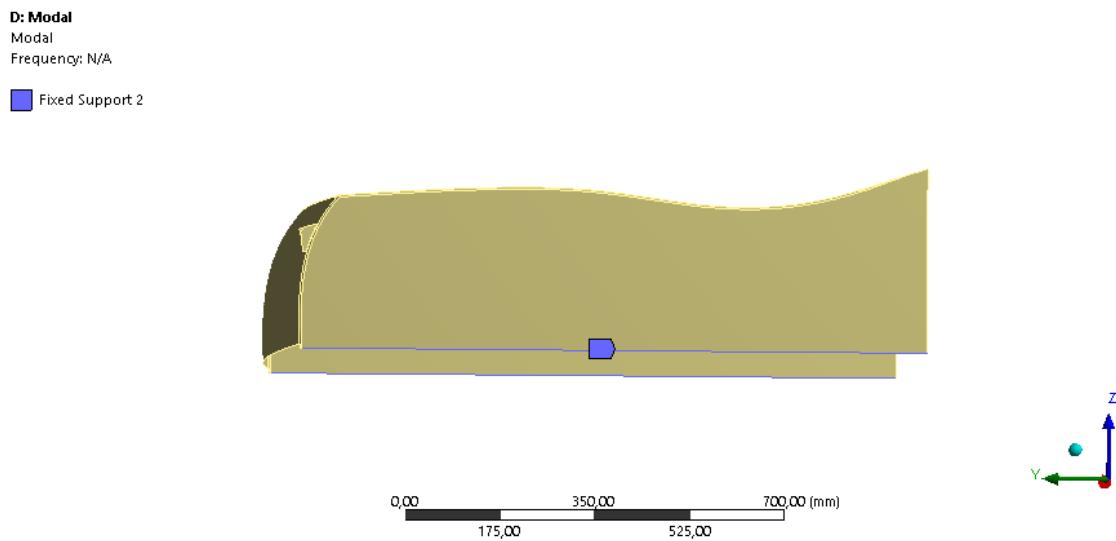


Figura 69 – Condições de Contorno da Análise Modal.

Com a realização das simulações a partir das condições acima estabelecidas, pretendeu-se analisar o comportamento da carroceria sozinha, para se observar onde, e se, ela necessitará de reforço antes de ser afixada no chassi.

2.3.3.2.7 Materiais Aplicados nas Simulações

Como definido na Subseção 2.3.3.2.2, o material escolhido para a fabricação da carroceria foi a fibra de vidro.

O software utilizado nas simulações, Ansys, possui um módulo específico para realização de simulações cujo material seja formado por compósito. Trata-se do módulo denominado ACP ("Ansys Composite PrePost"), desenhado especificamente para o design do compósito a ser utilizado na simulação, bem como para analisar os resultados da simulação com base nas teorias desenvolvidas especificamente para esse tipo de material. Entretanto, por motivos computacionais, o módulo ACP não rodou na máquina de realização das simulações. Então, foi necessário buscar novas alternativas para a análise da carroceria formada por compósito de fibra de vidro.

Diferentemente das ligas metálicas, os materiais em um compósitos permanecem separados um do outro em nível microscópio (SHIGLEY J. E.; MISCHKE, 2005). Os materiais tradicionais empregados em engenharia, como os metais, são isotrópicos, ou seja, são uniformes, independente do sistema de coordenada ou da posição escolhida dentro do material. Os materiais compósitos, por sua vez, são isotrópicos, ou seja, descontínuos, o que significa que suas propriedades podem variar em função da posição observada dentro do material ou do sistema de coordenadas utilizado em sua análise (SHIGLEY J. E.; MISCHKE, 2005). Uma das características desse tipo de material é a direcionalidade,

identificada pela direção única ou variada das fibras dependendo do tipo de material. Essa característica é o componente principal que dá aos compósitos suas propriedades especiais, capazes de unir leveza e alta resistência em um mesmo material, por exemplo. Mas, essa mesma característica é o que torna a análise de uma estrutura formada por material compósito extremamente complexa. A análise de uma única camada de um material compósito, assim, requer quatro constantes do material e uma quinta constante calculada a partir de três das quatro constantes anteriores, o que torna a análise estrutural manual de uma estrutura com material compósito impraticável (SHIGLEY J. E.; MISCHKE, 2005). Esse tipo de análise é realizada computacionalmente, por exemplo, com o uso das teorias de Tsai-Hill e Tsai-Wu (KASSAPOGLOU, 2013).

Por outro lado, a teoria da máxima tensão de falha, mais antiga que as teorias de Tsai-Hill e Tsai-Wu, utilizava as tensões em cada direção de uma única camada de compósito para analisar a máxima tensão de falha do compósito (KASSAPOGLOU, 2013). A máxima tensão de falha do compósito é dada, então, pelas equações:

$$\sigma_x < X^t \text{ ou } \sigma_x < X^c \text{ dependendo se } \sigma_x \text{ é tensão ou compressão} \quad (2.57)$$

$$\sigma_y < Y^t \text{ ou } \sigma_y < Y^c \text{ dependendo se } \sigma_y \text{ é tensão ou compressão} \quad (2.58)$$

$$T_{xy} < S \quad (2.59)$$

Em que σ_x , σ_y e T representam os estresses sobre o material nas direções x, paralela às fibras, e na direção y, perpendicular às fibras (KASSAPOGLOU, 2013). X^t , X^c , Y^t , Y^c e S correspondem aos valores de tensão de tração ou de compressão em cada direção. Se os valores do lado esquerdo das três equações forem menores que os valores do lado direito, o material não está em situação de falha. Caso pelo menos um dos valores do lado esquerdo da equação seja superior ao valor correspondente do lado direito, o material sofreu falha (KASSAPOGLOU, 2013).

Na impossibilidade de uso de *software* para a realização de uma análise mais acurada, optou-se, metodologicamente, pelo uso de duas técnicas para que, conjuntamente, se possa chegar à validação do uso da fibra de vidro na fabricação da carroceria:

- (A) A primeira técnica consistirá em comparar os valores de tensão e deformação total para três tipos de materiais, fibra de vidro unidirecional, fibra de vidro com mais de uma direção e alumínio. Cada material foi simulado para duas espessuras diferentes, quais sejam: 2 e 3 mm. Por fim, em todos os casos foram aplicadas as mesmas cargas apresentadas na Tabela 30 e as mesmas condições de contorno anteriormente expostas.

- (B) Foi utilizada a teoria da máxima tensão de falha para analisar o material escolhido em função dos valores de tensão aplicados.

Com isso, objetiva-se obter uma visão mais racional acerca do material e de sua escolha para a estrutura analisada.

A Tabela 32 traz as características do compósito a ser testado: o Epoxy E-Glass Wet. Esse material foi escolhido por não ser unidirecional, o que lhe confere características mecânicas em mais de uma direção, ao contrário do Epoxy E-Glass Ud, direcional, que oferece boas características mecânicas em apenas uma direção. Por outro lado, o *software* ANSYS possui, ainda, a fibra de vidro de nome Epoxy S-Glass UD, que possui características superiores às duas fibras de vidro anteriores (DANIEL I; ISHAI, 2006). Entretanto, o custo desse último tipo de fibra de vidro é muito superior ao dos demais, por isso ela foi descartada.

Tabela 32 – Propriedades do Epoxy E-Glass Wet.

Propriedades	Valor	Unidade
Densidade	1,85	gcm^{-3}
Módulo de Young em X	35000	MPa
Módulo de Young em Y	9000	MPa
Módulo de Young em Z	9000	MPa
Coeficiente de Poisson XY	0,28	
Coeficiente de Poisson YZ	0,4	
Coeficiente de Poisson XZ	0,28	
Módulo de Cisalhamento XY	4700	MPa
Módulo de Cisalhamento YZ	3500	MPa
Módulo de Cisalhamento XZ	4700	MPa
Tensão em X	780	MPa
Tensão em Y	31	MPa
Tensão em Z	31	MPa
Resistência à Compressão em X	-480	MPa
Resistência à Compressão em Y	-100	MPa
Resistência à Compressão em Z	-100	MPa
Cisalhamento XY	60	MPa
Cisalhamento YZ	35	MPa
Cisalhamento XZ	60	MPa

As Tabelas 33 e 34 trazem, respectivamente, as propriedades da fibra de vidro Epoxy E-Glass UD e do Alumínio, que serão utilizados para fins de comparação com a fibra Epoxy E-Glass Wet.

Tabela 33 – Propriedades do Epoxy E-Glass UD.

Propriedades	Valor	Unidade
Densidade	2	gcm^{-3}
Módulo de Young em X	45000	MPa
Módulo de Young em Y	10000	MPa
Módulo de Young em Z	10000	MPa
Coeficiente de Poisson XY	0,3	
Coeficiente de Poisson YZ	0,4	
Coeficiente de Poisson XZ	0,3	
Módulo de Cisalhamento XY	5000	MPa
Módulo de Cisalhamento YZ	3846,2	MPa
Módulo de Cisalhamento XZ	5000	MPa
Tensão em X	1100	MPa
Tensão em Y	35	MPa
Tensão em Z	35	MPa
Resistência à Compressão em X	-675	MPa
Resistência à Compressão em Y	-120	MPa
Resistência à Compressão em Z	-120	MPa
Cisalhamento XY	80	MPa
Cisalhamento YZ	46,154	MPa
Cisalhamento XZ	80	MPa

Tabela 34 – Propriedades do Alumínio.

Propriedade	Valor	Unidade
Densidade	2,77	gcm^{-3}
Módulo de Young	7,1E+10	Pa
Coeficiente de Poisson	0,33	
Módulo Volumétrico	6,9608E+10	Pa
Módulo de Cisalhamento	2,6692E+10	Pa
Resistência à Tração	2,8E+08	Pa
Resistência à Compressão	2,8E+08	Pa
Força final de tração	3,1E+08	Pa

Por fim, a liga de Alumínio disponibilizada pelo *software* ANSYS foi utilizada apenas para efeitos de comparação, com o objetivo de verificar se os dois tipos de compósitos de fibra de vidro seriam capazes de alcançar os mesmos resultados na simulação que o Alumínio, sem que, no entanto, a massa da estrutura com compósito ficasse muito maior que a massa da estrutura de Alumínio.

2.3.3.2.8 Resultados e Análises

Os resultados das simulações comparativas foram descritos nas tabelas abaixo.

A Tabela 35 traz os nomes dos materiais simulados, as espessuras utilizadas para cada um, a massa que eles proporcionam à carroceria e a tensão de Von Mises e a defor-

mação total resultantes da aplicação da Força Frontal na parte da frente da carroceria. Como se pode notar, a carroceria com fibra de vidro E-Glass Wet obteve o mesmo resultado que a de Alumínio em termos de tensão de Von Mises, embora tenha tido uma deformação um pouco maior, para uma massa 33% menor do que a massa da carroceria feita com Alumínio. O mesmo raciocínio vale para a Figura 36, que apresenta os resultados da simulação realizada com aplicação da Força Lateral.

Tabela 35 – Carga Frontal.

ID	Material	Espessura [mm]	Massa [kg]	Stress Von Mises [MPa]	Deformação Total [mm]
1	Epoxy E-Glass Fiber				
2	WET	2	6,15	9,30	9,00
3	WET	3	9,23	5,00	3,00
4	UD	2	6,65	10,00	7,00
5	UD	3	9,98	5,00	3,00
6	Alumínio	2	9,21	10,00	2,00
7	Alumínio	3	13,82	5,00	1,00

Tabela 36 – Carga Lateral.

ID	Stress Von Mises [MPa]	Deformação Total [mm]
1		
2	15,00	13,00
3	7,00	4,00
4	16,00	11,00
5	7,00	4,00
6	14,00	4,00
7	7,00	1,00

A Figura 37, por sua vez, apresenta os resultados da simulação realizada com a aplicação da Força Vertical sobre a parte superior da carroceria. Comparando a carroceria com Epoxy E-Glass Wet de 3 mm, ID 3, e a carroceria feita de Alumínio, notamos uma pequena diferença nos resultados. Em se tratando da tensão de Von Mises, o resultado da fibra de vidro foi 28% maior que o ocorrido no caso do Alumínio. No caso da deformação, a fibra teve um desempenho abaixo do Alumínio. Entretanto, a diferença entre os dois resultados não grande o suficiente para invalidar o uso da fibra de vidro na carroceria.

Tabela 37 – Carga Vertical.

ID	Stress [MPa]	Von Mises	Deformação Total [mm]
1			
2	34,00	11,00	
3	16,60	5,00	
4	56,50	10,00	
5	18,00	5,00	
6	22,00	3,00	
7	13,00	1,00	

No caso da análise de torção, por outro lado, apresentada na Tabela 38, o desempenho da fibra de vidro no quesito deformação total ficou muito abaixo do do Alumínio. A deformação sofrida pela carroceria de fibra foi 5 vezes maior do que a sofrida pela feita com Alumínio. Considerando, no entanto, que o cortador possuirá um chassi capaz de suportar os esforços de torção provocados pelos desníveis do terreno, evitando que eles passem para a carroceria, pode-se afirmar que o resultado dessa simulação não invalida o uso da fibra de vidro como material de fabricação da carroceria.

Tabela 38 – Carga de Torção.

ID	Stress [MPa]	Von Mises	Deformação Total [mm]
1			
2	440,00	53,00	
3	271,00	30,00	
4	444,00	47,00	
5	275,00	27,00	
6	438,00	10,00	
7	271,00	6,00	

A partir da análise acima, pode-se inferir que a fibra de carbono, mais especificamente o tipo escolhido dentro do Ansys, denominada Epoxy E-Glass Wet tem condições para ser utilizada como material de fabricação da carroceria.

Para concluir a análise, foram levantados os parâmetros relacionados à teoria da máxima tensão de falha. A Tabela 39 mostra os valores de tensão obtidos nas simulações repetidas para a força Vertical. É possível notar que todos os valores do lado esquerdo da tabela são inferiores aos do lado direito. Essa simulação foi realizada para um compósito de 3 mm, por falta de possibilidade de especificação de um compósito mais próximo da realidade. No entanto, para os valores mostrados, e levando em consideração a pouca exigência de carga sobre a carroceria em sua aplicação, pode-se concluir que a fibra de vidro Epoxi E-Glass Wet pode ser utilizada para a carroceria do cortador de grama Smart Grass sem risco de contradizer a Norma Regulamentadora NR-12.

Tabela 39 – Parâmetros de Análise da Teoria da Tensão Máxima de Falha para o Epoxy E-Glass Wet de 3 mm.

ID	Tensão	Valor [MPa]	Parâmetro da Epoxy E-Glass Wet	Valor [MPa]
1	Axial	15,56	Tensão Axial X	780
2	Axial Normal	11,80	Tensão Transversal Y	31
3	Máxima de Shear	9,62	Módulo de Shear	60

2.3.3.2.9 Simulações com o Compósito de fibra de Carbono Epoxy E-Glass Wet

Todos os resultados abaixo foram obtidos para as simulações da carroceria feita com Epoxy E-Glass Wet com 3 mm de espessura. Para simplificar a geometria da carroceria e facilitar as simulações, reduzindo o custo computacional, foi cortada a seção final da carroceria que contemplava duas abas laterais traseiras.

Abaixo, a Figura 70 apresenta a deformação sofrida pela carroceria quando da aplicação da Força Frontal. A Figura 71 apresenta a tensão de von Mises apresentada pela carroceria sob ação da Carga Frontal.

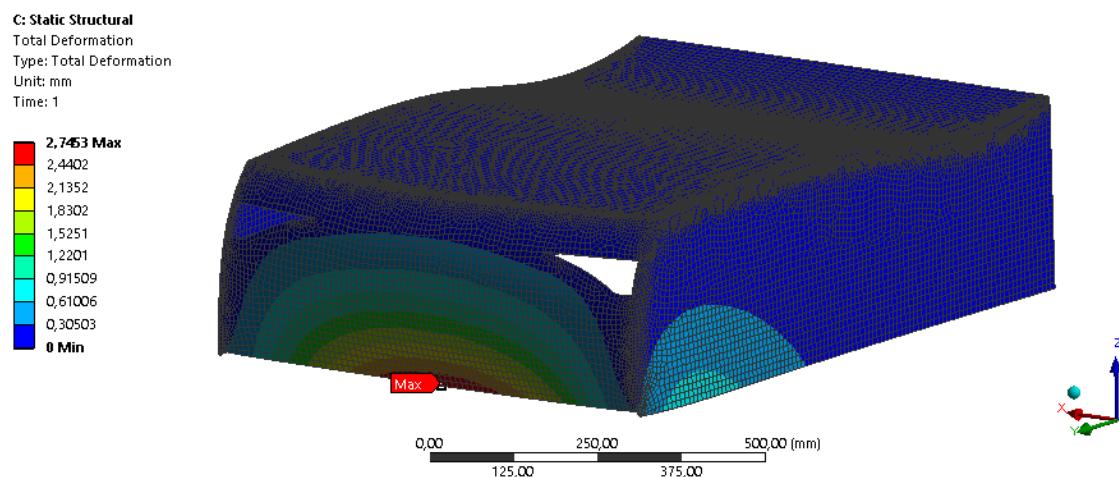


Figura 70 – Deformação Total Resultante da Aplicação da Carga Frontal.

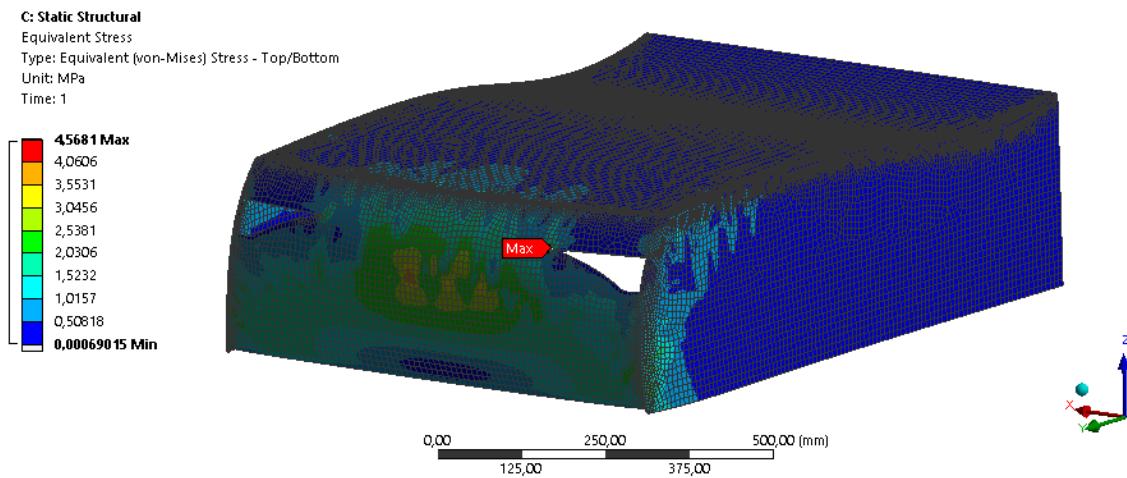


Figura 71 – Tensão de von Mises Resultante da Aplicação da Carga Frontal.

Como se pode notar nas imagens, tanto a deformação sofrida foi mínima, da ordem 2,7 mm, e a tensão máxima resultante ficou abaixo de 5 MPa.

A Figura 72 apresenta a deformação lateral e, a Figura 73, a tensão de von Mises sofridas pela carroceria em decorrência da aplicação da Força Lateral. Da mesma forma que no caso da aplicação da Força Frontal, nesse caso, os efeitos sofridos pela carroceria ficaram dentro do esperado, com 7 MPa de tensão de Von Mises e 4 mm de deformação total. Esses valores, no entanto, serão ainda mais minimizados em função do fato de que ambas as laterais da carroceria serão afixadas e suportadas por faixas de alumínio afixadas no chassi do cortador.

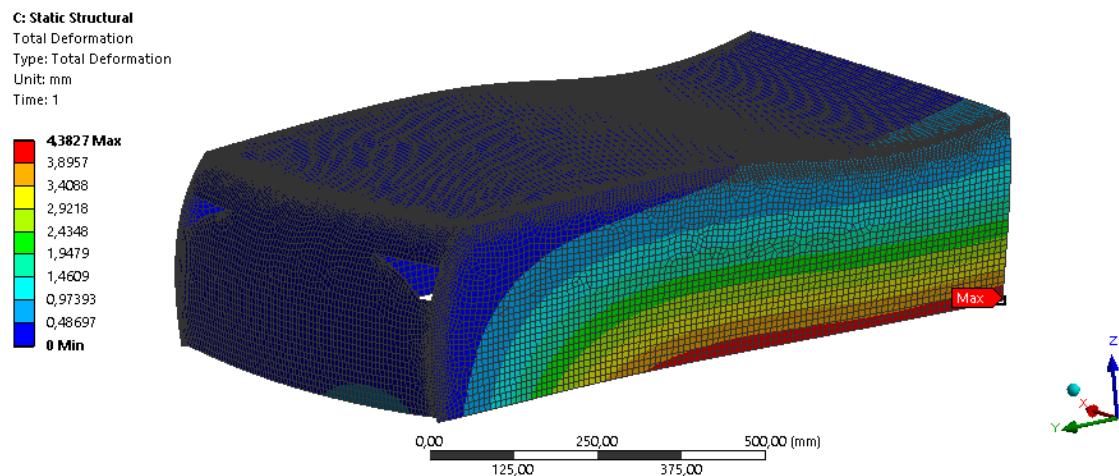


Figura 72 – Deformação Total Resultante da Aplicação da Carga Lateral.

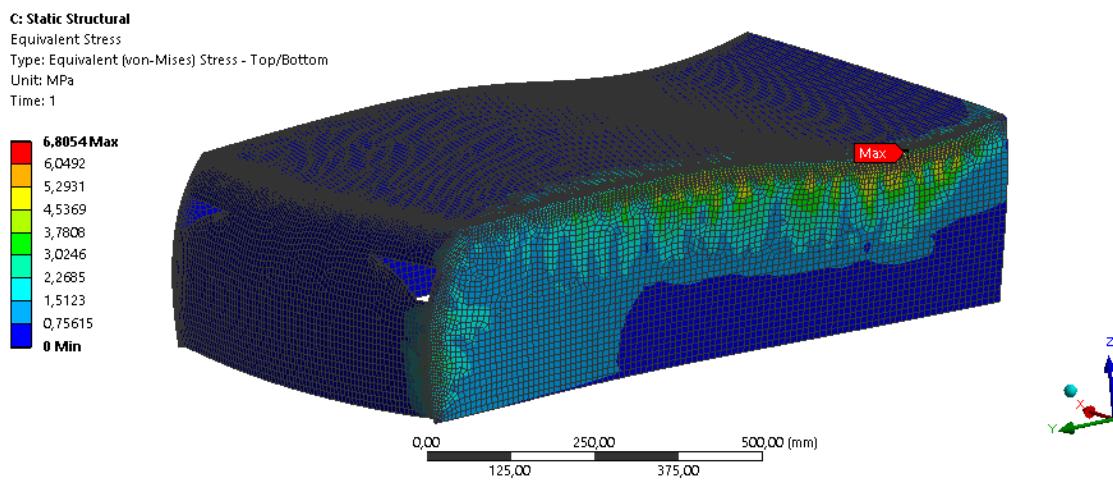


Figura 73 – Tensão de von Mises Resultante da Aplicação da Carga Lateral.

A Figura 74 e a Figura 75, por sua vez, apresentam os resultados da simulação realizada com a aplicação da Força Vertical. A Carga Vertical, com valor de 1000 N, foi a carga que causou maior efeito sobre a estrutura da carroceria. Como se pode notar, a deformação total ficou pouco acima de 5 mm e, a tensão de von Mises, ultrapassou 16 MPa. Entretanto, esse valor ficou, ainda, muito abaixo das tensões características do material simulado.

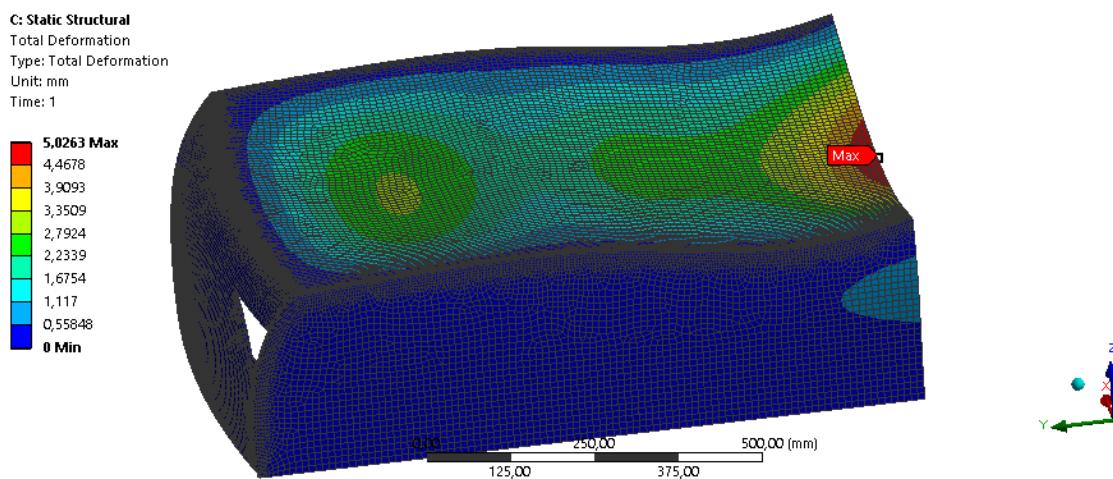


Figura 74 – Deformação Total Resultante da Aplicação da Carga Vertical.

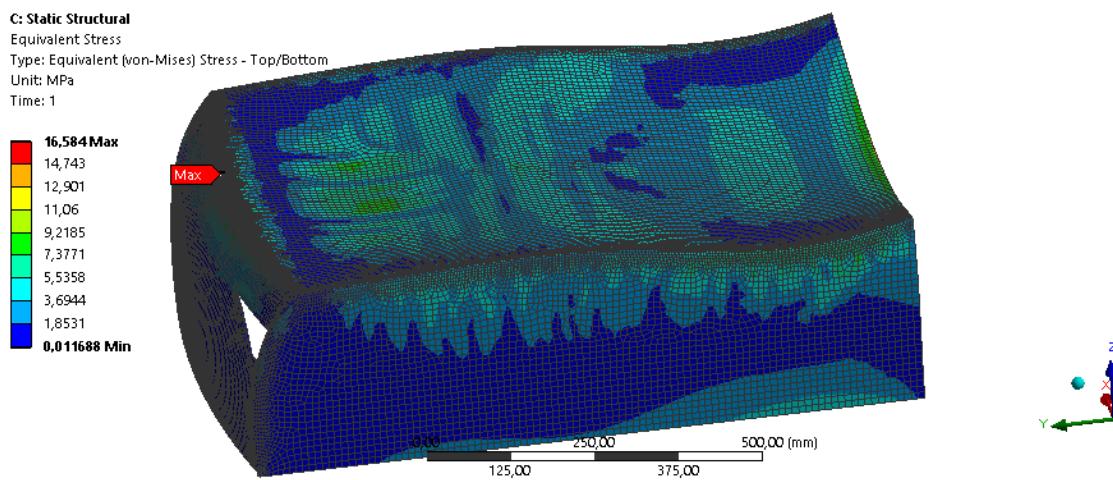


Figura 75 – Tensão de von Mises Resultante da Aplicação da Carga Vertical.

A Figura 76 e a Figura 77 apresentam os resultados da análise de torção. Essa análise foi realizada com carga acima da que será suportada pela carroceria, uma vez que o chassi do cortador de grama será projetado para suportar os esforços de torção provocados pelos desníveis do terreno. Essa análise, no entanto, mostrou um ponto frágil da carroceria. Esse ponto corresponde aos quatro cantos da carroceria, tanto os da parte de trás quanto os da parte da frente. Enquanto os níveis de deformação foram máximos nos cantos da frente, os níveis de tensão de von Mises máximos ocorreram nos cantos da parte de trás do chassi. Nesse sentido, será necessário evitar afixar de forma exageradamente restritiva essas regiões, para evitar que quebrem ao mínimo esforço de torção.

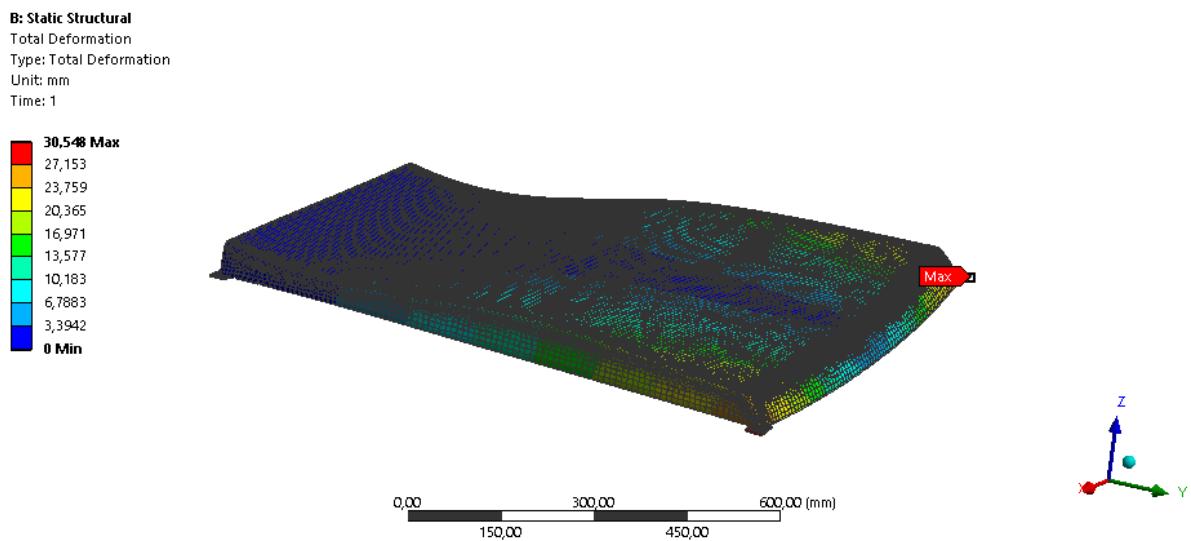


Figura 76 – Deformação Total Resultante da Aplicação da Carga Torcional.

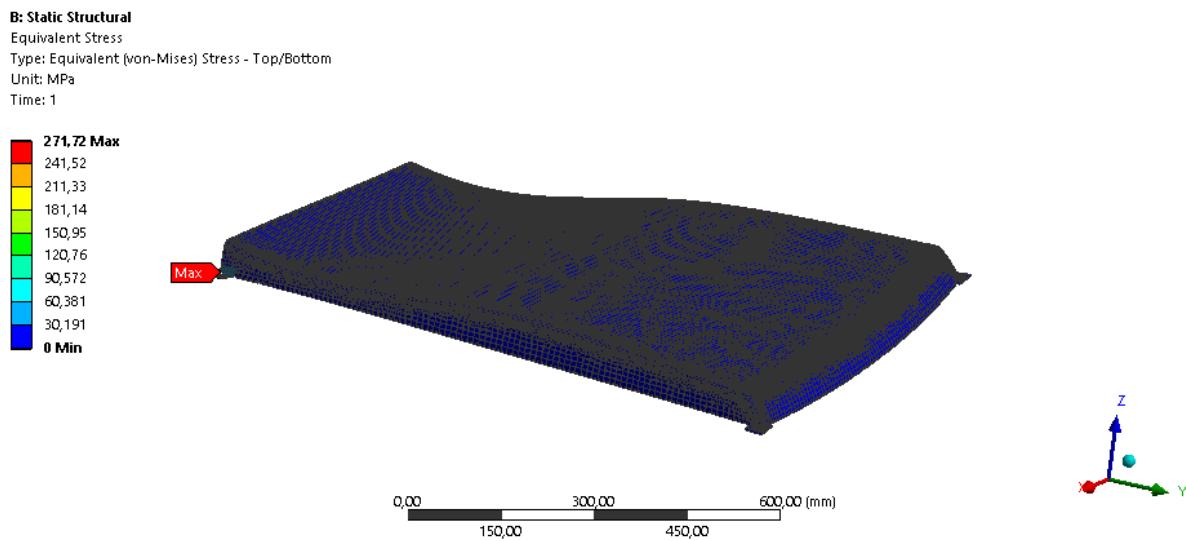


Figura 77 – Tensão de von Mises Resultante da Aplicação da Carga Torcional.

2.3.3.2.10 Análise Modal

A análise modal apresentou os resultados relacionados na Tabela 40. As frequências ficaram baixas para um componente que vai ser alocado em um veículo constituído por motores de tração, de regulagem de altura de corte e de rotação de lâminas de corte. Uma frequência mínima emitida por um desses motores poderá levar a carroceria a vibrar durante operação do cortador de grama.

Tabela 40 – Tabela de Frequências Naturais da Carroceria.

Modos de Vibração	Frequência [Hz]
1	33,033
2	48,997
3	54,638
4	56,818
5	60,715
6	61,904
7	66,848
8	75,751

Abaixo, foram relacionados os principais modos de vibração da carroceria. A Figura 78 mostra o terceiro modo de vibração da carroceria. É possível ver como esse modo afeta a superior traseira da carroceria.

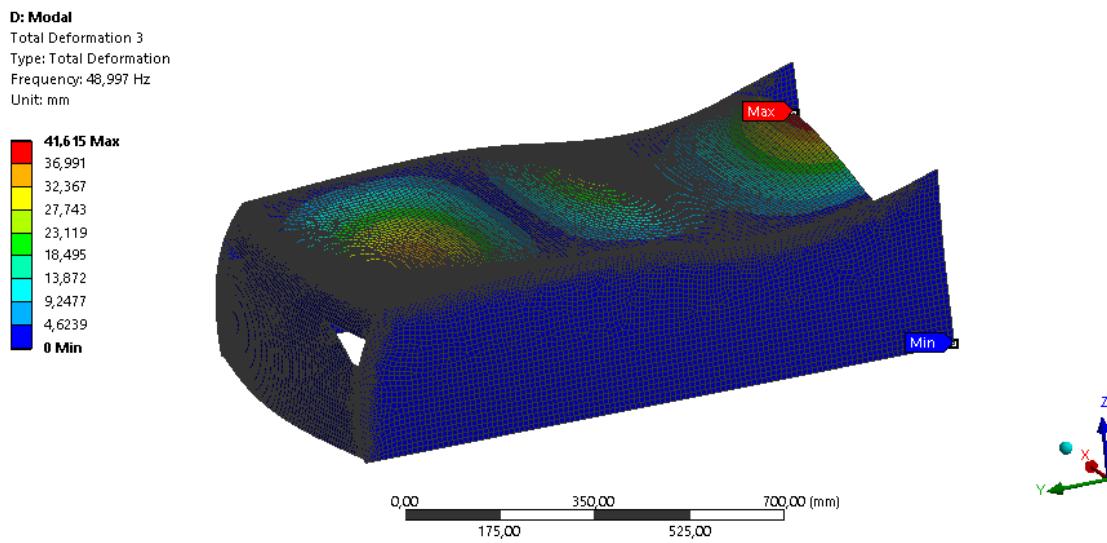


Figura 78 – Modo de Vibração 3.

A Figura 79 apresenta o quarto modo de vibração, que afeta tanto as abas laterais traseiras quanto a frente da carroceria.

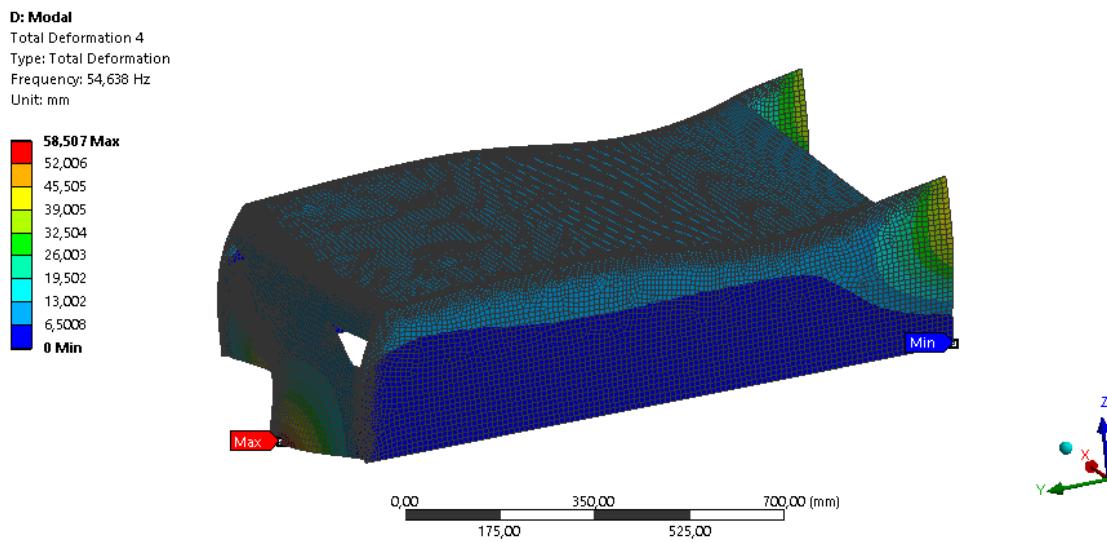


Figura 79 – Modo de Vibração 4.

A Figura 80 mostra como é o quinto modo de vibração. Como o quarto, ele também afeta as abas laterais traseiras da carroceria.

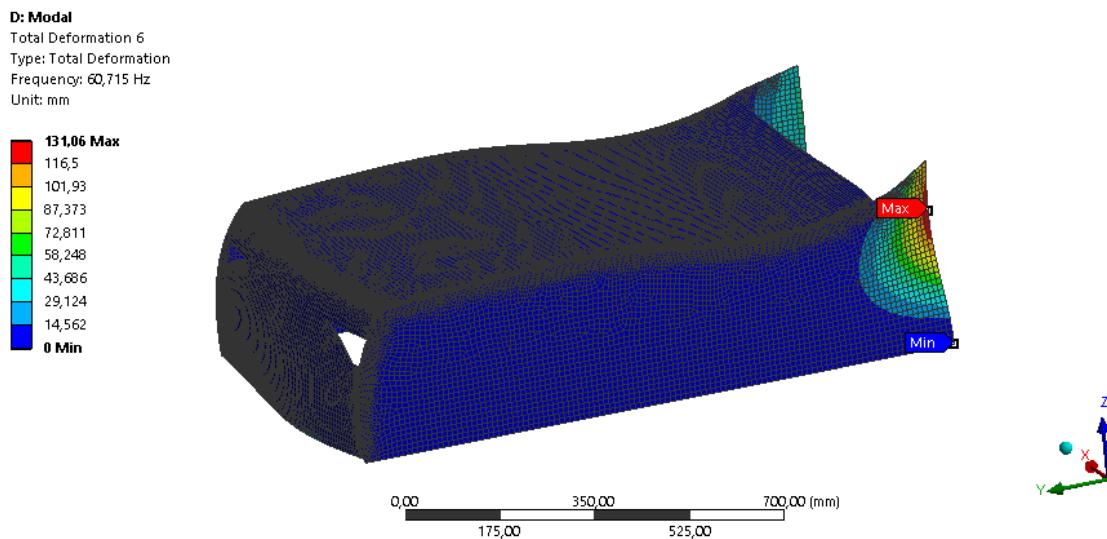


Figura 80 – Modo de Vibração 5.

Para resolver os problemas de vibração, foi decidido que as abas laterais traseiras serão fixadas na caixa traseira da carroceria. A lateral da carroceria será colada em suportes de alumínio, que serão afixados no chassi. E a frente da carroceria receberá uma cinta de alumínio com 2 mm de espessura, aumentando sua massa e, por conseguinte, sua frequência de vibração.

2.3.3.2.11 Fabricação da Carroceria

A carroceria deverá ser fabricada por processo artesanal. Um conjunto de isopores deverão ser unidos com cola quente, de maneira a completar um volume suficiente para que a carroceria possa ser colocada sobre ele e abarcá-lo.

Em seguida, o isopor deverá riscado com linhas que simulem as linhas onduladas da carroceria, e cortado com ajuda de fio quente, lixado, e coberto com um tecido de fibra. Em seguida, é adicionada a resina e outra camada de fibra, até a quantidade escolhida de camadas de fibra.

O processo de acabamento deverá incluir lixamento com lixa fina, alisamento e pintura.

2.3.3.2.12 Caixa Traseira

Os requisitos utilizados no dimensionamento e análise da caixa traseira foram os mesmos usados no dimensionamento e análise da carroceria, com exceção do requisito design esteticamente agradável, uma vez que ela deverá ser utilizada para acomodar e proteger componentes elétricos e eletrônicos. Também foi alterado o número de cargas aplicadas, restringindo-se à análise da parede lateral da caixa e de sua resistência à flexão,

e o valor da Força Vertical aplicada à análise de resistência à flexão que, em vez de 1000 N, foi reduzida para 500 N, haja vista que, acima dessa caixa, haverá a carroceria, que está apta para suportar carga de até 1000 N.

O material escolhido para a fabricação da Caixa Traseira foi o Alumínio.

Nesse sentido, passamos diretamente para o estabelecimento dos parâmetros e condições de contorno das simulações.

2.3.3.2.13 Malha da Caixa Traseira

Os parâmetros determinados para a construção da malha na caixa seguiram os mesmos dos escolhidos para a carroceria, considerando a construção de uma malha ótima, mas com certa restrição proporcionada pelo custo computacional.

A Tabela 81 apresenta os parâmetros determinados para a malha da caixa. É possível perceber que foram mantidos os valores de tamanho máximo e mínimo dos elementos de Default do Ansys, pois a diminuição desses valores levaria a um custo computacional muito grande. Procurou-se então melhorar a malha por meio do uso de elementos quadráticos, de segunda ordem, e o método de proximidade e curvatura, que permite ao Ansys refinar um pouco mais a malha nas regiões próximas de contornos do desenho geométrico.

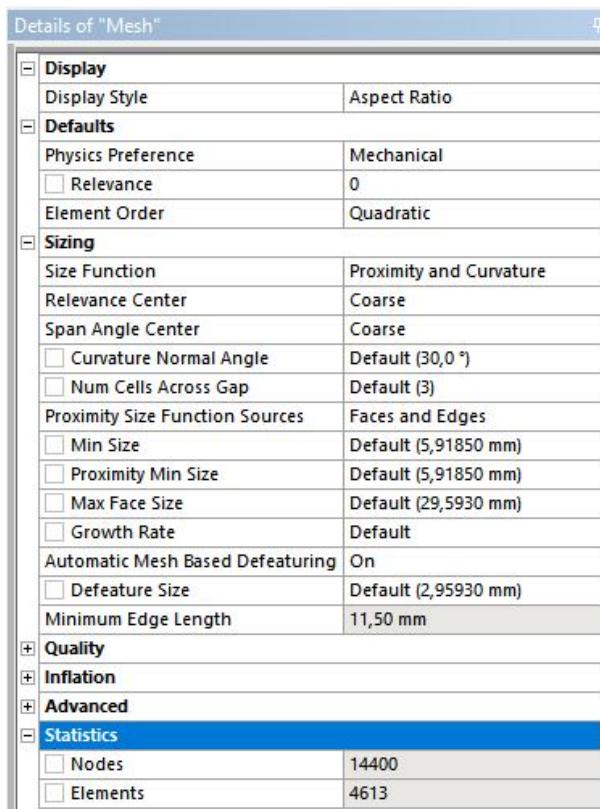


Figura 81 – Parâmetros Definidos para a Malha da Caixa Traseira.

A Figura 82 mostra a qualidade da malha resultante. O elemento de menor qualidade possui um valor de 0,523, e o de maior qualidade tem um valor de 0,999, o que demonstra que a malha, mesmo com elementos grandes, atingiu uma qualidade razoável para a análise de esforços.

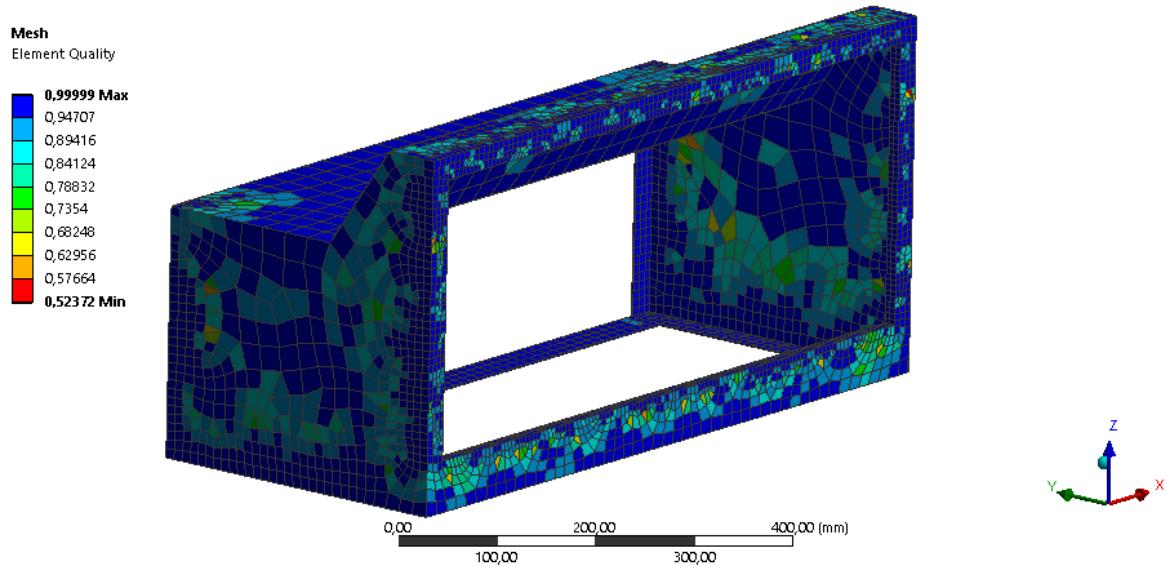


Figura 82 – Qualidade da Malha.

A Aspecto Ratio da malha, mostrada na Figura 83, apresenta uma maioria de elementos com valores bem próximos de 1 (quanto mais próximo de 1 o valor da Aspecto Ratio, melhor a qualidade do elemento).

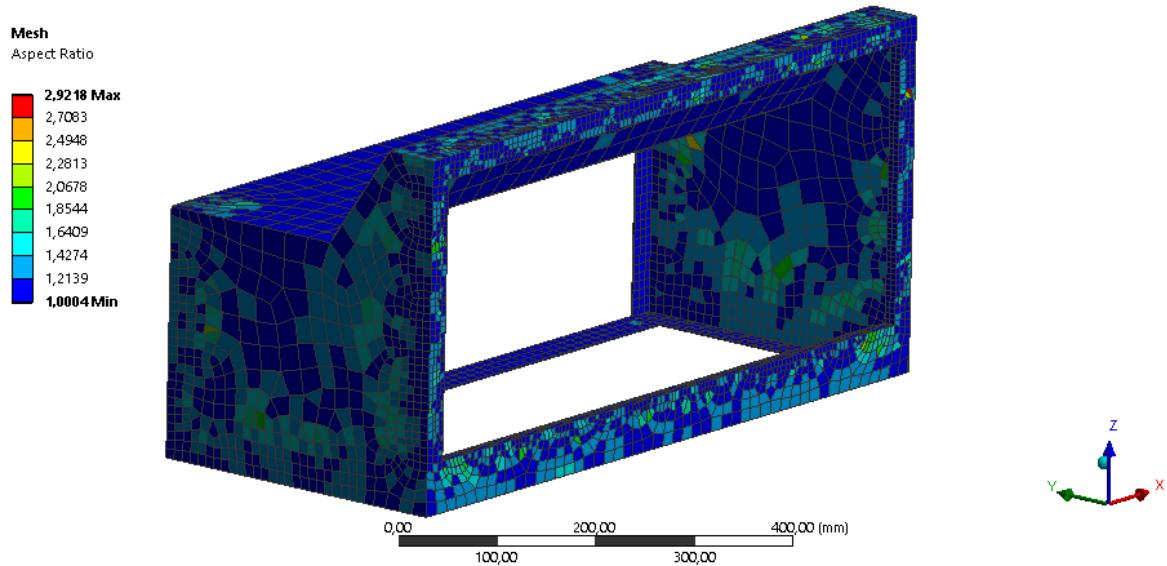


Figura 83 – Aspecto Ratio da Malha da Caixa.

A Figura 84 demonstra a qualidade da malha. Apesar do tamanho dos elementos,

ela apresentou uma maioria desses elementos bem próximos do nível de qualidade máxima representado pelo valor 1.

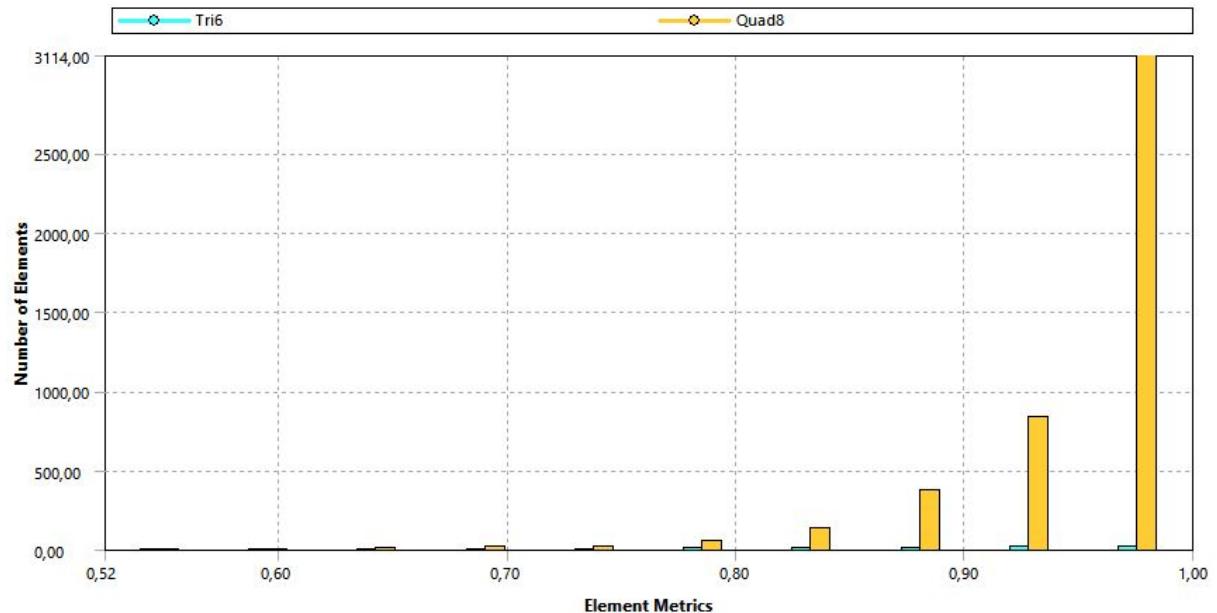


Figura 84 – Métricas da Malha.

2.3.3.2.14 Condições de Contorno da Caixa Traseira

Foram estabelecidas as seguintes condições de contorno para a simulação da caixa traseira.

A Figura 85 apresenta as condições de contorno para a análise da parede lateral da caixa, com a Força Lateral (50 N) sendo aplicada no ponto B e o suporte fixo aplicado no ponto B.

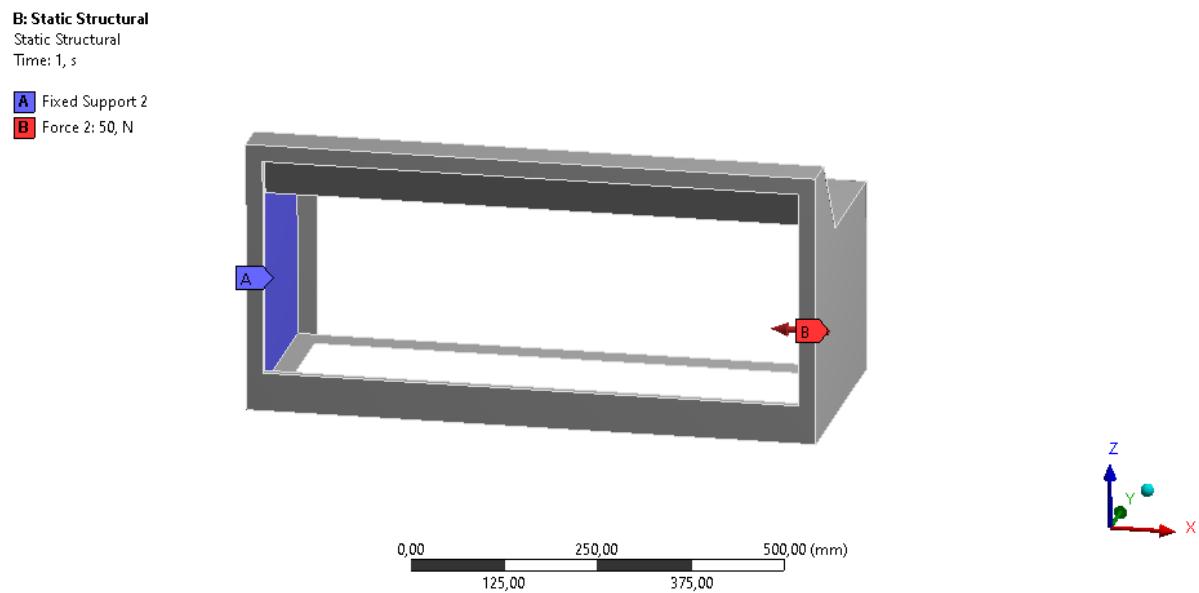


Figura 85 – Condições de Contorno para Aplicação de Esforço Lateral.

Já a Figura 86 apresenta as condições de contorno para a análise de resistência à flexão. A Força Vertical (500 N) deverá se aplicada no ponto B, na face superior da caixa, e, o suporte fixo, no ponto A, na base da caixa.

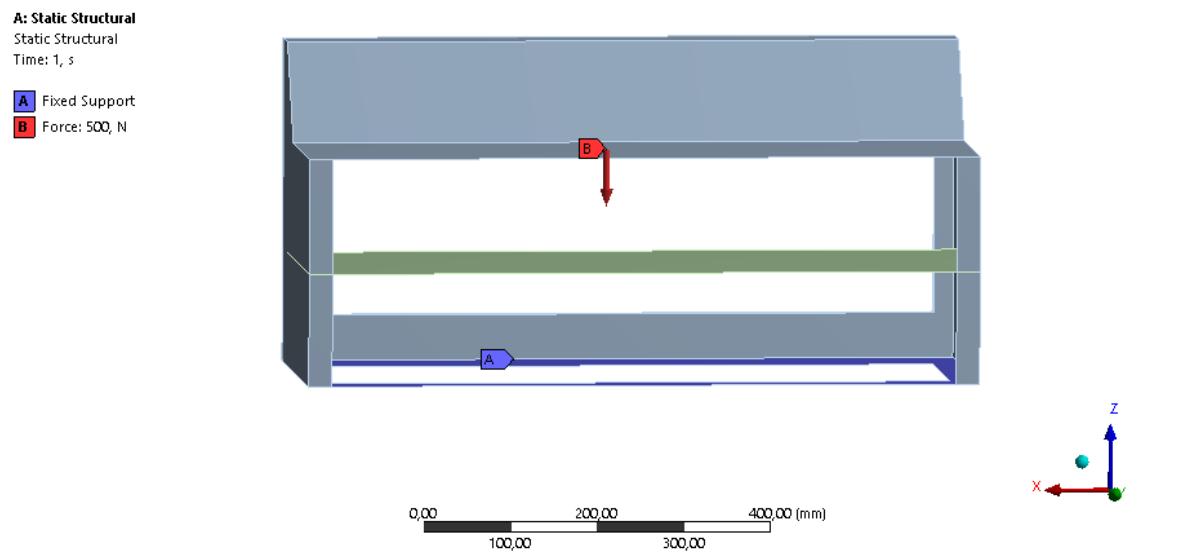


Figura 86 – Condições de Contorno Aplicadas à Análise de Resistência à Flexão.

A Figura 87, por fim, apresenta as condições de contorno aplicadas à análise modal. Os suportes fixos foram aplicados na base da caixa, já que essa parte será afixada ao chassi.

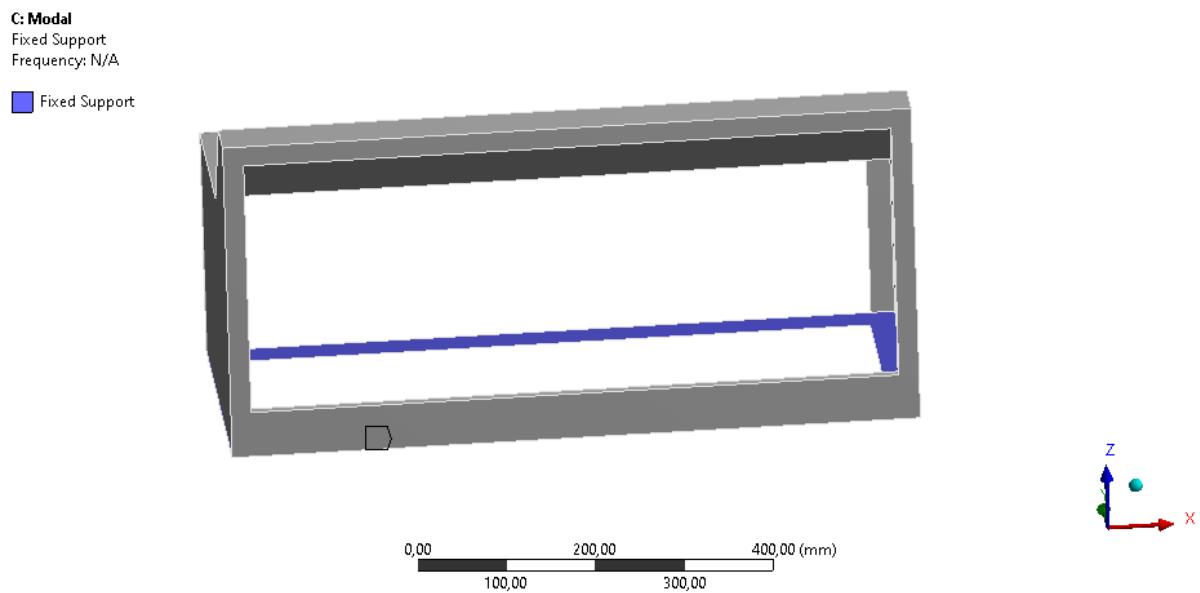


Figura 87 – Condições de Contorno Aplicadas à Análise Modal.

2.3.3.2.15 Resultados e Análise da Caixa Traseira

Os resultados da simulação estática estão sumarizados na Tabela 41. em ambos os casos, os valores de tensão de von Mises ficaram abaixo da tensão de ruptura do alumínio.

Tabela 41 – Parâmetros de Entrada e Saída da Simulação Estática.

Tipo de Carga	Carga Aplicada [N]	Stress Von Mises [MPa]	Deformação Total [mm]
Lateral	50	3,85	0,17
Vertical	500	125,00	15,00

Abaixo, as Figuras 88 e 89 representam a simulação realizada nas paredes laterais da caixa. Em ambos os casos, observa-se resistência suficiente da caixa para suportar a Força Lateral aplicada.

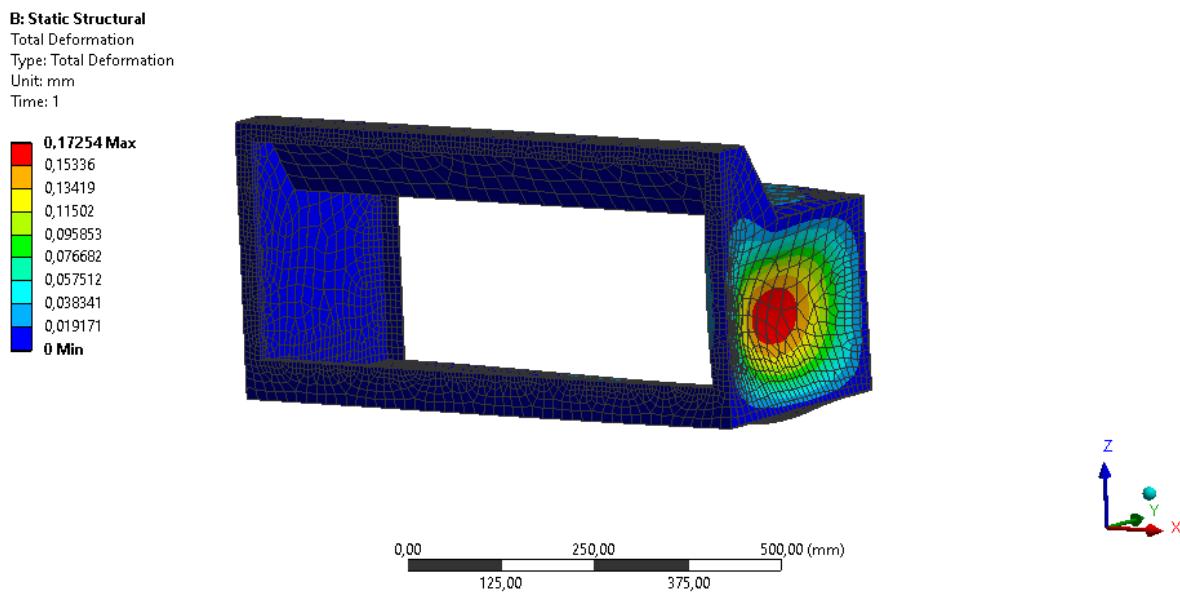


Figura 88 – Deformação da Parede Lateral da Caixa Traseira.

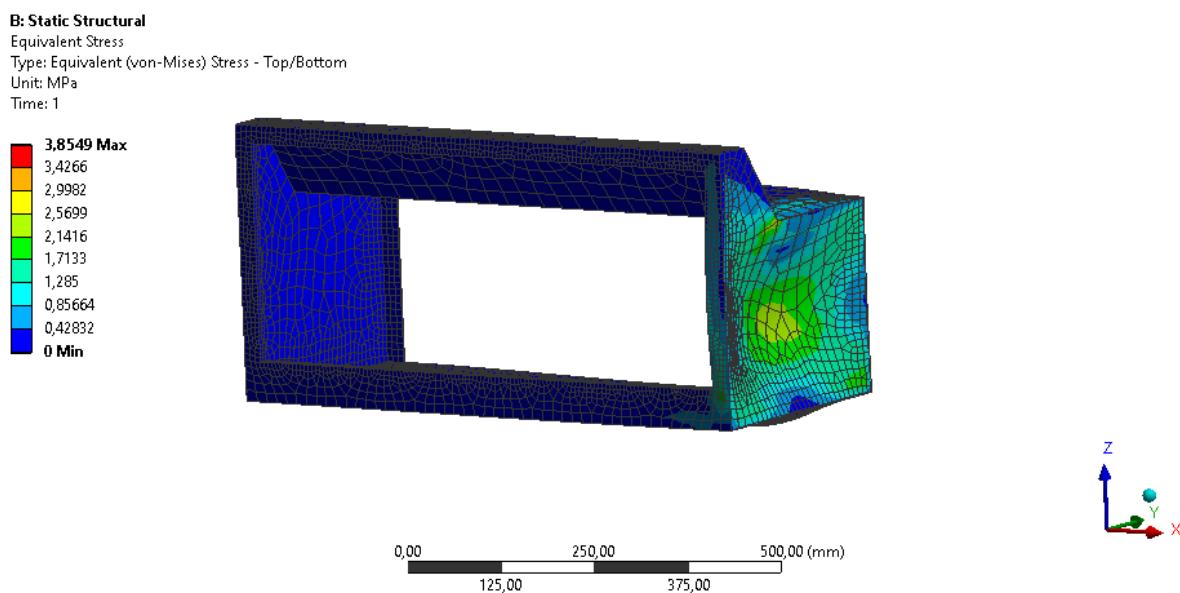


Figura 89 – Tensão de von Mises sobre a Parede Lateral da Caixa Traseira.

As Figuras 90 e 91, por sua vez, apresentam os resultados da aplicação do esforço aplicado sobre a parte superior da caixa. Pode-se notar que, nesse caso, os valores de deformação e tensão foram elevados. Entretanto, ainda estão na faixa considerada para o Alumínio. Entretanto, por questão de segurança, A parte superior da caixa será engastada no chassi, para evitar que que ela sofra danos em caso de aplicação de demasiado esforço sobre ela.

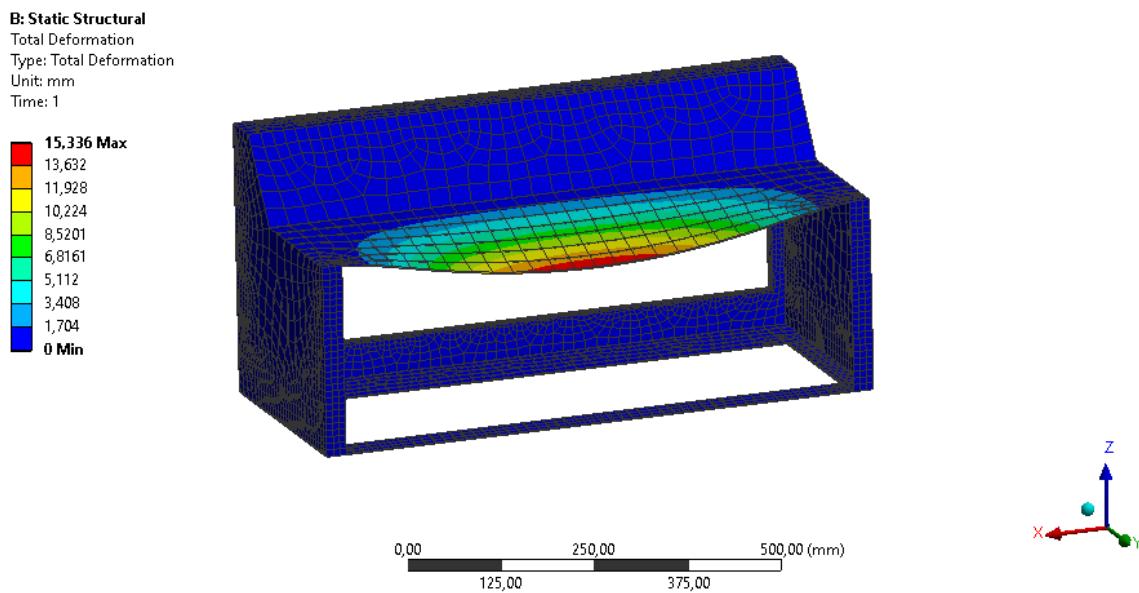


Figura 90 – Deformação Sofrida em Função de Esforço Vertical.

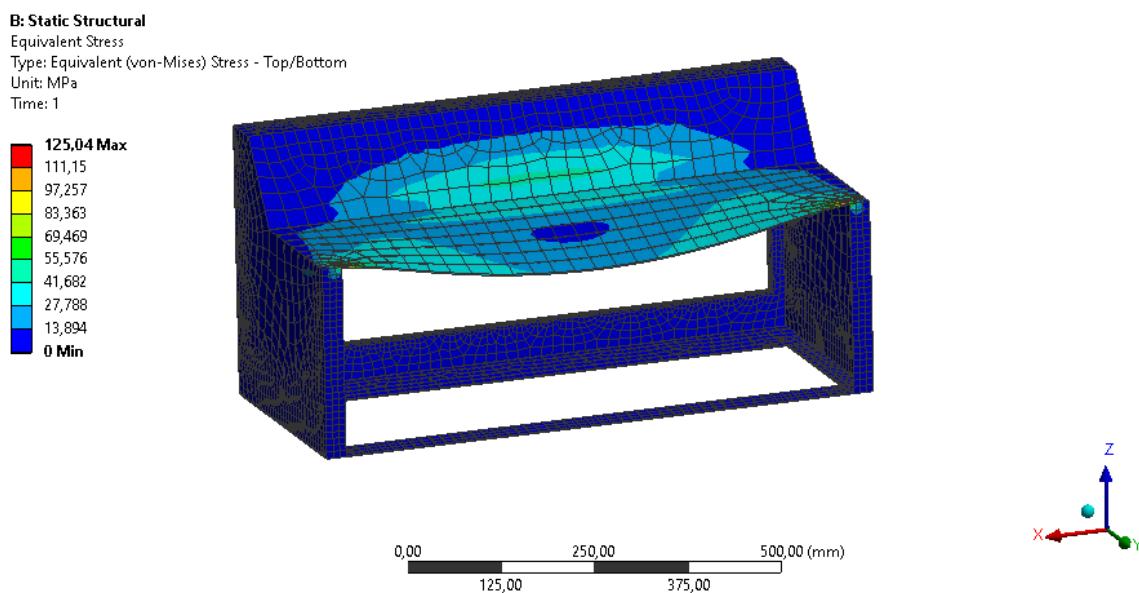


Figura 91 – Tensão de von Mises Originada da Força Vertical.

2.3.3.2.16 Análise Modal da Caixa Traseira

A análise modal da caixa traseira teve seus resultados apresentados na Tabela 42. Nessa tabela, observamos as frequências naturais da caixa, notando que as três primeiras frequências são as mais críticas.

Tabela 42 – Modos de Vibração e Frequências Sofridas Pela Caixa Traseira.

Modos de Vibração	Frequência [Hz]
1	42,38
2	74,05
3	79,51
4	125,44
5	177,65
6	178,82

Abaixo, podemos observar os modos de vibração mais importantes da Caixa Traseira. É possível notar como nas Figuras 92, 92, 93, que representam os modos de vibração 2, 4 e 6, respectivamente, concentram-se basicamente na parte superior da caixa. O sexto modo de vibração, Figura 93, também atinge as laterais da caixa. Mas, como sua frequência natural ficou acima de 150 Hz, esse modo de vibração não será problema.

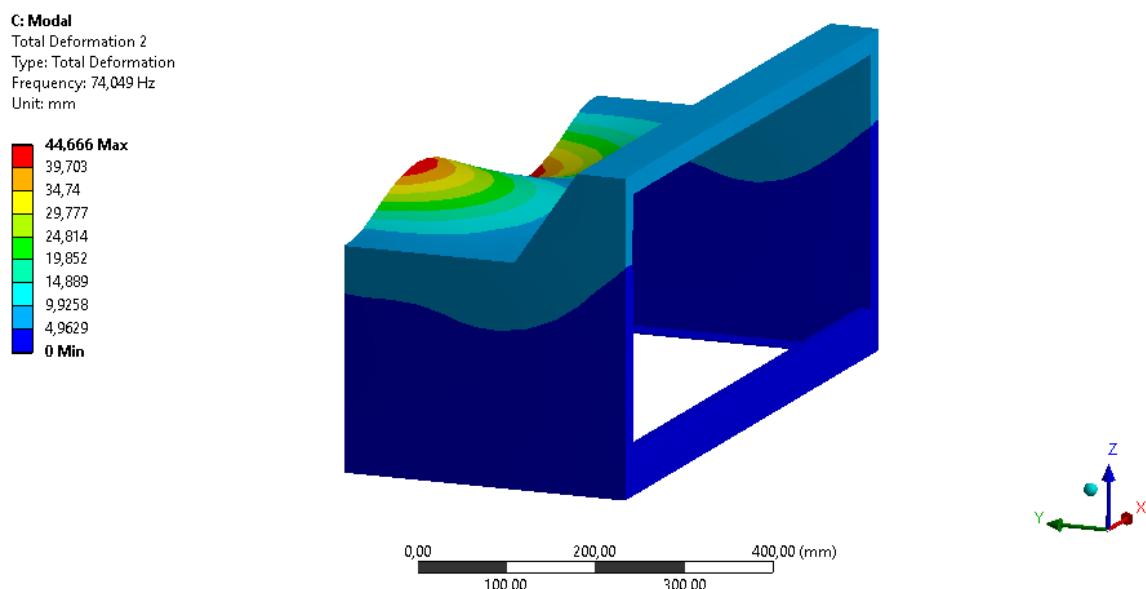


Figura 92 – Modo de vibração 2.

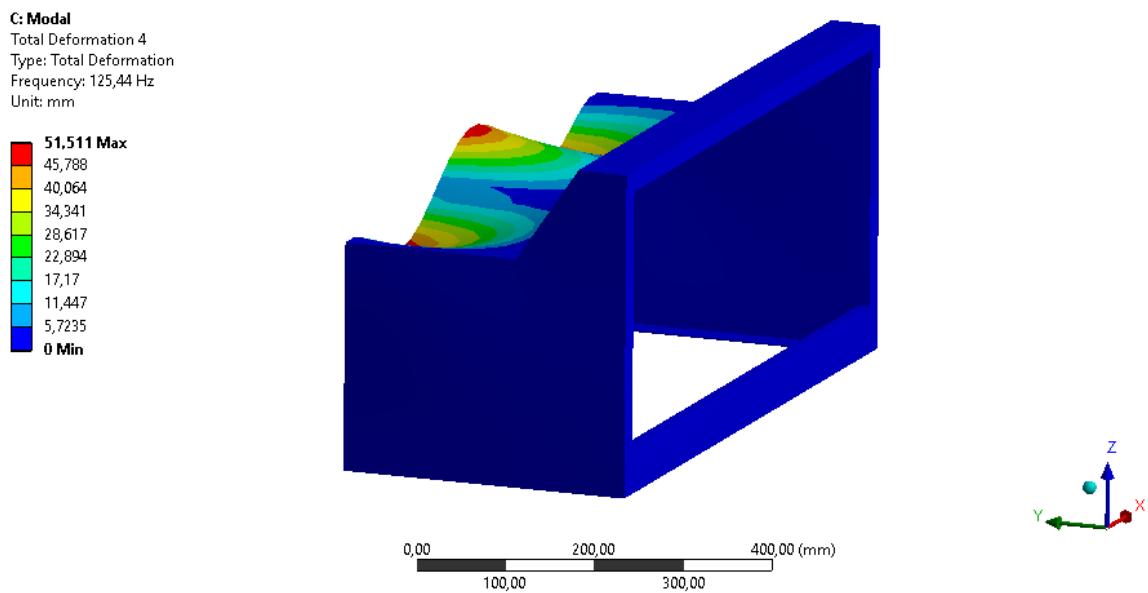


Figura 93 – Modo de Vibração 4.

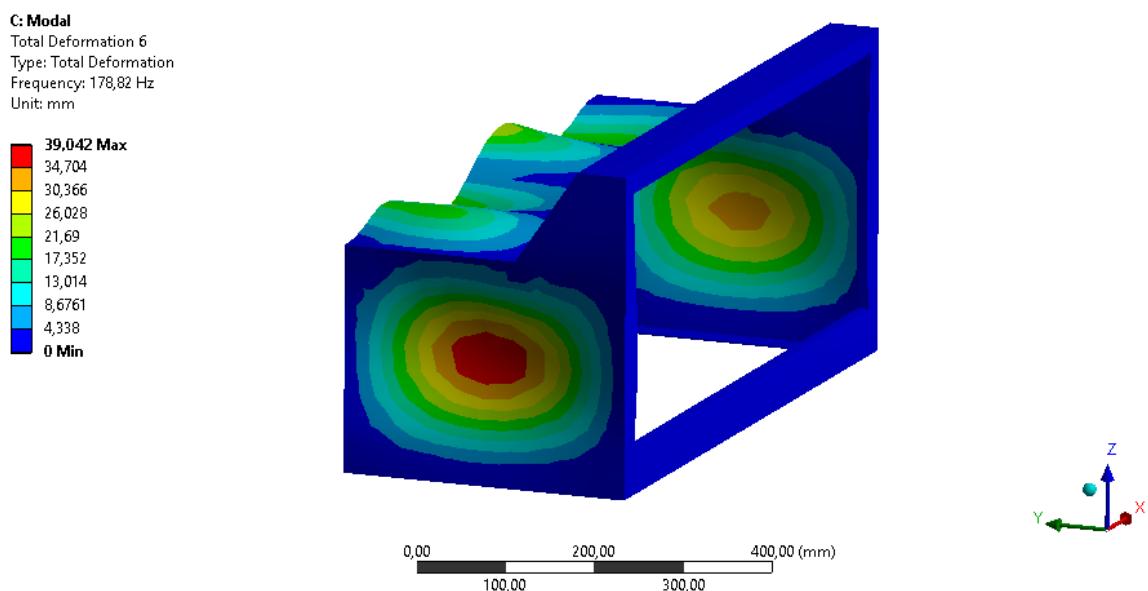


Figura 94 – Modo de Vibração 6.

Por fim, para minimizar a influência dos modos de vibração sobre a Caixa Traseira, decidiu-se por fixar a parte superior no chassi. Além disso, uma borracha amortecedora será alocada em uma chapa a ser inserida no interior da caixa, de modo a minimizar a propagação de vibrações por sua estrutura.

2.3.3.3 Fabricação da Caixa Traseira

O processo de fabricação da caixa traseira deverá incluir os seguintes passos:

- A) Aquisição das folhas de alumínio na espessura correta;
- B) Corte das folhas de alumínio conforme design das partes constituintes da caixa;
- C) Processo de soldagem das partes com uso de solda MIG de fio 4043 ou 5356.
- D) Processo de lixamento dos locais de solda;
- E) Pintura da caixa por processo de pintura eletrostática;
- F) Acréscimo dos adaptadores de parafusos;
- G) Colagem das borrachas de vedação na tampa da caixa;
- H) Fixação da caixa no chassi, fixação da carroceria na caixa, fixação da tampa na caixa.

2.3.3.4 Conexão Carroceria Chassi

2.3.3.4.1 Conexão Carroceria Chassi

Foi desenvolvida uma conexão para realizar a fixação da carroceria no chassi. A Figura 95 mostra a conexão desenvolvida.

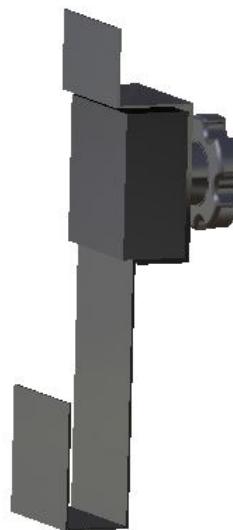


Figura 95 – Conexão Carroceria Chassi.

A Figura 96 mostra a vista explodida da conexão. Nela, é possível notar todos os componentes da conexão, que é formada por uma placa superior, uma placa inferior, um parafuso manipulo de aço inox, uma porca manipulo de aço inox e um bloco de borracha que servirá para prender a porca na placa inferior.

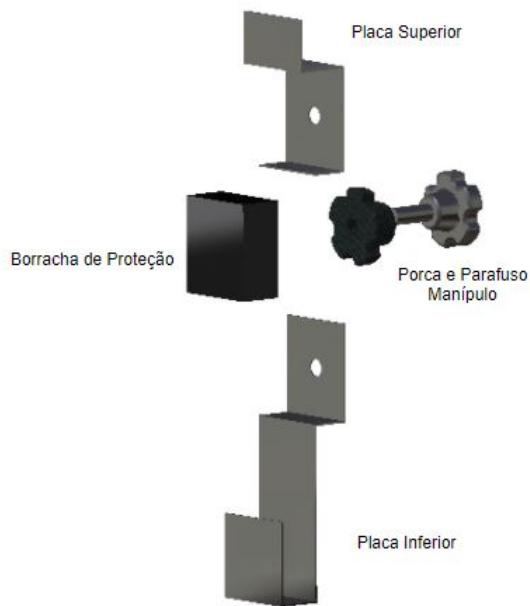


Figura 96 – Conexão Carroceria Chassi Explodida.

A Figura 97 mostra o modo como a conexão fará a fixação da carroceria no chassi.

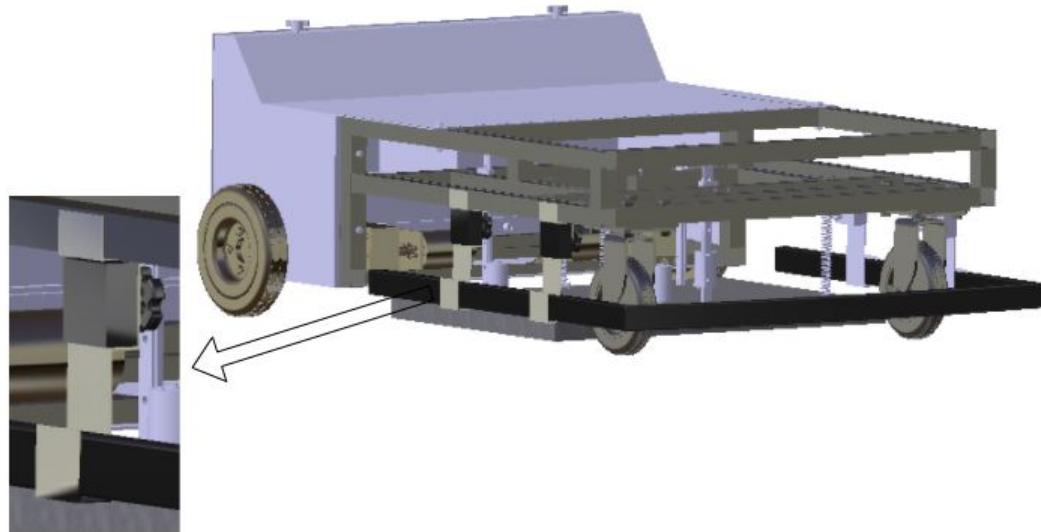


Figura 97 – Modo de Encaixe da Conexão da Carroceria no Chassi.

No modo de encaixe definido, a placa inferior será colada na face inferior da base da carroceria. A placa superior, por sua vez, será soldada na face inferior e lateral externa do perfil do chassi. Uma vez que as duas placas estejam afixadas, o bloco de borracha com a porca será colado na face interna da placa inferior que, por sua vez, será parafusada na placa superior, fixando, assim, a carroceria no chassi.

2.3.3.4.2 Análise Estática da Conexão Carroceria Chassi

Foi realizada uma análise estática da conexão carroceria chassi, a fim de se avaliar se ela suportaria a carga. O software utilizado foi o Ansys. A Figura 98 apresenta a malha desenvolvida para a análise da conexão. Por conta de limites computacionais, a malha foi refinada na região da conexão entre as placas e o parafuso, ficando grosseira na cabeça do parafuso.

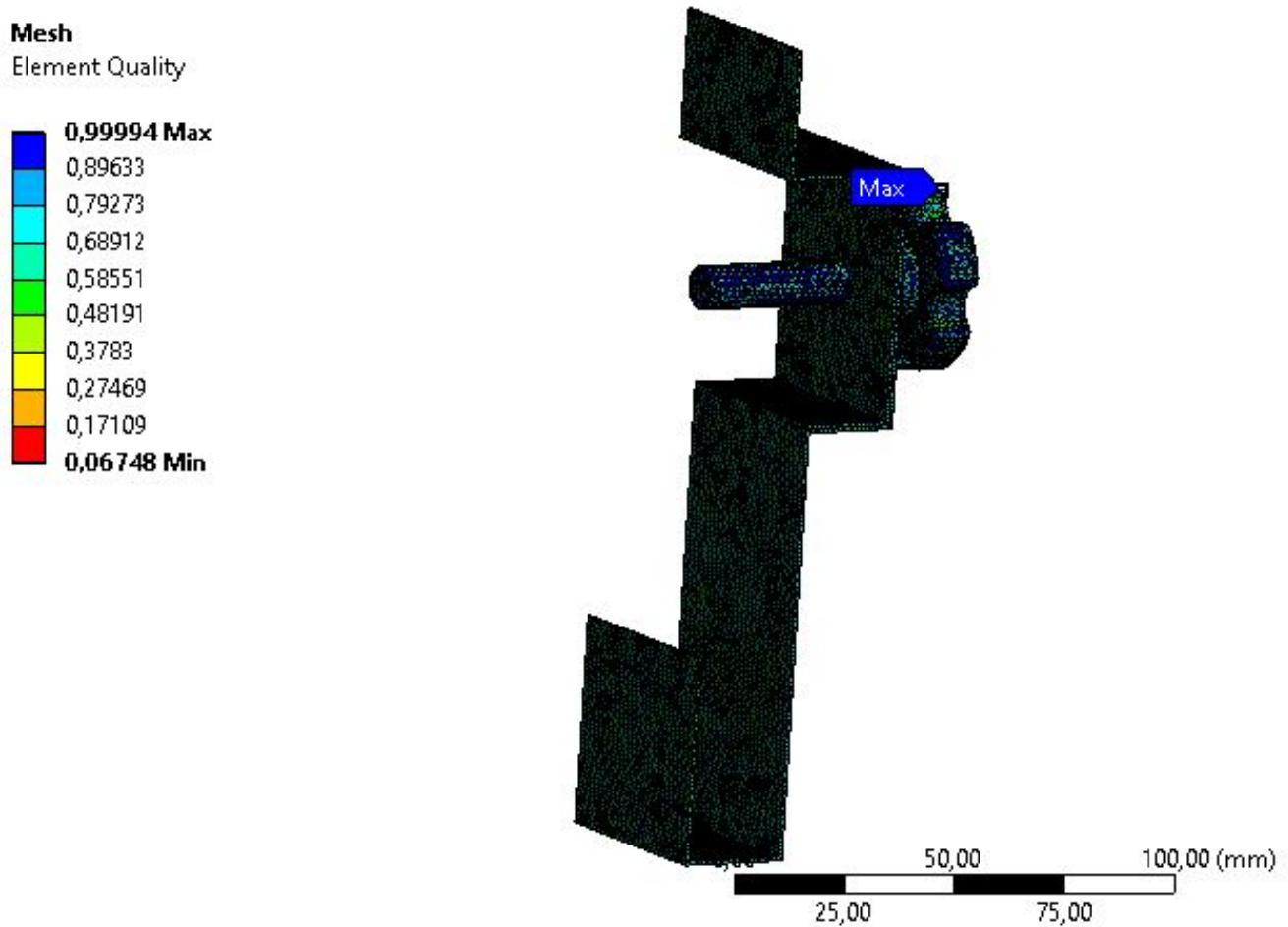


Figura 98 – Malha.

A malha obteve uma maioria de elementos com qualidade superior a 0,58551. A Figura 99 apresenta o gráfico da qualidade da malha.

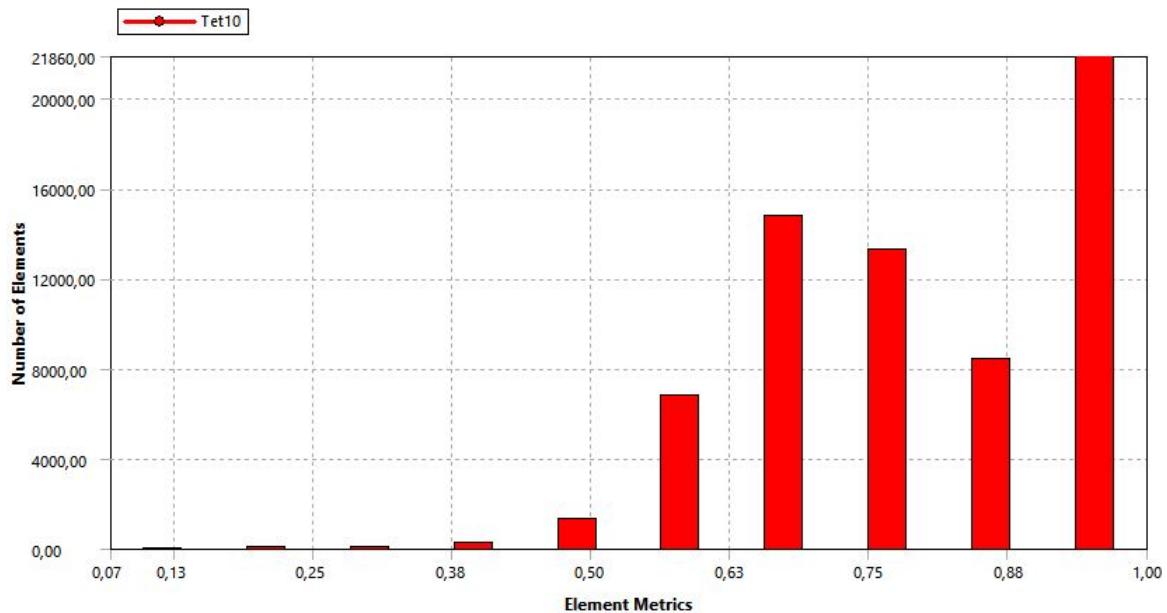


Figura 99 – Gráfico da Qualidade da Malha.

Como é possível notar (Figura 99), a maioria dos elementos da malha ficou com qualidade superior a 0,63. Apesar dos limites computacionais, obteve-se, assim, uma malha com boa qualidade para a análise estática.

Nas placas superior e inferior foi utilizado Alumínio 6063, e o parafuso escolhido foi de aço inox, sendo que o alumínio receberá pintura eletrostática antes da realização da montagem final.

Como condições de contorno, foi aplicada uma carga de 50 N na base da placa inferior. Essa carga representa a 80% da massa da carroceria superior, e foi aplicada a cada conexão, sendo que será utilizadas 4 conexões, duas de cada lado da carroceria, conectando a carroceria ao chassi. A Figura 100 apresenta a direção e o valor da carga aplicada, bem como o seu local de aplicação na parte inferior da chapa inferior da conexão.

A: Static Structural

Static Structural

Time: 1, s

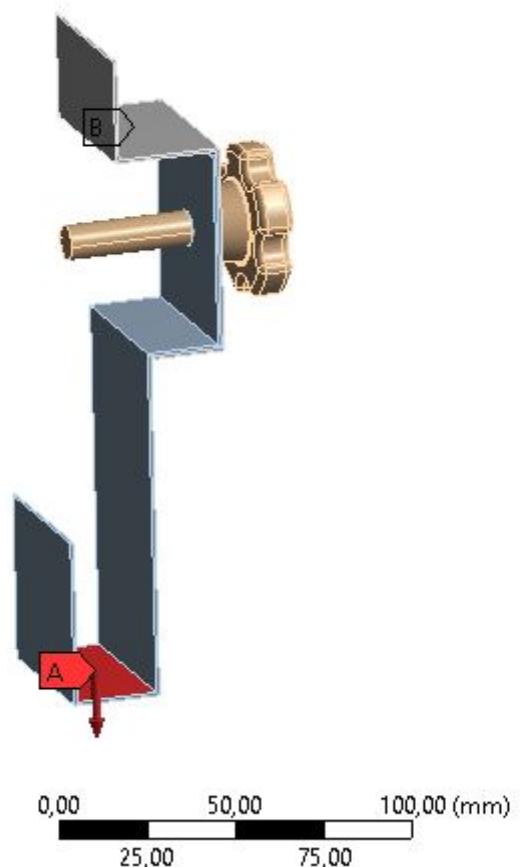
A Force: 50, N**B** Fixed Support

Figura 100 – Condições de Contorno: Carga Aplicada.

A Figura 101, por sua vez, apresenta o local de aplicação do suporte fixo à chapa superior.

A: Static Structural

Fixed Support

Time: 1, s

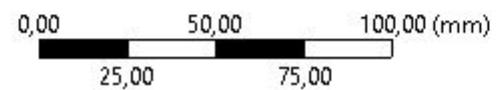
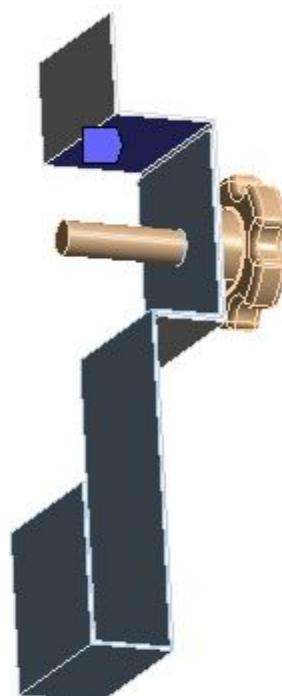
 Fixed Support

Figura 101 – Condições de Contorno: Suporte Aplicado.

O suporte fixo foi aplicado à base da placa superior porque essa base corresponde ao ponto de fixação da chapa superior no perfil do chassis através de solda TIG.

Como resultado das análises, obteve-se resultados dentro dos limites dos materiais utilizados. A Figura 102 mostra o resultado do stress de Von Mises obtido na simulação.



Figura 102 – Stress de Von Mises.

Na Figura 102, pode-se notar que o Equivalente de Von Mises ficou abaixo de 10857 MPa na maior parte da placa inferior, e não superior o valor de 21,714 MPa na placa superior. O maior valor do Equivalente de Von Mises, 195,43 MPa, ocorreu no parafuso, mais especificamente na junção do parafuso com as placas.

As placas de Alumínio possuem resistência à tração igual a 186 MPa e, o parafuso de aço inox tem uma resistência admissível de 510 MPa. Nesse sentido, conclui-se que a conexão é segura para a aplicação que lhe será dada.

Ademais, como serão utilizadas duas conexões de cada lado do chassi, e a parte de trás da carroceria ficará apoiada na caixa traseira, a efetiva aplicada a cada conexão será igual a 1/4 da carga utilizada na simulação. Assim, concluímos que as conexões estão adequadas ao projeto e possuem, ainda, um fator de segurança mínimo igual a 4.

2.3.3.5 Materiais Gerais - Características

- Alumínio 6063-T5

O alumínio com têmpera T5 foi escolhido para a carroceria devido a sua alta resistência mecânica, soldabilidade e alta resistência a corrosão (HATCH, 1984).

Tabela 43 – Propriedades do Alumínio 6063-T5.

Propriedade	Valores
Densidade [g/cm ³]	2,7
Elongação [%]	18
Dureza Brinell [HB]	60
Resistência à tração mínima [MPa]	186
Tensão de ruptura mínima [MPa]	145
Módulo de Elasticidade [GPa]	68,9

- Fibra de Vidro

A fibra de vidro é obtida a partir do processo de fundição do vidro, onde após ser fundido atravessa uma fieira, assim produzindo as fibras. A fibra de vidro foi escolhida para a carroceria devido ao seu baixo custo, facilidade de fabricação com uso de molde de isopor, grande resistência à corrosão e à oxidação e sua grande resistência à tração ([CAMPOS M; SOUFEN, 2019](#)). Ademais, some-se a isso a baixa massa específica desse material se comparado ao aço inox e ao alumínio.

Tabela 44 – Propriedades da Fibra de Vidro E-GLAS.

Propriedade	Valores
Densidade [kg/m ³]	2.54
E-Modulo [GPa]	72.5
Resistência a Tração [GPa]	$1.72 * 10^{-31}$
Elong [%]	2.5

- Resina

As resinas também são conhecidas como matrizes, com um propósito principal de transferir as tensões impostas ao material compósito para as fibras, além de poder servir como suporte e proteção ([PIRES, 2009](#)). As três principais funções da resina é proteger a superfície da fibra de danos que levariam a fratura, aderir à superfície da fibra que forma que a força aplicada seja transferida para ela e separar as fibras entre si de forma que as trincas transversais não se propagem de uma para a outra ([BENTO, 2006](#)). O tipo de resina será escolhida após análises computacionais realizadas no Ponto de Controle 2.

Tabela 45 – Dados de Ensaios de Tração.

Material	Densidade [g/cm ³]	Limite de Resistência [MPa]	Alongamento [%]	Escoamento [MPa]
Fibra de vidro resina GY 279	1,610	242,370	9,25	184,350
Fibra de vidro resina LY 5052	1,540	388,750	8,83	126,950
Fibra de vidro resina Arazyn 4.9#00	1,690	186.600	-	-

- Silicone

O silicone foi previamente escolhido por sua principal característica, sendo uma cadeia polimérica de átomos de silício e oxigênio em que os átomos de silício transportam dois radicais orgânicos, preferencialmente radicais metila. Essa cadeia proporciona ao silicone uma ótima resistência à UV, ozônio e oxidação, além de uma resistência às intempéries, isolamento elétrico e estabilidade e flexibilidade em baixas temperaturas ([AFINKO, 2018](#)).

Tabela 46 – Propriedades do Silicone.

Propriedade	Valores
Dureza Shore A	10 a 85
Temperatura mínima de trabalho [°C]	-60
Temperatura máxima de trabalho [°C]	200
Densidade específica	1,14 - 2,00

- Borracha Nitrílica

A borracha nitrílica é um copolímero de acrilonitrilo e de butadieno e, foi escolhida para a vedação por ser resistente às altas e baixas temperaturas, além de resistir à abrasão e à fadiga dinâmica ([POLEFLEX, 2019](#)).

Tabela 47 – Propriedades da Borracha Nitrílica.

Propriedade	Valores
Dureza Shore A	20 a 95
Temperatura mínima de trabalho [°C]	-30
Temperatura máxima de trabalho [°C]	95

- Aço Inox

O aço inoxidável têm uma boa resistência à corrosão em meios oxidantes e, conta com dois elementos em grande destaque: o níquel devido a sua contribuição na melhoria das propriedades mecânicas e o cromo devido a resistência à corrosão. Os

aços inoxidáveis são ligas Fe-Cr com um mínimo de 10,50% de Cr, com a presença de carbono e outros elementos que se encontram em todos os aços, como o silício (Si), manganês (Mn), fósforo (P) e enxofre(S) ([ARCELORMITTAL, 2008](#)). Os aços são classificados de acordo com a fase predominante a temperatura ambiente, conforme mostrado na Tabela 48.

Tabela 48 – Propriedades dos Aços.

Propriedade	Austeníticos	Ferríticos	Martensíticos
Densidade [g/cm^3]	7,8 - 8,0	7,8	7,8
Módulo Elástico E [GPa]	193 - 200	200	200
Coef. Expansão Térmica [$10^6m/m/\overset{\circ}{C}$]	17 - 19,2	11,2 - 12,1	11,6 - 12,1
Condutividade Térmica (100°C) [W/mk]	18,7 - 22,8	24,4 - 26,3	28,7
Cal. Específico (0°C a 100°C) [J/kgK]	69 - 108	59 - 67	55 - 72

- Polietileno

O polietileno, também conhecido como PE é um polímero mais simples e mais barato devido à alta produção mundial. É dividido em três grupos, sendo polietileno de baixa densidade (PEBD), o polietileno de alta densidade (PEAD) e o polietileno de baixa densidade linear (PEBDL) ([COUTINHO F; MELLO, 2003](#)).

Tabela 49 – Propriedades dos Polietilenos.

Propriedade	PEBD	PEAD	PEBDL
Grau de Cristalinidade [%]	40 - 50	60 - 80	30 - 40
Densidade [g/cm^3]	0,915 - 0,935	0,94 - 0,97	0,90 - 0,93
Modulo [MPa] a 25°C	130	1000	-
Temperatura de Fusão [°C]	105 - 110	130 - 135	121 - 125
Esforço de Ruptura [MPa]	8,0 - 10,0	20,0 - 30,0	10,0 - 30,0
Elongação à Ruptura [%]	20	12	16
Módulo Elástico E [MPa]	200	1000	-
Temperatura Máxima Permissível [°C]	80	100	-

- Pintura Eletrostática

A pintura eletrostática é uma das formas de pintura mais resistente e efetiva existentes. Ela consiste na deposição de uma película de polímero termo-endurecível colorida sobre metais como cobre ou alumínio, ajudando a dar cor ao componente pintado e a protegê-lo contra intempéries do meio externo. Conta com as principais vantagens de ser uma tinta ecológica por não ter solvente e ser de fácil aplicação e aderência ([WEG, 2020](#)).

- ABS

Possui a maior temperatura de Tg entre os materiais testados: em torno de 100°C. Isto é, ele é o que melhor suporta temperatura entre os materiais aqui avaliados.

Entretanto, sua dureza superficial baixa em relação aos demais desqualifica-o para utilização em peças que necessitam de maior contato, além disso o filamento ABS possui uma certa facilidade em acabamento e pode inclusive ser exposto ao sol ([PORTELA, 2021](#)).

Tabela 50 – Propriedades do ABS.

Propriedade	ABS
Densidade	1,24 [g/cm ³]
Temp. de Fusão	220 [°C]
Tg	100 [°C]
Tensão de Escoamento	38 [MPa]
Resistência a Flexão	66 [MPa]
Modulo de Elasticidade	2200 [MPa]

- PLA

Possui temperatura de fusão baixa, de 180°C, e Tg de 60°C. Ou seja, a partir de 60°C as moléculas internas começam a se mover e a peça começa a “amolecer”. Isso é ruim se tratando de peças que precisam ser expostas ao sol, porém é uma vantagem já que pode ser impresso com impressora aberta, sem Warp, e baixa temperatura da mesa. Melhor dureza superficial — 85 Shore D, ou seja, é o material que mais suporta desgaste superficial ou atrito ([PORTELA, 2021](#)).

Tabela 51 – Propriedades do PLA.

Propriedade	PLA
Densidade	1,24 [g/cm ³]
Temp. de Fusão	185 [°C]
Tg	60 [°C]
Tensão de Escoamento	66 [MPa]
Resistência a Flexão	130 [MPa]
Modulo de Elasticidade	4350 [MPa]

2.3.4 Ruído Sonoro

O ruído sonoro de no máximo 65 dB é um requisito de alto nível do projeto do cortador de grama Smart Grass ([Apêndice B](#)). Esse requisito foi levantado junto a pesquisa de mercado resumida na Análise SWOT inserida no [Apêndice E](#). A Norma NR-12 ([NR-12, 2019](#)), que trata da regulamentação dos requisitos de segurança no trabalho em relação a máquinas e equipamentos, não traz informações a respeito de valores máximos de ruído sonoro possível de ser emitido por máquinas e equipamentos que operam ao ar livre ou em local industrial. Essa norma apenas alerta para que o "ruído" deve ser levado em consideração no local de trabalho como um risco adicional. Entretanto, a Norma NBR 10151, que trata da regulamentação de avaliação de ruído em áreas habitadas, sejam

rurais, urbanas, industriais ou residenciais, e foi publicada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas em junho de 2000 ([ABNT, 2000](#)), estabelece alguns níveis ótimos de ruído sonoro, em dB, que devem ser observados nas áreas supra citadas, a fim de manter a boa saúde e qualidade de vida dos habitantes. Segundo essa norma, as áreas urbanas comerciais, residenciais e recreacionais possuem limites ótimos de ruído sonoro que variam entre 50 e 65 dB. Nesse sentido, optou-se por manter como requisito o nível de 65 dB de ruído sonoro emitido pelo cortador de grama Smart Grass.

A escolha dos motores, nesse sentido, levou em consideração o ruído sonoro emitido por cada motor. No fim, calculou-se o ruido sonoro total emitido pelo conjunto dos motores, a fim de se avaliar o nível de ruído sonoro do cortador de grama, conforme metodologia observada em ([RAO, 2008](#)), em que a soma de duas fontes de ruídos sonoros iguais consiste em acrescentar 3 dB ao valor do ruído sonoro de uma das fontes, e 3 dB a cada fonte de ruído sonoro adicional de igual intensidade ([RAO, 2008](#)). A Tabela 52, traz a relação dos motores especificados, suas especificações principais, quantidade e nível de pressão sonora em dB, bem como o nível de pressão sonora total para cada conjunto de motores.

Tabela 52 – Ruído Sonoro dos Motores.

Modelo	Função	Rotação [RPM]	Vibração [Hz]	Tensão de Alimentação [V]	Ruído [dB]	Quantidade	Ruído Total [dB]
RS-555SH	Corte de Grama	6980	116,33	12	20	3	26
XD60D 94-12Y-50S	Locomoção	5000	83,33	12//24	45	2	48
Nema 17 com fuso	Altura de corte	Passos de 1,8°	0,00	12	0	1	0

Por outro lado, quando se tem diferentes tipos de fontes sonoras com diferentes níveis de pressão sonora, observa-se que a fonte de maior nível de pressão sonora prevalece sobre as demais. Nesse sentido, percebe-se que o nível de pressão sonora do conjunto de motores de tração ficou em 48 dB, muito acima dos 26 dB dos motores de corte. Portanto, o nível de pressão sonora do cortador de grama será de 48 dB, bem abaixo do requisito de 65 dB estabelecido inicialmente.

Entretanto, é importante ressaltar que testes experimentais precisarão ser realizados para se obter o nível de pressão sonora do cortador de grama quando em operação de corte, uma vez que não se dispõe de antemão do ruído sonoro emitido pelo conjunto de

lâminas de corte.

2.4 Soluções em Software

A solução de software foi pensada para facilitar a interação do usuário com o cortador *Smart Grass*. Possibilitando a gerência de suas funcionalidades e o monitoramento do aparelho.

2.4.1 Arquitetura da Informação

2.4.1.1 Identidade Visual

A Identidade Visual é um guia que contém as propriedades visuais que representam a ideia do produto, tendo como objetivo tornar a interface mais agradável à experiência do usuário, utilizando, para isso, a definição da paleta de cores, logomarca e tipografia.

2.4.1.1.1 Paleta de Cores

As cores definidas e utilizadas nesse projeto foram escolhidas a partir do significado e do impacto de cada uma, levando em consideração o contexto onde o produto será usado, gerando a seguinte escolha de cores: a cor laranja, significando vitalidade, prosperidade e sucesso, contando também com tons de verde, representando segurança, além de estarem associadas às ideias de renovação, crescimento e, dentro do contexto de uso do cortador de grama *Smart Grass*, as cores verdes representam ainda a cor da natureza.



Figura 103 – Paleta de Cores.

2.4.1.1.2 Tipografia

A fonte definida para a logo do produto *Smart Grass* é *Righteous*. Para os demais textos na aplicação, é utilizada a fonte *Roboto*, variando as intensidades entre *Light*, *Regular* e *Medium*.



Figura 104 – Tipografia.

2.4.1.1.3 Logotipo

A logotipo do produto foi criada levando em consideração a função principal do *Smart Grass*, em que tons de verde compõe a forma de grama e suas variedades, seguido pelo nome da marca.

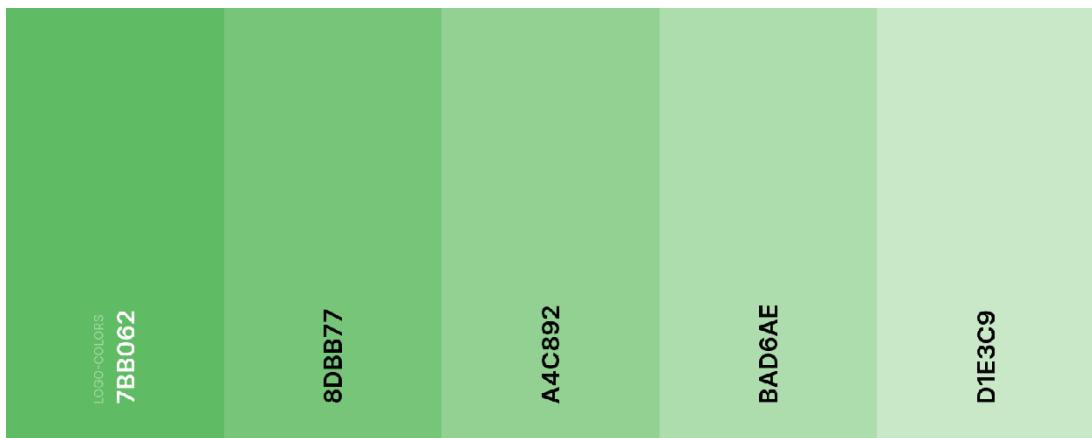


Figura 105 – Cores da logo do *Smart Grass*



SMART GRASS

(a) logo da *Smart Grass* com nome. (b) Logo da *Smart Grass*

Figura 106 – Logos da solução de software.

2.4.1.2 Protótipo

O protótipo foi criado para servir de modelo para a versão inicial do produto. O protótipo foi desenvolvido com o auxílio da ferramenta [Figma](#) com base em padrões

de design do *Material Design* da Google e *widgets* do *Flutter*. A versão navegável está disponível em Protótipo navegável *Smart Grass*. Esta sessão tem como objetivo descrever e apresentar visualmente o fluxo da aplicação.

A Figura 107(a) retrata a tela inicial do aplicativo levando em seguida para a tela de login, Figura 107(b), a qual tem a função de autenticação do usuário, com as entradas dos dados de nome de usuário e senha.

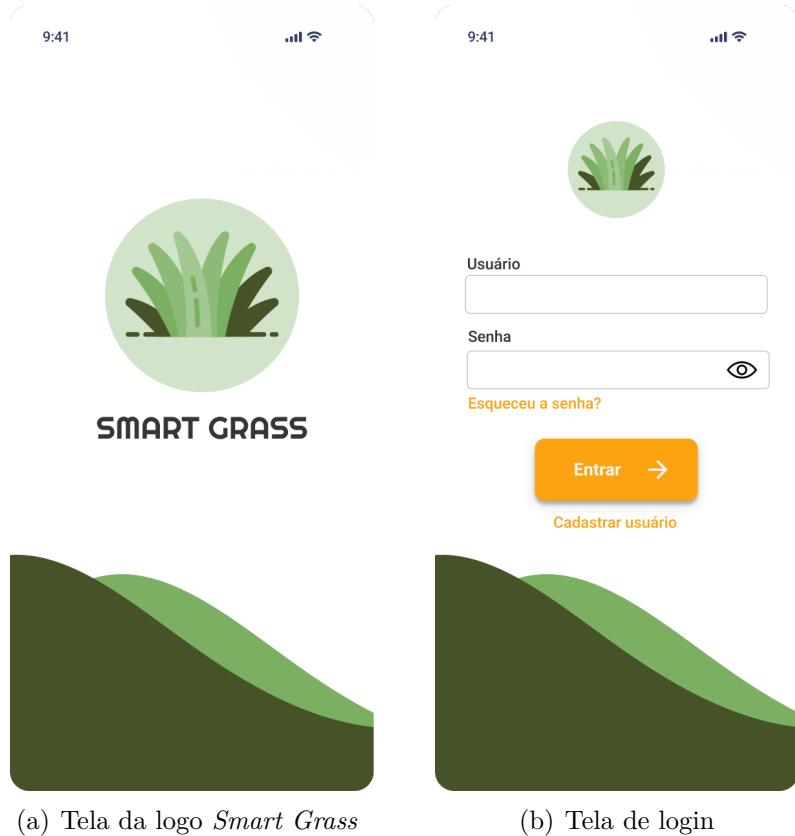


Figura 107 – Telas iniciais do aplicativo

A Figura 108 retrata a tela principal da aplicação. Nesse fluxo, uma vez que o usuário seja autenticado, é redirecionado para esta página, onde contém todas as operações principais que a aplicação oferece, como Ligar e Desligar o cortador, Pausar o cortador, o horário agendado para iniciar o corte da grama, nível de bateria do cortador e a rota selecionada. Contém, também, as funções de Cortador, Notificações, Mapeamento e Configurações, descritas nas imagens seguintes.

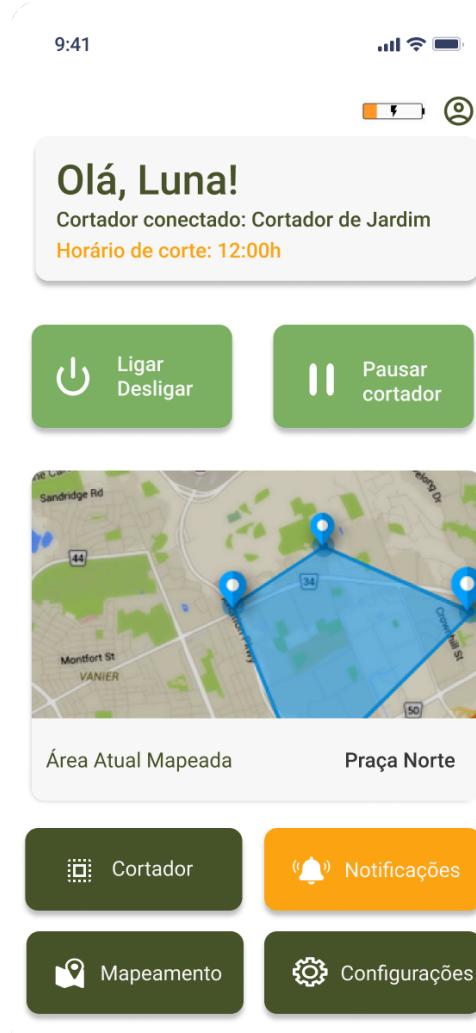


Figura 108 – Tela principal - *Smart Grass*

As telas abaixo retratadas pelas Figuras 109(a) e 109(b) compõe o serviço de Notificação no aplicativo, em que irá alertar o usuário de eventos como início e finalização do corte, desvio de obstáculo e nível de bateria.

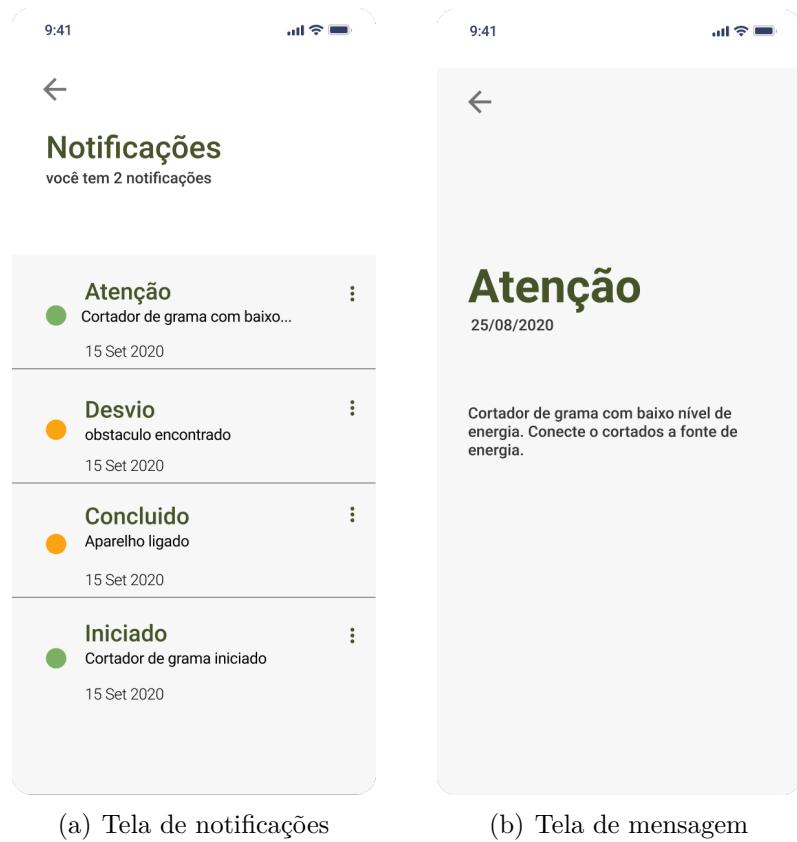


Figura 109 – Fluxo de notificações do cortador para o usuário

A Figura 110(a) representa a função de Mapeamento, responsável por analisar e mapear a área a ser cortada, podendo adicionar rotas, editá-las e deletá-las, como mostra a Figura 110(b)

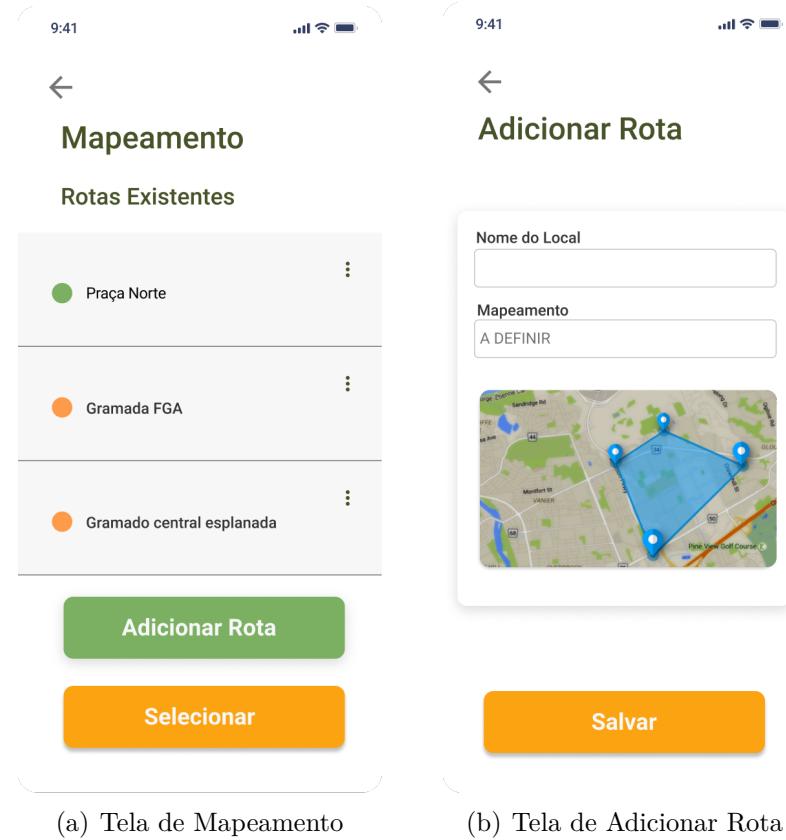


Figura 110 – Fluxo de mapeamento da aplicação

As Figuras 111(a), 111(b) e 111(c) representam o fluxo de conexão e gerência do cortador, contendo funções como Ler *QR Code* para conectar o cortador ao aplicativo e Dispositivos Conectados para visualizar, editar e excluir o cortador conectado. Para utilizar a funcionalidade de Ler *QR Code* o usuário deverá permitir que o aplicativo acesse a câmera do dispositivo utilizado. Dessa forma será feita uma requisição para o serviço de autenticação pelo *QR Code* e a autenticação será limitada a apenas um dispositivo sendo assim utilizado para garantir segurança no controle do cortador.

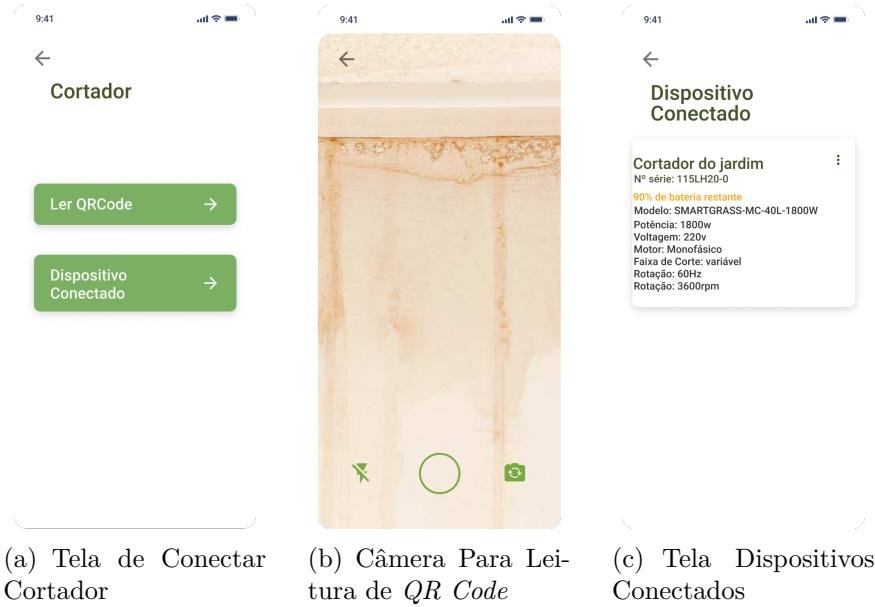


Figura 111 – Fluxo de mapeamento da aplicação

O último fluxo é composto pela funcionalidade de Configuração, representado pelas Figuras 112(a), 112(b) e 112(c), a qual disponibiliza as operações de ajustar altura do corte e agendar um horário, dia e a frequência de repetições desse corte.

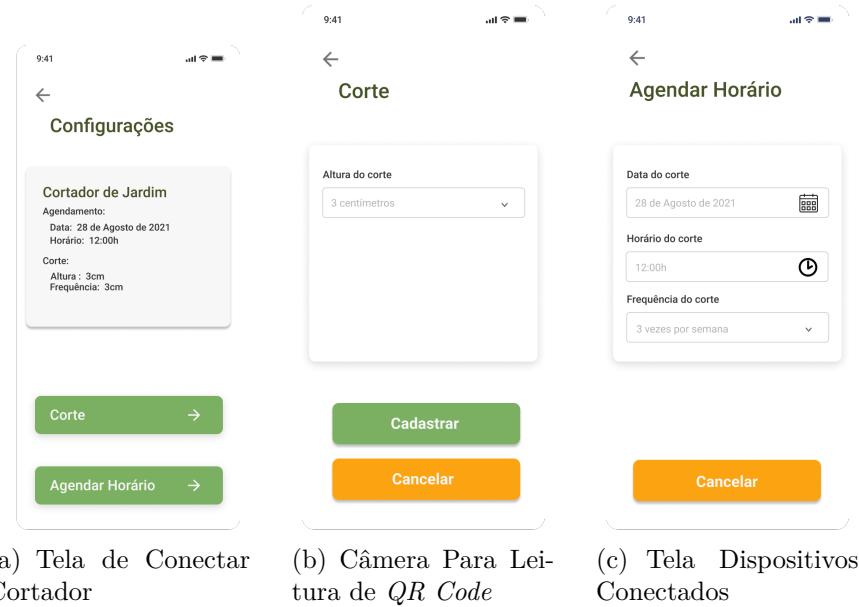


Figura 112 – Fluxo de mapeamento da aplicação

2.4.2 Inovação do Software

Os desafios de software a serem solucionados dentro do contexto do cortador de grama autônomo contém diversas similaridades aos problemas enfrentados pelos aspiradores robôs, o principal deles sendo o planejamento da rota (uso de algoritmos para decidir

como e onde um agente deve se mover em um ambiente) de forma a completar a tarefa solicitada com bons resultados (SÖRME; EDWARDS, 2018).

O problema de cobrir toda área “acessível” dentro um ambiente delimitado é conhecido como PPCR (*Path Planning Of Coverage Region*). Um algoritmo eficiente de PPCR, além de percorrer toda área devida, deve ser formulado de forma a fazer com que o robô percorra a menor distância possível, aliado ao menor número possível de curvas e áreas revisitadas (SÖRME; EDWARDS, 2018).

Outro problema computacional compartilhado com os aspiradores autônomos é o SLAM (*Simultaneous Localization And Mapping*) que trata sobre como o robô pode ser capaz de se localizar e ao mesmo tempo construir um mapa aproximado do ambiente em que se encontra utilizando seus sensores (SUI; LIN, 2020).

Para resolver o problema de PPCR de forma mais otimizada é necessário utilizar do SLAM, fazendo com que o robô se localize e construa um mapa do ambiente onde ele está. As Figuras 114, 115, 116 e 117, juntamente com a legenda presente na Figura 113 ilustram o funcionamento do SLAM para resolver o PPCR de forma eficiente.

Legenda

	Límite ou obstáculo mapeado pelo robô
	Límite ou obstáculo não mapeado pelo robô
	Área com grama não cortada
	Área com grama cortada
	Local atual do robô
	Área com grama cortada mais de uma vez

Figura 113 – Legenda de Algoritmos de Mapeamento e Cobertura de Área

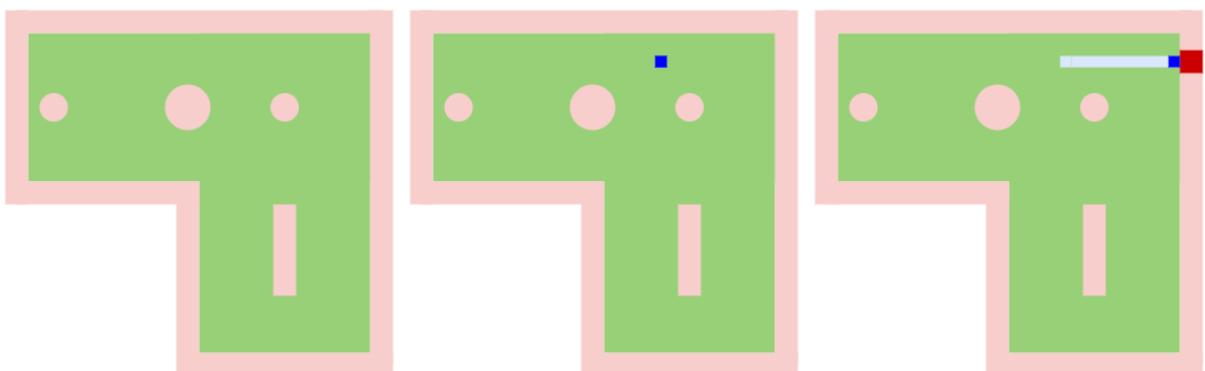


Figura 114 – Representação Algoritmos de Mapeamento e Cobertura de Área - Parte 1

O mapa fictício que será coberto pelo robô está representado na primeira ilustração da Figura 114, a cor vermelho claro mostra obstáculos ainda não identificados pelo robô e as áreas em verde demonstram a grama que ainda não foi cortada pelo cortador. Na segunda ilustração o cortador é ligado e inserido dentro do mapa. Ele começa a cortar a área na terceira ilustração, ao mesmo tempo em que busca os limites para tentar definir uma sub-área inicial de corte, ao juntar todas essas sub-áreas o resultado será a área total a ser cortada.

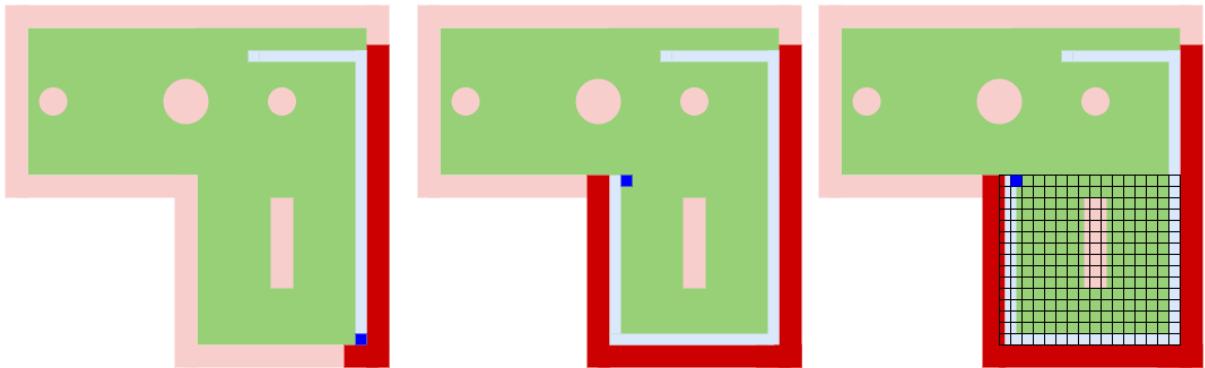


Figura 115 – Representação Algoritmos de Mapeamento e Cobertura de Área - Parte 2

Na primeira e segunda ilustração da Figura 115 o robô segue realizando o corte e identificando os obstáculos/limites da área. Na terceira ilustração o cortador identifica uma sub-área de corte que ele pode atuar, ao fazer essa identificação é feita uma grade (composta por linhas horizontais e verticais se cruzando e formando pequenos quadrados) para identificar células visitadas (contendo um trecho de grama já cortado pelo robô), não-visitadas (contendo um trecho de grama que ainda não foi cortado pelo robô) e obstáculos, com o objetivo final de transformar todas as células não-visitadas em células visitadas. Ao fazer essa grade é possível usar o algoritmo de *Flood-Fill* para estabelecer o caminho mais eficiente, com o menor número de células visitadas mais de uma vez, a ser percorrido dentro desse contexto.

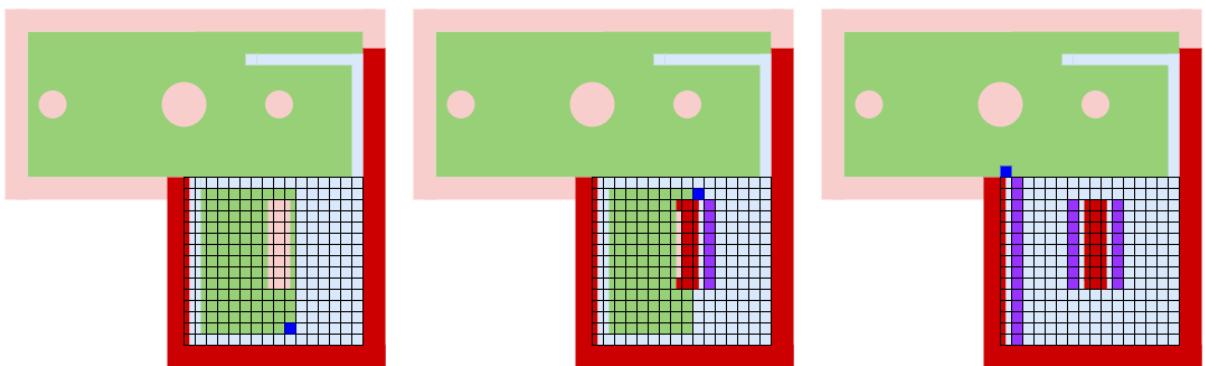


Figura 116 – Representação Algoritmos de Mapeamento e Cobertura de Área - Parte 3

Na primeira ilustração da Figura 116, executando o algoritmo de *Flood-Fill*, o robô

continua a realizar o corte dentro da área demarcada transformando células não-visitadas (cor verde) em células visitadas (cor azul). Na segunda ilustração o cortador identifica um obstáculo e realiza o corte a sua volta, para conseguir realizar esse contorno ele revisita as células ao lado (cor roxo). A terceira ilustração exibe a sub-área que contém a grade com seu corte completo, demonstrando as células que foram visitadas (cor azul), as que foram visitadas mais de uma vez (cor roxo) e as que são obstáculos (cor vermelho escuro).

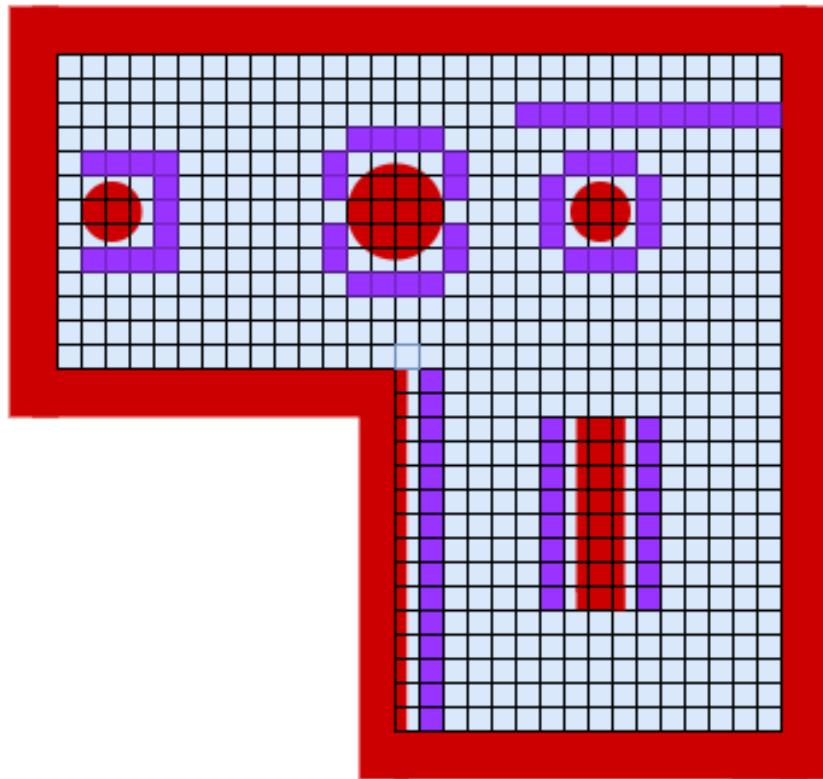


Figura 117 – Representação Algoritmos de Mapeamento e Cobertura de Área - Parte 4

Por fim, depois de demonstrar o procedimento de corte em uma sub-área, a Figura 117 ilustra o mapa final de corte, composto pela soma das sub-áreas e suas grades internas.

Para o funcionamento adequado do robô o usuário poderá selecionar dois modos de corte distintos, o modo de corte geral e o modo de corte concentrado.

No primeiro modo será feito o mapeamento da área em busca dos seus limites e um corte inteligente a fim de cobrir da melhor forma essa região (algoritmo ilustrado nas Figuras 114, 115, 116 e 117), para isso utilizará dos algoritmos presentes nos módulos de mapeamento e embarcado. Para esse funcionamento otimizado o aparelho deverá estar conectado à internet, caso contrário o mapeamento não vai ser feito, diminuindo muito a eficiência das rotas escolhidas (algoritmo ilustrado na Figura 120). Após a cobertura da área delimitada o robô será desligado e uma notificação será enviada ao usuário informando a conclusão da tarefa. A Figura 118 ilustra o funcionamento desse modo.

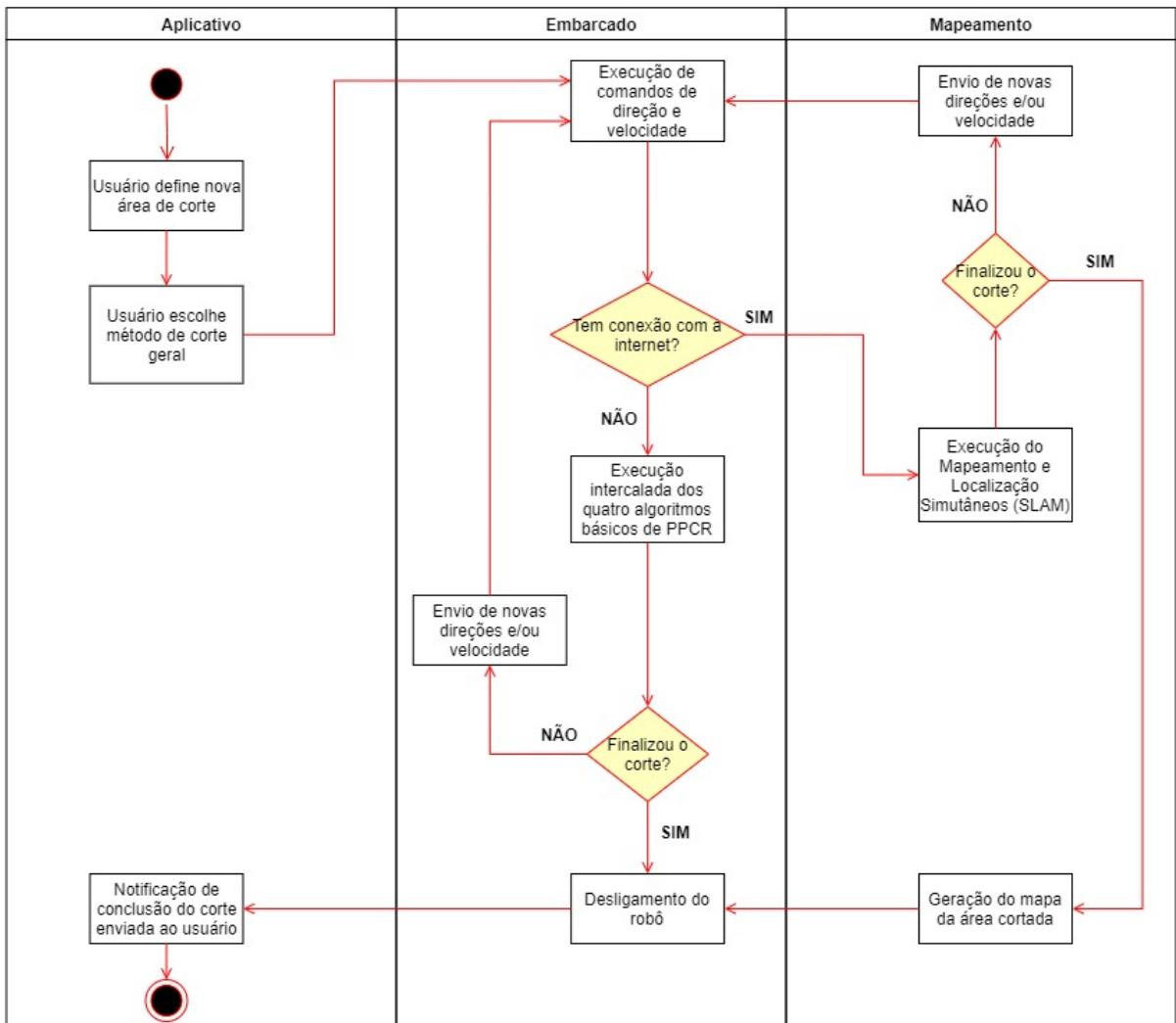


Figura 118 – Diagrama de Atividades - Modo de Corte Geral

O segundo modo é recomendado para casos onde os limites são muito distantes entre si (a exemplo de chácaras e parques muito grandes), nesse modo o cortador vai fazer seu corte realizando movimento em espiral (começando de um ponto específico e ampliando a espiral com o tempo) a fim de cobrir a maior área possível dentro desse terreno, somente o módulo embarcado será utilizado nesse modo de uso, visto que não há possibilidade de alcançar os limites da área para se desenhar um mapa. A Figura 119 ilustra o funcionamento desse modo.

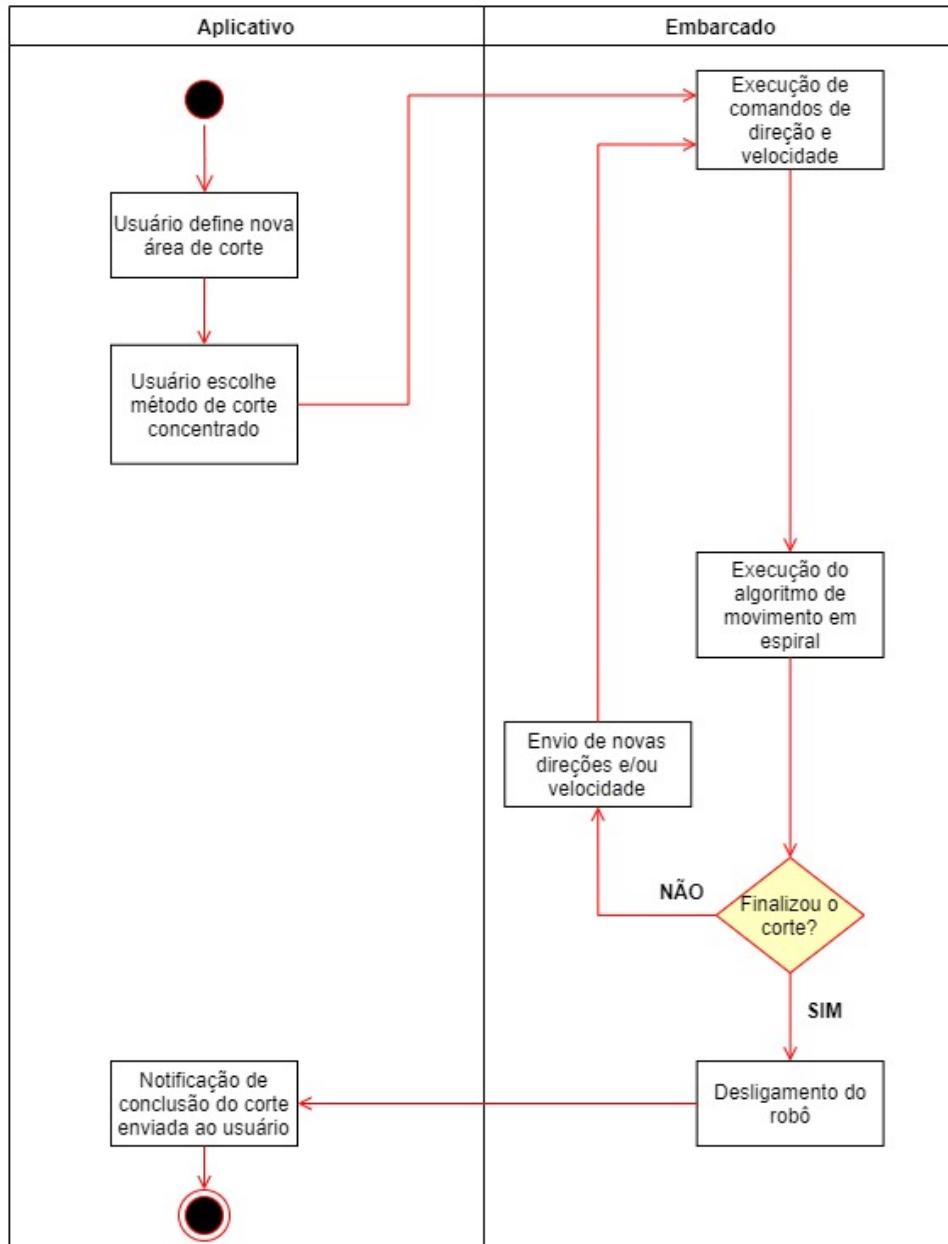


Figura 119 – Diagrama de Atividades - Modo de Corte Concentrado

No modo de corte geral, dentro do contexto de resolver o desafio do PPCR tendo limitações de hardware e não envolvendo o SLAM, será implementado um algoritmo de solução combinando outros quatro, esse método já é utilizado por muitos robôs aspiradores no mercado e será aplicado no contexto do cortador considerando que este é utilizado em ambiente externo. Os quatro algoritmos citados são (HASAN; REZA et al., 2014):

- **Random Walk:** Baseado na ideia de movimento randômico, o robô se move em uma linha até encontrar algum obstáculo que impede seu movimento, então, faz com que o robô realize uma curva em ângulo randomicamente escolhido.

- **Spiral:** Detecta se o robô consegue se mover em espiral e realiza esse movimento até um obstáculo ser encontrado.
- **S Shape Pathway:** O robô se move traçando formas de “S” pelo mapa.
- **Border/Wall Follow:** O robô se move nas “bordas” do ambiente

Esse algoritmo combinado para resolver o PPCR estará dentro do sistema embarcado, funcionará quando o cortador estiver sem acesso a internet e não conseguir realizar a comunicação com o módulo de mapeamento, que realizará os algoritmos de SLAM (SÖRME; EDWARDS, 2018). Utilizando as informações do GPS e dos sensores disponíveis, o cortador permanecerá dentro de uma sub-área alternando entre os quatro algoritmos por tempo suficiente para garantir a cobertura completa desta, mesmo que de forma ineficiente. Esse funcionamento está ilustrado na Figura 120, uma mesma sub-área é alvo dos quatro algoritmos distintos, por essa razão o número de células revisitadas é bem alto.

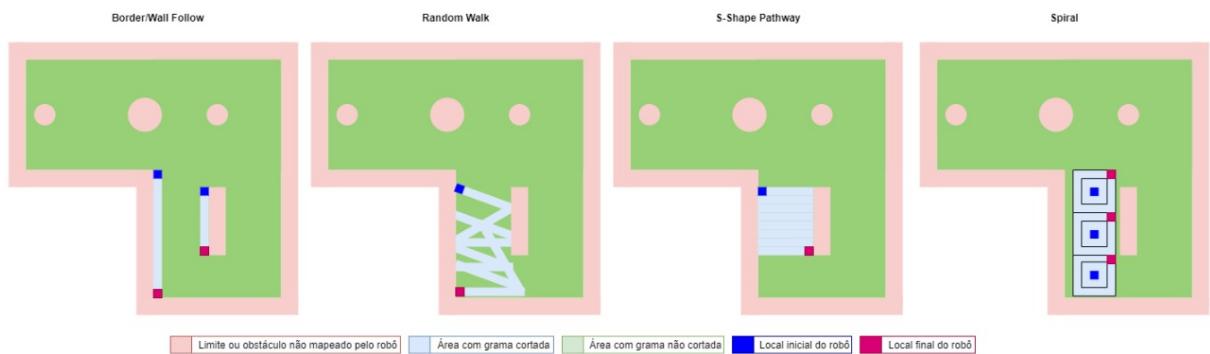


Figura 120 – Representação de algoritmos combinados para solução do PPCR

Por fim, outra proposta de inovação consiste no serviço embarcado, amplamente abordado no subtópico 2.4.3.1.1, que se refere a um módulo de software a ser implementado na *Raspberry* para centralizar a conexão via rede com a API, bem como a conexão com módulos implementados pela equipe de eletrônica, responsáveis pela conexão direta com sensores, permitindo um sistema de tomada de decisão e controle.

2.4.3 Arquitetura do Software

2.4.3.1 Serviços

A arquitetura geral do projeto de software está listada na Figura 121 a seguir. Na direita do diagrama se encontram os microsserviços, e na esquerda temos os dois consumidores principais, o cortador de grama e o aplicativo do usuário.

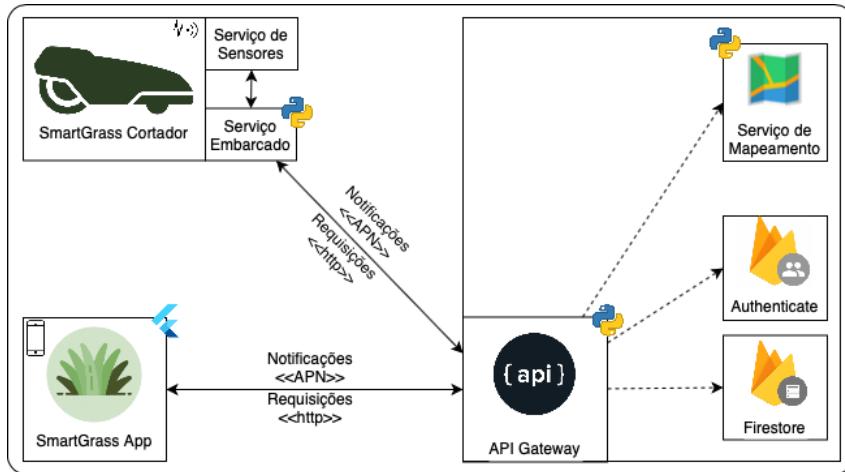


Figura 121 – Diagrama de Arquitetura.

Na sequência serão detalhados os serviços desenhados do diagrama.

2.4.3.1.1 Smart Grass Cortador - Serviço Embarcado

O cortador de grama terá um serviço embarcado, desenvolvido em Python, que será o centralizador de recepção de dados dos vários sensores disponíveis. Esse serviço embarcado fará a transmissão dessas informações recebidas para um serviço externo usando a comunicação de redes disponibilizada pela *Raspberry*. Outra função desse serviço é receptionar informações ou ações do serviço externo na nuvem, ou *API Gateway*. Exemplos dessas ações são: ligar ou desligar o sistema de corte e definir rotas a serem executadas.

Tendo que uma responsabilidade desse serviço é a comunicação entre os módulos de eletrônica e software, foi necessário definir sob quais protocolos e meios essa integração seria constituída, culminando na comparação desses meios e na elaboração da Tabela 53:

Tabela 53 – Características de Meios de Comunicação.

Opção	Modo de Transmissão	Tipo de Comunicação	Comunicação entre Processos
Pipes	Half-duplex	FIFO	Pai-Filho
Sockets	Full-duplex	TCP/UDP	Cliente-Servidor
ROS	Full-duplex	HTTP	Publisher-Subscriber

Dentre as opções avaliadas, estão os **Pipes**, cujas vantagens são, na implementação de *Pipes Nomeados* a existência de comunicação bidirecional e contínua mesmo após o fim da comunicação entre processos, além de permitir que vários processos se comuniquem através de uma conexão existente, entretanto, restringindo a implementação ao ser necessário que os processos comunicantes estejam na mesma máquina, a conexão bidirecional permite apenas comunicações *half-duplex*, isto é, a conexão não permite o envio e

a recepção de dados de forma simultânea, além de que funcionam como arquivos com a implementação de FIFO, o que atuaria como um fator de dificuldade na implementação da comunicação instantânea de múltiplos processos, atuando no envio de dados obtidos pelos sensores para o módulo de software implementado, bem como do retorno de dados para configuração e controle desses sensores (SILBERSCHATZ; GAGNE; GALVIN, 2002).

Assim, outra opção considerada foram os *sockets*, que se beneficiam do uso de uma arquitetura cliente-servidor, sendo necessária uma conexão par a par dos processos, cuja troca de dados ocorre via UDP/TCP (SILBERSCHATZ; GAGNE; GALVIN, 2002) e permitindo um meio de comunicação *full-duplex* para envio e recebimento de pacotes de dados de forma simultânea, apresentando ainda uma maior eficiência para dados de dimensão robusta em relação a *pipes*, entretanto, a falta de um fator unificante para a implementação de *sockets* em diferentes linguagens poderia influenciar como fator de risco elevado para a execução do projeto (KRISHNAVENI; RUBY, 2016).

Por fim, a opção selecionada se refere uso do *Framework ROS* (*Robot Operating System*), que consiste em um meta-sistema operacional de código aberto para uso em aplicações robóticas, permitindo abstração de *hardware*, controle de operações e implementações de funcionalidades de baixo nível, e, para o contexto aplicado, a troca de mensagens entre processos. As principais vantagens desse *framework* partem da abstração do protocolo instanciado - que troca mensagens codificadas via XML transportadas via HTTP - permitindo uma forma eficiente de gerenciar o contato com os sensores, mantendo um padrão de comunicação tanto pro módulo de eletrônica embarcada de forma interna, quanto entre os módulos de *software* e eletrônica, minimizando riscos ao fazer uso das bibliotecas em várias linguagens do *framework* (KOUBÂA et al., 2017).

2.4.3.1.2 Smart Grass App

O *front-end* é responsável por toda programação relativa à interface visual entre a aplicação e o usuário, onde aplicam-se estudos de *User Interface* (UI) e *User Experience* (UX) com o objetivo de promover uma experiência agradável ao usuário enquanto estiver utilizando a aplicação (JI et al., 2018). O desenvolvimento dessa aplicação é voltada para dispositivos *mobile*, e para a construção do *front-end* foi definido o *framework* Flutter, tecnologia recentemente criada pela Google possibilitando um aplicativo para sistemas Android e IOS, usando a mesma base de código (KUZMIN; IGNATIEV; GRAFOV, 2020). Esse *framework* utiliza a linguagem de programação Dart para o desenvolvimento, uma linguagem concisa, fortemente tipificada e orientada a objetos.

2.4.3.1.3 API Gateway

O serviço de *API Gateway* é um barramento online feito para centralizar e disponibilizar um único caminho de entrada para os vários serviços aos consumidores externos

(cortador de grama e aplicativo). É um serviço para monitorar o projeto, e garantir a recepção de grande quantidade de requisições. Tem como objetivo se manter estável e com baixa latência, mesmo que os serviços internos estejam com algum problema de interoperabilidade (ZHAO; JING; JIANG, 2018). Esses pontos justificam o uso desse recurso pois o serviço de mapeamento tem alto custo de processamento, podendo ficar indisponível enquanto processa uma nova rota.

2.4.3.1.4 Serviço de Mapeamento

Este será um dos serviços que conterá as principais lógicas de controle e manipulação dos dados no projeto. Ele que será responsável por transformar as informações recebidas dos sensores em informações palpáveis e entendíveis. Esses dados, após tratados, serão utilizados para:

- Criação de melhores rotas para o cortador percorrer;
- Descoberta de posicionamento atual do cortador; e
- Criação de dados compatíveis para mostrar no aplicativo do usuário a área de corte e o atual estado do mesmo, mostrando o trajeto já percorrido.

Na sessão de inovação de software, já tratada anteriormente, estão contidas algumas informações extras dos procedimentos que serão executados nesse serviço de mapeamento.

2.4.3.1.5 *Firebase Authenticate*

Diante da grande quantidade de dispositivos tecnológicos que estão surgindo nos últimos anos, e também sobre a necessidade de armazenamento e gastos energéticos, nascem a cada dia novas formas e conceitos paraseguranças desses dispositivos. Um exemplo disso são formas de autenticação e autorização distribuídas, como o processo ACE (*Authentication and Authorization for Constrained Environments*) que consiste em agregar uma proposta híbrida de *frameworks* adaptados aos dispositivos conectados a internet. (ANDRADE; MONTEIRO, 2019).

A maioria dos aplicativos e serviços atualmente precisam reconhecer a identidade do usuário. Ter essa informação permite que um aplicativo salve os dados do usuário na nuvem com segurança e forneça a mesma experiência personalizada em todos os dispositivos do usuário. O *Firebase Authentication* é estritamente integrado a outros serviços do *Firebase* e aproveita os padrões do setor, como *OAuth 2.0* e *OpenID Connect*, para que possa ser facilmente integrado ao seu *back-end* personalizado (GOOGLE, 2021a).

Por ser na nuvem, distribuído e mantido pela própria Google, o *Firebase Authenticate* é um dos microsserviços que será adicionado ao projeto.

2.4.3.1.6 *Firebase Firestore*

O *Firebase Firestore* é um banco de dados não relacional ou não SQL, que utiliza como base de construção *collections* e documentos de forma para estruturar facilmente diversas consultas com alta velocidade, possibilitando inclusive sincronização de dados *online* e *offline* ([GOOGLE, 2021b](#)).

Optamos por escolher o *Firestore* por seguir o modelo conceitual que gostaríamos de ter no nosso projeto, que seria o *NoSQL*, e levando em conta os diferentes tipos de dados recebidos dos sensores do cortador de grama. Outro ponto positivo é que poderemos criar de forma fácil, vínculos de dados à rotas e datas que o cortador executou ou executará.

Por fim, um ponto importante ao qual levou nossa escolha por ambos os serviços do *Firebase* (*Authenticate* e *Firestore*), é pela forte segurança dos dados baseado no usuário previamente autenticado. É possível restringir o acesso aos dados apenas ao usuário que foi o criador dos mesmos. Esse ponto entra em total sintonia com a atual Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD) ([BRASIL, 2018](#)), onde a mesma regulamenta os tratamentos e uso dos dados pessoais de forma digital, mantendo a liberdade e privacidade de cada cidadão.

2.4.4 Diagramas de Software

2.4.4.1 Diagrama de Casos de Uso

Os diagrama de casos de uso propostos para o sistema do *Smart Grass* podem ser visualizados na Figura 123. O diagrama apresenta as funcionalidades do sistema e estão em conformidade com o requisitos elicitados na etapa inicial de planejamento do sistema. O usuário é capaz de realizar essas funções quando logado na aplicação. Funcionalidades que possuem a ligação de «*include*» são dependentes de uma funcionalidade primária, como nos casos de Mapear Áreas, Configurações e Cadastrar Cortador.



Figura 122 – Diagrama de Caso de Uso.

2.4.4.2 Diagrama de Classes

O diagrama de classes descreve o conhecimento envolvido no escopo do problema, e assim demonstra a estrutura estática do sistema, os tipos de objetos no sistema e o relacionamento entre eles. Este diagrama apresenta as várias classes, atributos e operações do sistema assim como faz o mapeamento dos relacionamentos entre as classes (BOOCH G; RUMBAUGH, 2012).

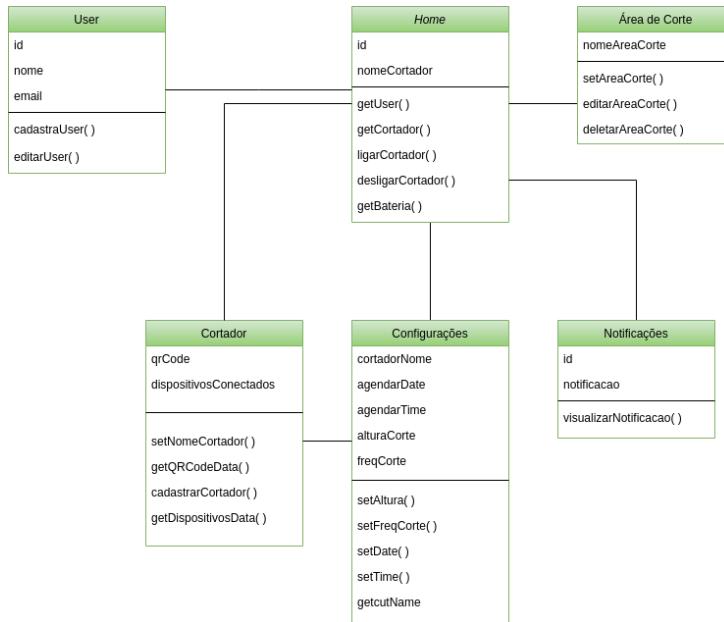


Figura 123 – Diagrama de Caso de Classes.

2.4.4.3 Diagrama de Pacotes

O diagrama de pacotes é um recurso gráfico utilizado para representar os agrupamentos lógicos e as dependências entre os módulos do sistema ([BOOCH G; RUMBAUGH, 2012](#)). Para esse projeto utilizamos duas formas de organização dos módulos: Diagrama de Pacotes Estrutural na Figura 124 e Diagrama de Pacotes por Funcionalidade na Figura 125.

2.4.4.3.1 Diagrama de Pacotes Estrutural

O Diagrama de Pacotes Estrutural, Figura 124, retrata a integração lógica da estrutura arquitetural da aplicação, a qual demonstra a estrutura do *framework* Flutter. Aqui as classes modelos (*models*) se relacionam com as classes de controle (*controllers*), essa por sua vez faz o intermédio de dado entre as classes modelos e as classes visuais (*views*), e enfim salvando os dados no banco de dados. As classes visuais (*views*) podem ter uma relação de importação com os componentes (*components*) em que vai adquirir estruturas visuais reutilizáveis para outros espaços do código, ou então, uma relação de importação com as classes de rotas (*routes*), as quais fazem a chamada de uma tela para outra.

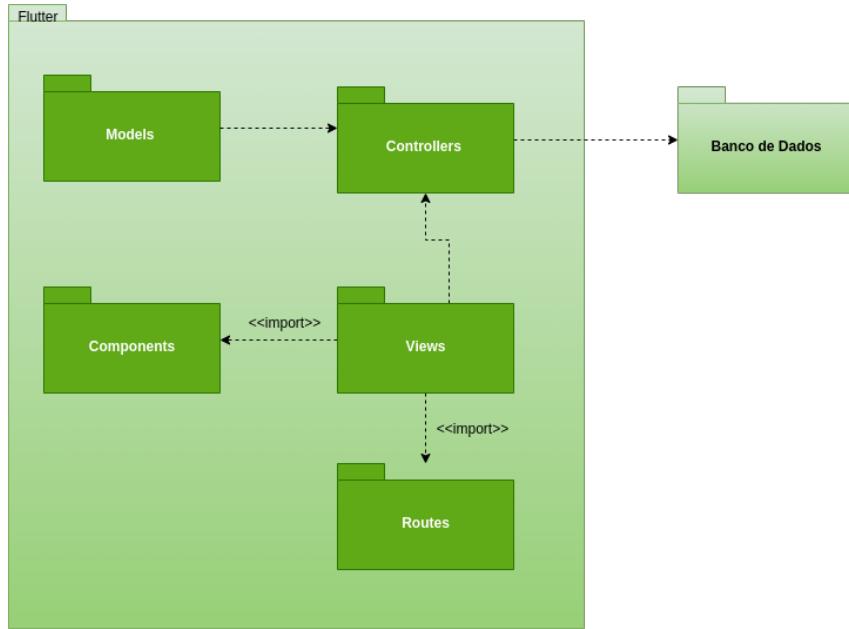


Figura 124 – Diagrama de pacotes da estrutura de pastas do projeto.

2.4.4.3.2 Diagrama de Pacotes por Funcionalidade

O Diagrama de Pacotes por Funcionalidade, Figura 125, exemplifica pedaços do sistema em agrupamento funcional, em que cada módulo funcional do aplicativo tem uma relação com o outro. As relações de *import* adicionam elementos do pacote importado para o próprio pacote em questão. As relações de *access* retratam a requisição de funções de outro pacote. Pacotes podem ser agrupados em outro pacote geral, o qual o todo se relaciona com outro módulo, como o banco de dados.

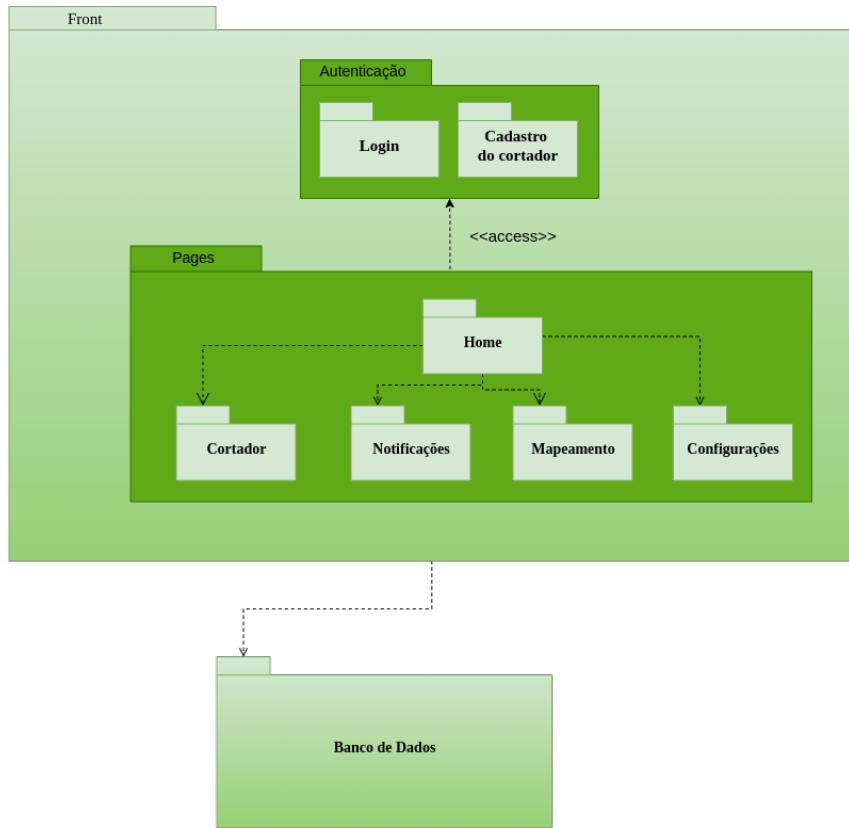


Figura 125 – Diagrama de pacotes - fluxo por funcionalidade do sistema.

2.4.4.4 Diagramas de CI, CD e GitFlow

Para um projeto bem estruturado, que siga boas práticas de desenvolvimento e também otimize o tempo do desenvolvedor, é imprescindível padronizar o uso do versãoamento de código e estruturar as camadas de integração contínua (CI) e *deploy* automatizado (CD).

Com o crescente avanço das tecnologias de desenvolvimento, a velocidade e ritmo de lançamento de novas versões das aplicações tem aumentado consideravelmente, e isso é graças as conceitos de *DevOps* que propõem soluções para minimizar o processo, tornando mais estável e eficiente (ASFOUR, 2020).

Tendo isso em mente, foram desenvolvidos diagramas para os itens citados anteriormente. São eles: integração contínua e *deploy* automatizado, e também um diagrama de *GitFlow* que encaixa com os acionadores das automatizações.

A seguir serão apresentados os diagramas e seus respectivos detalhamentos.

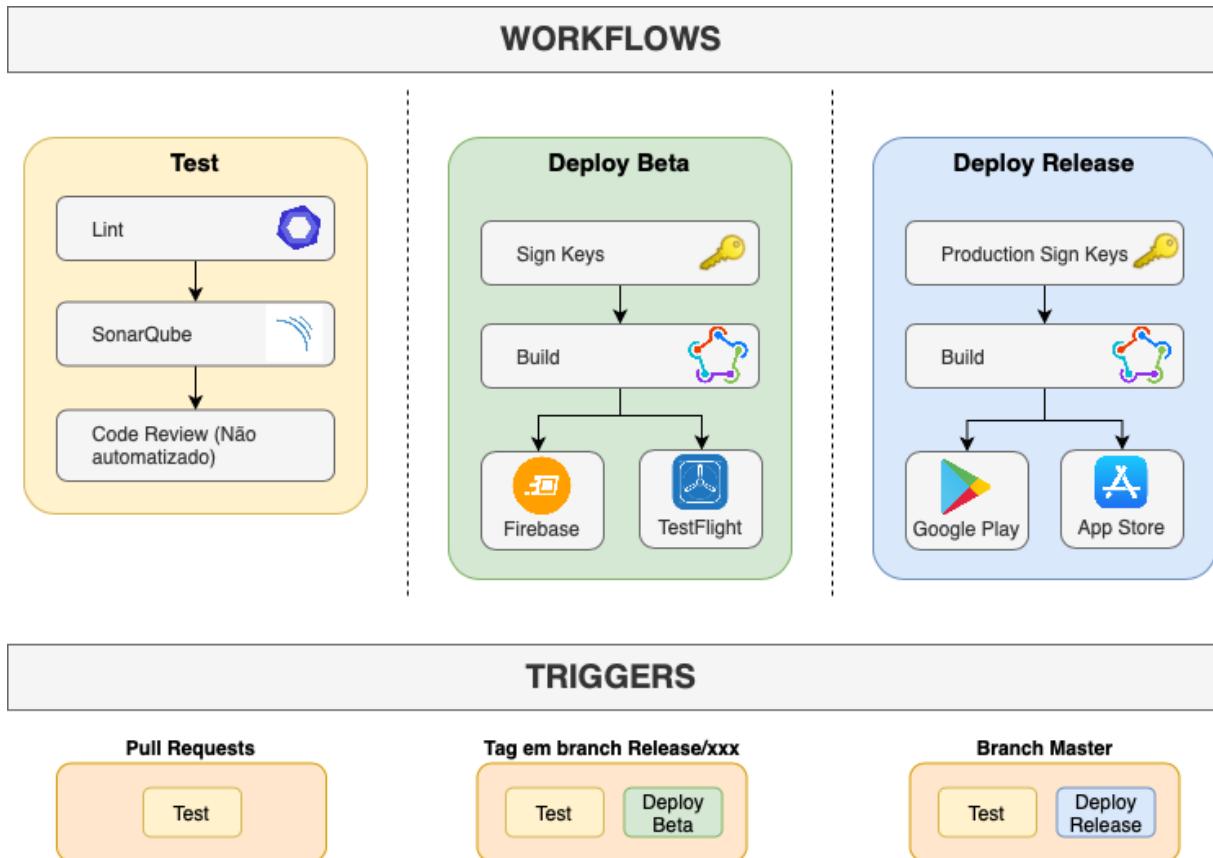


Figura 126 – Diagrama CI/CD para Mobile.

O diagrama de CI/CD do *mobile*, conforme Figura 126, contém 3 *workflows* principais onde executarão os testes de validações para garantir o funcionamento e evolução corretas do software, e também os *deploys* para homologação e produção de acordo com o objetivo e acionador disparado pelo desenvolvedor.

O primeiro *workflow*, chamado *Test*, é contido por 3 raias ou etapas, são elas:

- **Lint**: que fará validações simples de sintaxe, boas práticas de nomenclaturas e espaçamentos. O *lint* tem como sua principal vantagem a rapidez e baixo custo de execução, entregando facilmente um retorno inicial das alterações realizadas no projeto.
- **SonarQube**: que é a ferramenta de análise estática escolhida para o projeto. Ele é capaz de encontrar vulnerabilidades de código e segurança, duplicações ou repetição de código, complexidade de algoritmo e fazer o rastreio do avanço desses itens citados.
- **CodeReview**: que consiste em análises visuais por parte dos desenvolvedores quando existirem submissões de *pull requests*. Essa técnica tem como principal objetivo visualizar e confirmar que os códigos escritos estão conforme necessário e de fato

entregam o que deveriam entregar, isso sem contar que os desenvolvedores avaliadores acabam assimilando melhor as mudanças, possibilitando que a manutenção e evolução futura seja feita por qualquer colaborador.

O segundo *workflow* é o de Homologação. Esse tem como objetivo disponibilizar as alterações feitas no código para algum membro responsável por realizar testes ou alguém que queira avaliar ou validar o avanço ao longo do processo. Esse *workflow* é fundamental para garantir que a entrega chegue às mãos do usuário final de forma sólida no *workflow* seguinte. Para isso, existem 3 raias para alcançar o objetivo do *workflow*, e na última ela é subdividida em 2 sentidos pois o projeto *mobile* acaba gerando um pacote de entrega para iOS e Android. Em detalhes, as raias são:

- **Sign Keys:** que tem como objetivo fazer o *download* das chaves que fazem a assinatura do pacote de entrega de forma segura. As chaves serão armazenadas no *GitHub Secrets*, usando a ferramenta já disponível em nosso ambiente de desenvolvimento;
- **Build com Fastlane:** está é a etapa onde o pacote do projeto é gerado, usando as chaves anteriormente resgatadas e compilando o código escrito. O resultado final é um pacote pronto para ser instalado nos celulares dos usuários. Para isso será usado o *Fastlane*, que é uma ferramenta open-source desenvolvida pensada nos projetos *mobile* onde a mesma tem facilidade em gerar os pacotes e integrar ações com diversas ferramentas externas.
- **Firebase App Distribution:** é a ferramenta que ficará disponível nosso pacote de Android para instalar nos dispositivos de teste. Como já estamos usando outras ferramentas do Firebase e Google, optamos por utilizar também dentro do mesmo conglomerado de ferramentas.
- **Tesflight:** é a ferramenta que ficará disponível nosso pacote de iOS para instalar nos dispositivos de teste. Também poderíamos utilizar o Firebase para disponibilizar os pacotes iOS, porém por conta das especificidades que a Apple pede e/ou recomenda no pacote final, é mais proveitoso usar a ferramenta oficial para disponibilização de versões de teste já integrada aos distribuidores oficiais.

Por fim, mas não menos importante, está o *workflow* de Produção. Esse é muito semelhante ao anterior de Homologação, porém as chaves são de versões oficiais e com segurança melhorada, os *builds* são direcionados e configurados com as informações de produção, e na última raias as ferramentas utilizadas para distribuição dos pacotes são as oficiais da Google (Google Play) e da Apple (App Store). Como o *workflow* de Homologação foi bem detalhado, não é necessário entrar em detalhes nesse que é muito semelhante.

Abaixo dos *workflows*, é listado os *Triggers* ou acionadores de *workflow*. Eles demonstram de qual forma que será acionado o processo de Teste, de Homologação ou de Release. Na demonstração e por escolha do time, será sempre executado o *workflow* de Teste, pois o mesmo garante que não ouve processo inequívoco, como problemas não tratados de *merge* ou padronização do projeto conforme estipulado pela equipe.

Sempre que criado um *Pull Request* pelos desenvolvedores, esse *workflow* de teste é acionado.

Quando uma *branch* de *release* é criada e é feita uma *tag* versionada partindo dessa *branch* de *release*, o *workflow* de Homologação é acionado. Esse processo tem como objetivo criar um pacote de testes daquela *release* escolhida ou agregada por vários itens desenvolvidos pelos desenvolvedores. Esse processo acionará tanto os testes quanto o *deploy* de fato, que ocorrerá apenas após a execução com sucesso dos testes. Caso haja falha nos testes, o *deploy* não é iniciado para evitar complicações e gastos desnecessários de tempo.

O acionador de *workflow* mais importante é quando a *Branch Master* é atualizada. Nesse momento significa que uma *tag* de *release* já foi criada anteriormente, tudo ocorreu conforme o esperado e essa *release* foi aprovada. Com isso o desenvolvedor vai criar um *Pull Request* para a *master* e assim que estiver *mergeada* o acionador criará a versão oficial que os usuários poderão baixar nas respectivas lojas de cada plataforma.

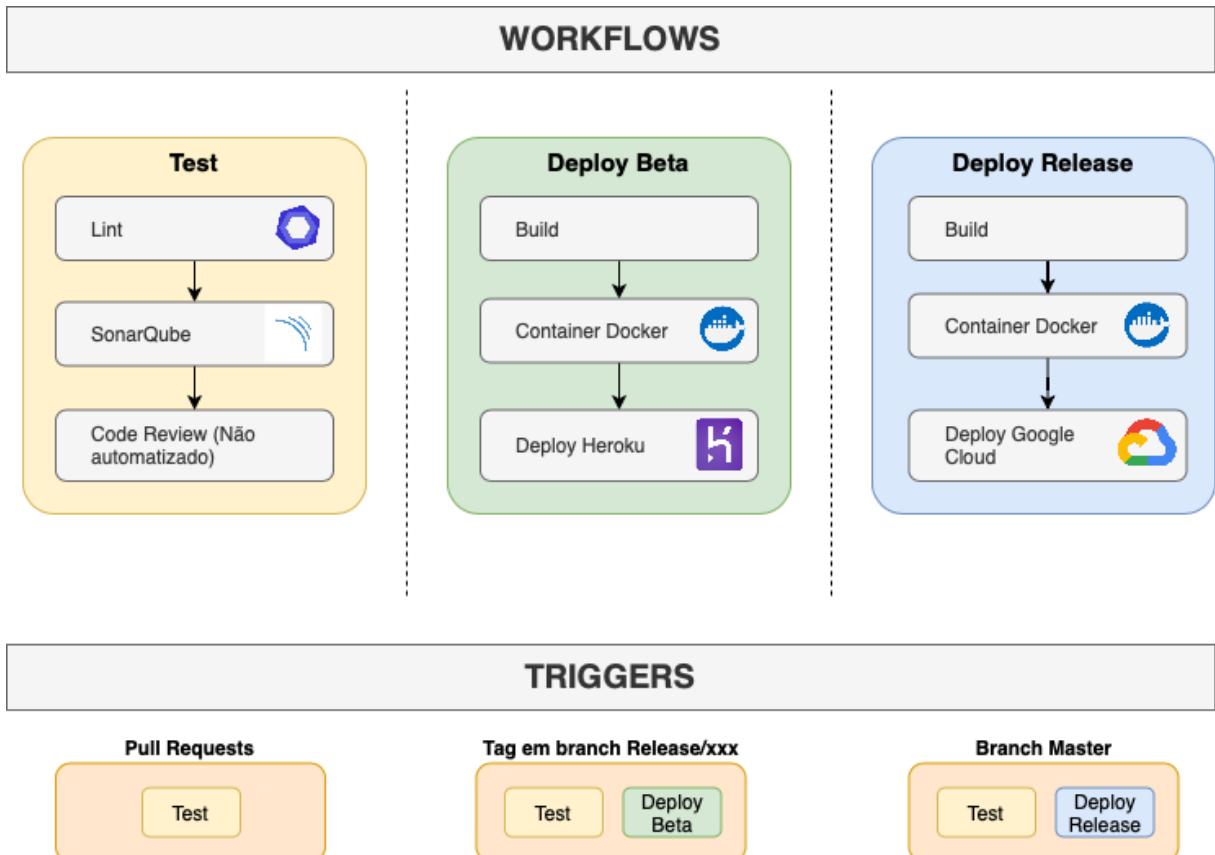


Figura 127 – Diagrama CI/CD para Api Gateway e Serviço de Mapeamento.

O diagrama de CI/CD da *API Gateway* e do serviço de mapeamento, conforme Figura 127, é muito semelhante ao processo desenhado na Figura 126 e detalhada anteriormente.

As diferenças estão em como os pacotes são gerados e entregues/disponibilizados para acesso externo.

Nas APIs usaremos um containerizador de pacotes chamado Docker para facilitar a disponibilização das versões e otimizar as necessidades do servidor, que nesse caso precisará apenas de um leitor de Docker instalado.

O Docker é uma ferramenta bastante conhecida e utilizada para essa função de gerar pacotes já prontos para serem executados, inclusive em ambientes de desenvolvimento onde o desenvolvedor não precisa instalar diversas dependências ou versões da linguagem que o mesmo está trabalhando, diminuindo a eficiência ou até gerando conflitos com outras ferramentas já disponíveis no ambiente de programação. Além de tudo, para algumas imagens de APIs o serviço é gratuito, e para a nossa utilização no projeto será o suficiente.

Para o ambiente de testes e desenvolvimento, será usado o Heroku para execução do Docker e disponibilização. O Heroku tem como grande vantagem a gratuidade e facilidade em distribuição de APIs, fazendo com que esse seja o fator principal para ser escolhido

inicialmente.

Para o ambiente de produção, optamos por uma infraestrutura mais robusta, que será capaz de recepcionar com maestria a grande quantidade de dados provindas do cortador de grama ou vários cortadores de grama num cenário futuro. A desvantagem em relação ao Heroku é por conta da complexidade de fato executar a imagem/pacote gerado anteriormente. Um ponto positivo é que é mais uma ferramenta Google que estamos unindo ao projeto.

Os *triggers* ou acionadores dos *workflows* seguem os mesmos da versão *mobile*, fazendo assim uma padronização de comportamento entre os diferentes projetos desenvolvidos.

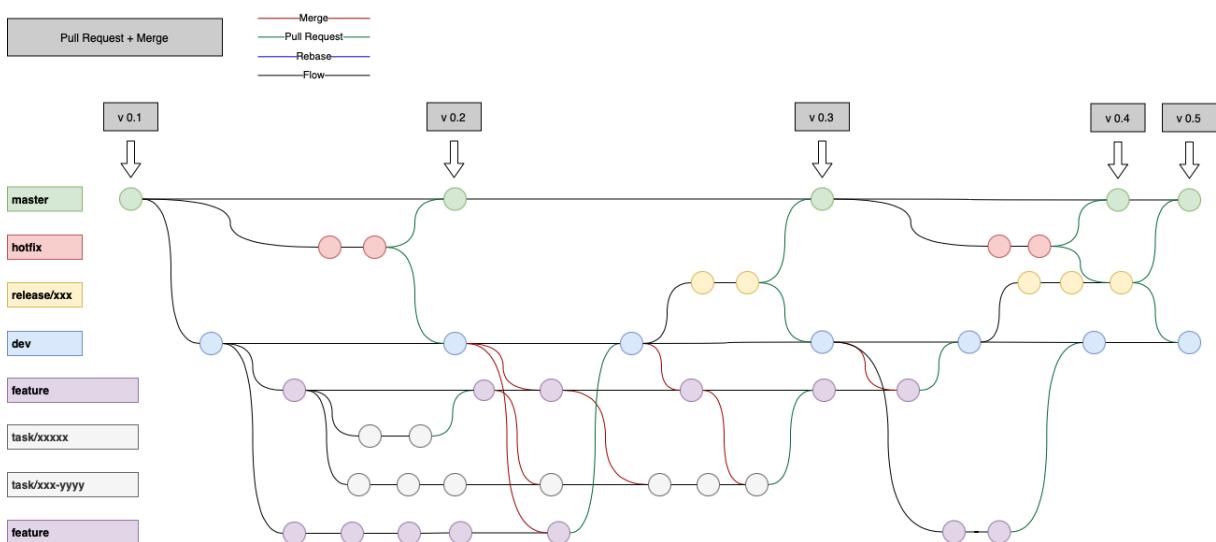


Figura 128 – Diagrama de GitFlow.

Por fim, temos acima o diagrama de *GitFlow* que o time irá utilizar em seus repositórios com objetivo principal em manter uma ordem e padronização de estrutura de versionamento.

Ele foi desenvolvido pensando em alguns itens e boas práticas de projeto, são eles:

- Múltiplas pessoas trabalhando numa mesma *feature*, que usarão as *branches* de *tasks/xxxx* e juntarão suas mudanças na *branch* pai chamada *feature/xxx*;
- *Branch* de Dev que terá como foco centralizar várias *features* já prontas e esperando um processo de *release* começar;
- *Branches* de *release/xxx* que manterão uma ramificação separada da *branch* de *dev* possibilitando os desenvolvedores continuarem a avançar nas *features* enquanto um processo de *release* é executado;

- Branch de *hotfix* que será usada em casos de versões oficiais com problemas críticos, tendo como ramificação inicial a *branch master* que é a última que gerou pacotes para as lojas;
- E por fim a *branch master* que será responsável por manter o código mais atual e próximo possível do que está disponível aos usuários nas lojas de cada plataforma.

Um detalhe importante a se observar é que esse *GitFlow* foi desenhado e pensado para encaixar nos diagramas de CI/CD demonstrados anteriormente, tendo como *branches* de *release* e *master* como pontos focais para acionamentos de *workflows*.

2.4.4.5 Representação Arquitetural da Integração

Para representar a forma com que os módulos desenvolvidos pela equipe de eletrônica se conectam com os módulos desenvolvidos pela equipe de *software*, foi desenvolvida a representação arquitetural representada pela Figura 131, que pode ser entendida como uma especificação do módulo destacado na Figura 129.

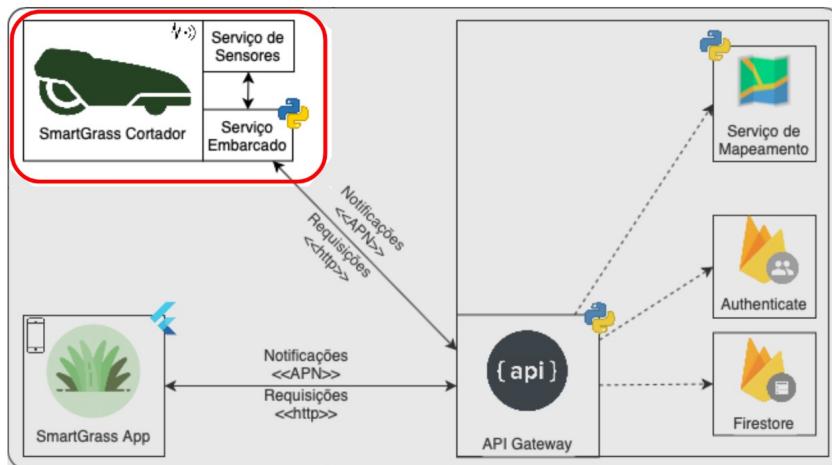


Figura 129 – Diagrama de Arquitetura Com Destaque Ao Módulo Embarcado.

Essa representação aborda a conexão entre o módulo de processamento embarcado - desenvolvido pela equipe de *software* - e os demais módulos desenvolvidos pela equipe de eletrônica, cuja principal função é de realizar a conexão para que o controle de direção seja aplicado, permitindo que o módulo de processamento embarcado processe os dados obtidos por cada sensor, tanto para a tomada de decisões subsequente quanto para uma comunicação em tempo real com o usuário.

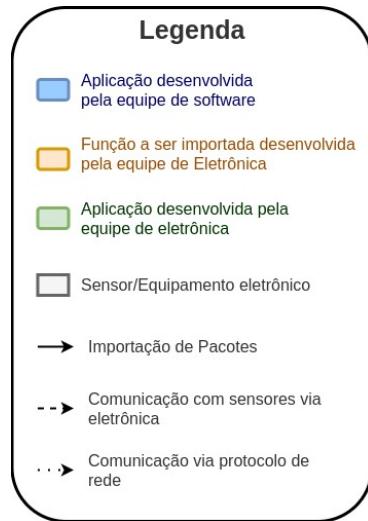


Figura 130 – Legenda da Representação Arquitetural da Integração Software-Eletrônica.

A Figura 130 representa a legenda para compreensão aprofundada da Figura 131

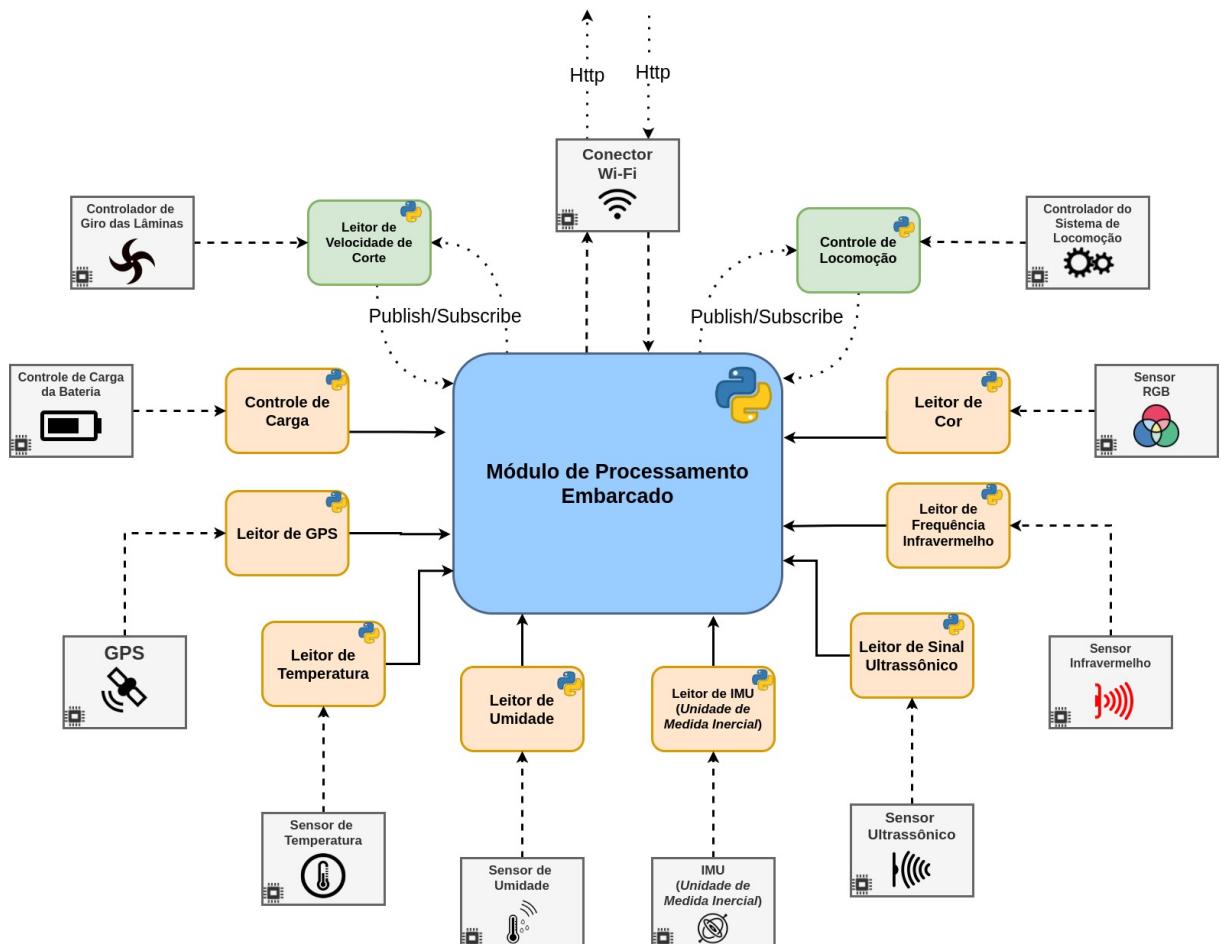


Figura 131 – Representação Arquitetural da Integração Software-Eletrônica.

Assim, o que a representação busca abordar é que, tanto o módulo embarcado quanto os módulos de conexão com sensores são desenvolvidos em Python, de forma

que os sensores cuja direção de comunicação de dados é unidirecional, isto é, os dados partem do sensor, sendo interpretados pelo módulo específico de comunicação com o sensor desenvolvido pela equipe de eletrônica para, posteriormente, serem processados pelo módulo embarcado desenvolvido pela equipe de *software*, serão desenvolvidos para uma integração como bibliotecas a serem importadas pelo módulo embarcado. Assim, esses módulos serão acionados a partir do próprio módulo central no fluxo de controle da aplicação, incorporados como funções importadas.

Para módulos de comunicação com sensores cuja atuação existe tanto no recebimento quanto no envio de dados para o módulo embarcado, a abordagem ocorre a partir do sistema de *Publisher/Subscriber* implementado pelo ROS (*Robot Operational System*), para comunicação assíncrona entre esses módulos, uma vez que tanto o módulo de locomoção quanto o módulo de controle de corte necessitam de envio de dados para configuração e execução de ações definidas pelo controle, bem como a recepção de dados a partir desses módulos para o processamento do controle, notificação do usuário e registro de dados.

2.4.4.5.1 Tabela de Integração de Módulos Embarcados

Com a estruturação da integração entre os módulos desenvolvidos pela equipe de eletrônica e pela equipe de *software*, foi solicitada pela equipe de *software* e elaborada pela equipe de eletrônica uma série de tabelas formalizando os tipos de dados a serem obtidos e recebidos na atuação de cada sensor, para a definição da abordagem do processamento e transformação dessas informações para executar os algoritmos com base nessas informações obtidas.

Tabela 54 – Dados de Comunicação com Sistema de Locomoção.

Sentido da Comunicação	Variável	Tipo	Descrição
Eletrônica para Software	vel_l	float	Velocidade linear para avançar ou recuar.
Eletrônica para Software	vel_ang	float	Velocidade angular (Omega) para fazer rotações no próprio eixo.
Eletrônica para Software	falha_motor	bool	Flag que indica sobrecarga ou paradas dos motores. (Robô travado por motivos externos)
Software para Eletrônica	ang_rotacao	Inteiro	Ângulo em que o centro de massa deve rotacionar
Software para Eletrônica	dist_loc	Inteiro	Distância que o sistema deve andar
Software para Eletrônica	dir_loc	bool	Verdadeiro para frente e falso para trás

A Tabela 54 traz os dados que devem ser enviados ao sistema de locomoção através

do sistema de *Publish/Subscribe* para comunicação com o módulo embarcado desenvolvido pela equipe de *software*.

Tabela 55 – Dados de Comunicação com Sensores Ultrassônicos.

Sentido da Comunicação	Variável	Tipo	Descrição
Eletrônica para Software	Dist_direita	float	Distância para obstáculos à direita e à esquerda do robô. (de 2cm até 4m dependendo do tamanho do obstáculo).
Eletrônica para Software	Dist_esquerda	float	Distância para obstáculos à direita e à esquerda do robô. (de 2cm até 4m dependendo do tamanho do obstáculo).
Eletrônica para Software	Dist_abixo	float	Distância para obstáculos à direita e à esquerda do robô. (de 2cm até 4m dependendo do tamanho do obstáculo).

A Tabela 55 elabora os dados de comunicação com os sensores ultrassônicos para processamento das informações dos arredores do sistema para locomoção e mapeamento.

Tabela 56 – Dados de Comunicação com Sensor GPS.

Sentido da Comunicação	Variável	Tipo	Descrição
Eletrônica para Software	Altitude	float	Altitude em graus
Eletrônica para Software	Longitude	float	Longitude em graus
Eletrônica para Software	Latitude	float	Latitude em graus
Eletrônica para Software	Dia/Mês	Inteiro	Informações de data
Eletrônica para Software	Hora/Minuto	Inteiro	Informações de horário
Eletrônica para Software	Vel_desloc	float	Velocidade de deslocamento aproximada medida pelo GPS (m/s)
Eletrônica para Software	num_sat	Inteiro	Número de satélites encontrados pelo GPS

A Tabela 56 elabora os dados de comunicação com o GPS para localização referencial do sistema e auxílio às funções de mapeamento e processamento.

Tabela 57 – Dados de Comunicação com Sensor do Sistema de Corte.

Sentido da Comunicação	Variável	Tipo	Descrição
Software para Eletrônica	h_corte	Inteiro	altura de corte selecionada pelo usuário entre 2 e 6cm
Software para Eletrônica	vel_corte	Inteiro	Enum com as opções: Alta, Media e Baixa. Alta=2;Media=1;Baixa=0;

A Tabela 57 elabora os dados de envio e recepção de dados para o sistema de corte, tanto da altura do corte quanto a velocidade com que será executado, enviados e estabelecidos pelo usuário.

Tabela 58 – Dados de Comunicação com Sensor RGB.

Sentido da Comunicação	Variável	Tipo	Descrição
Eletrônica para Software	cor_vermelho	Inteiro	Concentração da cor vermelha
Eletrônica para Software	cor_verde	Inteiro	Concentração da cor verde
Eletrônica para Software	cor_azul	Inteiro	Concentração da cor azul

Está contido na Tabela 58 os dados de comunicação com o sensor RGB para identificação de cores e auxílio ao posicionamento do sistema e identificação se o mesmo está sobre uma área de corte com grama.

Tabela 59 – Dados de Comunicação com Sensor IMU.

Sentido da Comunicação	Variável	Tipo	Descrição
Eletrônica para Software	acc_X	Inteiro	Número que varia conforme o a aceleração do robô na direção do eixo X (Referencial do robo baseado na posição do sensor)
Eletrônica para Software	acc_Y	Inteiro	Número que varia conforme o a aceleração do robô na direção do eixo Y (Referencial do robo baseado na posição do sensor)
Eletrônica para Software	acc_Z	Inteiro	Número que varia conforme o a aceleração do robô na direção do eixo Z (Referencial do robo baseado na posição do sensor)
Eletrônica para Software	ang_X	float	Ângulo de rotação em torno do eixo X (com referencia a posição do sensor)
Eletrônica para Software	ang_Y	float	Ângulo de rotação em torno do eixo Y (com referencia a posição do sensor)
Eletrônica para Software	ang_Z	float	Ângulo de rotação em torno do eixo Z (com referencia a posição do sensor)
Eletrônica para Software	mag_X	Inteiro	Número que indica a posição do eixo X do robô com relação ao Norte terrestre (com referencia a posição do sensor)
Eletrônica para Software	mag_Y	Inteiro	Número que indica a posição do eixo Y do robô com relação ao Norte terrestre (com referencia a posição do sensor)
Eletrônica para Software	mag_Z	Inteiro	Número que indica a posição do eixo Z do robô com relação ao Norte terrestre (com referencia a posição do sensor)

Está contido na Tabela 59 os dados de comunicação com o sensor de IMU (*Inertial Measurement Unit*) contendo os dados coletados por essa unidade de medida inercial para comunicação acerca dos dados de orientação do sistema.

Tabela 60 – Dados de Comunicação com Demais Sensores

Sensor	Sentido da Comunicação	Variável	Tipo	Descrição
Infravermelho	Eletrônica para Software	Dist_frente	float	Distância para obstáculos à frente do robô. (Até 2m com alta precisão).
Temperatura	Eletrônica para Software	temp	float	Temperatura em graus celsius.
Umidade	Eletrônica para Software	umid	Inteiro	Umidade do ar em porcentagem.
Controle de Carga	Eletrônica para Software	V_bat	float	Tensão da bateria em volts.

2.4.4.6 Diagrama de Sequência

Tendo por base a representação da arquitetura de comunicação entre os módulos de *software* e de eletrônica, foi possível diagramar a sequência desses dados para o sensor de locomoção, cuja estrutura também se aplica ao sistema de corte, dado que a estrutura de comunicação ocorre através da execução de *Publishes* e *Subscribes* entre esses módulos.

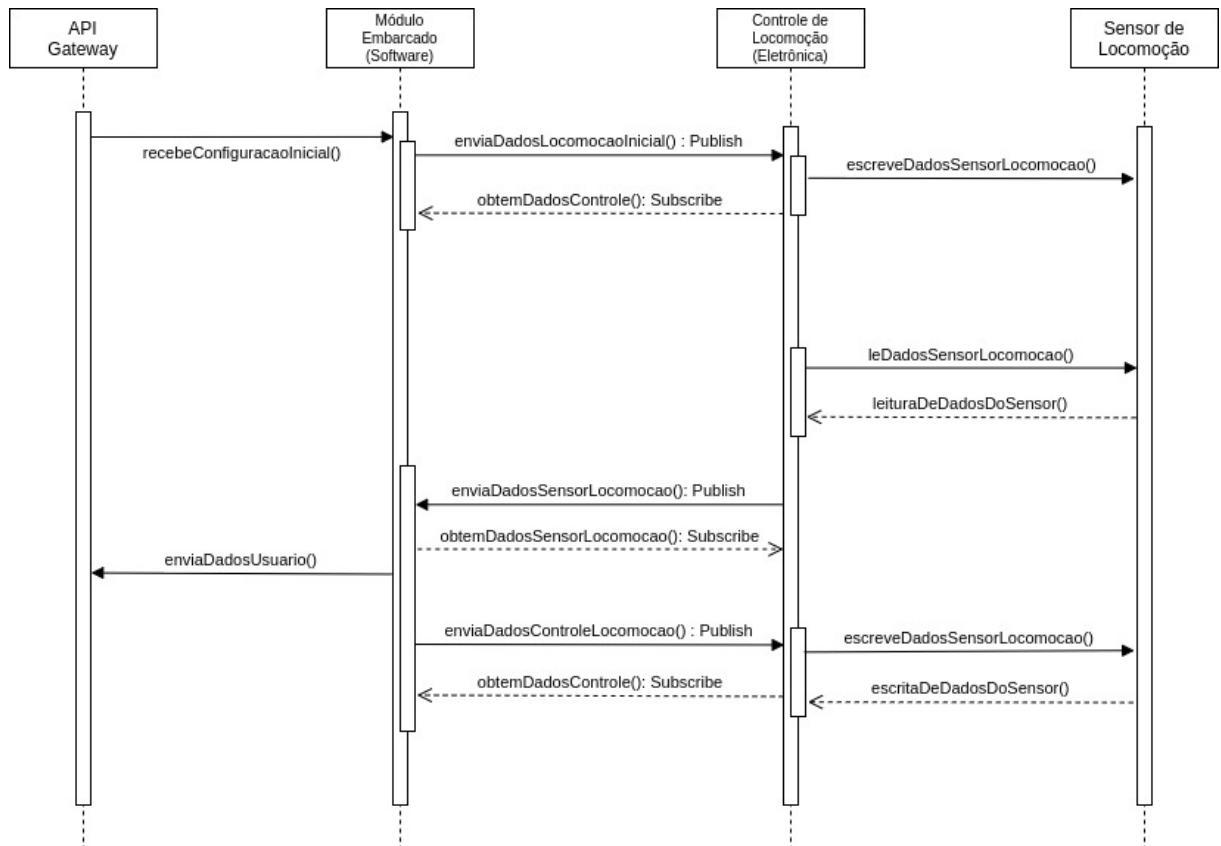


Figura 132 – Diagrama de Sequência da Comunicação com os Sensores.

Assim, a Figura 132 aborda a ordem de comunicações, desde a recepção da configuração inicial de sistema de locomoção no módulo embarcado a partir da *API Gateway*,

passando pelo envio desses dados para o Controle de Locomoção a partir do Módulo Embarcado via *Publish*, de forma que esses dados sejam enviados, posteriormente, para o sensor que irá executar os comandos necessários.

Posteriormente, o fluxo que se estabelece é o de leitura de dados do sensor a partir do módulo de Controle de Locomoção, cujos dados são enviados para o Módulo Embarcado para processamento através de um *Publish*, capturado por esse módulo por um *Subscribe* no tópico, seguindo assim um fluxo de processamento no Módulo Embarcado, que, a depender da comunicação com a internet e as preferências do usuário, podem ser enviados para o Serviço de Mapeamento a partir da *API Gateway* para um processamento mais complexo como a aplicação de algorítmos como o SLAM ou PPCR, ou pode ser processado de forma menos onerosa em termos de processamento porém de forma muito pouco otimizada através da aplicação de algorítmos como o *Random Walk*, *Spiral*, *S Shape Pathway* e *Border/Wall Follow*.

2.4.4.7 GitHub

Aqui estão apresentados os links para os repositórios do GitHub do time de *software*, onde constarão os seguintes itens do projeto:

- *Readme* com descriptivo de como instalar os projetos para execução local;
- Códigos fonte da aplicação e *back-end*;
- Informações variadas de colaboração do projeto.

O Projeto possui uma organização específica para o desenvolvimento, contendo repositórios que representam cada um dos serviços/módulos desenvolvidos. O link da organização é:

- [Organização Cortador de Grama](#)

Os links dos repositórios são:

- [Aplicação Flutter iOS e Android \(GITHUB, 2021b\);](#)
- [API Gateway em Python \(GITHUB, 2021a\);](#)
- [Serviço de Mapeamento \(GITHUB, 2021d\);](#)
- [Software Embarcado \(GITHUB, 2021e\).](#)

3 Plano de Integração

Esse capítulo tem por objetivo apresentar uma visão geral da integração realizada entre os diversos subsistemas que compõem o produto e as atuações das três subequipes, ou grupos, que compõem o projeto. Nesse sentido, os três núcleos de integração considerados foram:

- Software-Eletroeletrônica
- Estrutura-Eletroeletrônica
- Estrutura-Software

3.1 Integração Software-Eletroeletrônica

A integração entre software e eletrônica está abordada de forma mais aprofundada em demais setores do relatório presente, sendo primeiramente abordada com as especificações necessárias e o amparo teórico para dar suporte às decisões tomadas no Subtópico [2.4.3.1.1](#).

Posteriormente, a arquitetura da integração é detalhada com amparo gráfico no Subtópico [2.4.4.5](#), demonstrando como a comunicação será estabelecida entre cada tipo de sensor e o software embarcado, utilizando o ROS como base para comunicação bidirecional.

O Subtópico [2.4.4.5.1](#) , por sua vez, contém tabelas que detalham a comunicação entre os sensores, contendo a descrição dos tipos de dados a serem enviados e a direção com que a comunicação deve ser estabelecida.

Por fim, para representar o fluxo de chamadas e de comunicação, foi elaborado um diagrama de sequências, disposto no Subtópico [2.4.4.6](#), contendo a representação dos módulos desenvolvidos pelas equipes de software e de eletrônica e as informações trocadas.

3.2 Integração Estrutura-Eletroeletrônica

A estrutura do cortador de grama Smart Grass foi projetada para total integração com os componentes elétricos e eletrônicos, possibilitando uma funcionamento pleno do equipamento.

A estrutura do cortador de grama Smart Grass foi projetada para abrigar e proteger os componentes elétricos e eletrônicos de agentes externos que pudessem colocar em

risco a integridade e funcionalidade desses componentes, como água, agentes causadores de impactos e ação humana não desejada.

A carroceria foi projetada para ser impermeável e oferecer resistência a agentes externos capazes de causar danos aos componentes internos. O material da carroceria, a fibra de vidro, foi escolhido por sua capacidade de impermeabilidade e alta resistência mecânica, impedindo a passagem de água da chuva para seu interior e que agentes causadores de impacto, como pedras ou ferramentas, por exemplo, causem danos aos componentes eletrônicos.

A caixa traseira, por sua vez, foi desenhada para ser impermeável, resistente a impactos, mas também para permitir a limpeza e manutenção dos componentes elétricos e eletrônicos quando necessário. De alumínio, essa caixa resiste a agentes causadores de impacto, à água da chuva ou de poças de água, e ainda possui uma tampa traseira, afixada com oito parafusos, que permite o acesso ao seu interior, onde estão os principais componentes elétricos e eletrônicos. A tampa da caixa traseira também possui borrachas de vedação capazes de evitarem a passagem de água através dela para o interior da caixa, evitando que os componentes eletroeletrônicos tenham contato com água. Todas as regiões do chassi externas à caixa, por fim, foram vedadas com acrílico flexível, para evitar que a água de poças de água possam espirrar e entrar no interior do cortador pela parte de baixo.

A caixa e a carroceria foram projetadas para serem afixadas por meio de parafusos. A carroceria, por sua vez, também possui fixações que prendem no chassi, impedindo que ela possa ser retirada facilmente, o que não impede, mas dificulta o acesso ao seu interior, para que esse acesso seja feito apenas pelo usuário ou um técnico profissional quando isso se fizer necessário, evitando que as demais pessoas, inclusive crianças, tenham acesso fácil aos componentes elétricos e eletrônicos e possam danificá-los ou até mesmo acidentar-se neles, haja vista o fato de o risco de choque elétrico se fazer presente quando as baterias estiverem carregadas.

Por outro lado, a estrutura também foi pensada para uma melhor localização e funcionamento dos componentes elétricos e eletrônicos. A caixa traseira foi construída para abrigar a caixa de redução e os motores elétricos na parte de baixo, deixando os motores junto às caixas de redução. Na parte de trás da caixa, foram afixados um sensor de distância e um sensor de umidade, cujas conexões elétricas direcionam-se para a localização dos motores de tração, onde se juntam à fiação que sai dos motores, dando início à formação de um chicote elétrico. Nessa área, também foi colocado a placa de driver dos motores.

Foi adicionada uma placa de alumínio coberta por borracha de 6mm, uma espécie de prateleira, a meia altura no interior da caixa traseira, para acondicionar as baterias, o conversor de 12V, o conversor de 24V, a raspberry, a fonte de 5V. Essa escolha foi

determinada com o objetivo de manter esses componentes distantes dos motores do sistema de tração e, assim, evitar que sofram toda a vibração produzida e sofrida por esse sistema. O posicionamento desses componentes, em especial das baterias, foi planejado de forma estratégica, não só para mantê-los longe da região de entradas de vibrações relacionadas ao sistema de tração e às imperfeições do solo, mas também para proporcionar uma ventilação adequada e evitar superaquecimento e permitir o desenho do trajeto da fiação de maneira mais simplificada e econômica. A Figura 134 apresenta a tubulação representativa do chicote elétrico, mostrado em amarelo, por onde passará a fiação.

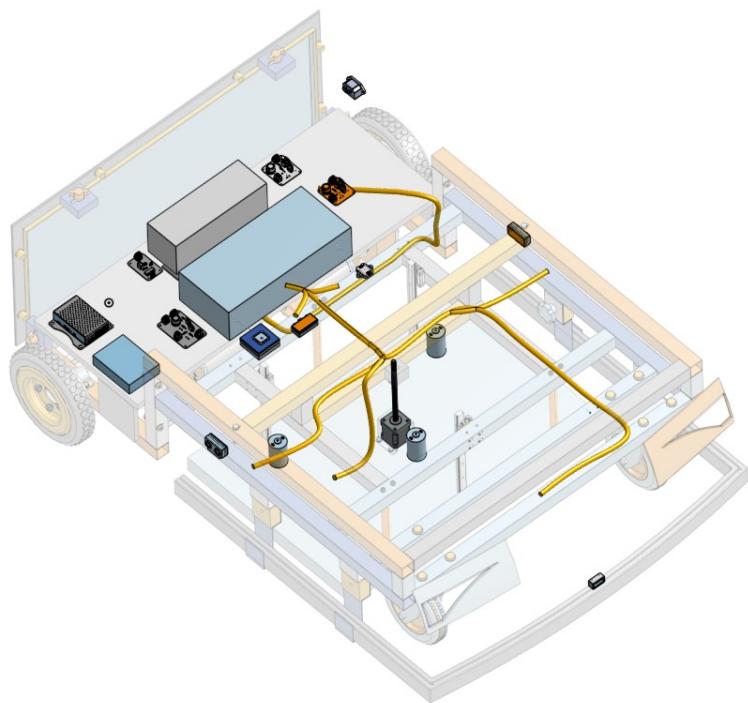


Figura 133 – Representação do Chicote Elétrico.

A partir do posicionamento das baterias foi possível diminuir o comprimento da fiação que parte delas para os motores de tração, para os motores de corte e para o motor de passo, bem como para os sensores que ficam tanto na parte de trás, nas laterais e na parte da frente do cortador. Além disso, o posicionamento dos principais circuitos eletrônicos próximo às baterias permite uma economia no comprimento dos fios que partirão das baterias para esses componentes. Por fim, esse posicionamento também dá ao usuário um acesso simples e rápido às baterias, facilitando sua remoção em caso de necessidade de substituição.

A Figura 134 apresenta o posicionamento dos componentes elétricos e eletrônicos dentro da caixa traseira.

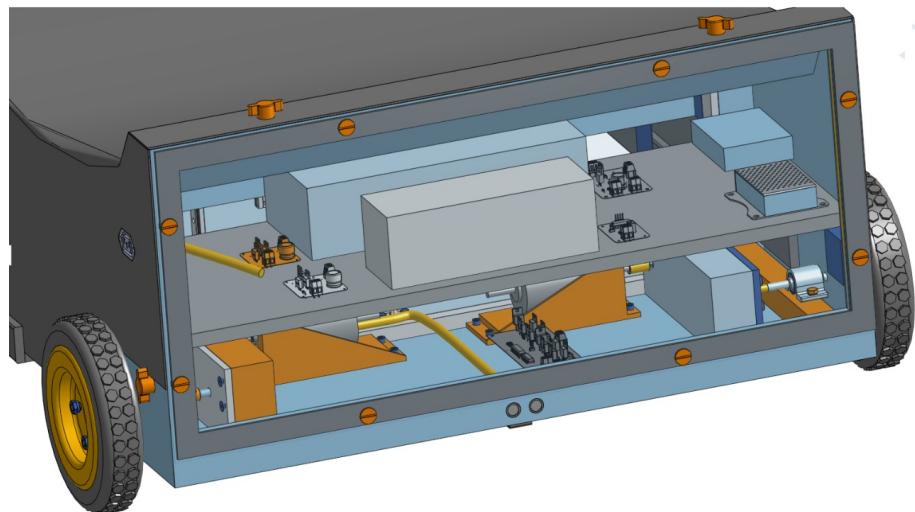


Figura 134 – Caixa Traseira com Componentes Elétricos e Eletrônicos.

O sistema de locomoção do cortador de grama Smart Grass foi desenvolvido para terrenos urbanos relativamente limpos, sem buracos e excesso de pedras. O sistema de tração, composto por duas caixas de redução com relação de transmissão igual a 48,872 e dois motores de tração com torque de 10 kgf*cm cada um, foi desenvolvido em parceria conjunta entre o grupo de Estruturas e o grupo de Eletroeletrônica, com o objetivo de se otimizar o uso dos motores, permitindo, assim, economia na aquisição dos motores. Além disso, o sistema de manobrabilidade foi pensado para facilitar o contorno de obstáculos pelo veículo. O sistema de manobrabilidade é operado por meio da inversão da direção de rotação dos motores de tração, enquanto as rodas dianteiras podem girar livremente para todos os lados. Esse sistema obedece, por sua vez, aos sinais que o sistema de controle recebe dos sensores de distância e do sensor de infravermelho. Quando esses sensores detectam obstáculos no caminho do cortador, o sistema de controle de locomoção atua no sentido de diminuir ou zerar a velocidade de um dos motores, enquanto mantém ou aumenta a velocidade do outro motor, fazendo com que uma das rodas traseiras gire em velocidade maior que a outra, forçando o cortador a mudar a direção de seu movimento. Esse mesmo sistema pode, ainda, fazer com que o cortador gire 180º e afaste-se do obstáculo com o qual se deparou, indo na direção contrária àquela em que o obstáculo se encontra.

O sistema de alimentação foi desenvolvido considerando o sistema de tração, o sistema de corte e o sistema de sensoriamento do cortador de grama Smart Grass. Para tal, foram definidas duas baterias, uma de 12V, que alimentará o sistema de corte e o sistema de sensoriamento, e outra de 24 V, que será reservada para alimentar os motores de tração, permitindo maior autonomia ao veículo durante operação: aproximadamente 1 hora e meia. Nesse meio tempo, o cortador poderá trabalhar de maneira contínua, inclusive subindo terrenos inclinados, com inclinação de até 35º, sem precisar ser conectado

à tomada, devendo ser recarregado apenas ao fim desse período.

O sistema de corte, por sua vez, foi desenvolvido por meio de parceria entre o grupo de Estruturas e o grupo de Eletrônica. As lâminas foram especificadas para aumentar ao máximo a área de corte, e a estrutura do *deck* foi projetada para suportar a vibração da rotação dos motores de corte e, ao mesmo tempo, ser resistente e leve o suficiente para não afetar a estrutura do chassi. Os motores de corte, alimentados pela bateria de 12V e com capacidade de atingir uma velocidade máxima de 6980 rpm, foram especificados levando em consideração a massa das lâminas de corte, e seu sistema de controle foi desenvolvido para que eles possam elevar ou abaixar o torque sempre que se fizer necessário para manter a rotação dos motores em pelo menos 2900 rpm, impedindo que a resistência oferecida pela grama diminua em demasia a rotação das lâminas e, consequentemente, prejudique o corte da grama. Por fim, o motor de passo foi especificado considerando a massa do conjunto *deck*-lâminas-motores de corte. Um conjunto de molas foi adicionada ao sistema, ainda, com o intuito de evitar que todo o peso do sistema de corte se concentrem no fuso, no motor ou na fixação do fuso no chassi, aumentando, assim, a vida útil de todo o sistema. A Figura 135 mostra o sistema de corte.

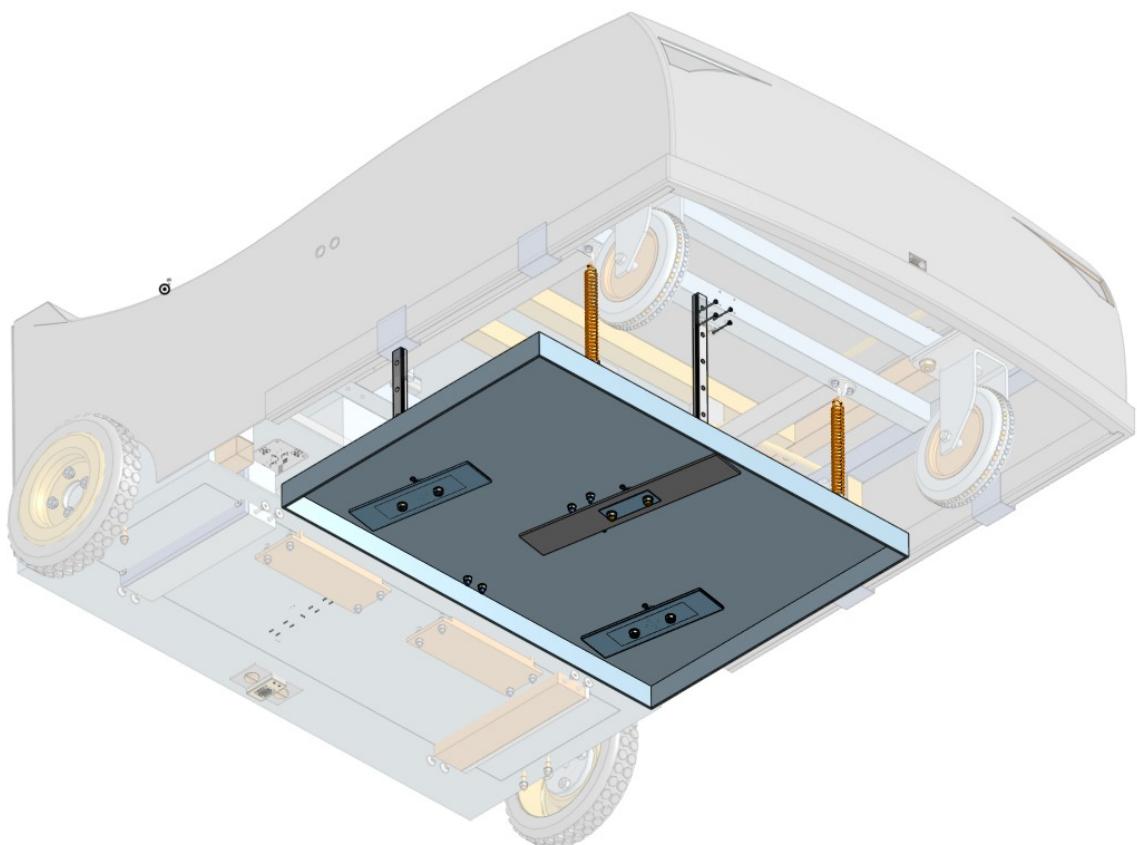


Figura 135 – Sistema de Corte.

3.3 Integração Estrutura-Software

A integração Estrutura-Software não se apresenta de forma direta no projeto do produto cortador de grama Smart Grass. Ela é intermediada pela Eletroeletrônica. Entretanto, existem alguns pontos de comunicação entre as duas áreas de trabalho que exigem uma integração cuidadosa. Um exemplo disso é mensagem de necessidade de realização de manutenção das lâminas de corte, que será enviada ao usuário através do aplicativo, mas tem sua informação definida pelas características dos componentes do sistema de corte, mais especificamente, as lâminas, que precisam ser amoladas a cada 25 horas de trabalho e trocadas a cada 200 horas de corte de grama ([GARDENTOOLEXPERT, 2021](#)).

3.4 Diagrama de Integração

O diagrama de integração apresentado da Figura 136 mostra como os componentes elétricos e eletrônicos, as estruturas e demais subsistemas se comunicam e se integram.

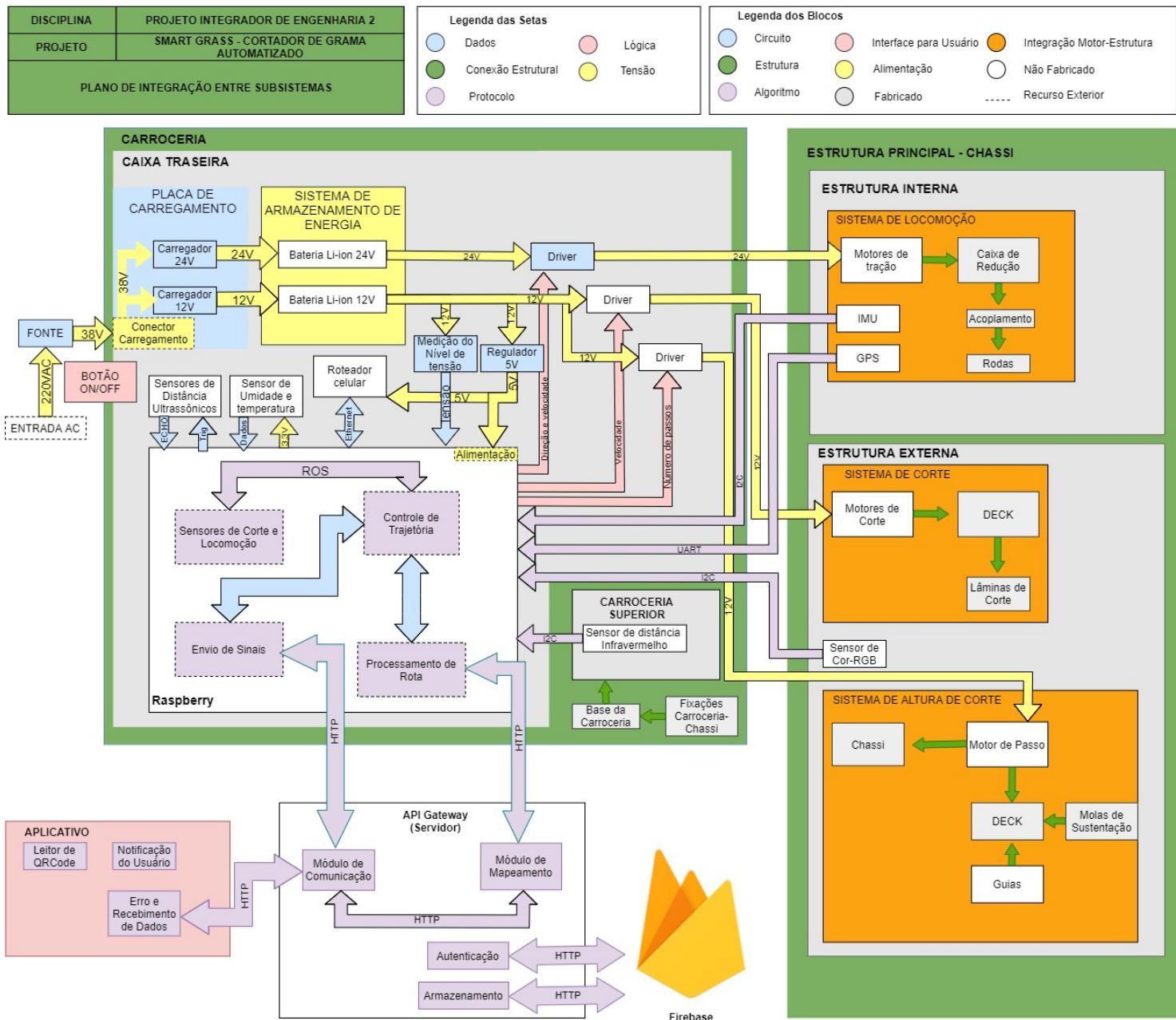


Figura 136 – Diagrama de Integração.

4 Plano de Testes

A fim de verificar se o funcionamento do cortador de grama Smart Grass está de acordo com o projetado, foram estabelecidos alguns testes a serem realizados de forma separada nos subsistemas que compõem o produto e outros a serem aplicados nas funcionalidades já integradas do produto montado.

Abaixo, seguem os testes planejados por subsistema e, ao fim, o último tópico traz os testes voltados para o produto final.

4.1 Software

Na área de software foi utilizado a metodologia *Behaviour Driven Development - BDD* para o desenvolvimento dos testes. A metodologia nos orienta a seguir um desenvolvimento orientado por comportamento, ou seja, antes de mais nada precisamos definir quais serão os comportamentos esperados das funcionalidades de acordo com cada cenário identificado, tendo isso definido iniciamos o desenvolvimento baseado nestes comportamentos. Utilizando as funcionalidades da aplicação, foi possível traçar um plano de teste, em que as descrições são as histórias de usuário, e os cenários são situações, etapas ou os passos necessários para concluir um objetivo ou certa funcionalidade. Abaixo apresentado o plano de teste das principais funcionalidades do app SmartGrass.

Tabela 61 – Login.

Funcionalidade	Login	
Descrição	Eu, como usuário quero entrar com os meus dados de acesso para ser autenticado na aplicação	
Cenário	Logar na aplicação	
	Dado	A tela de login
	Quando	Preencho o campo de usuário
	E	Preencho o campo de senha
	E	Seleciono entrar
	Então	O usuário é autenticado no app

Tabela 62 – Pausar cortador.

Funcionalidade	Pausar cortador	
Descrição	Eu, como usuário quero pausar o cortador pelo app para que o cortador pare de funcionar temporariamente	
Cenário	Pausar Cortador	
	Dado	A tela inicial
	E	O botão de pausar cortador
	Quando	O cortador estiver ligado e cortando
	E	Apertar o botão pausar
	Então	O cortador é pausado

Tabela 63 – Ligar cortador.

Funcionalidade	Ligar cortador	
Descrição	Eu, como usuário quero ligar o cortador pelo app para que o cortador inicie o corte	
Cenário	Ligar o cortador	
	Dado	A tela inicial
	E	O botão de ligar o cortador
	Quando	O cortador estiver parado ou desligado
	E	Apertar o botão ligar
	Então	O cortador é ligado

Tabela 64 – Visualizar notificações.

Funcionalidade	Visualizar notificações	
Descrição	Eu, como usuário quero visualizar as notificações do cortador pelo app, para acompanhar o status de corte ou alertas	
Cenário	Ver notificações	
	Dado	O menu inicial
	E	O botão notificações
	Quando	Visualizo a lista de notificações existentes
	E	Seleciono uma notificação
	Então	É possível

Tabela 65 – Selecionar Rotas de Corte.

Funcionalidade	Selecionar Rotas de Corte	
Descrição	Eu, como usuário quero selecionar a rota de corte pelo app, para que o cortador corte a grama em uma área específica	
Cenário	Seleção de Rotas para Corte	
	Dado	O menu inicial
	E	O botão de mapeamento
	Quando	Visualizo a lista de rotas existentes
	E	Seleciono a rota a ser utilizada para o corte
	E	Aperto o botão de selecionar
	Então	A rota é selecionada para o corte

Tabela 66 – Agendar Horário de Corte.

Funcionalidade	Agendar Horário de Corte	
Descrição	Eu, como usuário quero agendar um horário para o corte pelo app, para que o cortador corte a grama em um horário específico	
Cenário	Agendamento de corte em um horário específico	
	Dado	O botão de configurações
	E	O botão de agendar horário
	Quando	Escolho uma data para o corte
	E	escolho um horário para o corte
	E	Aperto o botão de salvar
	Então	É agendado um corte para um período

Tabela 67 – Alterar Altura de Corte.

Funcionalidade	Alterar Altura de Corte	
Descrição	Eu, como usuário quero mudar a altura do corte do cortador pelo app, para que o cortador corte a grama em uma altura específica	
Cenário	Ajustar o Corte	
	Dado	O botão de configurações
	E	O botão de corte
	Quando	Seleciono a altura de corte
	E	Aperto o botão de salvar
	Então	A altura do corte é alterada

Tabela 68 – Ler QRCode.

Funcionalidade	Ler QRCode		
Descrição	Eu, como usuário quero ler o qrcode de segurança, para registrar o cortador no app e assim ter controle do aparelho		
Cenário	Ler QRCode		
	Dado	O menu inicial	
	E	O botão cortador	
	Quando	Seleciono o botão ler qrcode	
	E	Leio o qrcode	
	Então	O cortador é registrado no app	

Tabela 69 – Visualizar Dispositivo Conectado.

Funcionalidade	Visualizar Dispositivo Conectado		
Descrição	Eu, como usuário quero ver o dispositivo conectado no app, para poder ver suas informações		
Cenário	Ver Dispositivo Conectador		
	Dado	O menu inicial	
	E	O botão cortador	
	Quando	Seleciono o botão dispositivos conectados	
	E	Aparece as informações do dispositivo	
	Então	É possível ver o dispositivo conectador no app	

Tabela 70 – Teste dos Algoritmos de SLAM e PPCR.

Funcionalidade	Realizar Corte de Grama - Teste dos Algoritmos de SLAM e PPCR
Descrição	Eu, como usuário, quero que o cortador realize o corte completo de uma área demarcada
Passos	Criar 5 mapas distintos e verificar se o algoritmo é capaz de percorrer toda área acessível dentro desses mapas e desviar corretamente dos obstáculos presentes.

4.2 Energia

4.2.1 Teste das Fontes

Para as fontes será realizado um teste de circuito aberto. As fontes devem ser conectadas em uma tomada de 220 V e, então, verifica-se a tensão de saída com o auxílio de um voltímetro. Como a fonte irá carregar as duas baterias ao mesmo tempo, essa tensão deve ser estável e de 38 Vcc.

Em seguida, deve-se realizar a verificação da tensão e da corrente de saída em plena carga. Para isso, será utilizado um circuito de carga em que os valores de tensão e corrente de saída sejam constantes e sem oscilações maiores que 10% para 38 Vcc e 10 A.

4.2.2 Teste das Baterias

O teste das baterias é realizado utilizando o multímetro. Ele possibilita a checagem da tensão, mostrando a carga da peça. Para realizar o teste, deve-se conectar o cabo preto do multímetro no polo negativo da bateria e o cabo vermelho no positivo. Depois, deve-se ler a voltagem que aparece no leitor e obter o diagnóstico da bateria.

4.2.3 Teste dos Motores

Para garantir uma maior durabilidade e eficiência dos motores, faz-se necessário a realização de testes.

Teste de Consumo:

A corrente drenada por um motor depende de sua velocidade que, por sua vez, depende da carga acionada. Essa corrente pode ser medida a partir de um multímetro na escala de correntes ou ainda de um amperímetro, ligado em série com o motor. Alimentase o motor com a tensão nominal e carregue de modo que ele exerça a força normal na aplicação a que se destina. Por fim, basta ler a intensidade da corrente no instrumento.

Teste de Velocidade (rpm):

A velocidade de um motor de corrente contínua depende da tensão aplicada e da carga, sendo possível variar numa ampla faixa de valores, se não houver circuitos reguladores. No caso de um motor de passo, a velocidade depende da frequência dos sinais aplicados e do número de passos. Com isso, ela pode ser definida a partir do conhecimento ou medida dessa frequência. Essa velocidade pode ser determinada utilizando um frequencímetro ou um osciloscópio.

4.3 Eletrônica

4.3.1 Testes sobre as placas de circuito impresso construídas pela equipe

Serão utilizados dois métodos de testes nas placas de circuito impresso desenvolvidas, que são: testes com *flying probes* e teste Kelvin de 4 pontas. O teste com *flying probes* é feito em equipamento específico durante a fabricação da peça. São utilizadas pontas de prova programadas para se mover sobre as trilhas da placa testando cada conexão do circuito. Esse teste é fundamental para detecção de curtos, falhas e ranhuras de até

0,09m², dentro dos limites determinados no padrão internacional IPC-6011 para circuitos de classe 2 ([IPC, 1996](#)).

Já o teste de Kelvin pode ser feito por um multímetro industrial com 4 entradas e é usado para medições na ordem de milésimo de Ohm. Esse teste permite controlar exatamente qual resistência deve ser medida e evita interferência da resistência da ponta de teste, pois nenhuma corrente atravessa as duas pontas de prova que medem a tensão da trilha testada. Apesar disso, esse teste é mais custoso durante a produção.

Ambos os testes citados são capazes de identificar curtos e falhas nas trilhas da placa, porém os testes de “flying probe” são baratos e possuem alto custo-benefício no desenvolvimento de circuitos para prototipagem de projetos, por isso esse método será aplicado a todas as placas desenvolvidas. Já o teste Kelvin de 4 pontas é destinado aos circuitos que dependem de precisão e confiabilidade nas medidas de impedância e integridade das trilhas, por isso será aplicado às placas de controle dos motores de locomoção e às placas de carregamento das baterias.

4.4 Estrutura

4.4.1 Teste de ruído sonoro da rotação das lâminas de corte

Esse teste tem por objetivo analisar o nível de ruído sonoro emitido pela rotação das lâminas, a fim de verificar se, a soma desse ruído ao ruído emitido pelos motores fica dentro do limite de 65 dB estabelecido como requisito do produto.

Esse teste consistirá no funcionamento em laboratório do sistema de corte e captação do ruído por ele produzido por meio de um Decibelímetro.

4.4.2 Teste de esforço do sistema de corte

Esse teste tem por objetivo analisar se o funcionamento do sistema de corte está de acordo com os esforços exigidos para o corte real de grama.

Esse teste deverá ser realizado com a colocação de um único motor de corte e uma única lâmina de corte em uma estrutura isolada, por questão de segurança, na presença de grama natural. Uma vez estabelecido o isolamento do sistema, o motor deverá ser ligado, à distância, e será observado seu funcionamento em operação de corte. Esse teste deverá ser repetido algumas vezes. A cada repetição, deverá ser analisada a quantidade de grama cortada e o número de rotações do motor durante o período de corte. A cada repetição, deverá ser aumentada progressivamente a quantidade de grama no tufo de grama disponível para o corte, e verificado o resultado final da operação.

O teste será considerado bem sucedido, se o nível de rotação do motor não diminuir para valores abaixo de 2900 rpm com o aumento do volume de grama para corte.

As rotações do motor serão analisadas por meio do sistema de controle eletrônico dos motores de corte.

4.5 Testes Funcionais Gerais

4.5.1 Desligamento dos motores das lâminas ao erguer o cortador

Esse teste tem por objetivo analisar a função de desligamento dos motores de corte quando apenas um dos lados do cortador é levantado.

O teste deverá ser realizado em laboratório fechado. Com o sistema de corte funcionando, o cortador deverá ter a parte da frente, a de trás e laterais levantados, enquanto as demais partes permanecem no solo, e verificado se os motores irão desligar quando a parte levantada produzir uma inclinação de 45º no cortador ou uma distância igual ao diâmetro da roda traseira (20,3 cm) entre o sistema de corte e o solo.

O teste será bem sucedido se o sistema de corte desligar quando pelo menos uma das duas condições for alcançada: 1) o cortador for colocado em uma inclinação de 45º; 2) a distância entre o sistema de corte e o solo for superior ao diâmetro da roda traseira, que é de 20,3 cm.

4.5.2 Subida em terreno inclinado 35º

Esse teste consistirá em colocar o veículo para operar em terreno inclinado, nas condições de gramado seco e molhado, com inclinações que irão de 1º a 35º.

Esse teste deverá realizado em uma situação com o sistema de corte desligado e em situação em que o sistema de corte estará desligado.

O teste será bem sucedido se o cortador subir e descer o terreno com a inclinação máxima de 35º com o sistema de corte ligado e desligado, sem perder capacidade de tração ou capacidade de corte.

4.5.3 Impermeabilidade do conjunto caixa-carroceria

Esse teste consistirá em adicionar água à parte superior do conjunto carroceria-caixa traseira e verificar se essa água atravessará a estrutura.

O teste deverá ser realizado antes da montagem da caixa traseira e da carroceria no chassi, e será bem sucedido se não houver vazamento de água no interior do conjunto testado.

Havendo vazamento de água, será necessária procurar a origem do vazamento e isolá-la com fita de vedação ou massa de vedação, como durepoxi.

4.5.4 Desvio de obstáculos e reconhecimento de terreno sem grama

Esse teste tem por objetivo analisar a capacidade do subsistema de sensoriamento, reconhecimento de obstáculos e de direção do cortador estão funcionando corretamente. O teste deverá ser realizado com o sistema de corte desligado e, depois, com o sistema de corte funcionando.

O teste consistirá em colocar o cortador em uma área gramada, cercada por terreno sem grama, por calçamento e paredes, com obstáculos colocados em locais aleatórios do gramado, e verificar se o cortador irá desviar dos obstáculos, reformular sua rota ao deparar-se com eles e se reconhecerá o terreno sem grama e o calçamento como obstáculos.

O sensor de cor deverá reconhecer apenas o terreno com cores verdes como terreno gramado. Terrenos de outra cor deverão ser lidos como obstáculos a serem evitados.

O teste será bem sucedido se ocorrerem todas as seguintes condições: 1) o cortador desviar dos obstáculos aleatórios dispostos no gramado; 2) evitar bater em paredes e reformular sua rota ao deparar-se com elas; 3) parar, retornar e reformular a rota ao deparar-se com solo de terra sem grama ou solo com calçamento de asfalto ou concreto.

4.5.5 Mapeamento da área de corte

Esse teste consistirá em colocar o cortador de grama para operar em uma área de gramado conhecida, com delimitações laterais e obstáculos espalhados de forma aleatória pelo terreno. Toda a operação de funcionamento do cortador deverá ser filmada para verificação posterior, e o tempo de corte da grama de toda a área deverá ser registrado.

Após a passagem de dias suficientes para o novo crescimento da grama cortada, o cortador deverá novamente ser introduzido na mesma área gramada, com os obstáculos dispostos da mesma forma que da outra vez. O equipamento deverá ser ligado e colocado para operar na área gramada. A operação deverá ser filmada e cronometrada.

O teste será bem sucedido se, na segunda operação, o cortador simplificar sua rota de operação e diminuir substancialmente o tempo de corte de toda a grama da área.

O sucesso no teste significará que o sistema de mapeamento da área de corte e de otimização das rotas de corte estão funcionando corretamente.

4.5.6 Controle da altura de corte

Esse teste tem por função verificar se o ajuste da altura de corte está sendo realizada de forma correta pelo sistema de controle e se as lâminas estão cortando a grama

na altura inserida no sistema de ajuste da altura de corte.

As alturas inseridas no sistema de altura de corte corresponderão a 2 cm, 3 cm e 5 cm. Uma vez que o sistema de controle tenha ajustado a altura de corte, o cortador será ligado e colocado para operar em terreno gramado, para corte de um metro quadrado de área. Em seguida, será verificada a altura da grama cortada. A operação deverá ser repetida para cada altura analisada.

O teste será considerado bem sucedido se o sistema de ajuste de corte fizer os ajustes adequadamente e, se, ao final, a altura da grama cortada corresponder à altura inserida no sistema de ajuste de altura de corte através do aplicativo.

5 Manuais

Foram desenvolvidos os manuais de fabricação, de montagem e do usuário referentes ao cortador de grama Smart Grass, além do manual de instalação do aplicativo.

5.1 Manual de Fabricação

O manual de fabricação dos componentes do cortador de grama Smart Grass está apresentado no Apêndice [X.1](#).

5.2 Manual de Montagem

O manual de montagem dos componentes do cortador de grama Smart Grass está apresentado no Apêndice [X.2](#).

5.3 Manual do Usuário

O manual do usuário do cortador de grama Smart Grass está apresentado no Apêndice [X.3](#).

5.4 Manual de Instalação do Software

O manual de instalação do software estão nos repositórios com os seguintes links:

- Software Embarcado ([GITHUB, 2021e](#)).
- Serviço de Mapeamento ([GITHUB, 2021d](#));

6 Considerações Finais

As áreas verdes urbanas compostas por grama, árvores e arbustos precisam de manutenção e tratamento frequentes. No caso das áreas gramadas, a altura da grama precisa ser cortada frequentemente, para evitar que ela cresça demasiadamente e permita a propagação de pragas pela área.

Esse trabalho normalmente é realizado por meio de equipamentos de corte de grama operados manualmente. Recentemente, alguns cortadores de grama automatizados importados têm sido introduzidos no mercado brasileiro, oferecendo aos usuários um equipamento capaz de cortar a grama sozinho, com segurança e com um mínimo de intervenção do usuário.

O projeto do cortador de grama Smart Grass pretendeu desenvolver um cortador de grama automatizado nacional, capaz de realizar o trabalho de corte dentro de uma área delimitada pelo usuário com um mínimo de intervenção deste e que possua a característica de realizar comunicação com usuário através de um aplicativo.

As atividades entregues nessa última fase de desenvolvimento do projeto têm por objetivo apresentar as soluções finais empregadas no desenvolvimento do cortador de grama Smart Grass, demonstrando sua viabilidade técnica.

Referências

- AFINKO. *EPDM ou Silicone? Qual a melhor borracha?* 2018. Acesso em: 22/08/2021. Disponível em: <<https://afinkopolimeros.com.br/epdm-ou-silicone/>>. Citado na página 152.
- AHMAD, M. O.; MARKKULA, J.; OIVO, M. Kanban in software development: A systematic literature review. In: IEEE. *2013 39th Euromicro conference on software engineering and advanced applications*. [S.l.], 2013. p. 9–16. Citado na página 246.
- AHMAD, Z. *Principles of corrosion engineering and corrosion control*. [S.l.]: Elsevier, 2006. Citado na página 113.
- AMAZON. *Replacement Wheel with Offset Steel Hub - 8-Inch x 1-3/4-Inch - 60 lb. Load Capacity - For use on Wagons, Carts, Many Other Products*. 2021. Disponível em: <<https://www.amazon.com/Replacement-Wheel-Offset-Steel-Hub/dp/B001W6Q4SI>>. Citado na página 75.
- AMP. Grama resistente: conheça os tipos mais indicados. 2021. Acesso em: 28/08/2021. Disponível em: <<https://blog.ampeng.com.br/paisagismo/grama-resistente-conheca-os-tipos-mais-indicados>>. Citado na página 27.
- ANDRADE, R.; MONTEIRO, J. Sentryiotoauth: um provedor de serviço de autenticação e autorização para casas inteligentes baseado no processo ace-oauth. In: *Anais Estendidos do XXXVII Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*. Porto Alegre, RS, Brasil: SBC, 2019. p. 73–80. ISSN 2177-9384. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/sbrc_estendido/article/view/7772>. Citado na página 171.
- ANSYS. *Performing Modal Analysis in Ansys Mechanical*. 2020. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=CGpNf1Zi9AI&ab_channel=AnsysLearning>. Citado na página 341.
- ARANHA, J. Desenvolvimento de bateria de lítio-íon nacional para sistemas fotovoltaicos. *VII Congresso Brasileiro de Energia Solar*, PHB Eletrônica Ltda., v. 21, n. 1, p. 2,4–5, 2018. Citado 2 vezes nas páginas 53 e 54.
- ARCELORMITTAL. Aços inoxidáveis: aplicações e especificações. 2008. Citado na página 153.
- AREASVERDESCASCIDADES. Benefício das áreas verdes urbanas e como conservá-las. 2018. Acesso em: 28/08/2021. Disponível em: <<https://www.areasverdesdascidades.com.br/2003/11/beneficios-das-areas-verdes-urbanas-e.html>>. Citado na página 26.
- ASFOUR, M. Desenvolvimento e manutenção de pipelines de integração contínua para aplicativos móveis. 2020. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10400.22/16303>>. Citado na página 176.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5459: Manobra e proteção de circuitos*. [S.l.], 1987. Citado na página 225.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10151: Acústica - avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade - procedimento.* [S.l.], 2000. Citado na página 155.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5410: Intalações eletricas de baixa tensão.* [S.l.], 2004. 217 p. Citado 2 vezes nas páginas 61 e 224.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR IEC 62326: Placas de circuito impresso parte 1: Especificação generica.* [S.l.], 2016. 48 p. Citado na página 37.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 17094: Maquinas eletricas girantes.* [S.l.], 2018. 67 p. Citado na página 225.

ASSOCIATION CONNECTING ELECTRONICS INDUSTRIES. *IPC-6011: Generic performance specification for printed boards.* [S.l.], 1996. Citado 3 vezes nas páginas 37, 43 e 202.

BEMPARANÁ. *Robô cortador de grama inteligente e autônomo chega ao Brasil.* 2018. Acesso em: 15/09/2021. Disponível em: <<https://www.bemparana.com.br/noticia/robo-cortador-de-grama-inteligente-e-autonomo-chega-ao-brasil#.YUXyAJ1KjIV>>. Citado na página 27.

BENTO, P. Uso de cal e fibras na melhoria de materiais para utilização em estruturas de pavimentos. 2006. Citado na página 151.

BONAFE, G. Formação de áreas verdes pode solucionar ilhas de calor nas cidades. 2021. Acesso em: 28/08/2021. Disponível em: <<https://www.aecweb.com.br/revista/materias/formacao-de-areas-verdes-pode-solucionar-ilhas-de-calor-nas-cidades/15905>>. Citado na página 26.

BOOCH G; RUMBAUGH, J. e. J. I. *UML, Guia do Usuário: tradução.* Rio de Janeiro: Fábio Freitas da Silva, 2012. Citado 2 vezes nas páginas 173 e 174.

BRASIL. Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018 - lei geral de proteção de dados pessoais (lgpd). *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil,* Brasília, DF, 2018. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/l13709.htm>. Citado na página 172.

BROD, C. *Scrum Guia Prático para Projetos Ágeis-1^a Edição.* [S.l.]: Novatec Editora, 2013. Citado na página 245.

BUDYNAS R. G.; NISBETT, J. K. *Elementos de Máquinas de Shigley: Projeto de Engenharia Mecânica.* 8. ed. [S.l.]: Porto Alegre: AMGH, 2011. v. 1. Citado 6 vezes nas páginas 73, 76, 77, 84, 90 e 96.

CAMPOS M; SOUFEN, C. *Propriedades mecânicas em laminados fibras de vidro e fibra de carbono em resina epóxi.* 2019. Disponível em: <<https://www2.feb.unesp.br/pos/seminario/VISeminario/anais/AC-MarceloCapelladeCampos.pdf>>. Citado na página 151.

CARDOSO, J. *Tipos De Roçadeira, Aparador E Cortador De Grama, Soprador E Mais.* 2019. Acesso em: 15/09/2021. Disponível em: <<https://www.casadicas.com.br/jardinagem/tipos-de-rocadeira-aparador-e-cortador-de-grama-soprador-e-mais.html>>. Citado na página 27.

- CHIAVERINI, V. *Processos de Fabricação e Tratamento*. 2. ed. [S.l.]: McGraw-Hill, 1986. v. 1. Citado 2 vezes nas páginas 74 e 101.
- CMA. *Novacap Deve Indenizar Mulher Que Sofreu Acidente Causado Por Máquina De Jardinagem, Tribunal de Justiça do Distrito Federal e dos Territórios*. 2019. Acesso em: 15/09/2021. Disponível em: <<https://www.tjdft.jus.br/institucional/imprensa/noticias/2019/dezembro/novacap-e-condenada-a-indenizar-mulher-que-teve-dedo-cortado-por-peca-de-maquina-de-jardinagem>>. Citado na página 27.
- COHN, M. *Desenvolvimento de software com Scrum: aplicando métodos ágeis com sucesso*. [S.l.]: Bookman, 2000. Citado 2 vezes nas páginas 245 e 246.
- COUTINHO F; MELLO, I. M. L. *Polietileno: Principais Tipos, Propriedades e Aplicações*. 2003. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/po/a/vzPmcF9tLYGRPvK67CnWj9S/?format=pdf&lang=pt>>. Citado na página 153.
- DANIEL I; ISHAI, O. *Engineering Mechanics Of Composite Materials*. 2. ed. New York - United States: Oxford University Press, 2006. Citado na página 124.
- DENTON, T. *Automobile electrical and electronic systems*. 4. ed. São Paulo: Elsevier, 2004. Citado na página 52.
- DIGI. Digi wr11 xt. 2021. Disponível em: <https://www.digi.com/resources/library/data-sheets/ds_digitransportwr11xt>. Citado na página 47.
- DUDEK, G.; JENKIN, M. *Computational Principles of Mobile Robotics*. 2. ed. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press, 2010. 391 p. ISBN 978-0521692120. Citado 2 vezes nas páginas 40 e 41.
- EASYTRONICS. *Junta Universal Cardan Acoplador 10 - 10mm*. 2021. Disponível em: <<https://www.easytronics.com.br/junta-universal-cardan-acoplador-10mm>>. Citado na página 75.
- FINKELSTEIN, A. *Understanding Mass Participation Factor Results in Frequency Studies*. 2019. Acesso em: 16/09/2021. Disponível em: <<https://www.cati.com/blog/2019/11/understanding-mass-participation-factor-results-in-frequency-studies/>>. Citado na página 342.
- FLORES, J. E. Caracterização do efeito de enrijecimento por tensões e identificação de cargas em estruturas baseada em respostas dinâmicas. FEMEC, UFU, Uberlândia, 2004. Citado na página 335.
- GARDENTOOLEXPERT. *How Often Should Lawn Mower Blades Be Replaced?* 2021. Disponível em: <<https://www.gardentoolexpert.com/how-often-should-lawn-mower-blades-be-replaced/>>. Citado na página 195.
- GENTA G, . M. L. *The Automotive Chassis: Volume 1: Components Design*. [S.l.]: Springer, 2008. v. 1. Citado 3 vezes nas páginas 102, 106 e 107.
- GILLESPIE, T. *Fundamentals of Vehicle Dynamics*. [S.l.]: Society of Automotive Engineers, 1992. Citado 2 vezes nas páginas 66 e 67.

- GITHUB. *API Gateway Software*. 2021. Disponível em: <<https://github.com/Cortador-de-Grama-Autonomo/Software-Api-Gateway>>. Citado na página 189.
- GITHUB. *APP Software*. 2021. Disponível em: <<https://github.com/Cortador-de-Grama-Autonomo/Software-App>>. Citado na página 189.
- GITHUB. *Eletronica Embarcado*. 2021. Disponível em: <<https://github.com/Cortador-de-Grama-Autonomo/Eletronica-Embarcado.git>>. Citado 2 vezes nas páginas 49 e 51.
- GITHUB. *Serviço de Mapeamento*. 2021. Disponível em: <<https://github.com/Cortador-de-Grama-Autonomo/Software-Mapeamento>>. Citado 2 vezes nas páginas 189 e 206.
- GITHUB. *Software Embarcado*. 2021. Disponível em: <<https://github.com/Cortador-de-Grama-Autonomo/Software-Embarcado>>. Citado 2 vezes nas páginas 189 e 206.
- GOOGLE, F. Firebase authentication. 2021. Acesso em 18/08/2021. Disponível em: <<https://firebase.google.com/docs/auth>>. Citado na página 171.
- GOOGLE, F. Firebase firestore. 2021. Acesso em 18/08/2021. Disponível em: <<https://firebase.google.com/products/firestore>>. Citado na página 172.
- GOVSP. Cortador de grama à gasolina pode causar danos ocupacionais. Portal do governo de São Paulo, 2008. Disponível em: <<https://www.saopaulo.sp.gov.br/ultimas-noticias/cortador-de-grama-a-gasolina-pode-causar-danos-ocupacionais/>>. Citado na página 27.
- GROVE, A. S. *Gestão de Alta Performance: Tudo o que um gestor precisa saber para gerenciar equipes e manter o foco em resultados*. 1. ed. Avenida Nações Unidas, Setor B Pinheiros, São Paulo: Benvirá, 2020. 272 p. ISBN 978-8557173583. Citado na página 33.
- GUILLAUME, P. *Modal Analysis. Encyclopedia of Life Support Systems*. 2002. Acesso em: 15/09/2021. Disponível em: <<http://www.avrg.be/publications/ModalAnalysis.pdf>>. Citado na página 335.
- HALLIDAY. *Fundamentals of Physics*. 7. ed. New York - United States:], 2005. Citado na página 352.
- HASAN, K. M.; REZA, K. J. et al. Path planning algorithm development for autonomous vacuum cleaner robots. In: IEEE. *2014 International Conference on Informatics, Electronics & Vision (ICIEV)*. [S.l.], 2014. p. 1–6. Citado na página 167.
- HATCH, J. Aluminium: Properties and physical metallurgy. 1984. Citado na página 150.
- HEINE, G. *GSM Networks: Protocols, Terminology, and Implementation*. Londres, Inglaterra: Artech House, 1999. v. 1. ISBN 0890064717. Citado na página 47.
- INMAN, D. J. *Engineering Vibration*. 4. ed. Nova Jérsia: Pearson Education, Inc, 2014. Citado na página 326.

- ITOGRASS. Tipos de gramas. 2021. Disponível em: <<https://itograss.com.br/tipos-de-grama/>>. Citado na página 27.
- JI, H. et al. An adaptable ui/ux considering user's cognitive and behavior information in distributed environment. *Cluster Computing*, Springer, v. 21, n. 1, p. 1045–1058, 2018. Citado na página 170.
- KASSAPOGLOU, C. *Design And Analysis Of Composite Structures: With Applications To Aerospacestructures*. 2. ed. Unitd States: John Wiley Sons Ltd, 2013. ISBN 9781118536933. Citado na página 123.
- KENNEDY, F. Veja como escolher sua máquina de cortar grama. 2019. Disponível em: <<https://www.ferramentaskennedy.com.br/blog/veja-como-escolher-sua-maquina-de-cortar-grama>>. Citado na página 27.
- KITS, W. *Fonte 12V de alta potência*. 2016. Disponível em: <<https://youtu.be/TB0EXTPPmwk>>. Citado na página 55.
- KOUBAA, A. *Robot Operating System (ROS) The Complete Reference*. Porto, Portugal: Springer, 2017. v. 1. ISBN 978-3-319-26052-5. Citado 2 vezes nas páginas 42 e 51.
- KOUBÂA, A. et al. *Robot Operating System (ROS)*. [S.l.]: Springer, 2017. v. 1. Citado na página 170.
- KRISHNAVENI, S.; RUBY, D. Comparing and evaluating the performance of inter process communication models in linux environment. *International Journal of Trend in Research and Development*, p. 51–55, 2016. Citado na página 170.
- KUZMIN, N.; IGNATIEV, K.; GRAFOV, D. Experience of developing a mobile application using flutter. In: *Information Science and Applications*. [S.l.]: Springer, 2020. p. 571–575. Citado na página 170.
- LIMAEAMORIM. A importancia das areas verdes para a qualidade ambiental das cidades. 2006. Disponível em: <<https://revista.fct.unesp.br/index.php/formacao/article/viewFile/835/849>>. Citado na página 26.
- MAIA N. M. M.; SILVA, J. M. M. Modal analysis idenfitication techniques. *Philosophical Transactions of The Royal Society A*, v. 359, p. 29–40, 2001. Citado na página 343.
- MARLON. *Como escolher a bateria certa para seu projeto*. 2020. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=BivXy_xkTys&ab_channel=MarlonNardi>. Citado na página 52.
- MERIAM, J. *"Engineering Mechanics - Statics*. 5. ed. [S.l.]:], 2005. Citado na página 352.
- MSPC. *Fator de Atrito II*. 2018. Acesso em: 05/10/2021. Disponível em: <https://www.mspc.eng.br/dir10/for_atr_2.php>. Citado na página 97.
- MSPC. *Forças de Atrito II*. 2018. Disponível em: <https://www.mspc.eng.br/dir10/for_atr_2.php>. Citado na página 91.
- NR-10. *Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade, Norma Regulamentadora Número 10, Portaria n.º 3.214, de 8/6/78*. Guia Trabalhista, 2004. Disponível em: <<http://www.guiatrabalhista.com.br/legislacao/nr/nr10.htm>>. Citado na página 62.

NR-12. *Ministerio do Trabalho e Emprego, Norma Regulamentadora Número 12, Portaria n.º 3.214, de 8/6/78.* Guia Trabalhista, 2019. Disponível em: <<http://www.guiatrabalhista.com.br/legislacao/nr/nr12.htm>>. Citado 3 vezes nas páginas 115, 154 e 224.

OLSEN. Como as florestas garantem água para as cidades? 2021. Disponível em: <<https://ciclovivo.com.br/planeta/desenvolvimento/como-as-florestas-garantem-agua-para-as-cidades/>>. Citado na página 26.

PINA, J. H. A. A influencia das áreas verdes urbanas na qualidade de vida: o caso dos parques do sabiá e victório siquierolli. dissertação de mestrado. universidade federal de uberlândia. 2011. Acesso em: 28/08/2021. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/16094/1/Diss%20Katia.pdf>>. Citado na página 26.

PIRES, E. Efeito do tratamento de superfície em fibras de juta no comportamento mecânico de compósitos de matriz epóxi. 2009. Citado na página 151.

POLEFLEX. *Borracha Nitrílica NBR e suas aplicações.* 2019. Disponível em: <<https://poleflex.com.br/borracha-nitrilica-nbr-e-suas-aplicacoes/>>. Citado na página 152.

PORTELA, S. *Conheça as propriedades técnicas dos materiais para impressora 3D.* 2021. Disponível em: <<https://3dlab.com.br/propriedades-dos-materiais-para-impressora-3d/>>. Citado na página 154.

PRODUCTPLAN. *MosCoW Priorization.* 2021. Acesso em 19/08/2021. Disponível em: <<https://www.productplan.com/glossary/moscow-prioritization/>>. Citado na página 222.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. *PMBOK: Um guia do conhecimento em gerenciamento de projetos.* 6. ed. USA, 2017. Citado 4 vezes nas páginas 31, 232, 233 e 251.

QUIGLEY, M.; GERKEY, B.; SMART, W. D. *Programming Robots with ROS.* 1. ed. 1005 Gravenstein Highway North, Sebastopol, CA 95472: O'Reilly books, 2015. ISBN 978-1-4493-2389-9. Citado na página 51.

RAMESHA, M. C. e. a. Modal analysis and harmonic response analysis of a crankshaft. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, India, v. 5, p. 1, 2005. Citado na página 335.

RAO, S. *Vibrações Mecânicas.* 4. ed. São Paulo: Pearson, 2008. Citado 2 vezes nas páginas 155 e 335.

RODOLFO. *Como aumentar a corrente no 7812.* 2020. Disponível em: <https://youtu.be/U3rhe_z-9Eg>. Citado na página 55.

ROSSO, J. *Homem Tem Três Dedos Amputados Em Acidente Com Máquina De Cortar Grama.* 2020. Acesso em: 15/09/2021. Disponível em: <<http://www.engeplus.com.br/noticia/seguranca/2020/homem-tem-tres-dedos-amputados-em-acidente-com-maquina-de-cortar-grama>>. Citado na página 27.

- SHIGLEY J. E.; MISCHKE, C. R. B. R. G. *Projeto de Engenharia Mecânica*. 7. ed. [S.l.]: Bookman, 2005. v. 1. Citado 3 vezes nas páginas 113, 122 e 123.
- SILBERSCHATZ, A.; GAGNE, G.; GALVIN, P. B. *Operating System Concepts*. 6. ed. Wiley, 2002. ISBN 0471250600. Disponível em: <<http://www.amazon.com/Operating-System-Concepts-Windows-Update/dp/0471250600%3FSubscriptionId%3D13CT5CVB80YFWJEPWS02%26tag%3Dws%26linkCode%3Dxm2%26camp%3D2025%26creative%3D165953%26creativeASIN%3D0471250600>>. Citado na página 170.
- SÖRME, J.; EDWARDS, T. *A Comparison of Path Planning Algorithms for Robotic Vacuum Cleaners*. KTH Royal Institute of Technology, 2018. Acesso em 24/08/2021. Disponível em: <<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1214422/FULLTEXT01.pdf>>. Citado 2 vezes nas páginas 163 e 168.
- SPONG, M. W.; HUTCHINSON, S.; VIDYASAGAR, M. *Robot Dynamics and Control*. 3. ed. [S.l.]: John Wiley Sons, 2008. Citado na página 40.
- STEINER C., . A. R. A. Análise preliminar das políticas e leis ambientais e urbanísticas e suas repercuções sobre Áreas protegidas urbanas. *revista geonorte*, 4(12), 391 - 404. 2013. Disponível em: <<https://www.periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/1180>>. Citado na página 27.
- STUDENT, A. ANSYS. 2021. Disponível em: <<https://www.ansys.com/academic/students>>. Citado na página 105.
- SUI, L.; LIN, L. Design of household cleaning robot based on low-cost 2d lidar slam. In: IEEE. *2020 International Symposium on Autonomous Systems (ISAS)*. [S.l.], 2020. p. 223–227. Citado na página 163.
- VILLALVA, M. *Sistemas BMS para baterias de lítio*. 2021. Disponível em: <<https://canalsolar.com.br/sistemas-bms-para-baterias-de-litio/>>. Citado na página 54.
- WEG. *Apostila DT-13 - Treinamento Pintura Industrial com Tintas em Pó*. 2020. Disponível em: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h6e/h8b/Apostila-DT-13-Tinta-p_-2018.pdf>. Citado na página 153.
- ZHAO, J. T.; JING, S. Y.; JIANG, L. Z. Management of API gateway based on micro-service architecture. *Journal of Physics: Conference Series*, IOP Publishing, v. 1087, p. 032032, sep 2018. Acesso em 22/08/2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1087/3/032032>>. Citado na página 171.

Apêndices

APÊNDICE A – CUSTOS

Os custos totais do projetos foram levantados a partir das necessidades observadas em cada área de projeto. A Tabela 72, abaixo, apresenta os custos levantados para os recursos materiais e humanos necessários à conclusão do projeto, já a Tabela 71 apresenta o significado de cada código utilizado.

Tabela 71 – Código e Significado.

Código	Legenda
RN	Energia
RE	Eletrônica
RT	Estrutura
RS	Software

Tabela 72 – Custo.

ID	Componente	Comprar /Fabricar	Quant.	Custo Unitário	Custo Total
RN001	Bateria 12V 15 Ah Li-Ion	Comprar	1	R\$ 700,00	R\$ 700,00
RN001	Bateria 24V 30 Ah Li-Ion	Comprar	1	R\$ 2.100,00	R\$ 2.100,00
RN001	Fonte de carregamento	Fabricar	1	R\$ 100,00	R\$ 100,00
SUBTOTAL					R\$ 2.900,00
RE001	Raspberry Pi 3 Model B+ Anatel	Comprar	1	R\$ 419,00	R\$ 419,00
RE002	Roteador celular WR11-M600	Comprar	1	R\$ 339,00	R\$ 339,00
RE003	Motor DC RS555-SH-4033	Comprar	3	R\$ 29,00	R\$ 87,00
RE004	Motor DC XD60D94-12Y-50S	Comprar	2	R\$ 280,85	R\$ 561,70
RE005	Motor de passo NEMA 17 17HS4401	Comprar	1	R\$ 55,00	R\$ 55,00
RE006	Fuso Trapezoidal TR8 8x300mm, Passo 8mm	Comprar	1	R\$ 56,03	R\$ 56,03
Continua na página seguinte...					

Tabela 72 Continuação

ID	Componente	Comprar /Fabricar	Quant.	Custo Unitário	Custo Total
RE007	Sensor Ultra-sônico Hc-sr04	Comprar	3	R\$ 12,26	R\$ 36,78
RE008	Módulo DRV8825 e ponte	Comprar	1	R\$ 11,00	R\$ 11,00
RE009	Sensor de Umidade e Temperatura/DHT22	Comprar	1	R\$ 54,06	R\$ 54,06
RE010	Sensor RGB TCS34725	Comprar	1	R\$ 56,91	R\$ 56,91
RE011	Sensor de distância por infravermelho VL53L0XV2	Comprar	1	R\$ 33,16	R\$ 33,16
RE012	Amperímetro integrado	Comprar	3	R\$ 49,69	R\$ 149,07
RE013	Circuito Driver dos motores de locomoção	Fabricar	1	R\$ 83,77	R\$ 83,77
RE014	Circuito de regulagem de tensão da bateria	Fabricar	1	R\$ 37,71	R\$ 37,71
RE015	Conversor SN74LS26N	Comprar	1	R\$ 1,15	R\$ 1,15
RE016	Unidade de medida inercial (IMU)	Comprar	1	R\$ 138,61	R\$ 138,61
	SUBTOTAL				R\$ 2.119,95
RT001	Guia Linear - Série Mini 15 mm	Comprar	675	R\$ 0,398	R\$ 268,65
RT002	Patim Sem Aba - Série Mini 15 mm	Comprar	3	R\$ 140,00	R\$ 420,00
RT003	Lâmina	Comprar	3	R\$ 80,00	R\$ 240,00
RT004	Brocha/Macho	Comprar	1	R\$ 42,90	R\$ 42,90
RT005	Acoplador para Eixo de 3,175mm	Comprar	3	R\$ 12,00	R\$ 36,00
RT006	Fibra de Vidro	Comprar	4,725 kg	R\$ 98,73	R\$ 466,04
RT007	Alumínio 6063	Comprar	3,5 m ²	R\$ 342,85	R\$ 1200,00
RT008	Borracha Adesiva 8 mm	Comprar	2,5	R\$ 1,10	R\$ 2,75

Continua na página seguinte...

Tabela 72 Continuação

ID	Componente	Comprar /Fabricar	Quant.	Custo Unitário	Custo Total
RT009	Borracha Adesiva 3x25 mm	Comprar	3	R\$ 5,00	R\$ 15,00
RT010	Parafuso 3/8	Comprar	8	R\$ 2,20	R\$ 17,60
RT011	Adaptador de parafusos 5/8 para 3/8	Comprar	8	R\$ 5,75	R\$ 46,00
RT012	Super Cola Max (fibra/alumínio)	Comprar	3	R\$ 35,00	R\$ 105,00
RT013	Epoxy	Comprar	4,8 kg	R\$ 116,54	R\$ 1223,67
RT014	Barra 6 m de Tubo de seção quadrada 30x30 e espessura de 0,75 mm	Comprar	2	R\$ 84,38	R\$ 168,76
RT015	Barra 6 m de Tubo de seção quadrada 16x16 e espessura de 0,90 mm	Comprar	1	R\$ 41,00	R\$ 41,00
RT016	Rodizio Giratório 6X2 Pneu Maciço 6	Comprar	2	R\$ 160,02	R\$ 320,04
RT017	Roda de substituição com cubo de aço deslocado - 8 "x 1-3 / 4-60 lb	Comprar	2	R\$ 89,86	R\$ 179,72
RT018	Isopor para molde	Comprar	3	R\$ 49,99	R\$ 149,97
RT019	Endurecedor SQ 3140	Comprar	1,5 kg	R\$ 132,00	R\$ 766,39
RT020	Cortador elétrico de isopor	Comprar	1	R\$ 60,05	R\$ 60,05
RT021	Lona emborrachada naval	Comprar		R\$	R\$
RT022	Parafuso Manípulo 3/8"	Comprar	4	R\$ 4,00	R\$ 16,00
RT023	Porca Manípulo 3/8"	Comprar	4	R\$ 4,00	R\$ 16,00
RT024	Borracha isolante	Comprar	1 m	R\$ 360,00	R\$ 360,00
RT025	Parafuso Manípulo Borboleta 1/8"	Comprar	4	R\$ 4,00	R\$ 16,00

Continua na página seguinte...

Tabela 72 Continuação

ID	Componente	Comprar /Fabricar	Quant.	Custo Unitário	Custo Total
RT026	Porca Manípulo Borboleta 1/8"	Comprar	4	R\$ 4,00	R\$ 16,00
RT027	Borracha Borboleta	Comprar	4	R\$ 4,00	R\$ 16,00
RT028	Espuma PVC Expandido 6 mm	Comprar	1	R\$ 38,00	R\$ 38,00
RT029	PLA Transparente	Comprar	2,1 kg	R\$ 80,00	R\$ 168,00
RT030	ABS	Comprar	0,5 kg	R\$ 112,00	R\$ 56,00
RT031	Acoplamento rígido para eixo de 6 mm de diâmetro	Comprar	1	R\$ 20,92	R\$ 20,92
RT032	Acoplamento rígido para eixo de 8 mm de diâmetro	Comprar	1	R\$ 20,92	R\$ 20,92
RT033	Arruela ISO 7090 5 x 10	Comprar	4	R\$ 14,90	R\$ 14,90
RT034	Carcaça da caixa de redução	Comprar	2	R\$	R\$
RT035	Cubo de roda	Comprar	2	R\$	R\$
RT036	Eixo 1 - eixo de entrada (SAE 1045)	Comprar	2	R\$ 30,00	R\$ 60,00
RT037	Eixo 2 - eixo intermediário (SAE 1045)	Comprar	2	R\$ 30,00	R\$ 60,00
RT038	Eixo 3 - eixo intermediário (SAE 1045)	Comprar	2	R\$ 30,00	R\$ 60,00
RT039	Eixo 4 - eixo de saída (SAE 1045)	Comprar	2	R\$ 30,00	R\$ 60,00
RT040	Engrenagem de 20 dentes com módulo unitário	Comprar	6	R\$ 31,00	R\$ 186,00
RT041	Engrenagem de 70 dentes com módulo unitário	Comprar	6	R\$ 55,66	R\$ 333,96
RT042	Mancal com rolamento para eixo de 8 mm de diâmetro	Comprar	2	R\$ 13,00	R\$ 26,00

Continua na página seguinte...

Tabela 72 Continuação

ID	Componente	Comprar /Fabricar	Quant.	Custo Unitário	Custo Total
RT043	Mancal de rolamento SKF 719/8 ACE/HCP4A	Comprar	8	R\$ 60,52	R\$ 484,16
RT044	Mancal de rolamento SKF SKF 706 ACD/P4A	Comprar	8	R\$ 50,08	R\$ 400,64
RT045	Parafuso Allen ISO 10642 de cabeça esca-readada M5 x 16	Comprar	12	R\$ 0,93	R\$ 7,50
RT046	Parafuso Allen ISO 10642 de cabeça esca-readada M6 x 30	Comprar	8	R\$ 0,93	R\$ 7,50
RT047	Parafuso Allen ISO 4762 M5 x 16	Comprar	8	R\$ 0,93	R\$ 7,50
RT048	Parafuso Allen ISO 4762 M5 x 20	Comprar	8	R\$ 0,93	R\$ 7,50
RT049	Parafuso ISO 4014 M5 x 45	Comprar	4	R\$ 1,59	R\$ 6,39
RT050	Parafuso prisioneiro M8	Comprar	8	R\$ 1,15	R\$ 9,22
RT051	Porca 4032 M8	Comprar	8	R\$ 0,84	R\$ 6,72
RT052	Porca ISO 10501 M8	Comprar	8	R\$ 0,45	R\$ 3,60
RT053	Porca ISO 4032 M5	Comprar	8	R\$ 0,45	R\$ 3,60
RT054	Porca ISO 4034 M5	Comprar	8	R\$ 0,45	R\$ 3,60
RT055	Roda de tração de 8"	Comprar	2	R\$	R\$
RT056	Suporte para motor elétrico de tração	Comprar	2	R\$	R\$
RT057	Tampa da caixa de redução	Comprar	2	R\$	R\$
RT058	Arruela ISO 7089 10x20	Comprar	16	R\$ 2,83	R\$ 45,28
RT059	Conjunto de roda frontal	Comprar	2	R\$	R\$
RT060	Parafuso sextavado ISO 4017 M10 x 50	Comprar	8	R\$ 6,15	R\$ 49,20

Continua na página seguinte...

Tabela 72 Continuação

ID	Componente	Comprar /Fabricar	Quant.	Custo Unitário	Custo Total
RT061	Placa adaptadora da roda frontal	Comprar	2	R\$	R\$
RT062	Porca ISO 4032 M10	Comprar	8	R\$ 0,45	R\$ 3,60
RT063	Arruela ISO 7089 6x12	Comprar	12	R\$ 5,89	R\$ 5,89
RT064	Barra de 6 metros seção quadrada 16 x 16 (chapa 20; 0,90 mm)	Comprar	1	R\$ 203,10	R\$ 203,10
RT065	Barra de 6 metros seção quadrada 30 x 30 (chapa 22; 0,75 mm)	Comprar	2	R\$ 109,90	R\$ 219,80
RT066	Parafuso sextavado ISO 4014 M6 x 40	Comprar	6	R\$	R\$
RT067	Porca ISO 4032 M6	Comprar	6	R\$ 1,75	R\$ 10,50
RT068	Acrílico flexível de 2 mm	Comprar	2 m	R\$ 184,20	R\$ 184,20
	SUBTOTAL				R\$ 5.529,54
RS001	Custo por desenvolvedor	Comprar	5	R\$ 3.750,00	R\$ 18.750,00
RS002	Custo do aluguel de computadores	Comprar	5	R\$ 1.305,00	R\$ 6.525,00
RS003	Custo de Internet	Comprar	5	R\$ 119,99	R\$ 599,95
RS004	Custo Energia Elétrica	Comprar	5	R\$ 119,97	R\$ 3.239,10
RS005	Custo Publicação do App Android	Comprar	1	R\$ 135,33	R\$ 135,33
RS006	Custo Publicação do App IOS	Comprar	1	R\$ 420,05	R\$ 420,05
RS007	Custo do Deploy do App	Comprar	3	R\$ 55,00	R\$ 165,00
	SUBTOTAL				R\$ 29.834,43
	CUSTO TOTAL				R\$ 38.958,99

APÊNDICE B – Requisitos

Os requisitos foram divididos entre requisitos de alto nível, ou gerais, e requisitos específicos, pertencentes a cada subárea de trabalho. Para priorização dos requisitos, foi utilizado a técnica MOSCOW ([PRODUCTPLAN, 2021](#)), que consiste em quatro categorizações:

- MUST: requisitos essenciais para o produto;
- SHOULD: requisitos que entregam valor ao cliente, mas que não são essenciais;
- COULD: requisitos que entregam pouco valor ao cliente;
- WON'T: requisitos que não entregam valor ao cliente ou não se encaixam no escopo do projeto.

B.1 Requisitos de Alto Nível

Os requisitos de alto nível levantados para o projeto estão elencados na Tabela [73](#) abaixo:

Tabela 73 – Requisitos de Alto Nível.

ID	REQUISITO	PRIORIDADE
RG001	Possuir sistema embarcado	MUST HAVE
RG002	Aparelho deverá ser recarregável	MUST HAVE
RG003	Aparelho deverá evitar obstáculos	MUST HAVE
RG004	Carroceria resistente a impactos moderados	MUST HAVE
RG005	Fácil montagem	MUST HAVE
RG006	Autonomia energética para aproximadamente 1h de trabalho	MUST HAVE
RG007	Conexão com aparelho Mobile	MUST HAVE
RG008	Aparelho com regulagem da altura de corte	MUST HAVE
RG009	Inclinação máxima de trabalho: 35º	MUST HAVE
RG0010	Aparelho não poderá produzir ruído acima de 65 dB	MUST HAVE
RG0011	Aparelho capaz de determinar sua rota de trabalho e aprender com ela	MUST HAVE
RG0012	Carroceria resistente à entrada de água da chuva	MUST HAVE
RG0013	Aparelho deverá emitir mensagens ao usuário	MUST HAVE
RG0014	Aparelho com aplicativo de monitoramento pelo usuário	MUST HAVE
RG0015	Sistema de segurança contra furto	SHOULD HAVE
RG0016	Aparelho desliga cortador quando erguido acima de 45º	MUST HAVE
RG0017	Aparelho desliga cortador quando atinge obstáculo mais duro do que grama	MUST HAVE
RG0018	Aparelho deverá permitir programação de frequência do corte da grama	MUST HAVE
RG0019	Aparelho fácil de ser utilizado e com interface de uso simples	MUST HAVE
RG0020	Aparelho para uso em jardins públicos e de instituições privadas	SHOULD HAVE
RG0021	Aparelho deverá ter menor custo do que similares	SHOULD HAVE

B.2 Requisitos Legais – NBR's

B.2.1 Requisitos Legais Aplicáveis à Estrutura

A Norma Regulamentadora NR-12, publicada pelo Ministério do Trabalho e Emprego, define as referências técnicas, os princípios, as medidas de proteção e estabelece requisitos mínimos para a prevenção de acidentes e doenças do trabalho nas fases de projeto e de utilização de máquinas e equipamentos de todos os tipos, com o objetivo de garantir a saúde e a integridade física dos trabalhadores. Sua aplicação está relacionada ao projeto da estrutura do equipamento, o cortador de grama Smart Grass, e às condições de segurança que essa estrutura proporcionará aos seus usuários, com o objetivo de proteger sua integridade física durante operação do equipamento. Assim, os requisitos da norma

regulamentadora número 12 ([NR-12, 2019](#)) aplicáveis ao cortado de grama Smart Grass foram elencados na Tabela 74 e deverão estar obrigatoriamente presentes no produto final:

Tabela 74 – Requisitos da Norma Regulamentadora NR 12 Aplicáveis ao Projeto de Máquinas e Equipamentos.

ID	REQUISITOS NR 12	PRIORIDADE
RSR001	Massa inferior ou igual a 600kg	MUST HAVE
RSR002	Proteção contra projeção do material em procedimento	MUST HAVE
RSR003	Proteção que evite contato direto do usuário com áreas sujeitas a aquecimento	MUST HAVE
RSR004	Área do cortador de grama, embaixo da máquina, deve ter proteção lateral	MUST HAVE
RNR005	As baterias devem estar localizadas de forma que sua manutenção e troca possam ser realizadas facilmente.	MUST HAVE
RNR006	As baterias devem possuir proteção do terminal positivo, a fim de prevenir contato acidental e curto-circuito	MUST HAVE
RNR007	As baterias devem ter constituição e fixação de forma a não haver deslocamento acidental	MUST HAVE

B.2.2 Requisitos Legais Aplicáveis aos Sistemas eletroeletrônicos

A norma NBR 5410, estabelecida pela ABNT, foi montada pela Comissão de Estudo de Instalações Elétricas de Baixa Tensão, e visa a proteção de pessoas e animais no uso e aplicação de instalações elétricas de baixa tensão ([ABNT, 2004](#)). Em consonância com a norma NBR 5410, foram observados os requisitos veiculados na Tabela 75.

Tabela 75 – Requisitos da Norma Regulamentadora NR 5410

ID	REQUISITOS NR 5410	PRIORIDADE
RNR004	No controle dos motores, evitar perturbações que comprometam a rede de distribuição e o funcionamento das demais cargas alimentadas.	MUST HAVE
RNR005	Considerar a corrente nominal do motor para o projeto do circuito de controle	MUST HAVE
RNR006	Integração de dispositivos de proteção contra correntes de sobrecarga ou curto, internos ou externos	MUST HAVE
RNR007	Carga de acumuladores portáteis ou móveis efetuada em locais onde respingos do eletrólito e o contato com seus vapores não sejam prejudiciais.	MUST HAVE
RNR008	Assegurar ventilação suficiente e a inexistência de chama nas proximidades do sistema elétrico.	MUST HAVE

A norma reguladora da ABNT NBR 5459 ([ABNT, 1987](#)) descreve a nomenclatura padrão de sistemas elétricos de proteção e controle usados nesse projeto. A Tabela 76 a seguir apresenta alguns desses conceitos definidos pela norma.

Tabela 76 – Requisitos da Norma Regulamentadora NR 5459

ID	REQUISITOS NR 5459	PRIORIDADE
RNR007	<p>O trabalho segue a nomenclatura definida por força da norma NR 5459 para os circuitos utilizados:</p> <p>Círcito principal: Conjunto das partes condutores de um dispositivo de manobra, inseridas no circuito que ele tem por função fechar ou abrir.</p> <p>Comando: Ação humana ou de dispositivo automático, que modifica estado ou a condição de determinado equipamento elétrico.</p> <p>Comando automático: Comando de uma operação sem intervenção humana em resposta à ocorrência de condições predeterminadas.</p> <p>Comando remoto: Comando de uma operação realizada a partir de um ponto distante do dispositivo de manobra comandado, utilizando circuitos físicos ou meios mecânicos.</p> <p>Dispositivo de proteção: Dispositivo que exerce uma ou mais funções de proteção em um sistema ou equipamento elétrico</p>	SHOULD HAVE

Já a norma NBR 17094 define as condições de projeto e proteção de máquinas elétricas girantes ([ABNT, 2018](#)). Essa norma foi usada na caracterização dos componentes selecionados nos sistemas eletrônicos de corte e locomoção. A Tabela 77 abaixo demonstra os principais requisitos dessa norma, nos quais o trabalho foi desenvolvido.

Tabela 77 – Requisitos da Norma Regulamentadora NR 17094.

ID	REQUISITOS NR 17094	PRIORIDADE
RNR008	Meio refrigerante dos motores com temperatura não superior a 40°C nem investido de elementos prejudiciais.	SHOULD HAVE
RNR009	Serão observados os graus de proteção dos dispositivos motores definidos pela norma. O código de identificação de proteção é composto pelas letras 'IP' seguidas de 2 algarismos, cujo significado é descrito na tabela 78 abaixo.	MUST HAVE

Tabela 78 – Sistema de identificação de proteção definido pela norma NBR 17094

Primeiro algarismo		Segundo algarismo	
Algarismo	Significado	Algarismo	Significado
0	Maquina não protegida	0	Maquina não protegida
1	Máquina protegida contra objetos sólidos maiores que 50 mm	1	Máquina protegida contra gootejamento vertical
2	Máquina protegida contra objetos sólidos maiores que 12 mm	2	Máquina protegida contra gootejamento de água, com inclinação de até 15°
3	Máquina protegida contra objetos sólidos maiores que 2,5 mm	3	Máquina protegida contraaspersão de água
4	Máquina protegida contra objetos sólidos maiores que 1 mm	4	Máquina protegida contra projeções de água
5	Máquina protegida contra poeira	5	Máquina protegida contra jatos de água
6	Máquina totalmente protegida contra poeira	6	Máquina protegida contra jatos potentes
		7	Máquina protegida contra os efeitos da imersão temporária
		8	Máquina protegida contra os efeitos da imersão contínua

A norma IPC 6011 foi utilizada no desenvolvimento de placas de circuito impresso durante o projeto do cortador de grama. O conjunto de normas IPC são um padrão internacional de qualidade na indústria de eletroeletrônicos. Essas normas classificam os circuitos eletrônicos nas três classes descritas de forma sucinta na tabela 79.

Tabela 79 – Descrição das classes adotadas pelas normas IPC

	IPC Classe 1	IPC Classe 2	IPC Classe 3
Categoria	Eletronicos em geral	Eletrônica dedicada a serviços	Eletrônica de alta performance
Tempo de vida útil	Curto	Longo	mais durável
Qualidade	Baixa e barata	boa	a prova de falha
Exemplos de aplicação	Brinquedos a smartphones	Laptops a eletro-domésticos	indústria aeroespacial e aplicação militar e médica

B.3 Requisitos Funcionais Específicos

B.4 Requisitos de Eletrônica

Os requisitos levantados pela subequipe de eletrônica para o cortador de grama estão elencados na Tabela 80:

Tabela 80 – Requisitos de Eletrônica.

ID	REQUISITO	PRIORIDADE
RE001	Sistema de sensoriamento	MUST HAVE
RE002	Sistema de interface	MUST HAVE
RE003	Sistema de controle de corte	MUST HAVE
RE004	Sistema de controle de tração	MUST HAVE
RE005	Sistema de controle da altura de corte	MUST HAVE
RE006	Sistema embarcado	MUST HAVE
RE007	Botão liga/desliga	MUST HAVE
RE008	Processar e tratar dados vindos dos sensores	MUST HAVE
RE009	Sensores de proximidade	MUST HAVE
RE0010	Comunicação via 3G/4G com Sistema Mobile	MUST HAVE
RE0011	Sensor de inclinação capaz de indicar que o cortador foi erguido e emitir sinal para o sistema parar o cortador	MUST HAVE
RE0012	Subsistema capaz de indicar se o cortador ficou preso em obstáculo	MUST HAVE
RE0013	Sistema de monitoramento da carga da bateria	MUST HAVE
RE0014	Sistema de controle de recarga da bateria	MUST HAVE
RE0015	Comunicar o usuário sobre diminuição da carga da bateria, finalização do trabalho, cortador preso em obstáculo	SHOULD HAVE
RE0016	Integração com o software	MUST HAVE
RE0017	Indicador de que o aparelho está ligado	MUST HAVE
RE0018	Sistema Stop quando as lâminas do cortador batem em obstáculo mais rígido do que a grama	MUST HAVE
RE0019	Comunicação de todo o sistema com o usuário	SHOULD HAVE
RE0020	Sistema de segurança para evitar furto	MUST HAVE
RE0021	GPS	COULD HAVE
RE0022	Placa de rede de redundância	SHOULD HAVE

B.5 Requisitos de Energia

Os requisitos levantados pela subequipe de energia para o cortador de grama estão elencados na Tabela 81:

Tabela 81 – Requisitos de Energia.

ID	REQUISITO	PRIORIDADE
RN001	Sistema de alimentação com bateria com 1h aproximadamente de duração	MUST HAVE
RN002	Motores de tração e do sistema de corte separados	MUST HAVE
RN003	Motores DC de tração e do sistema de corte com ruído sonoro abaixo de 65 dB	SHOULD HAVE
RN004	Sistema de alimentação capaz de fornecer tensão e corrente adequados para os motores e para os sistemas eletrônicos	MUST HAVE
RN005	Atuador para modificar a altura do sistema de corte	MUST HAVE
RN006	Levar em consideração as dimensões internas da carroceria	SHOULD HAVE
RN007	Sistema de recarga da bateria	MUST HAVE

B.6 Requisitos de Estrutura

Os requisitos levantados pela equipe de estruturas para o cortador de grama estão elencados na Tabela 82:

Tabela 82 – Requisitos de Estruturas.

ID	REQUISITO	PRIORIDADE
RT001	Estrutura da carroceria compacta	MUST HAVE
RT002	Carroceria impermeável à água	MUST HAVE
RT003	Proteção interna contra chuva para os componentes eletrônicos	MUST HAVE
RT004	Proteção lateral geral	MUST HAVE
RT005	Proteção lateral da região do disco de corte	MUST HAVE
RT006	Sistema antivibração para execução do corte	SHOULD HAVE
RT007	Sistema de regulagem da altura de corte	SHOULD HAVE
RT008	Ângulo máximo de inclinação de trabalho 35°	MUST HAVE

B.7 Requisitos de Software

Os requisitos levantados pela equipe de software para o cortador de grama estão divididos em épicos e elencados na Tabela 83. Cada épico se refere a um módulo a ser desenvolvido pela equipe de software para integrar o projeto, sendo eles o **Aplicativo** (referente ao aplicativo mobile que será usado pelo usuário final), o **Embarcado** (referente ao módulo que será embarcado, no cortador, para controle parcial e comunicação com o módulo desenvolvido pela equipe de eletrônica) e o **Mapeamento** (referente ao processamento e interpretação dos dados de posição e rota obtidos pelo módulo embarcado):

Tabela 83 – Requisitos de Software.

ID	ÉPICO	REQUISITO	PRIORIDADE
RS001	Aplicativo	Identificação da área de corte pelo usuário	MUST HAVE
RS002	Aplicativo	Adicionar novas áreas de corte	MUST HAVE
RS003	Aplicativo	Ativar e desativar o cortador	MUST HAVE
RS004	Aplicativo	Notificação de incidentes ao usuário	MUST HAVE
RS005	Aplicativo	Sistema de cadastro de usuário	MUST HAVE
RS006	Aplicativo	Renderização do mapa da área de corte	MUST HAVE
RS007	Aplicativo	Associar cortador a uma conta de usuário	MUST HAVE
RS008	Aplicativo	Usar QR Code para associação do cortador ao usuário	SHOULD HAVE
RS009	Aplicativo	Agendar corte	COULD HAVE
RS010	Mapeamento	Mapeamento da área de corte	MUST HAVE
RS011	Mapeamento	Definição de melhores rotas para cada área de corte	MUST HAVE
RS012	Mapeamento	Identificação da rota executada pelo cortador	SHOULD HAVE
RS013	Embarcado	Identificar o estado do cortador, da bateria e das lâminas	MUST HAVE
RS014	Embarcado	Execução da rota pelo cortador	MUST HAVE
RS015	Embarcado	Recálculo da rota frente a limites e obstáculos	MUST HAVE

B.8 Requisitos Não Funcionais

Os requisitos não funcionais levantados para o cortador de grama estão elencados na Tabela 84:

Tabela 84 – Requisitos Não Funcionais.

ID	REQUISITO	PRIORIDADE
RNF001	Ser esteticamente agradável	SHOULD HAVE
RNF002	Não possuir componentes ou partes internas expostos na parte externa da carroceria	MUST HAVE
RNF003	Interface intuitiva da aplicação	MUST HAVE
RNF004	Inserção amigável de dados pelo usuário	MUST HAVE
RNF005	Ser seguro para uso em locais públicos	MUST HAVE
RNF006	Aparelho robusto	SHOULD HAVE
RNF007	Fácil manutenção e troca das lâminas	SHOULD HAVE
RNF009	Fácil montagem	MUST HAVE
RNF010	Fácil limpeza	MUST HAVE
RNF011	Boa manobrabilidade	MUST HAVE
RNF012	Boa absorção de impactos para não comprometer sistemas eletroeletrônicos	MUST HAVE
RNF013	Estrutura fácil de ser carregada pelo usuário	MUST HAVE
RNF014	Rápida resposta dos sensores	MUST HAVE

Parte III

Gerenciamento

APÊNDICE C – Metodologia aplicada ao plano de Gerenciamento do projeto

C.1 Visão Geral

Para a realização do gerenciamento do projeto, a equipe do projeto implementou e se baseou na padronização de conceitos do Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projetos ([PMI, 2017](#)). Um projeto, de acordo com o guia, tem início e fim bem determinados e empreendidos, e a gerência, de acordo com esse guia, deve organizar e conceituar o desenvolvimento do projeto em cinco fases:

- Iniciação;
- Planejamento;
- Execução;
- Monitoramento e controle;
- Encerramento.

A fase de iniciação corresponde à fase de definição do tipo de projeto a ser desenvolvido. A fase de planejamento é a fase em que o projeto é planejado. A fase de execução corresponde àquela em que o planejamento do projeto é colocado em prática. A fase de monitoramento e controle, por sua vez, vai desde o planejamento, passando pela execução, e finalizando apenas ao fim do encerramento do projeto. A fase de encerramento, por fim, corresponde à fase de documentação final e arquivamento do projeto, uma vez que sua execução tenha alcançado os objetivos almejados. Além disso, o Plano de Gerenciamento do Projeto deve abranger as seguintes áreas: gerenciamento da integração, gerenciamento do escopo, gerenciamento do cronograma, gerenciamento dos custos, gerenciamento da qualidade, gerenciamento dos recursos, gerenciamento das comunicações, gerenciamento dos riscos, gerenciamento das aquisições e gerenciamento das partes interessadas. Abaixo, descrevemos os componentes de cada área do Plano de Gerenciamento do Projeto.

C.2 Gerenciamento da Integração do Projeto

Essa é a área de maior importância do Plano de Gerenciamento do Projeto. Um projeto mal integrado desde o início corre o risco de não alcançar seus objetivos finais

por conta de incompatibilidade entre componentes, entre subsistemas e entre componentes e subsistemas, inviabilizando o produto final de apresentar todas as funcionalidades previamente definidas na coleta de requisitos do projeto.

Para que tal ocorra da forma planejada, o gerenciamento da integração do projeto será realizado conjuntamente com o gerenciamento da qualidade, de forma que ambos possam ser acompanhados, analisados, delimitados e corrigidos em todas as etapas possíveis do projeto.

Nesse sentido, a integração será implementada desde o início do projeto e se fará presente, principalmente, mas não exclusivamente, nos seguintes componentes de gerenciamento do projeto:

1. Termo de Abertura do Projeto;
2. Requisitos de projeto;
3. Estrutura Analítica do Projeto;
4. Estrutura Analítica do Produto;
5. Estrutura Analítica dos Riscos;
6. Definição do Escopo do Projeto;
7. Durante toda a fase de Execução do projeto - comparação entre entregas realizadas e os requisitos do projeto;
8. Integração dos subsistemas do projeto;
9. Plano de testes e validação do projeto.

C.2.1 Termo de Abertura do Projeto (TAP)

O documento do Termo de Abertura do Projeto encontra-se no Apêndice E.

C.2.2 Estrutura Analítica do Projeto (EAP)

A Estrutura Analítica do Projeto difere da Estrutura Analítica do Produto. Enquanto a primeira leva em consideração as entregas do projeto, a segunda considera os subsistemas do produto (PMI, 2017). Assim, foram feitas estruturas analíticas para os dois casos. Abaixo, segue a Estrutura Analítica do Projeto, dividida em três partes correspondentes às entregas de cada Ponto de Controle.

A Figura 137 apresenta a Estrutura Analítica das Tarefas que deverão ser entregues no Ponto de Controle 1.

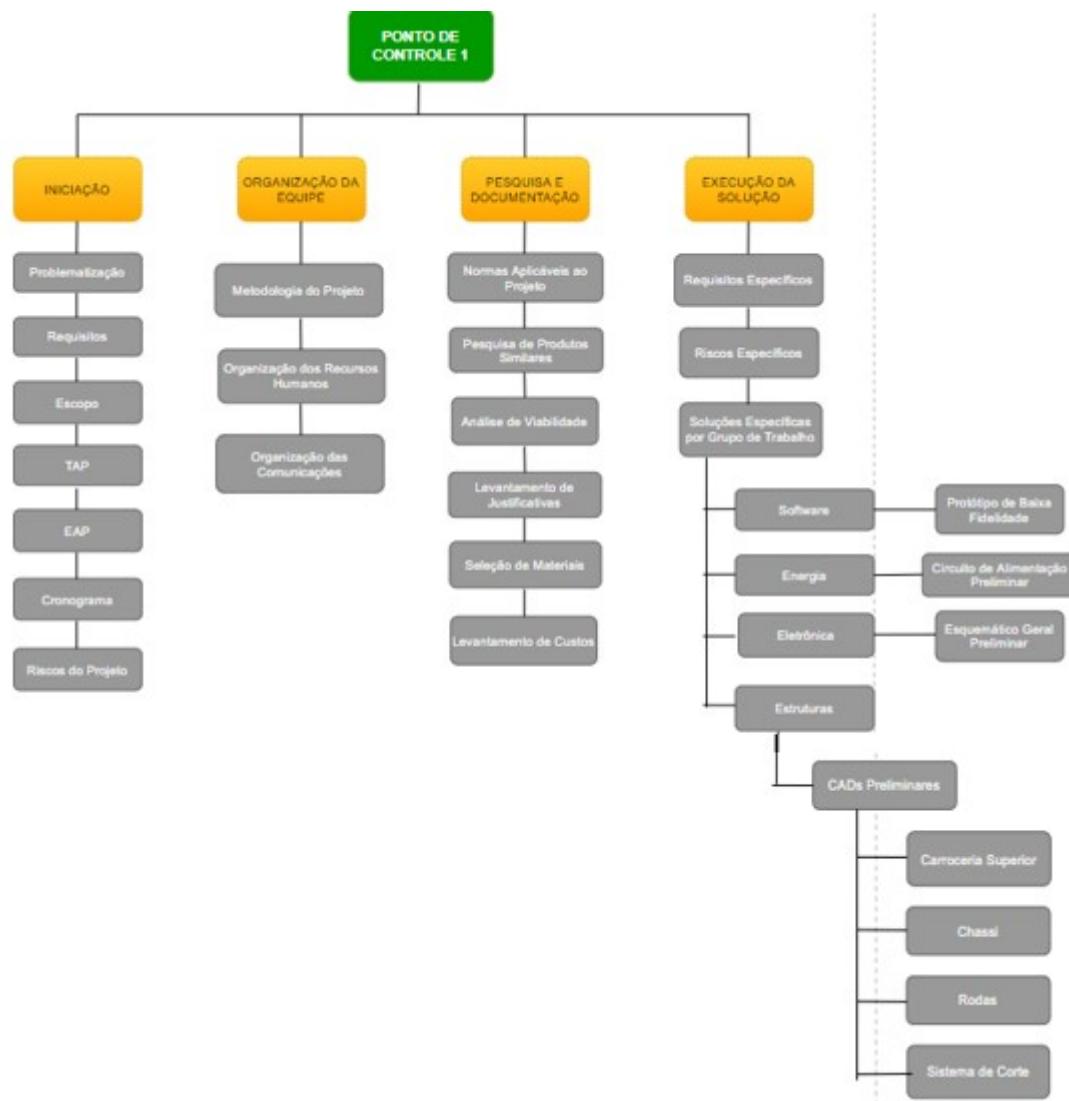


Figura 137 – EAP das Tarefas do Primeiro Ponto de Controle 1

Já a Figura 138 apresenta a Estrutura Analítica das Tarefas que deverão ser entregues no Ponto de Controle 2.

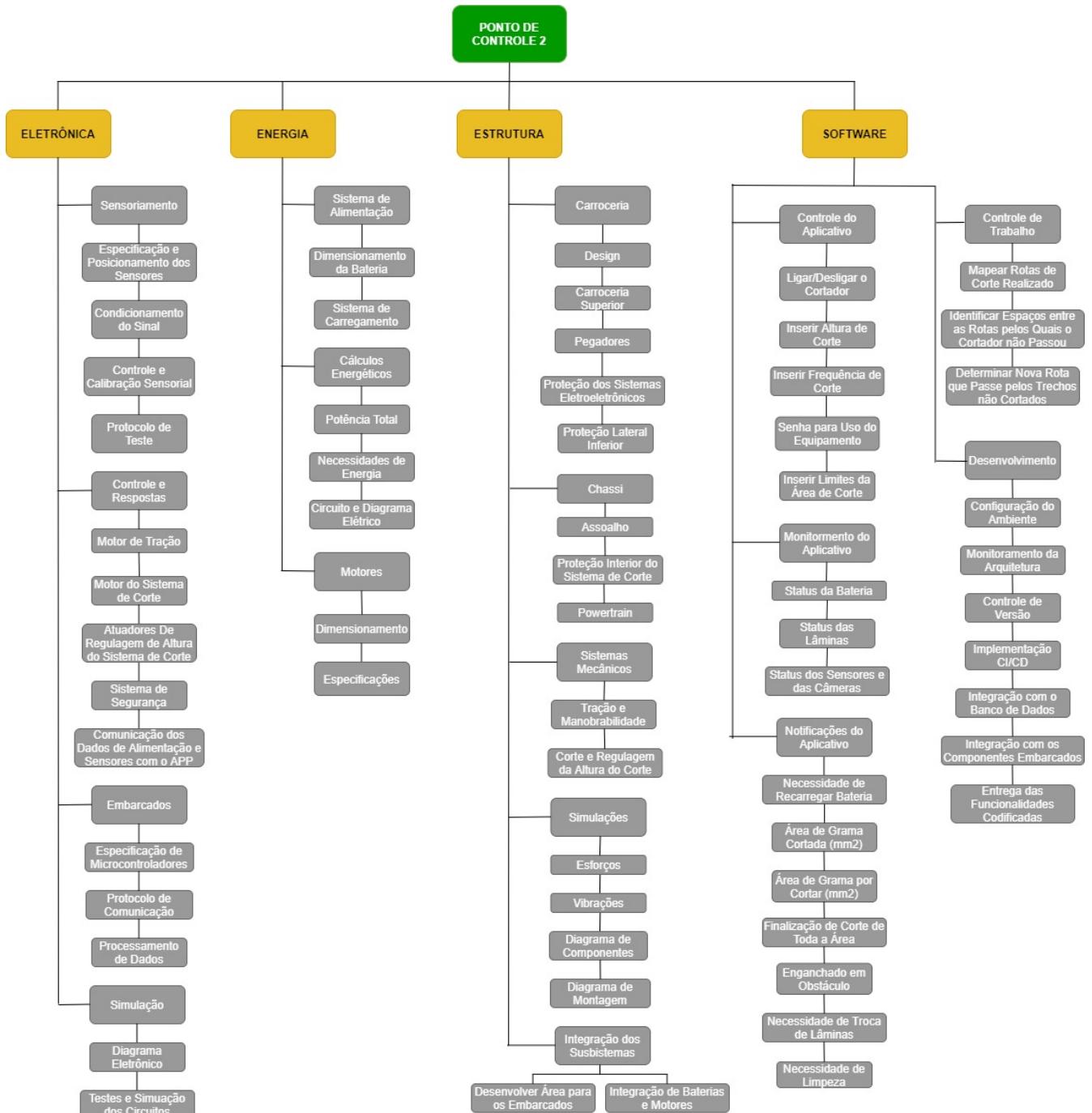


Figura 138 – EAP das Tarefas do Segundo Ponto de Controle 2

A Figura 139, por sua vez, apresenta a Estrutura Analítica das Tarefas que deverão ser entregues no Ponto de Controle 3, e cuja finalização, após validação e realização de correções e ajustes finais, corresponderá também à finalização do projeto como um todo.

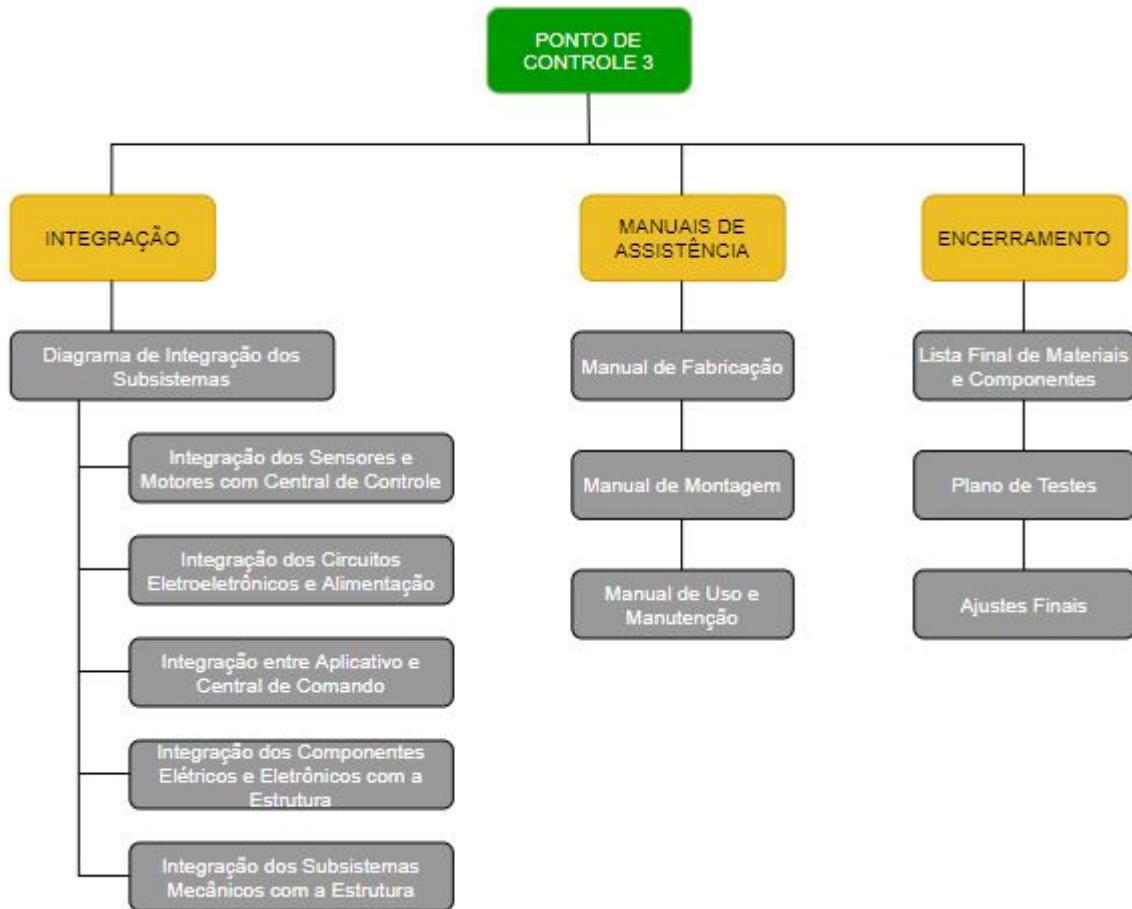


Figura 139 – EAP das Tarefas do Terceiro Ponto de Controle 3

C.3 Gerenciamento do Escopo

O gerenciamento do escopo consiste no planejamento, gerenciamento, execução e monitoramento e controle do escopo do produto definido logo após a coleta de requisitos do projeto.

O gerenciamento do escopo deverá integrar os requisitos funcionais e não funcionais do projeto como um todo, dos subsistemas específicos e uma lista de funcionalidades ou não funcionalidades que não entrarão no escopo do projeto, de modo a deixar o escopo bem delimitado, evitando confusões e expectativas negativas quando da entrega final do projeto.

Assim, o gerenciamento do escopo será composto por:

1. Requisitos funcionais e não funcionais do projeto;
2. Definição do escopo do projeto;
3. Lista “É/Não É”, que delimitará o escopo;

4. Estrutura Analítica do Produto.

C.3.1 Definição do escopo do projeto

O projeto do Cortador de Grama Automatizado consiste no desenvolvimento de um aparelho cortador de grama automático e autônomo movido a motores elétricos. O aparelho será projetado para cortar a grama de jardins gramados de instituições públicas e privadas, praças particulares e públicas, com a possibilidade de escolha de três alturas de corte diferentes por parte do usuário e com a frequência semanal definida pelo usuário em aplicativo de smartphone.

O aparelho deverá ser composto por: sistemas mecânicos de corte de grama; sistemas de tração e de regulagem da altura de trabalho do sistema de corte; sistema de energia, composto pelos motores elétricos e pelo sistema de alimentação; sistemas eletrônicos com sensores capazes de identificar obstáculos e emitir informações para a correção da rota por parte do equipamento; e sistema de software, que promoverá a comunicação entre o equipamento e o usuário, a fim de lhe enviar informações sobre o aparelho, além de permitir a implantação de um sistema de segurança antifurto.

O usuário será capaz de escolher a altura do corte e a frequência semanal de corte da grama em função do tipo de grama e tamanho da área do gramado. O aparelho deverá ser capaz de trabalhar sob sol ou chuva moderada. A comunicação entre o equipamento e o *smartphone* permitirá ao usuário saber quando o aparelho ficou sem carga ou se ficou enganchado em um obstáculo. Com isso, busca-se desenhar um equipamento capaz de seguir de forma autônoma a frequência de corte de grama escolhido pelo usuário, com a altura desejada por ele, notificando-o e exigindo sua intervenção apenas em momentos restritos.

C.3.2 Lista É, Não É

A Tabela 85 abaixo demonstra o escopo definido para o projeto através da lista É/Não É. Essa ferramenta é essencial para estreitar o escopo e definir o projeto.

Tabela 85 – Tabela Lista É, Não É

ID	É	NÃO É
01	Cortador de grama operado de forma automatizada	Cortador operado de forma manual
02	Equipamento autônomo	Equipamento radio controlável
03	Sistema com carga de duração limitada	Equipamento de uso ininterrupto
04	Bateria recarregável	Equipamento fixo a tomada por cabos
05	Equipamento resistente à chuva e pequenas poças de água	Não é à prova de água e não trabalha submerso
06	Altura de corte de grama regulável	Equipamento que coleta e armazena a grama cortada
07	Equipamento com módulo carregador individual	Equipamento com base de recarga
08	Equipamento com ruído abaixo de 65 dB	Equipamento totalmente silencioso
09	Equipamento para uso em jardins de instituições públicas e privadas	Equipamento para limpeza de terrenos agrários
10	Equipamento corta a grama em sentido aleatório	Equipamento que permite a escolha do sentido de corte pelo usuário

C.3.3 Estrutura Analítica do Produto

A Figura 140 apresenta a Estrutura Analítica do Produto. Ela contém os subsistemas que deverão ser entregues, ao final, para que o produto seja considerado finalizado. Todos os subsistemas deverão seguir, para que as entregas sejam aceitas e elencadas na lista de subsistemas acabados, os requisitos de alto nível, funcionais e não funcionais, bem como os requisitos específicos de cada subárea de trabalho.

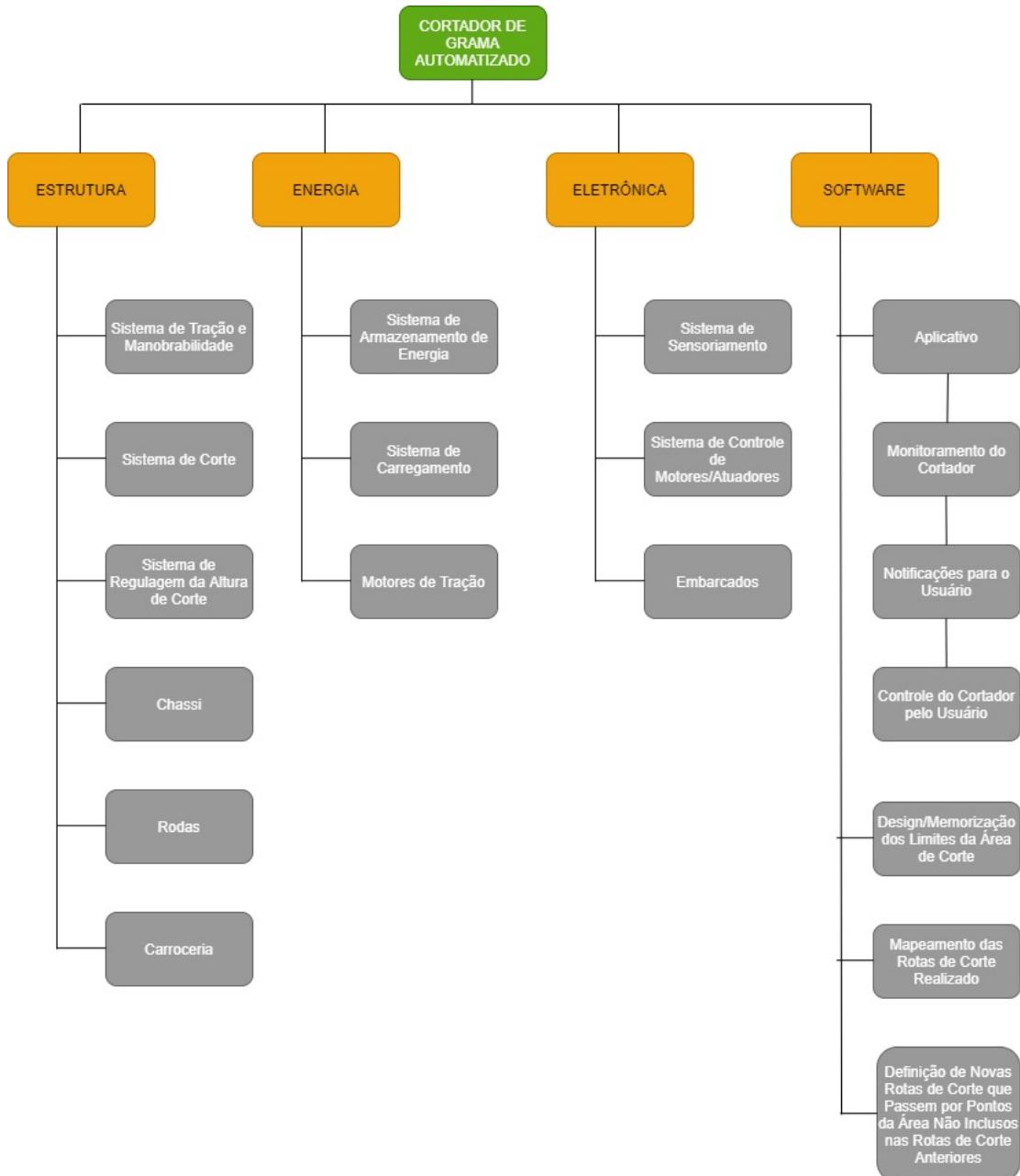


Figura 140 – EAP do Produto

C.4 Gerenciamento do Cronograma

O gerenciamento do cronograma deve ser realizado para que o projeto seja realizado dentro do prazo definido previamente e para que suas entregas ocorram nos momentos oportunos, evitando atrasos de execução e de entrega final do produto. O gerenciamento do cronograma deverá ser realizado a partir dos seguintes elementos:

1. Definição das atividades;
2. Sequenciamento das atividades;

3. Determinação da duração das atividades;
4. Construção do cronograma.

As atividades foram definidas e sequenciadas quando da construção das Estruturas Analíticas do Produto e do Projeto. Em seguida, foi determinado em conjunto com os subgrupos a duração de cada tipo de atividade, e o cronograma foi determinado em função dessa duração e dos marcos determinados para o projeto, definidos como Pontos de Controle.

O documento do cronograma foi construído com utilização da ferramenta conhecida como Gráfico de Gantt, por sua facilidade de visualização e de adaptação de atividades e prazos, com a utilização da ferramenta MS Project.

C.4.1 Cronograma Geral do Projeto

O cronograma do projeto, realizado de acordo com a metodologia estabelecida acima, encontra-se no Apêndice F.

C.5 Gerenciamento da Qualidade

O gerenciamento da qualidade do projeto tem por objetivo fazer com que o produto final do projeto corresponda ao que foi definido na coleta de requisitos do projeto. Esse produto final deverá conter as funcionalidades previamente definidas e apresentar os requisitos não funcionais de acordo com o estipulado na fase de iniciação.

O gerenciamento da qualidade também deverá trazer em si a preocupação com a integração do projeto, pois a qualidade dos componentes e subsistemas deverá compreender sua integração com demais componentes e subsistemas do produto do projeto. O gerenciamento deverá englobar as seguintes atividades:

1. Monitoramento do atendimento dos requisitos do projeto por parte das equipes técnicas;
2. Garantir que os componentes e subsistemas desenvolvidos em separado atendam aos requisitos específicos de cada equipe e do projeto em geral;
3. Validar as justificativas das escolhas técnicas das equipes;
4. Gerenciar e garantir a integração entre os componentes e subsistemas desenvolvidos pelas diferentes equipes técnicas, de modo a possibilitar que a integração do produto final ocorra de acordo com o escopo e os requisitos levantados;
5. Desenvolver, elaborar e validar a documentação técnica do projeto, que inclui:

- Manual de montagem do produto;
- Manual de manutenção do produto;
- Manual do usuário.

O gerenciamento da qualidade deverá empregar as ferramentas que se apresentarem como oportunas em relação ao produto, tais como:

- FMEA;
- Check list;
- Lista de requisitos;
- Definição do escopo;
- Lista É/Não É;
- SIPOC (Supplier – Inputs – Process – Outputs – Customer);
- Poka-Yoke;
- FTA (Árvore de Falhas).

C.6 Gerenciamento dos Recursos

O gerenciamento dos recursos compreende o gerenciamento de recursos materiais, máquinas e insumos, bem como o gerenciamento dos recursos humanos. O gerenciamento dos recursos materiais engloba os elementos de custos, orçamento e gerenciamento das aquisições. O gerenciamento dos recursos humanos, por sua vez, compreende a definição da equipe do projeto e sua organização.

As diretrizes utilizadas no gerenciamento dos recursos humanos são:

1. Divisão do trabalho e definição das atribuições de cada função;
2. Divisão da equipe em subequipes separadas por área técnica de trabalho;
3. Estabelecimento de um diretor técnico para cada equipe técnica;
4. Estabelecimento de um diretor em separado para o monitoramento e controle da qualidade;
5. Uso de tabela e organograma para enumeração da divisão do trabalho e especificação visual da relação entre as diversas funções e subequipes de trabalho;
6. Planilha de controle das atividades individuais por equipe a serem preenchidos pelos diretores técnicos.

C.6.1 Recursos humanos

A equipe toda foi formada por 16 pessoas divididas em três grupos técnicos, mais coordenador geral e diretora de qualidade. Conforme determinado pela disciplina, a divisão do grupo ficou em um coordenador geral, uma diretora de qualidade, três diretores técnicos e uma equipe de desenvolvedores ligada a cada diretor técnico.

Abaixo, segue quadro com a composição da equipe:

Tabela 86 – Relação dos componentes do grupo de projeto.

NOME	MATRÍCULA	ENGENHARIA	FUNÇÃO
Paulo Cesar da Silva	16/0140773	Automotiva	Coordenador Geral
João Marcos Hilário Barcelos Júnior	16/0127289	Automotiva	Diretor de Qualidade
Alexandre Miguel Rodrigues Nunes Pereira	16/0000840	Software	Diretor de Software
Bruna Lorrane Jardim Ribeiro	17/0084981	Aeroespacial	Diretora de Estruturas
Gabriel Teixeira Brasil	16/0050146	Eletrônica	Diretor de Eletroeletrônica
Marina Crema Duarte	15/0140380	Energia	Desenvolvedora
Anna Maria Lima da Silva (Trancou)	15/0118091	Eletrônica	(Trancou)
Fabiana Luiza Vasconcelos Pfeilsticker Ribas	16/0005736	Software	Desenvolvedora
Gabriel Metre Resende	17/0120805	Aeroespacial	Desenvolvedor
Guilherme Baldissera	14/0142002	Software	Desenvolvedor
Francileide Barreto Silva	15/0125704	Eletrônica	Desenvolvedora
Karina Juli Alves Feitosa	16/0129800	Energia	Desenvolvedora
Letícia Meneses Bandeira da Silva	16/0131936	Software	Desenvolvedora
Paulo Eduardo de Sousa Fernandes	17/0112462	Energia	Desenvolvedor
Renan Welz Schadt	16/0143403	Software	Desenvolvedor
Beatriz Carvalho Wang	18/0013823	Aeroespacial	Desenvolvedora

C.6.2 Organograma da Equipe do Projeto

A Figura 141, abaixo, mostra o organograma adotado pela equipe.

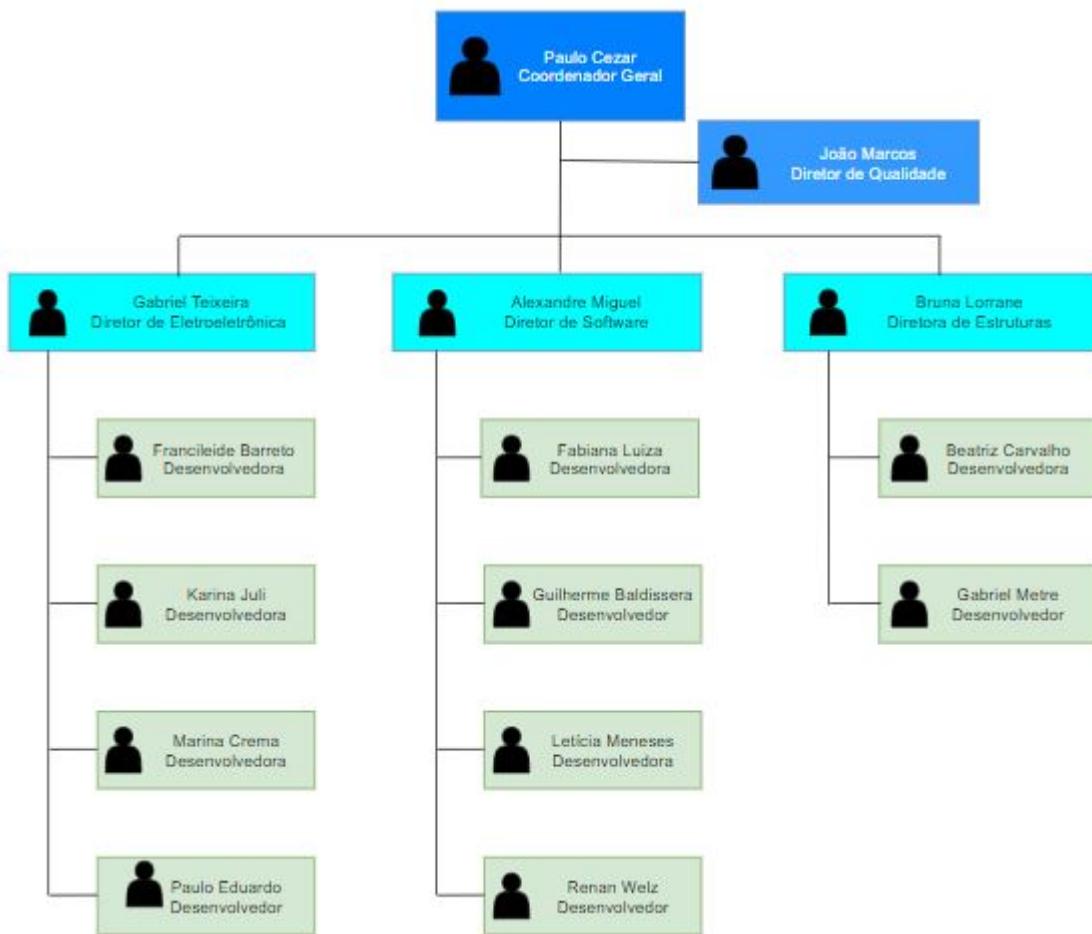


Figura 141 – Organograma para organização dos trabalhos no grupo.

C.6.3 Funções Desempenhadas pelos Integrantes

C.6.3.1 Coordenador Geral

O Coordenador Geral tem por objetivo assegurar a condução operacional dos trabalhos e desenvolvimentos, envolvendo o planejamento e gestão de atividades, projeção de resultados e antecipação de riscos. Além disso, tem por responsabilidade a boa condução do projeto e das equipes técnicas, possuindo uma visão geral de todas as atividades que estão em desenvolvimento, e tendo forte interação com o Diretor de Qualidade e Diretores Técnicos. Ademais, o coordenador geral também deverá contribuir na concepção e desenvolvimento de atividades técnicas. Atividades referentes ao papel de Coordenador Geral:

- Realizar o planejamento de atividades das equipes técnicas;
- Realizar a gestão de tempo e riscos do projeto, bem como realizar o controle financeiro do projeto;

- Atuar na definição e validação de requisitos técnicos, de forma a garantir que a arquitetura da solução atenda às necessidades do cliente;
- Assegurar todos os “entregáveis”;
- Validar o plano de produção e integração dos produtos das equipes técnicas.

C.6.3.2 Diretor de Qualidade

O Diretor de Qualidade tem por objetivo assegurar a condução operacional dos trabalhos e desenvolvimentos, dando suporte às atividades do coordenador geral e garantindo que os produtos atendam aos requisitos técnicos do projeto. Embora tais fatos, o Diretor de Qualidade deverá contribuir na concepção e desenvolvimento de atividades técnicas. Atividades referentes ao papel de Diretor de Qualidade:

- Suporte ao Coordenador Geral na tarefa de planejamento e gestão das atividades dos grupos técnicos;
- Atuar na definição de requisitos técnicos e na tomada de decisão sobre a arquitetura da solução;
- Garantir que os produtos desenvolvidos no projeto atendem aos requisitos técnicos;
- Garantir que os critérios de projeto adotados pelas equipes técnicas estejam em consonância com boas práticas de engenharia.

C.6.3.3 Diretor Técnico

O Diretor Técnico tem por objetivo garantir a condução operacional de sua equipe, a qual se constitui em um subsistema do projeto. Suas atividades envolvem o planejamento e gestão de atividades técnicas, bem como a interação com o Coordenador Geral e o Diretor de Qualidade para o desenvolvimento do projeto segundo os planejamentos. Atividades referentes ao papel de Diretor Técnico:

- Gerenciar as atividades dos desenvolvedores e garantir a coesão do grupo;
- Atuar na definição de requisitos técnicos e tomada de decisão sobre tecnologias aplicáveis ao projeto e ao subsistema;
- Atuar na definição e aplicação de critérios de projeto, para garantir a correta especificação dos elementos;
- Atuar na validação de produtos dos desenvolvedores e garantir a interoperabilidade dos produtos entre subsistemas;

- Atuar na definição de planos de produção e integração entre produtos de diferentes equipes;
- Desenvolver e validar a documentação técnica da equipe.

C.6.3.4 Desenvolvedor

O Desenvolvedor tem por objetivo aplicar os conhecimentos técnicos para a produção e elaboração dos elementos que compõe o projeto. Destarte, o desenvolvedor atua na implementação das soluções concebidas pela equipe, tendo em vista os requisitos técnicos associados ao problema e a tecnologias escolhidas. Atividades referentes ao papel de Desenvolvedor:

- Identificar os requisitos técnicos e definição de tecnologias para resolver o problema abordado no projeto.
- Desenvolver e validar as partes técnicas sob sua responsabilidade;
- Definir critérios de produção e interoperabilidade dos produtos do seu subsistema;
- Desenvolver as documentações técnicas, referentes aos itens sob seu desenvolvimento;
- Atuar na definição de planos de produção e integração entre produtos de diferentes equipes;
- Participar da integração dos elementos de seu subsistema ao restante do projeto.

C.6.4 Gerenciamento de Desenvolvimento de Software

A equipe de software se organiza utilizando a metodologia Scrum, que é uma metodologia ágil que contém diversas rotinas para manter a equipe engajada e atualizada sobre o projeto. Esse sistema é um framework estrutural usado para gerenciar o desenvolvimento de produtos, fundado nos princípios de transparência, inspeção e adaptação, permitindo que os membros da equipe tenham a capacidade de se organizarem enquanto resolvem um problema e a refletirem sobre os êxitos e fracassos para melhorarem continuamente (BROD, 2013).

Os papéis do Scrum são Product Owner, Architect, Scrum Master e time de desenvolvimento. O Product Owner é o responsável por maximizar o valor do produto e gerenciar o Product Backlog, garantindo que ele está claro para toda equipe. O Architect é responsável por elaborar a arquitetura do software e garantir que ela seja seguida. O Scrum Master tem a função de garantir que a equipe está cumprindo as regras da metodologia. O time de desenvolvimento, tem a função de incrementar o produto a cada sprint (COHN, 2000).

Os eventos do Scrum são: Sprint (período de um mês ou menos onde a equipe se dedica a incrementar o produto), Planejamento de Sprint (reunião ao início de cada sprint onde a equipe decide o que será feito nesta), Review e Retrospectiva da Sprint (a equipe analisa como foi a sprint e quais atividades atividades e artefatos alocados a ela foram finalizados) e Daily (reunião para alinhamento da equipe sobre o andamento da sprint) (COHN, 2000).

Os artefatos do Scrum são: Product Backlog (lista ordenada de tudo que é necessário no produto), Sprint Backlog (conjunto de itens do backlog do produto selecionados para a sprint) e Incremento (soma de todos os itens do backlog do produto completados durante uma sprint) (COHN, 2000).

Para fazer o acompanhamento das tarefas do projeto é utilizado o Kanban que trata-se de uma simbologia visual usada no desenvolvimento de produtos para registrar o progresso das atividades. O Kanban é orientado através de colunas, em que cada uma representa diferentes estados de completeza de uma atividade (a fazer, fazendo, feito), as atividades (cartões visuais) vão transitando entre as colunas, mostrando o andamento do projeto (AHMAD; MARKKULA; OIVO, 2013).

C.6.5 Gerenciamento dos Custos

O gerenciamento dos custos visa a evitar que o custo final do projeto ultrapasse aquele estipulado na fase de iniciação do projeto. O gerenciamento dos custos deverá englobar:

1. Levantamento dos custos;
2. Desenvolvimento do orçamento;
3. Monitoramento e controle dos gastos.

A descrição completa dos custos do projeto foi feita no capítulo A, após o levantamento das necessidades de cada área.

C.6.5.1 Aquisições

O gerenciamento das aquisições tem por objetivo o monitoramento e controle da execução do orçamento de acordo com os custos levantados e os requisitos de projeto estabelecidos pelas equipes técnicas. No presente projeto, como não haverá construção de protótipo, não haverá grupo separado para aquisições. Porém, havendo a necessidade de aquisição de normas técnicas, essa será realizada pela equipe técnica que dela necessitar, com o apoio financeiro de todos os integrantes do projeto.

C.7 Gerenciamento das Comunicações

O gerenciamento das comunicações tem por finalidade fazer chegar aos interessados diretos (e indiretos, quando for o caso) as informações necessárias para execução, monitoramento e controle das atividades do projeto e garantir que as entregas sejam realizadas dentro do prazo. Para tal, serão estabelecidos:

1. Canais de comunicação de urgência;
2. Canais de comunicação para informações técnicas;
3. Canais de comunicação entre a coordenação geral e a equipe em geral;
4. Canais de comunicação entre a coordenação geral e os diretores técnicos;
5. Canais de comunicação entre os diretores técnicos e os integrantes de suas equipes;
6. Repositórios para arquivamento de relatórios e documentos técnicos;
7. Repositórios para códigos de software e de eletrônica.

C.7.1 Ferramentas de Comunicação

O gerenciamento das comunicações foi realizado em comum acordo com toda a equipe. Nesse sentido, decidiu-se por centralizar o máximo possível dos trabalhos em uma única plataforma, e deixar outra para comunicações de urgência. Os repositórios de códigos foram direcionados para uma terceira plataforma, o Github, haja vista a especificidade dessa plataforma e do trabalho de codificação da equipe de software e de eletroeletrônica. A Tabela 87 abaixo traz uma descrição dos canais de comunicação escolhidos.

C.7.2 Diretrizes de Comunicação

Como diretrizes de comunicação, para melhor aproveitamento de toda a equipe, foram determinadas:

1. Criação de um canal geral, para comunicação com toda a equipe, e de três canais específicos, para comunicações com cada equipe técnica em separado, de modo a diminuir os ruídos de comunicação entre a coordenação geral e os subgrupos de trabalho;
2. Utilização do Microsoft Teams para comunicações não urgentes e como repositório da documentação do projeto;

Tabela 87 – Canais de comunicação adotados pelo grupo.

ID	FERRAMENTA	DESCRIÇÃO
1	Microsoft Teams	Plataforma utilizada para reunião das equipes, repositórios de documentos de gerenciamento geral e de cada equipe em específico e comunicação de informações técnicas
2	Whatsapp	Canal de comunicação de urgência e verificação de andamento dos trabalhos
3	Github	Repositório de códigos desenvolvidos pelas equipes de software e eletroeletrônica
4	Overleaf	Repositório e ferramenta de escrita compartilhada dos Relatórios dos Pontos de Controle
5	Trello	Plataforma utilizada pelos diretores técnicos para controle das entregas dos desenvolvedores

3. Foi estabelecida uma reunião geral semanal com toda a equipe, para verificar o andamento dos trabalhos, o relacionamento entre os membros das equipes e entre as equipes e promover Brainstormings sempre que alguma etapa do projeto o exigir;
4. Foi determinada uma reunião semanal entre o coordenador geral, os diretores técnicos e a diretora de qualidade, para verificar o andamento dos trabalhos, as dificuldades pelas quais as equipes possam estar passando e avaliar a pontualidade das entregas.

C.8 Gerenciamento dos Riscos

O gerenciamento dos riscos serve para antecipar eventos indesejados que poderão impedir ou dificultar a realização do projeto dentro do prazo estipulado. O gerenciamento dos riscos será realizado por meio de:

1. Identificação dos riscos do projeto e do produto;
2. Análise qualitativa dos riscos;

3. Análise quantitativa dos riscos;
4. Estabelecimento de respostas aos riscos;
5. Monitoramento constante dos riscos, para implementação das respostas quando necessário.

Para um maior detalhamento, a descrição completa dos riscos levantados para o projeto é feita em capítulo próprio, o Capítulo D.

C.9 Gerenciamento das Partes Interessadas

O gerenciamento das partes interessadas deve garantir que as expectativas das partes interessadas no projeto ou por ele afetadas sejam atendidas dentro daquilo que foi estipulado na fase de planejamento do projeto em termos de escopo, requisitos e delimitação do que não fará parte do escopo do projeto.

O gerenciamento das partes interessadas deverá contar com:

1. Identificação das partes interessadas;
2. Levantamento das expectativas, necessidades ou demandas das partes interessadas;
3. Estabelecimento dos canais de comunicação e de uma frequência de comunicação das partes interessadas de acordo com o nível de interesse de cada parte no projeto;
4. Monitoramento das entregas e dos requisitos em função das expectativas, necessidades ou demandas das partes interessadas;
5. Atendimento dos prazos estabelecidos pelas partes interessadas;
6. Monitoramento e controle das partes interessadas, quando isso for possível.

C.10 Monitoramento e Controle

O processo de monitoramento e controle terá como ferramentas:

- Análise de desempenho;
- Registro de reuniões;
- Comparação das entregas realizadas com as entregas esperadas em relação ao atendimento dos requisitos do projeto.

As alterações de projeto e desenvolvimento devem ser identificadas e registros devem ser mantidos. As alterações devem analisadas criticamente, verificadas e validadas, como apropriado, e aprovadas pelo responsável da área envolvida pela alteração antes da sua implementação. A análise crítica das alterações de projeto e desenvolvimento deve incluir a avaliação do efeito das alterações em partes componentes e no produto já entregue. Devem ser mantidos registros dos resultados da análise crítica e de quaisquer ações necessária.

APÊNDICE D – Riscos

O gerenciamento dos riscos de um projeto tem por objetivo diminuir a probabilidade de ocorrência de um risco negativo ou de seu impacto sobre o projeto ou aumentar as chances de ocorrência e aproveitamento do impacto de riscos positivos, permitindo ao gestor trabalhar no sentido de evitar, prevenir ou transferir riscos negativos e aproveitar os resultados dos riscos positivos para o projeto (PMI, 2017). Através da Estrutura Analítica de Riscos (EAR), pode-se dimensionar com uma estrutura hierárquica de riscos em potencial nas seguintes categorias:

- Riscos Técnicos: são riscos que envolvem os requisitos, tecnologia, ferramentas, infraestrutura e operação;
- Riscos de Projeto: são riscos que envolve estratégia de gestão de projeto, estrutura e prioridade nos processos de gestão e desenvolvimento;
- Riscos Externos: são riscos que envolvem tudo o que é externo ao projeto, mas que com ele se relaciona, tais como fornecedores, legislação, normas técnicas e condições ambientais;
- Riscos do Produto: são riscos que envolvem mudanças no escopo do projeto, no prazo de entrega, nos custos, na falta ou inadequação dos recursos, nas partes interessada ou na comunicação das características do produto.

D.1 Estrutura Analítica De Riscos (EAR)

A Estrutura Analítica dos Riscos é baseada na análise qualitativa e quantitativa dos riscos. A Análise qualitativa dos riscos consiste no levantamento dos riscos e suas consequências. A análise quantitativa, por sua vez, é fundamentada na quantificação da probabilidade de ocorrência do risco e de seu impacto sobre o projeto.

Assim, as duas métricas usadas para analisar os riscos do projeto são:

- Probabilidade: chance de um risco ocorrer. Para quantificar a probabilidade de ocorrência de um risco, utiliza-se o intervalo: Muito Baixa, Baixa, Média, Alta e Muito Alta, de acordo com a Tabela 88.

Tabela 88 – Peso por Faixa de Probabilidade.

Probabilidade	Certeza	Peso
Muito baixa	1% - 20%	1
Baixa	20% - 40%	2
Moderada	40% - 60%	3
Alta	60% - 80%	4
Muito alta	80% - 100%	5

- Impacto: indica o quanto o risco impacta no projeto. Sua quantificação é feita a partir do mesmo intervalo da probabilidade: Muito Baixa, Baixa, Média, Alta e Muito Alta, como na Tabela 89.

Tabela 89 – Relação entre Peso e Impacto.

Probabilidade	Impacto	Peso
Muito baixa	Pouco expressivo	1
Baixa	Baixo Impacto	2
Moderada	Algum impacto	3
Alta	Significativo	4
Muito alta	Muito Significativo	5

A partir das duas tabelas acima, pode-se, então, construir a matriz de probabilidade da Tabela 90. Com isso, ao atribuir uma percentual de probabilidade e um tipo de impacto ao risco de um evento indesejado ocorrer, obtém-se os pesos referentes aos parâmetros indicados e, então, procura-se, na matriz de probabilidade a faixa de valores em que os dois pesos se cruzam.

Tabela 90 – Matriz de Probabilidade.

Probabilidade	Muito Baixa	Baixa	Moderada	Alta	Muito Alta
	1	2	3	4	5
Muito Baixa	1	2	3	4	5
Baixa	1	2	3	4	5
Moderado	3	6	9	12	15
Alta	4	8	12	16	20
Muito Alta	5	10	15	20	25

A partir dos valores encontrados na matriz de probabilidade, vai-se na Tabela 91, e analisa-se se a relação risco impacto culmina em risco baixo, moderado ou elevado.

Tabela 91 – Relação entre Risco e Impacto.

Risco	Impacto
Baixo	$1 < \text{Impacto} \leq 5$
Moderado	$5 < \text{Impacto} \leq 15$
Elevado	$15 < \text{Impacto} \leq 25$

Por fim, diante do conhecimento da probabilidade de ocorrência do risco e de seu impacto no projeto, é possível gerir os riscos por meio de ações que podem incluir a aceitação do risco, sua transferência para terceiros, sua prevenção, mitigação ou até mesmo tomar atitudes que evitem que o risco ocorra, conforme especificado na Tabela 92.

Tabela 92 – Tipo de Ação.

Tipo de Ação	Descrição
Transferir	Transferir o risco para terceiros
Prevenir	Tomar ação para prevenir a ocorrência do risco
Mitigar	Tornar o efeito do risco mais leve
Evitar	Tomar ação para eliminar o risco totalmente
Aceitar	Aceitar o risco

D.1.1 Riscos do Projeto

A Tabela 93 traz os riscos do projeto e suas consequências. A Tabela 94, por sua vez, enumera as probabilidades de ocorrência dos riscos e as ações a serem tomadas em relação a eles.

Tabela 93 – Riscos do Projeto.

ID	Risco	Consequência
1	Mudança no Escopo	Alteração nos requisitos e no cronograma
2	Mudança na arquitetura	Necessidade de retrabalho
3	Erro de priorização	Deixar de realizar atividades importantes
4	Mudança nos requisitos	Alteração nas especificações das demais áreas
5	Diretor não se comprometer com a equipe	Equipe sem gerenciamento e atribuição de tarefas
6	Desistência de integrante	Acúmulo de trabalho sobre o subgrupo
7	Descompromisso de integrantes	Atraso das entregas
8	Descompromisso de integrantes	Baixa qualidade das entregas

Tabela 94 – Riscos e Ações de Gestão do Projeto.

ID	Tipo de Ação	Ação	Risco	Impacto	Prioridade
1	Prevenir	Acompanhamento integrado e constante das atividades	5	4	20
2	Mitigar	Pesquisar novas soluções, procurar apoio de professores	4	4	16
3	Prevenir	Uso de metodologia de priorização e acompanhamento constante das atividades	2	4	8
4	Mitigar	Pesquisar novas soluções de forma integrada com todos os subgrupos	4	4	16
5	Mitigar	Troca de diretor	2	3	16
6	Aceitar	Definir integrante de outro subgrupo para auxiliar o grupo prejudicado	2	2	4
7	Mitigar	Responsabilização das atividades e discussão com diretores sobre comprometimento dos desenvolvedores	2	2	4
8	Mitigar	Responsabilização das atividades e discussão com diretores sobre comprometimento dos desenvolvedores	2	2	4

A Tabela 95 enumera os principais riscos externos que podem afetar o andamento do projeto.

Tabela 95 – Riscos Externos.

ID	Risco	Consequência
1	Integrante ficar doente	Acúmulo de trabalho sobre o subgrupo
2	Conflito de agendas	Atraso das entregas
3	Problema de internet na data de entrega do relatório	Atraso na entrega do relatório
4	Diretor ou desenvolvedor perder comunicação com a equipe	Atraso das entregas

A Tabela 96, por sua vez, enumera as probabilidades de ocorrência dos riscos externos e as ações a serem tomadas em relação a eles.

Tabela 96 – Riscos e Ações de Gestão contra Externos.

ID	Tipo de Ação	Ação	Risco	Impacto	Prioridade
1	Aceitar	Redistribuir as atividades dentro do subgrupo	3	2	6
2	Mitigar	Estabelecimento de prazos com antecedência e monitoramento constante do andamento das tarefas	3	3	9
3	Prevenir	Finalizar o relatório e envio um dia antes da data final de entrega	2	5	10
4	Prevenir	Criar repositórios online para colocação e compartilhamento de toda a documentação do projeto	2	4	8

D.1.2 Riscos do Produto

A Tabela 97 traz os riscos que podem afetar o produto e suas consequências. A Tabela 98, por sua vez, enumera as probabilidades de ocorrência desses riscos e as ações a serem tomadas em relação a eles.

Tabela 97 – Riscos do Produto.

ID	Risco	Consequência
1	Falta de testes experimentais	Soluções pouco precisas
2	Perda de conexão com o sistema Mobile	Funcionalidades limitadas
3	Má manutenção do produto	Funcionalidades limitadas e diminuição do desempenho do produto
4	Manuseamento do produto com sistema de corte ligado	Perigo de acidente
5	Água da chuva ultrapassar a carroceria superior	Risco de curto circuito
6	Falta de direcionamento por não possuir cliente real	Falta de soluções direcionadas para necessidades reais
7	Produto locomover-se na direção de criança ou animal caseiro	Risco de acidente
8	Produto sair de área gramada e ir em direção a piscina	Risco de cair dentro da água e sofrer curto circuito
9	Sistema de corte atirar pedra para o lado	Risco de acidente com usuários
10	Equipamento ficar enganchado em buraco ou obstáculo	Perda de funcionalidade momentânea

Tabela 98 – Ações Dirigidas aos Riscos do Produto.

ID	Tipo de Ação	Ação	Risco	Impacto	Prioridade
1	Aceitar	Realizar simulações próximas da realidade	5	4	20
2	Mitigar	Botão de liga desliga no aparelho	3	5	15
3	Prevenir	Manual de manutenção dentro do manual do usuário	2	4	8
4	Prevenir	Sistema de desligamento do sistema de corte quanto o produto for erguido acima de 45º aliado a distanciamento do solo	2	5	10
5	Prevenir	Sistema de proteção interna para sistemas eletroeletrônicos	2	4	8
6	Aceitar	Pesquisa de mercado sobre clientes potenciais e produtos concorrentes	4	4	16
7	Prevenir	Sistema de detecção e contorno de obstáculos	5	4	20
8	Prevenir	Sistema diferencia solo gramado de solo sem grama e redireciona o cortador	3	5	15
9	Evitar	Sistema de proteção lateral dupla	3	5	15
10	Mitigar	Emissão de mensagem relatando o problema ao usuário	3	4	12

D.1.3 Análise dos Riscos

D.1.4 Eletrônica

A Tabela 99 traz os riscos que podem afetar os trabalhos do grupo de eletrônica durante o desenvolvimento do projeto e suas consequências. A Tabela 100, por sua vez, enumera as probabilidades de ocorrência desses riscos e as ações a serem tomadas em relação a eles.

Tabela 99 – Riscos de Eletrônica.

ID	Risco	Consequência
1	Falha de conexão com a raspberry Pi por APN da operadora	Não comunicação com o aplicativo
2	Dificuldade na implementação da comunicação com módulo embarcado de software	Não comunicação com o aplicativo
3	Componentes não encaixam na estrutura	Atrasos no cronograma
4	Programação deficiente dos sensores	Não há funcionamento esperado e pode gerar atrasos na entrega do subsistema
5	Motores de locomoção e controle das hélices mal dimensionados	Atraso ou não entrega do subsistema
6	Falhas de programação dos sistemas de controle para os motores de locomoção	Atraso na entrega do subsistema
7	Desistência de integrante do subgrupo	Atraso de entregas e sobrecarga dos demais integrantes
8	Impossibilidade de testes do subsistema por indisponibilidade de recursos ou peças	Projeto com resultados não implementados
9	Dificuldades de integração entre os subsistemas criados	Atraso na entrega do projeto

Tabela 100 – Ações de Gestão dos Riscos de Eletrônica.

ID	Tipo de Ação	Ação	Risco	Impacto	Prioridade
1	Mitigar	Realizar a guarda de dados para envio posterior.	3	3	9
2	Evitar	Comunicação com o subgrupo de software para desenvolvimento completo da funcionalidade	2	3	6
3	Evitar	Manter comunicação e integração entre os subgrupos	1	3	3
4	Evitar	Simular e testar cada subcircuito de forma independente.	1	3	3
5	Evitar	Realizar testes e simulação de carga	1	4	4
6	Evitar	Realização de simulações de movimento dos motores e de controle independente	1	3	3
7	Aceitar	Redistribuição de tarefas e prazos	3	3	9
8	Aceitar	Validação dos subsistemas por cálculos e simulações	4	2	8
9	Evitar	Testes de integração por subsistema concluído utilizando-se metodologia top-down de desenvolvimento	1	3	3

D.1.5 Energia

A Tabela 101 traz os riscos que podem afetar os trabalhos do grupo de energia e suas consequências. A Tabela 102, por sua vez, enumera as probabilidades de ocorrência desses riscos e as ações a serem tomadas em relação a eles.

Tabela 101 – Riscos de Energia.

ID	Risco	Consequência
1	Componentes não encaixam na estrutura	Atrasos no cronograma
2	Sistema de alimentação insuficiente	Não funcionamento autônomo e atrasos no cronograma
3	Sistema de carregamento não funcional	Não entrega do subsistema
4	Desistencia de integrante do subgrupo	Atraso de entregas e sobrecarga dos demais integrantes
5	Danos devidos à vibração sobre a bateria	Danos ao sistema de alimentação
6	Mal dimensionamento dos fios de alimentação para os demais subsistemas	Afeta a capacidade do sistema de alimentação fornecer corrente ao circuito
7	Problemas com sobrecorrente devido a sobrecarga sobre os motores de locomoção	Danos aos circuitos e componentes
8	Aquecimento da bateria e sistema de alimentação	Danos aos componentes

Tabela 102 – Ações de Gestão dos Riscos de Energia.

ID	Tipo de Ação	Ação	Risco	Impacto	Prioridade
1	Evitar	Manter comunicação e integração entre os subgrupos	1	3	3
2	Evitar	Realizar os cálculos de autonomia superestimando as especificações	1	4	4
3	Mitigar	Carregamento por balanceador comercial externo ao projeto	1	3	3
4	Aceitar	Redistribuição de tarefas e prazos	3	3	9
5	Evitar	Manter comunicação com o subgrupo de estrutura e realização de simulações de vibração	1	4	4
6	Evitar	Observar o espaço na estrutura e a demanda de corrente para o dimensionamento dos fios de cada subsistema	1	2	2
7	Evitar	Sistema de proteção para interromper os motores	2	3	6
8	Evitar	Uso de circuitos BMS para controle de carga	1	3	3

D.1.6 Estrutura e Sistemas Mecânicos

A Tabela 103 traz os riscos que podem afetar os trabalhos do grupo de energia e suas consequências. A Tabela 104, por sua vez, enumera as probabilidades de ocorrência desses riscos e as ações a serem tomadas em relação a eles.

Tabela 103 – Riscos de Estrutura.

ID	Risco	Consequência
1	Formação de trinca na carroceria	Fratura da carroceria
2	Formação de trinca nos componentes mecânicos	Fratura do componente
3	Falha de integração dos subsistemas estruturais	Impossibilidade de montagem
4	Falha de integração dos componentes eletroeletrônicos com a estrutura	Impossibilidade de montagem
5	Travamento dos componentes dos sistemas mecânicos	Perda de funcionalidades
6	Incompatibilidade entre chassi e sistema de tração e manobrabilidade	Impossibilidade de montagem ou diminuição de funcionalidade
7	Incompatibilidade entre chassi e sistema de corte e regulagem de altura de corte	Impossibilidade de montagem
8	Incompatibilidade entre sistema de corte e regulagem de altura de corte	Diminuição de funcionalidade
9	Carroceria superior frágil	Quebra
10	Carroceria superior permeável à água	Risco de curto circuito
11	Torque do motor insuficiente na entrega da tração esperada	Diminuição da funcionalidade
12	Motor do sistema de corte com torque insuficiente	Diminuição da funcionalidade

Tabela 104 – Ações de Gestão dos Riscos de Estrutura.

ID	Tipo de Ação	Ação	Risco	Impacto	Prioridade
1	Prevenir	Simulação de esforços estáticos/escolha do material	2	4	8
2	Prevenir	Simulação de esforços estáticos/escolha do material	2	5	10
3	Evitar	Analisar a compatibilidade dos encaixes antes da montagem final	2	5	10
4	Evitar	Analisar a compatibilidade dos encaixes antes da montagem final	2	5	10
5	Prevenir	Simulação dinâmica/modelagem matemática	1	5	5
6	Evitar	Analisar a compatibilidade dos encaixes antes da montagem final	2	5	10
7	Evitar	Analisar a compatibilidade dos encaixes antes da montagem final	2	5	10
8	Evitar	Analisar a compatibilidade dos encaixes antes da montagem final	2	4	8
9	Prevenir	Escolha das especificações do material	1	4	4
10	Evitar	Vedaçāo dos pontos críticos	1	4	4
11	Prevenir	Adicionar fator de segurança/Integrar solução da Energia com dados da Estrutura	1	3	3
12	Prevenir	Adicionar fator de segurança/Integrar solução da Energia com dados da Estrutura	1	3	3

D.1.7 Software

A Tabela 105 traz os riscos que podem afetar os trabalhos do grupo de energia e suas consequências. A Tabela 106, por sua vez, enumera as probabilidades de ocorrência desses riscos e as ações a serem tomadas em relação a eles.

Tabela 105 – Riscos de Software.

ID	Risco	Consequência
1	Falha de conexão com a internet	Não comunicação com a API
2	Sobrecarga de API	Lentidão no carregamento de informações
3	Falha de segurança	Vazamento de dados do usuário
4	Falha na integração dos módulos	Não conexão com os micro-serviços

Tabela 106 – Ações de Gestão dos Riscos de Software.

ID	Tipo de Ação	Ação	Risco	Impacto	Prioridade
1	Prevenir	Armazenar dados offline	2	2	4
2	Prevenir	Uso de algoritmos de eficiência para os códigos	3	2	6
3	Evitar	Uso de sistemas de autenticação e conexão com o aparelho	1	2	2
4	Evitar	Preparar API para suportar as conexões entre sistemas	1	2	2

APÊNDICE E – Termo de Abertura do Projeto (TAP)

O processo de Iniciação do projeto compreende: o levantamento de requisitos, o Termo de Abertura do Projeto, a definição do Escopo, completado pela lista É/Não É. Abaixo, seguem os elementos componentes do processo de Iniciação na sequência com que foram desenvolvidos.

E.1 Requisitos que Satisfazem as Necessidades do Cliente

Por meio de pesquisas e uso da técnica de Brainstorming, foram levantados requisitos básicos iniciais capazes de satisfazer as necessidades de potenciais clientes do produto do presente projeto. São eles:

Corte de grama com lâmina afiada, para não danificar a vegetação;

Tração com boa manobrabilidade para contornar obstáculos;

Tração capaz de impulsionar o equipamento em terrenos com até 35º de inclinação;

Sistema de corte capaz de trabalhar com inclinação de até 35º;

Sistema de corte com regulagem da altura de corte;

Autonomia para trabalhar com a frequência semanal escolhida pelo usuário;

Aplicativo por meio do qual o usuário poderá inserir informações sobre a área de corte dentro da qual o aparelho poderá se movimentar;

Sistema antifurto com senha pessoal, para evitar que o equipamento seja furtado e utilizado em outro local, por outra pessoa;

Equipamento capaz de trabalhar sob sol e sob chuva moderada;

Equipamento capaz de trabalhar de forma aleatório, a fim de não criar caminhos sobre o gramado.

Deve-se atentar para o fato de que esses requisitos não são exaustivos e serão melhor detalhados no documento de Termo de Abertura do Projeto, que será descrito em capítulo específico.

E.2 Objetivo do Projeto

O principal objetivo do projeto consistirá no desenvolvimento de um cortador de grama automatizado, capaz de trabalhar em áreas de instituições públicas e privadas, com comunicação remota com sistema Mobile.

E.3 Propósito ou Justificação Do Projeto

O projeto se justifica perante a necessidade de instituições públicas e privadas, como escolas, hospitais, empresas, prefeituras, de manterem suas áreas verdes com nível de altura do gramado padronizado. Os custos desse tipo de manutenção nem sempre é acessível. Um cortador de grama autônomo poderia ajudar trabalhadores e instituições públicas e privadas e diminuiriam os custos de manutenção com suas áreas verdes, sem, no entanto, negligenciar os cuidados que áreas gramadas demandam.

E.4 Stakeholders do Projeto e os Seus Papéis e Responsabilidades

Alunos integrantes do projeto:

Engenharia Aeroespacial: Beatriz Carvalho, Bruna Lorrane, Gabriel Metre.

Engenharia Automotiva: João Marcos, Paulo Cezar.

Engenharia Eletrônica: Anna Maria (Trancou), Francileide Barreto, Gabriel Teixeira.

Engenharia de Energia: Karina Juli, Marina Crema, Paulo Eduardo.

Engenharia de Software: Alexandre Miguel, Guilherme Baldissera, Fabiana Luiza, Letícia Meneses, Renan Welz.

Professores:

Alex Reis (Engenharia de Energia)

Ricardo Matos Chaim (Engenharia de Software)

Rhander Viana (Engenharia Automotiva)

José Felício da Silva (Engenharia Eletrônica)

Paolo Gessini (Engenharia Aeroespacial)

Os potenciais clientes do projeto consistem de proprietários de residências com grandes gramados, instituições públicas e privadas, escolas, comércios, faculdades, prefeituras com áreas grandes cobertas por grama e que necessitam de manutenção constante.

E.5 Expectativas dos Stakeholders

As expectativas dos integrantes do projeto consistem na finalização do projeto dentro do prazo esperado e na entrega dos sistemas integrados compondo um produto funcional.

As expectativas dos professores consistem em receber o projeto de um produto dentro do prazo e cujas funcionalidades e requisitos de projeto sejam atendidos com a qualidade esperada.

As expectativas dos clientes em potencial consistem na possibilidade potencial de aquisição de um produto nacional, funcional e adquirido a um custo menor que os similares importados.

E.6 Identificação do Gestor do Projeto, e Nível de Autoridade do Gerente

Foi escolhido o aluno Paulo Cezar como coordenador geral do projeto, tendo como responsabilidades principais: atentar para os prazos de entregas das atividades, produzir condições para escrita do relatório, organizar e cobrar as subequipes, organizar as comunicações entre as equipes e integrantes e auxiliar nas relações com os professores.

E.7 Análise SWOT

Abaixo, segue análise de mercado realizada pela equipe, considerando produtos similares comercializados no mercado, as oportunidades do mercado em relação a cortadores de grama automatizados e as forças e fraquezas da equipe com relação ao desenvolvimento do produto com orientação para o mercado.

FORÇAS	FRAQUEZAS
Acesso a orientação de professores engenheiros.	Falta de experiência dos integrantes da equipe
Trabalho integrado de diversas engenharias para desenvolver o produto.	Falta de testes experimentais
Pessoal Motivado e com conhecimento atualizado em termos de software, eletrônica e métodos de simulação elétrica e mecânica	Orçamento relizado com base em preços ao consumidor do varejo
	Falta de conexão da equipe com o mercado ou distribuidor comercial do produto
	Custo da bateria pode encarecer o produto

Figura 142 – Análise SWOT Relativa ao Mercado: Forças e Fraquezas

OPORTUNIDADES	AMEAÇAS
	Produtos Concorrentes
Desenvolver cortador de grama autônomo a custo inferior aos vendidos no mercado.	Automover Husqvarna 105: 600 m2 - Inclinação max: 25º - 3 Lâminas, 61 dB(A), teclado com botões, display LCD, regulagem altura corte, alarme, R\$ 6.000,00, carregamento automático, tempo de carga 50 minutos, V = 0,6 m/s - autonomia
Não tem fabricantes nacionais de cortadore de grama autônomo. Os comercializados atualmente no país são importados.	Automover Husqvarna 310: 1000 m2 ou 70 min - Inclinação max: 40º - 3 Lâminas, 61 dB(A), teclado com botões, display LCD, regulagem altura corte, alarme, R\$ 7.100,00, carregamento automático, comunicação com smartphone, tempo de carga 1 hora, V = 1 m/s
Desenvolvimento tecológico de cortador de grama residencial poderá facilitar o desenvolvimento de cortador autônomo para uso em serviços públicos	Automover Husqvarna 430: 3200 m2 - Inclinação max: 45º - 3 Lâminas, 58 dB(A), teclado com botões, display LCD, regulagem altura corte, alarme, R\$ 9.300,00, carregamento automático, comunicação com smartphone, GPS, rastreador, tempo de carga 50 minutos, V = 1,53 m/s - capacidade
Mercado de cortador de grama autônomo elétrico ainda está em fase inicial de crescimento, permitindo a entrada de novos players com baixo investimento inicial em marketing	Automover Husqvarna 550: 5000 m2 - Inclinação max: 45º - 3 Lâminas, 58 dB(A), teclado com botões, display LCD, regulagem altura corte, alarme com senha, R\$ 17.500,00, carregamento automático, comunicação com smartphone, GPS, rastreador, tempo de carga 50 min, V = 1,65 m/s - capacidade
	Karcher RLM 4 : 500 m2 - Inclinação max: 24º - 4 Lâminas, 60 dB(A), teclado com botões, display LCD, regulagem altura corte, alarme com senha, R\$ 8.000,00, carregamento automático, comunicação com smartphone, - capacidade

Figura 143 – Análise SWOT Relativa ao Mercado: Oportunidades e Ameaças

E.8 Características de Grama por Espécie

Abaixo, a Tabela 107 apresenta alguns tipo de grama e suas características. Na Tabela 107, foram descritas informações sobre o tipo de emprego de cada espécie de grama, suas principais características e a altura recomendada para sua poda.

E.9 Cronograma Macro dos Marcos do Projeto

Abaixo, seguem os principais marcos temporais relacionados ao projeto. As datas correspondem às datas de envio dos Pontos de Controle, que deverá ocorrer até 5 dias antes da data de apresentação do relatório desenvolvido.

Tabela 108 – Cronograma dos Marcos do Projeto

MARCO	DESCRIÇÃO	DATA
PC1	Problematização, concepção e detalhamento da solução	03/09/2021
PC2	Projeto e construção dos subsistemas da solução da proposta	24/09/2021
PC3	Projeto de subsistemas e integração da solução proposta	29/10/2021

Tabela 107 – Tipos de grama

TIPOS DE GRAMAS	RECOMENDADA PARA	PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS	ALTURA DA PODA
Esmeralda	Paisagismo Obras Rodovias	Crescimento lento/Baixa manutenção Combate erosão Boa resistência ao pisoteio	3 a 5cm
Esmeralda Imperial	Paisagismo Obras Rodovias	Crescimento lento/Baixa manutenção Combate erosão Boa tolerância a seca Baixa exigência nutricional	3 a 5cm
São Carlos	Paisagismo Obras	Baixa frequência de manutenção Mantém coloração no inverno Boa adaptação em áreas semi-sombreadas Folha larga	5 a 8cm
Bermudas Tifway 419	Campos Esportivos	Crescimento rápido Exige menos podas verticais Boa resistência ao pisoteio	2 a 3cm
Bermudas Tifdwarf	Quadras de tênis Greens de campo de golfe	Resistente a podas frequentes e extremamente baixas Excelente superfície para jogos	3mm
Bermudas Celebration	Campos de Futebol	Crescimento rápido Rápida recuperação Excelente resistência ao pisoteio Excelente superfície para jogos	2 a 3cm
Zeon Zoysia	Paisagismo Obras	Crescimento lento/Baixa manutenção Gramado mais denso Folhas finas e com coloração mais escura	3 a 5cm
Geo Zoysia	Paisagismo Obras	Crescimento lento/Baixa manutenção Visual de campo de Golfe Boa tolerância a solos salinos Maior resistência a doenças fúngicas Folhas mais finas e com coloração mais escura	3 a 5cm
Sunday	Quadras de tênis Greens de campo de golfe	Resistente a podas baixas Alta resistência a doenças Não sofre mutação Alta velocidade de jogo Proporciona gramados de alta performance com baixa manutenção	2mm
Latitude 36	Campos de Futebol Campos de Golfe	Crescimento rápido Uma nova variação da família Bermudas Excelente superfície para jogos Extremamente resistente a doenças	15mm

E.10 Premissas Organizacionais

Toda a equipe se comprometerá a trabalhar em comum acordo e harmonia, com respeito mútuo entre si e no relacionamento com os professores, apresentando relatórios de avanço, acatando sugestões e ditando suas ações com base nas regras da universidade.

Parte-se, ainda, do pressuposto de que o projeto de cortador de grama deverá ter ampla aplicação em áreas públicas e privadas, aumentando o leque de aplicação social do produto.

E.11 Restrições Organizacionais

As principais restrições limitantes da Equipe do projeto consistem no prazo curto, na falta de possibilidade de realização de testes experimentais e na impossibilidade de desenvolvimento de protótipo, para se poder validar o produto final.

E.12 Investimento

O projeto não será prototipado. Portanto, não haverá delimitação de orçamento preliminar restritivo. O custo e orçamento do projeto serão delimitados ao longo dos trabalhos e descritos em capítulo à parte.

E.13 Restrições e Riscos

As restrições do projeto consistirão na delimitação da área de trabalho do produto a ser desenvolvido. O produto deverá poder ser utilizado em áreas residenciais e áreas públicas de instituições públicas e privadas. Entretanto, sua atuação não se estenderá para canteiros de rodovias, sítios ou chácaras.

Os riscos do projeto serão abordados em capítulo à parte.

E.14 Descrição do(s) Subproduto(s) Identificado(s)

Os subprodutos produzidos consistirão em: aplicativo de comunicação com o cortador de grama, estrutura com carroceria, sistema de tração e manobrabilidade, sistema de corte com regulagem automática e sistema eletroeletrônico.

APÊNDICE F – CRONOGRAMA GERAL

Abaixo, segue o cronograma geral do projeto dividido em 5 figuras, de modo a facilitar a exposição e visualização de cada parte do cronograma.

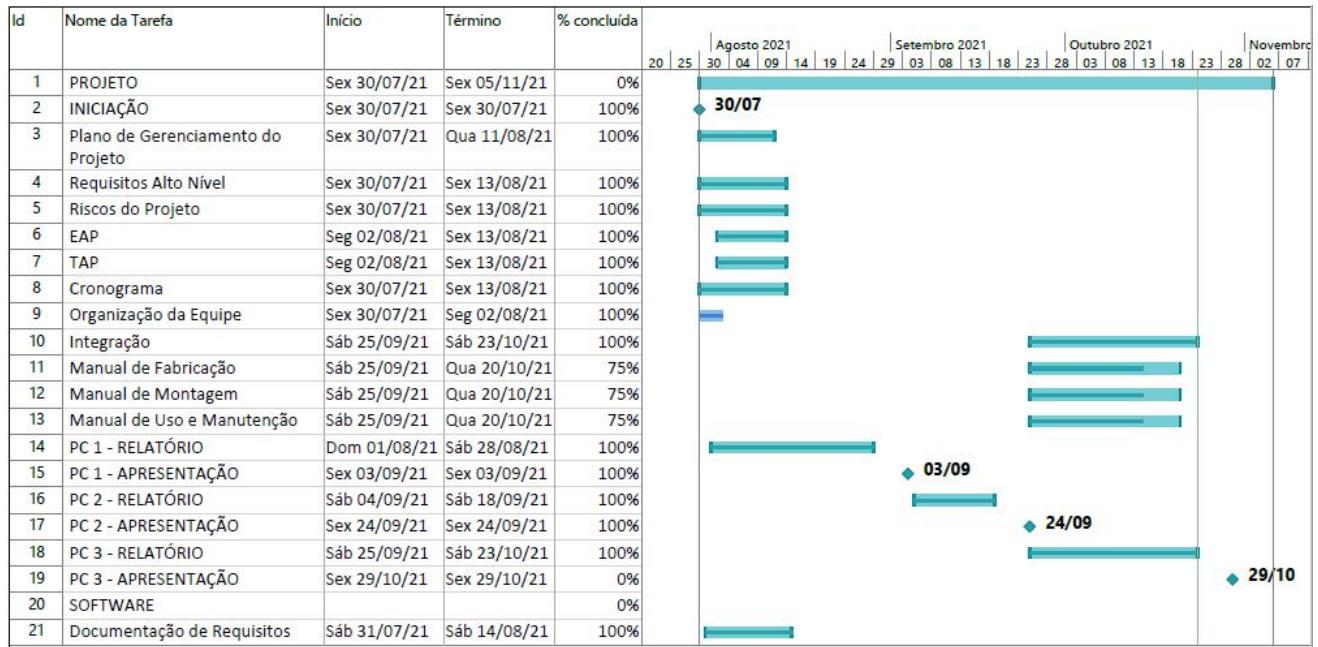


Figura 144 – Cronograma Geral 1.

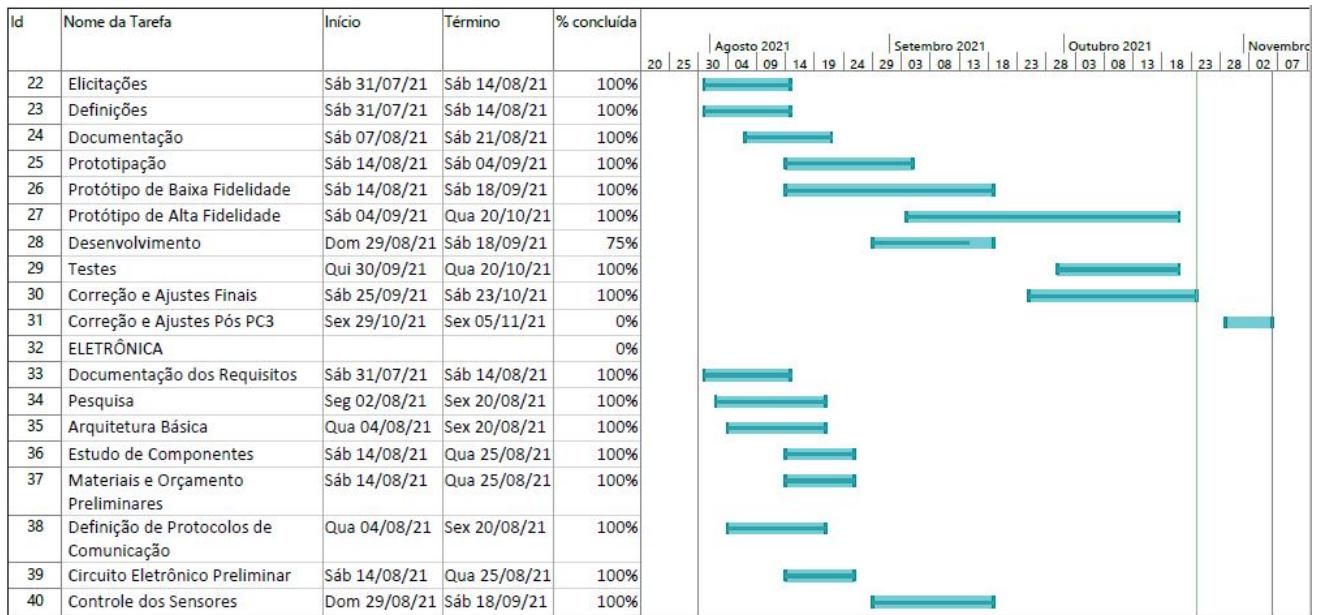


Figura 145 – Cronograma Geral 2.

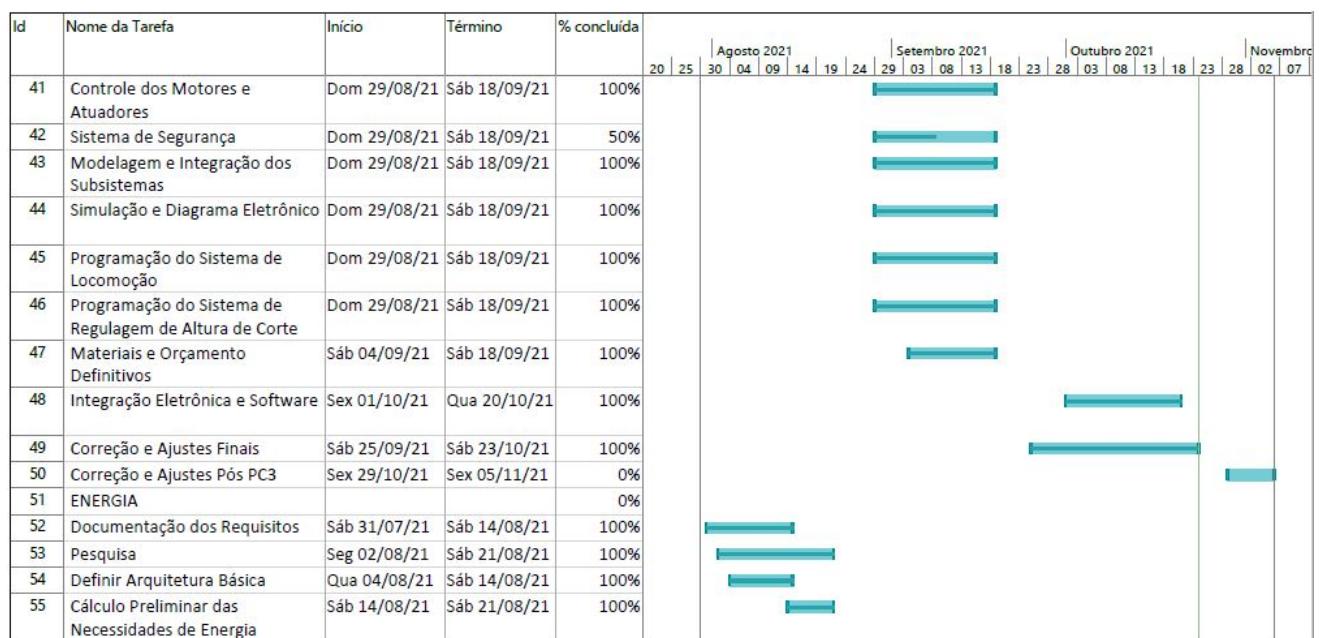


Figura 146 – Cronograma Geral 3.

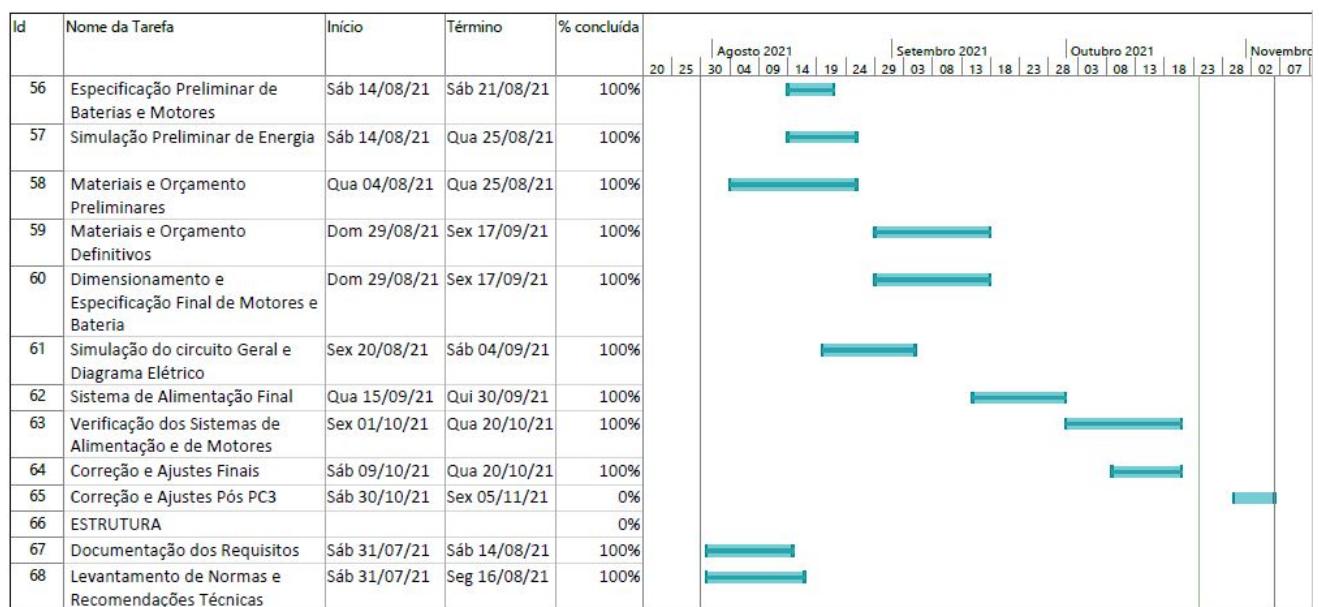


Figura 147 – Cronograma Geral 4.

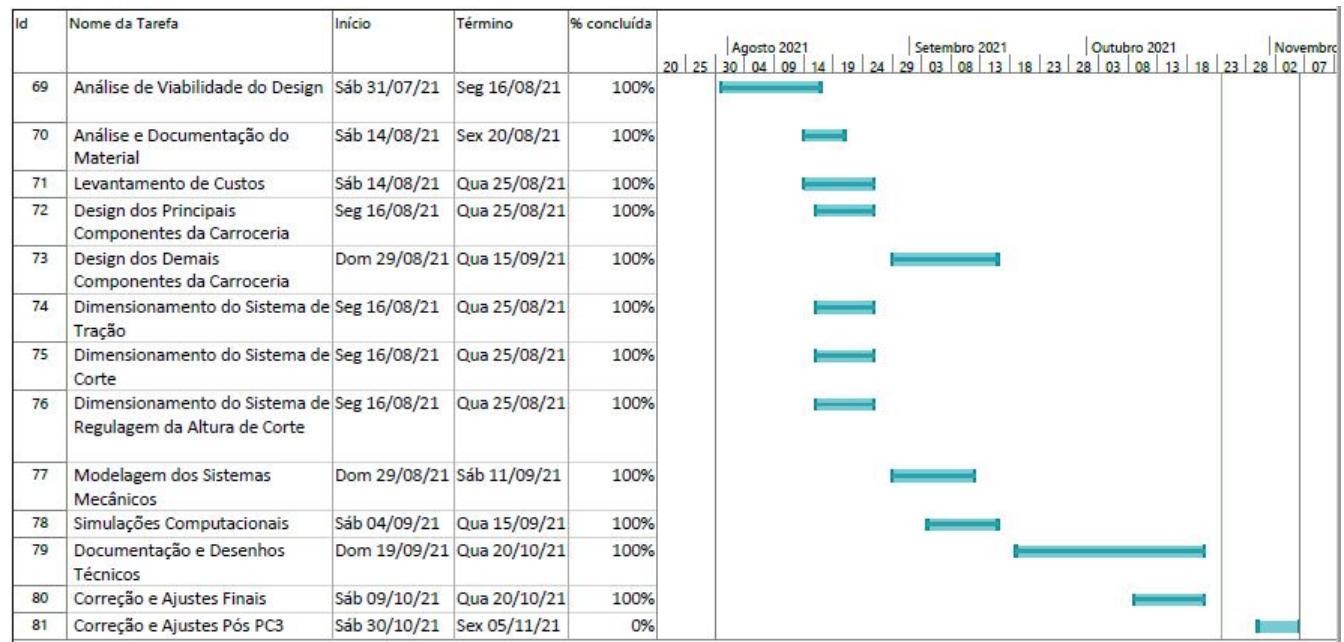


Figura 148 – Cronograma Geral 5.

APÊNDICE G – Reuniões



Figura 149 – Fluxo de reuniões.

REUNIÃO	DIA DA SEMANA	HORA
GERAL	Sexta	19:30
DIRETORIA	Terça	20:00
ELETROELETRÔNICA	Sábado	10:00
SOFTWARE	Quarta	20:00
ESTRUTURA	Quarta	16:00

Figura 150 – Horários das Reuniões Semanais

APÊNDICE H – EAP da Parte Estrutural do Projeto

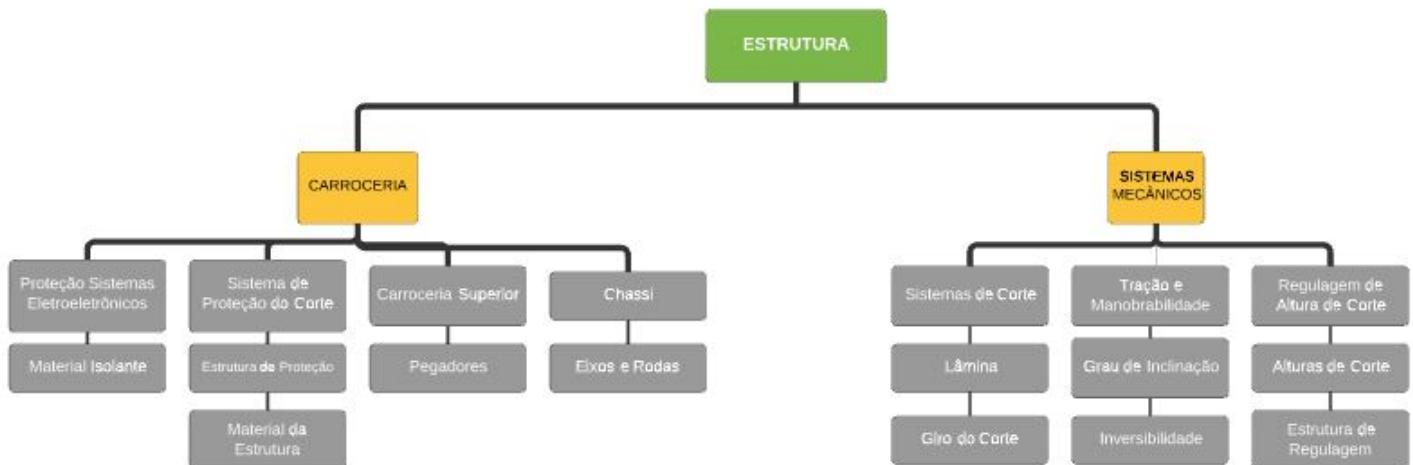


Figura 151 – EAP da Parte Estrutural do Projeto

APÊNDICE I – EAP da Parte Eletrônica do Projeto

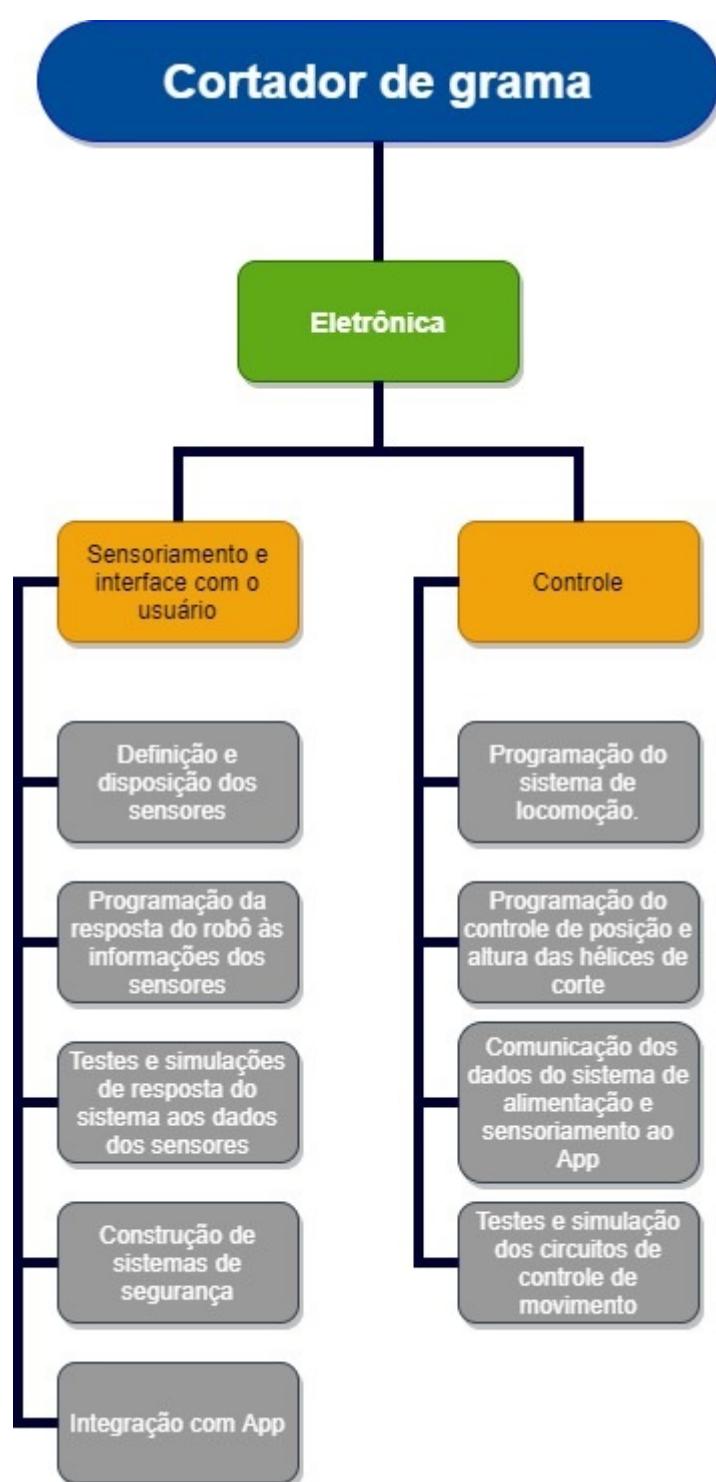


Figura 152 – EAP da Parte Eletrônica do Projeto

APÊNDICE J – EAP da Parte de Energia do Projeto



Figura 153 – EAP da Parte de Energia do Projeto

APÊNDICE K – EAP da Parte de Software do Projeto

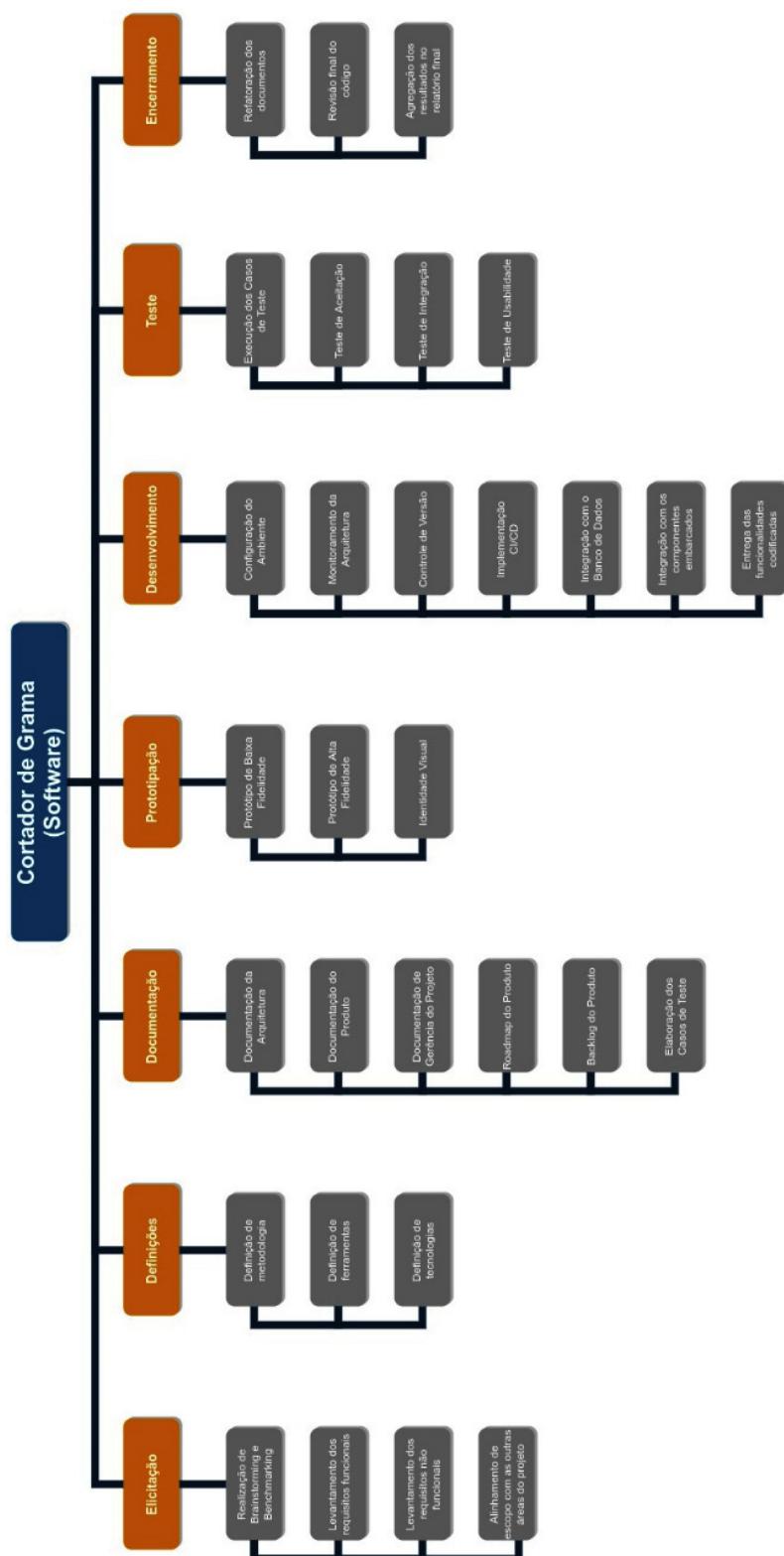


Figura 154 – EAP da Parte de Software do Projeto

APÊNDICE L – Contribuições Por Integrante Referente ao PC1

Tabela 109 – Contribuições Por Integrante Referente ao PC1.

Nome	Engenharia	Função	Contribuição
Paulo Cezar da Silva	Automotiva	Coordenador Geral	Plano de Gerenciamento do Projeto. Gerenciamento das atividades da equipe. Verificação do andamento do projeto. Coordenação dos recursos humanos, validação das entregas em relação aos requisitos e fiscalização dos prazos de entrega. Acompanhamento da integração das equipes e do processo de integração dos subsistemas quem compõem o produto desde o início de seu desenvolvimento. Desenvolvimento da documentação do projeto, coordenação do e auxílio no desenvolvimento do relatório final. Desenvolvimento do CAD da carroceria, construção da matriz de decisão de materiais e escolha de materiais para esse subsistema. Documentação da solução de estrutura e auxílio na escrita do relatório do grupo de estrutura.
Francileide Barreto Silva	Eletrônica	Diretora de Qualidade	Auxílio na produção de documentação de gerenciamento e na escrita do relatório. Auxílio no desenvolvimento do sistema de corte em eletrônica.
Alexandre Miguel Rodrigues Nunes Pereira	Software	Diretor Software	Gerenciamento das atividades do grupo de software. Verificação do andamento dos trabalhos do grupo de software. Documentação de software e auxílio na escrita do relatório. Análise e definição de requisitos de software, análise junto à eletrônica dos meios de integração.

Continua na página seguinte...

Tabela 109 Continuação

Nome	Engenharia	Função	Contribuição
Bruna Lorrane Jardim Ribeiro	Aeroespacial	Diretora de Estruturas	Levantamento de norma técnica, levantamento e especificação de materiais, levantamento de custos de estruturas, auxílio na produção de documentação e escrita do relatório. Gerenciamento das atividades do grupo de estruturas. Verificação do andamento dos trabalhos do grupo de estruturas. Gravação e edição do Vídeo de Apresentação.
Gabriel Teixeira Brasil	Eletrônica	Diretor de Eletroeletrônica	Gerenciamento das atividades do grupo de eletroeletrônica. Verificação do andamento dos trabalhos do grupo de eletroeletrônica. Documentação de eletroeletrônica e auxílio na escrita do relatório. Selecionou motores, atuadores e sensores.
Marina Crema Duarte	Energia	Desenvolvedora	Dimensionamento da bateria. Realização do cálculo de autonomia do sistema. Busca embasamento normativo. Auxílio na documentação dos resultados em energia e confecção do relatório. Análise dos sistemas de controle de carga da bateria.
Anna Maria Lima da Silva	Eletrônica	Desenvolvedora	Não realizou entregas.
Fabiana Luiza Vasconcelos Pfeilsticker Ribas	Software	Desenvolvedora	Auxílio na produção de documentação de software e na escrita do relatório. Escolha da paleta de cores. Desenvolvimento do logo do projeto, desenvolvimento de protótipo de alta fidelidade, identificação dos custos e riscos da área de software.
Gabriel Metre Resende	Aeroespacial	Desenvolvedor	Desenho do CAD das rodas. CAD do sistema de corte. CAD do sistema de regulagem da altura de corte.

Continua na página seguinte...

Tabela 109 Continuação

Nome	Engenharia	Função	Contribuição
Guilherme Baldissera	Software	Desenvolvedor	Auxílio na produção de documentação de software e na escrita do relatório, nos tópicos de Arquitetura, bancos de dados e outros serviços. Elaboração do diagrama de arquitetura de comunicação de software.
João Marcos Hilário Barcelos Júnior	Automotiva	Desenvolvedor	Projetou o chassi e o sistema de tração e manobrabilidade. Levantamento de justificativas, afixações e materiais para os dois subsistemas estruturais. Construção de matriz de decisão dos sistemas analisados. CAD do chassi e do sistema de tração e manobrabilidade. Montagem do produto final completo em Assembly. Levantamento de necessidade de potência e torque preliminar. Auxílio na produção de documentação e escrita do relatório.
Karina Juli Alves Feitosa	Energia	Desenvolvedora	Estudo dos sistemas de carregamento. Auxílio no desenvolvimento do relatório e documentação de resultados. Cálculo de tempo de carregamento.
Letícia Meneses Bandeira da Silva	Software	Desenvolvedora	Auxílio na produção de documentação de software e na escrita do relatório, desenvolvimento de protótipo de alta fidelidade, identificação dos custos e riscos da área de software.
Paulo Eduardo de Sousa Fernandes	Energia	Desenvolvedor	Definição da bateria e sistemas de alimentação no robô. Cálculo de autonomia do projeto. Definição de circuitos reguladores no âmbito de energia. Escrita e documentação dos resultados no relatório.
Renan Welz Schadt	Software	Desenvolvedor	Auxílio na produção de documentação de software e na escrita do relatório. Análise e definição de requisitos de software. Análise e definição dos algoritmos de possível aplicação para controle e definição de rotas do cortador.

Continua na página seguinte...

Tabela 109 Continuação

Nome	Engenharia	Função	Contribuição
Beatriz Carvalho Wang	Aeroespacial	Desenvolvedora	Projeto do sistema de corte e do sistema de regulagem da altura de corte do cortador. Levantamento das justificativas, especificações e componentes a serem comprados. Auxílio na produção da documentação e escrita do relatório.

APÊNDICE M – Contribuições Por Integrante Referente ao PC2

Tabela 110 – Contribuições Por Integrante Referente ao PC2.

Nome	Engenharia	Função	Contribuição
Paulo Cezar da Silva	Automotiva	Coordenador Geral	Verificação do andamento do projeto. Coordenação dos recursos humanos, validação das entregas em relação aos requisitos e fiscalização dos prazos de entrega. Acompanhamento da integração das equipes e do processo de integração dos subsistemas quem compõem o produto. Desenvolvimento da documentação, coordenação do e auxílio no desenvolvimento do relatório final. Design, escolha de materiais, dimensionamento e simulações da carroceria e da caixa traseira. Ajuda na escrita do relatório.
Francileide Barreto Silva	Eletrônica	Diretora de Qualidade	Ajuda na escrita do relatório e desenvolveu sistema de corte.
Alexandre Miguel Rodrigues Nunes Pereira	Software	Diretor de Software	Gerenciamento das atividades do grupo de software. Verificação do andamento dos trabalhos do grupo de software. Documentação de software e auxílio na escrita do relatório.
			Continua na página seguinte...

Tabela 110 Continuação

Nome	Engenharia	Função	Contribuição
Bruna Lorrane Jardim Ribeiro	Aeroespacial	Diretora de Estruturas	Levantamento e especificação de materiais, levantamento de custos de estruturas. Pesquisa e dimensionamento de laminação de vidro com resina. Gerenciamento das atividades do grupo de estruturas. Verificação do andamento dos trabalhos do grupo de estruturas e auxílio na escrita do relatório. Gravação e edição do Vídeo de Apresentação.
Gabriel Teixeira Brasil	Eletrônica	Diretor de Eletroeletrônica	Gerenciamento das atividades do grupo de eletroeletrônica. Verificação do andamento dos trabalhos do grupo de eletroeletrônica. Documentação de eletroeletrônica e auxílio na escrita do relatório.
Marina Crema Duarte	Energia	Desenvolvedora	Realizou o dimensionamento dos fios, auxiliou no desenvolvimento das simulações em energia, responsável pela escrita do relatório.
Anna Maria Lima da Silva	Eletrônica	Desenvolvedora	TRANCOU.
Fabiana Luiza Vasconcelos Pfeilsticker Ribas	Software	Desenvolvedora	Desenvolvimento de códigos iniciais do aplicativo mobile, diagramação de pacotes estruturais, diagrama de pacotes por funcionalidades e diagramação de casos de uso.
Gabriel Metre Resende	Aeroespacial	Desenvolvedor	Auxílio na escrita do relatório. Análise modal do Sistema de Corte e Regulagem de Altura. Desenho do CAD das molas, suporte do motor. Draftings do Sistema de Corte e Regulagem altura.
Guilherme Baldissera	Software	Desenvolvedor	Desenvolvimento de códigos iniciais da API Gateway, Módulo de usuário, Diagramação de controle CD/CD, documentação desse fluxo de usuário e Diagramação de Gitflow.

Continua na página seguinte...

Tabela 110 Continuação

Nome	Engenharia	Função	Contribuição
João Marcos Hilário Barcelos Júnior	Automotiva	Desenvolvedor	Auxílio na escrita do relatório. Dimensionamento, desenhos de CAD, desenhos técnicos, modelagem matemática e simulações do chassi e do sistema de redução.
Karina Juli Alves Feitosa	Energia	Desenvolvedora	Desenvolveu um circuito de carregamento para a bateria e construiu simulações desse circuito, auxílio na escrita do relatório.
Letícia Meneses Bandeira da Silva	Software	Desenvolvedora	Desenvolvimento de códigos iniciais do aplicativo mobile, diagramação de pacotes estruturais, diagrama de pacotes por funcionalidades e diagramação de casos de uso.
Paulo Eduardo de Sousa Fernandes	Energia	Desenvolvedor	Desenvolvimento de circuitos de detecção de nível da bateria, simulações dos circuitos de alimentação, Auxílio na escrita do relatório.
Renan Welz Schadt	Software	Desenvolvedor	Estudo, compreensão e descrição dos algoritmos a serem implementados no controle de área de corte percorrida pelo sistema, bem como a diagramação desses algoritmos e das etapas executadas.
Beatriz Carvalho Wang	Aeroespacial	Desenvolvedora	Dimensionamento das molas de sustentação do <i>deck</i> . Cálculo dos momentos de reação nas guias lineares. Cálculo de esforços no <i>deck</i> (simulação estática). Processo de fabricação do sistema de corte e ajuste. Auxílio na escrita do relatório.

APÊNDICE N – Contribuições Por Integrante Referente ao PC3

Tabela 111 – Contribuições Por Integrante Referente ao PC3.

Nome	Engenharia	Função	Contribuição
Paulo Cezar da Silva	Automotiva	Coordenador Geral	Verificação do andamento do projeto. Coordenação dos recursos humanos, validação das entregas em relação aos requisitos e fiscalização dos prazos de entrega. Acompanhamento da integração das equipes e do processo de integração dos subsistemas quem compõem o produto. Desenvolvimento da documentação, coordenação e auxílio no desenvolvimento do relatório final. Desenhos técnicos, escolha de materiais, da carroceria e da caixa traseira. Desenvolvimento do diagrama de integração, desenvolvimento e acompanhamento das especificações em relação a ruídos sonoros. Ajuda na escrita do relatório. Auxílio na escrita do manual de montagem, do manual de fabricação e do manual do usuário. Escrita do plano de testes gerais e de estruturas.
Francileide Barreto Silva	Eletrônica	Desenvolvedora	Ajuda na escrita do relatório e desenvolveu sistema de corte e de ajuste da altura de corte.
Alexandre Miguel Rodrigues Nunes Pereira	Software	Diretor de Software	Gerenciamento das atividades do grupo de software. Verificação do andamento dos trabalhos do grupo de software. Documentação de software e auxílio na escrita do relatório. Desenvolvimento dos códigos de integração com os sensores embarcados em eletrônica, adições nos manuais de
Continua na página seguinte...			

Tabela 111 Continuação

Nome	Engenharia	Função	Contribuição
Bruna Lorrane Jardim Ribeiro	Aeroespacial	Diretora de Estruturas	Especificação de materiais e levantamento de custos de estruturas. Escrita do manual do usuário, auxílio no desenvolvimento do manual de montagem e fabricação. Dimensionamento dos parafusos. Gerenciamento das atividades do grupo de estruturas. Verificação do andamento dos trabalhos do grupo de estruturas e auxílio na escrita do relatório. Revisão e correção do Ponto de Controle 3. Gravação e edição do Vídeo de Apresentação.
Gabriel Teixeira Brasil	Eletrônica	Diretor de Eletroeletrônica	Gerenciamento das atividades do grupo de eletroeletrônica. Verificação do andamento dos trabalhos do grupo de eletroeletrônica. Documentação de eletroeletrônica e auxílio na escrita do relatório. Desenvolvimento dos circuitos e códigos de controle, e auxílio no dimensionamento de motores.
Marina Crema Duarte	Energia	Desenvolvedora	Realizou o dimensionamento dos fios, responsável pela escrita do relatório. Auxílio na escrita do plano de testes.
Anna Maria Lima da Silva	Eletrônica	Desenvolvedora	TRANCOU.
Fabiana Luiza Vasconcelos Pfeilsticker Ribas	Software	Desenvolvedora	Desenvolvimento de códigos do aplicativo mobile, elaboração do protótipo de alta fidelidade, criação do plano de teste, criação da identidade visual e contribuições no manual de usuário
Gabriel Metre Resende	Aeroespacial	Desenvolvedor	Simulação do Deck. Desenhos técnicos das cases dos componentes eletroeletrônicos. Auxílio na emissão de desenhos para os manuais de montagem e de fabricação. Auxílio na produção de gifts para o vídeo propaganda do projeto.
Continua na página seguinte...			

Tabela 111 Continuação

Nome	Engenharia	Função	Contribuição
Guilherme Baldissera	Software	Desenvolvedor	Desenvolvimento de códigos da API Gateway. Revisão da documentação. Desenvolvimento do manual de instalação e configuração do API gateway.
João Marcos Hilário Barcelos Júnior	Automotiva	Diretor de Qualidade	Auxílio na escrita do relatório. Desenhos técnicos do chassi, do sistema de redução, do sistema de corte, de componentes eletrônicos e auxílio na emissão de desenhos para os manuais. Escrita de manual de fabricação e de montagem.
Karina Juli Alves Feitosa	Energia	Desenvolvedora	Finalização do Diagrama Unifilar, auxílio na escrita do relatório, auxílio na escrita do manual de montagem e do usuário. Auxílio na criação dos manuais de montagem, de fabricação e do usuário.
Letícia Meneses Bandeira da Silva	Software	Desenvolvedora	Desenvolvimento de códigos do aplicativo mobile, elaboração do protótipo de alta fidelidade, criação do plano de teste, criação da identidade visual e contribuições no manual de usuário.
Paulo Eduardo de Sousa Fernandes	Energia	Desenvolvedor	Desenvolvimento de circuitos de detecção de nível da bateria, finalização do dimensionamento dos motores de corte e de tração. Auxílio na escrita do relatório.
Renan Welz Schadt	Software	Desenvolvedor	Desenvolvimento e implementação de códigos do algoritmos a serem implementados no controle de área de corte percorrida pelo sistema, revisão do relatório, descrição dos manuais de Instalação.
Beatriz Carvalho Wang	Aeroespacial	Desenvolvedora	Ajuda na escrita do relatório. Finalização do sistema de corte, do dimensionamento do motor de passo e dos motores de corte. Auxílio na escrita do manual de montagem e no manual de fabricação.

APÊNDICE O – Layout Dos circuitos Drivers de Locomoção

As Figuras 155 e 157, abaixo, apresentam a placa em desenvolvimento no software *Altium Designer*. O desenho também foi estilizado com o nome do projeto e furos de fixação com tamanho M3, para encaixe na estrutura.

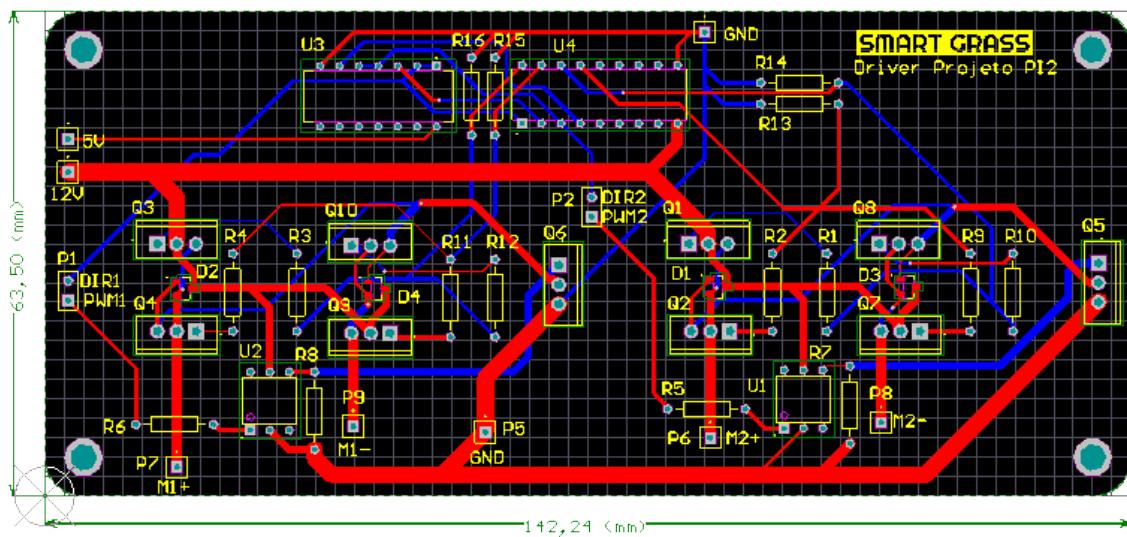


Figura 155 – Detalhamento do layout do circuito *driver* dos motores DC de locomoção.

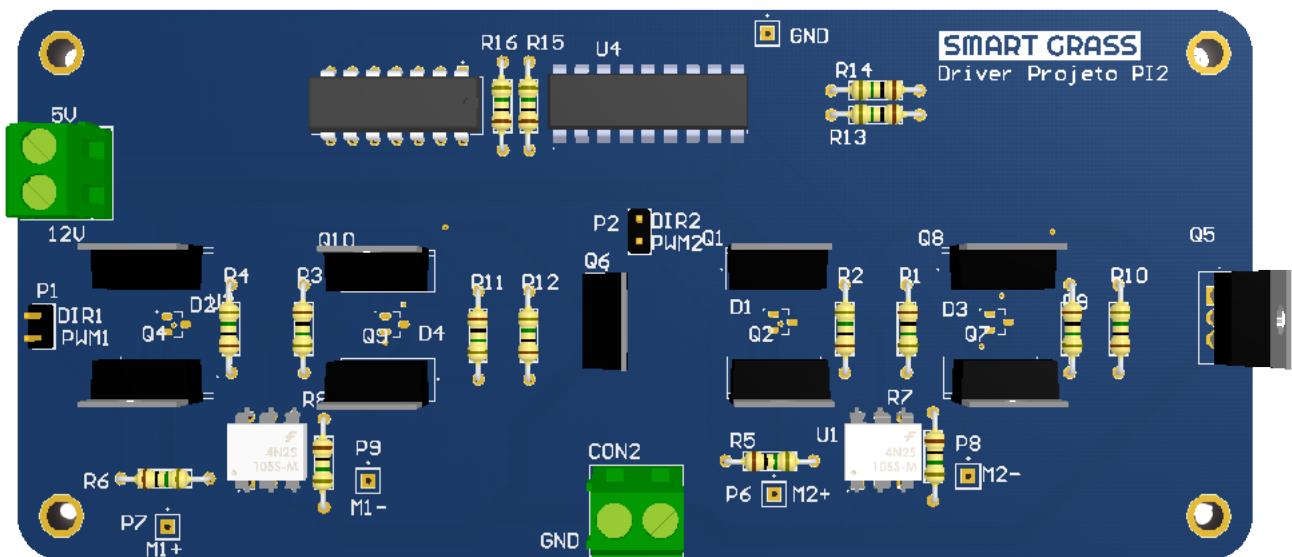


Figura 156 – Vista da placa do circuito *driver* dos motores DC de locomoção em 3 dimensões.

APÊNDICE P – Layout da Fonte de 5V

A Figura 157 apresenta o desenvolvimento da placa da fonte de 5v no software *Altium Designer*. Foram incluídos no desenho o nome do projeto e quatro furos de fixação com tamanho M3, para encaixe na estrutura.

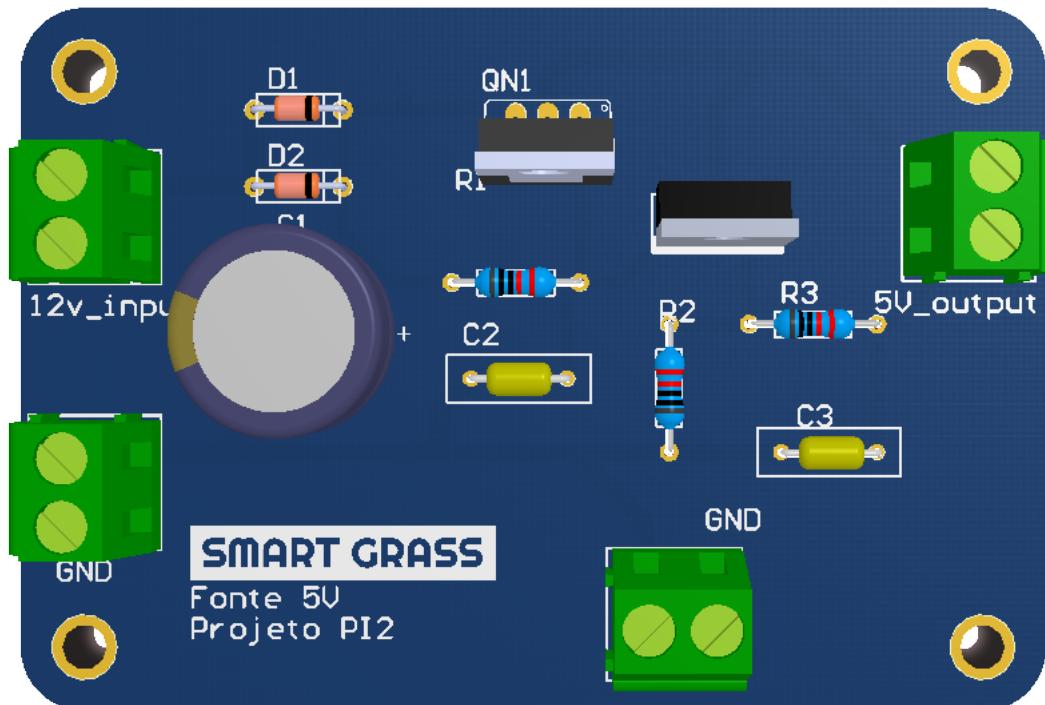
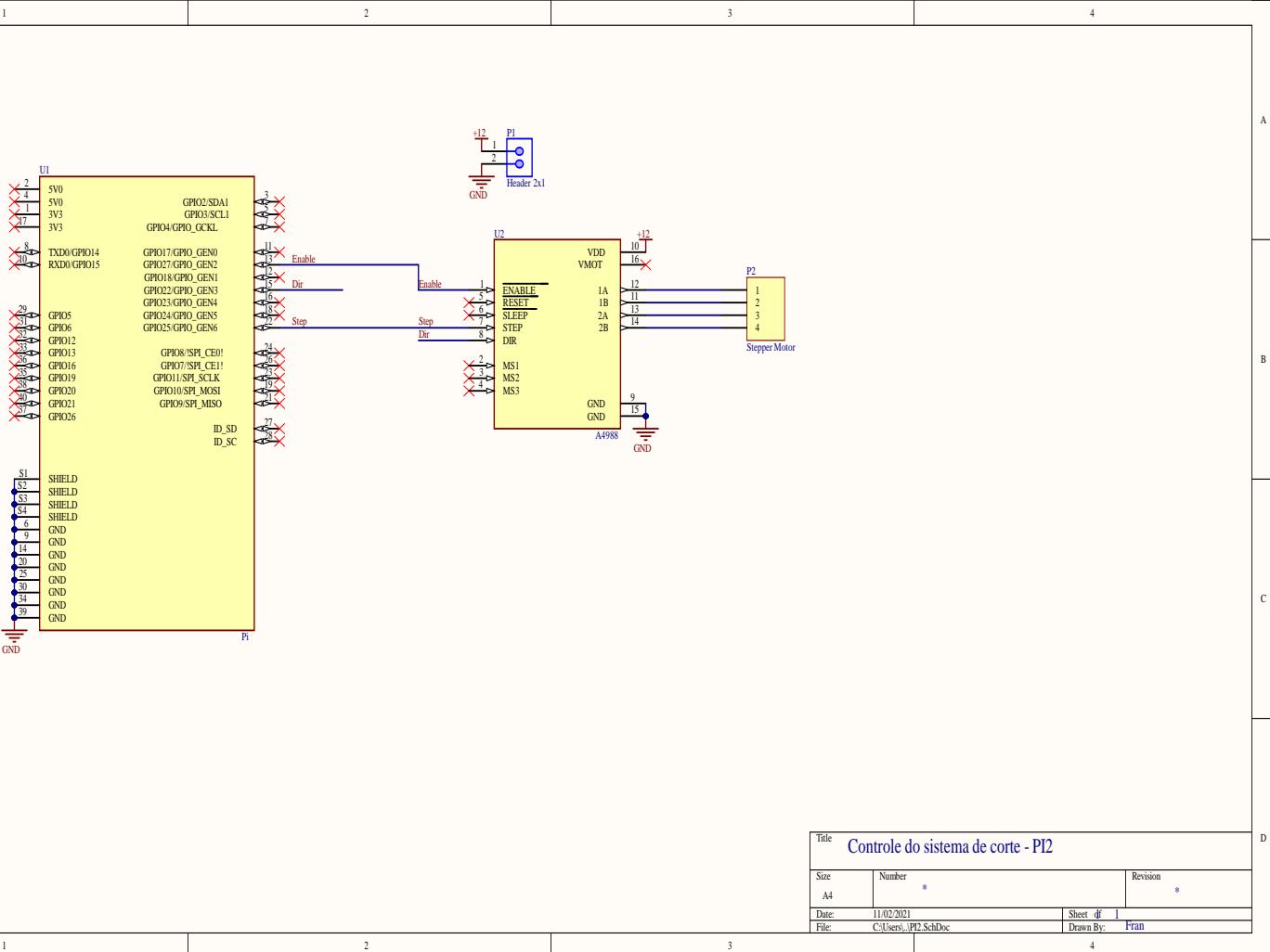


Figura 157 – Vista em 3 dimensões da placa do circuito que regula a tensão da bateria.

APÊNDICE Q – Controle do Sistema de Corte



APÊNDICE R – Desenho

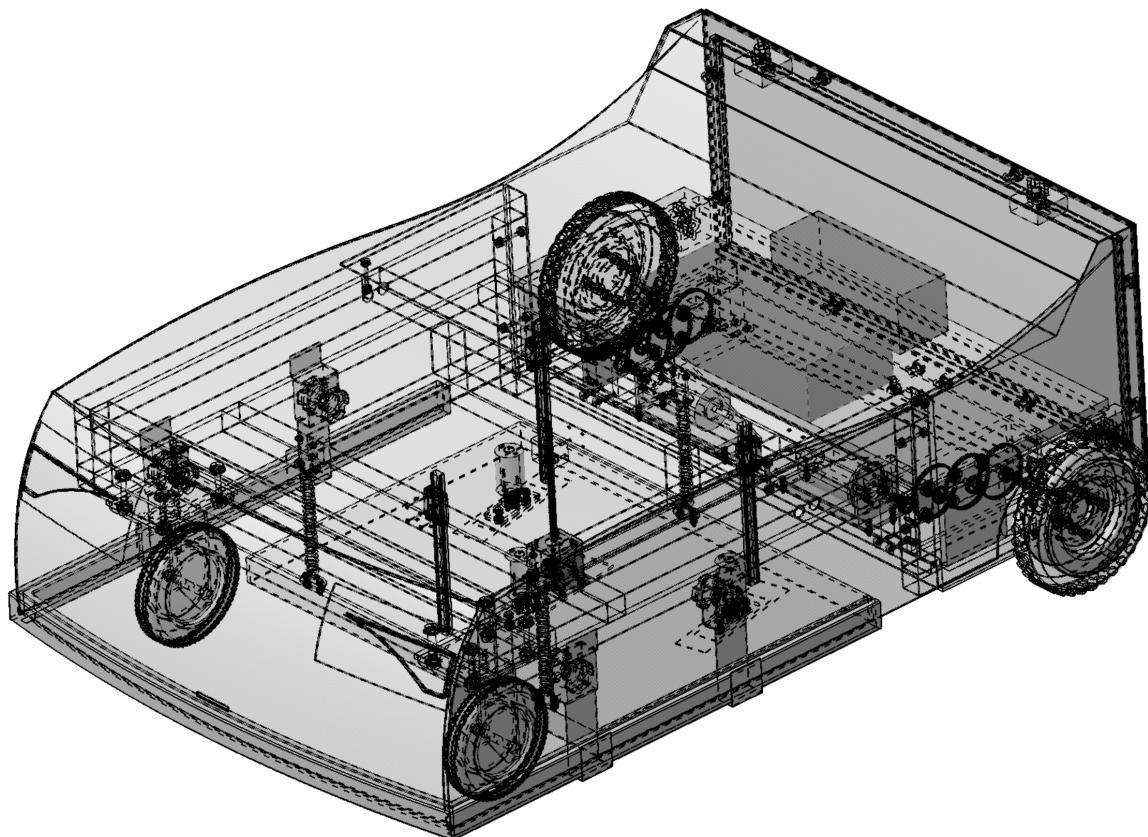


Figura 158 – Cortador de Grama Smart Grass.

APÊNDICE S – Desenhos Técnicos

S.1 Chassi

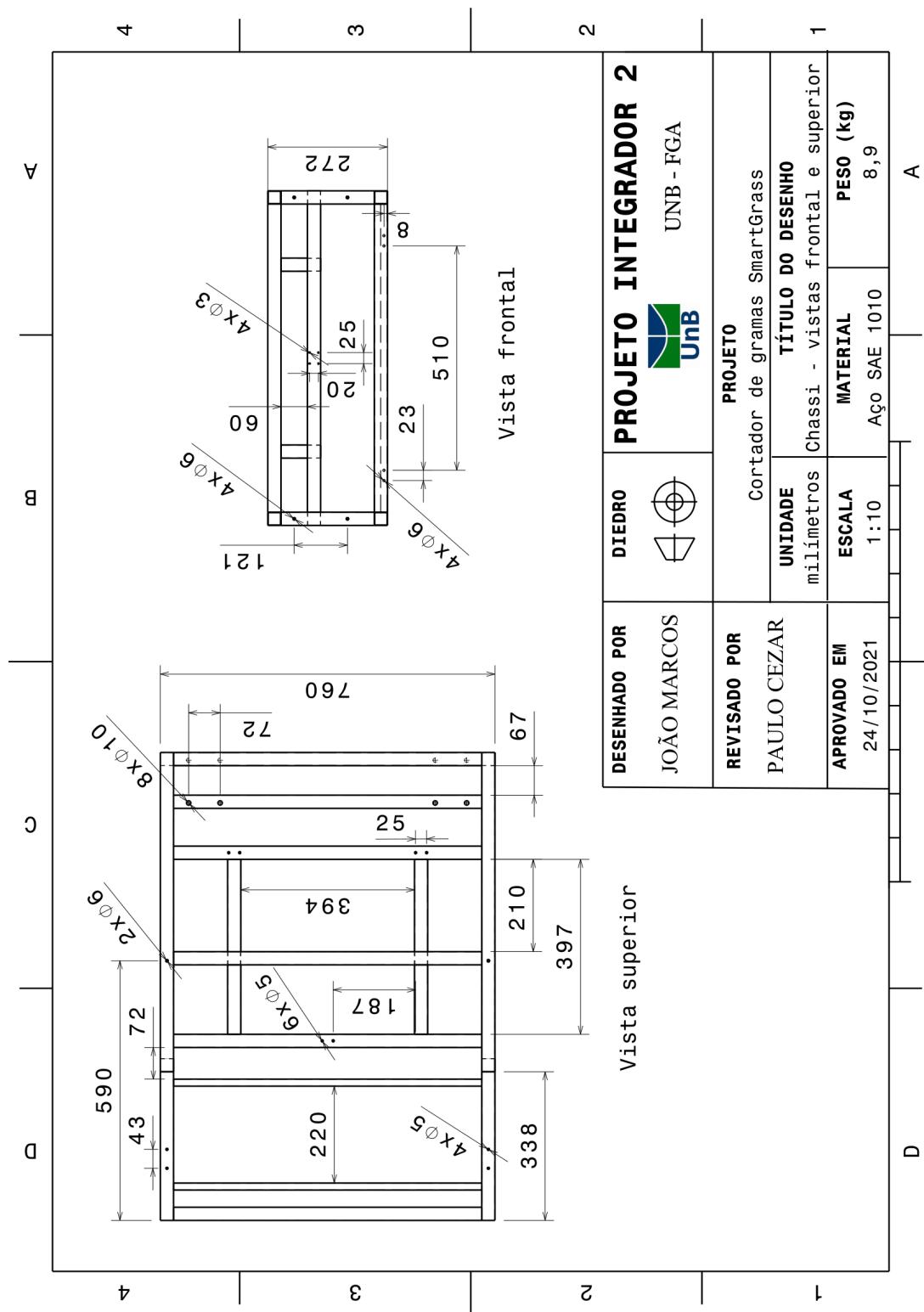


Figura 159 – Desenho Técnico do Chassi com a vista frontal superior.

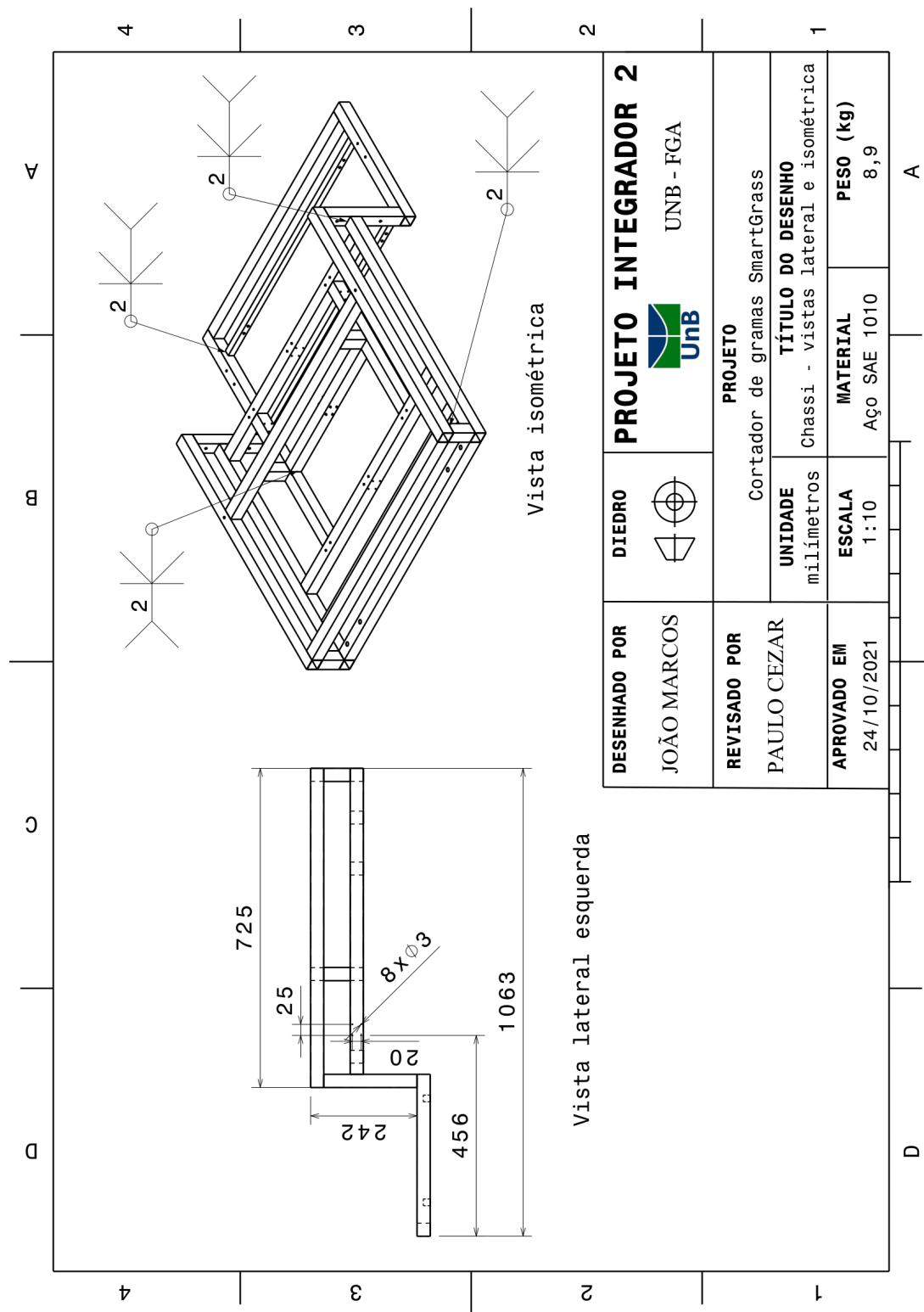


Figura 160 – Desenho Técnico do Chassi com a vista lateral.

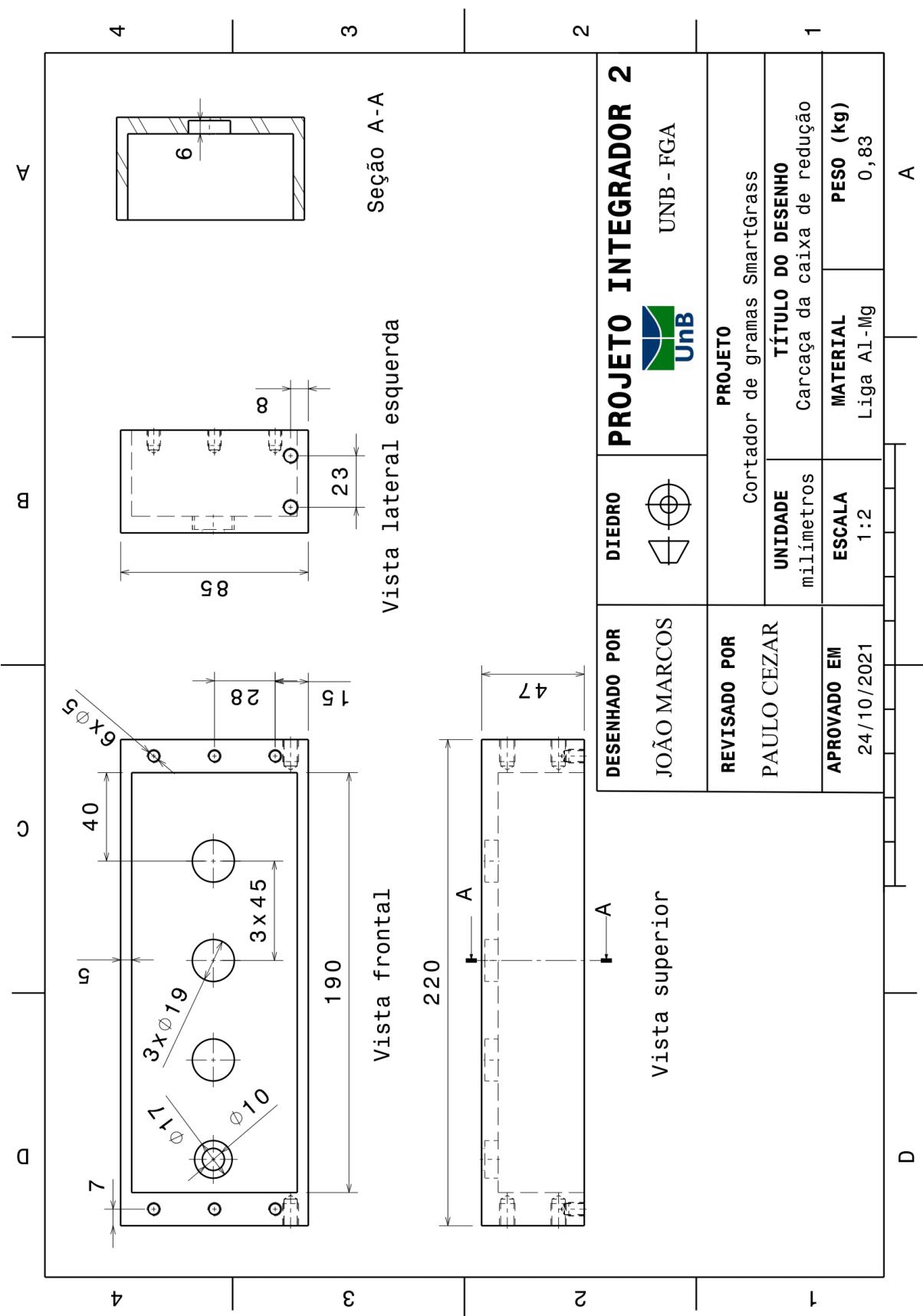


Figura 161 – Desenho Técnico da Carcaça da Caixa de Redução.

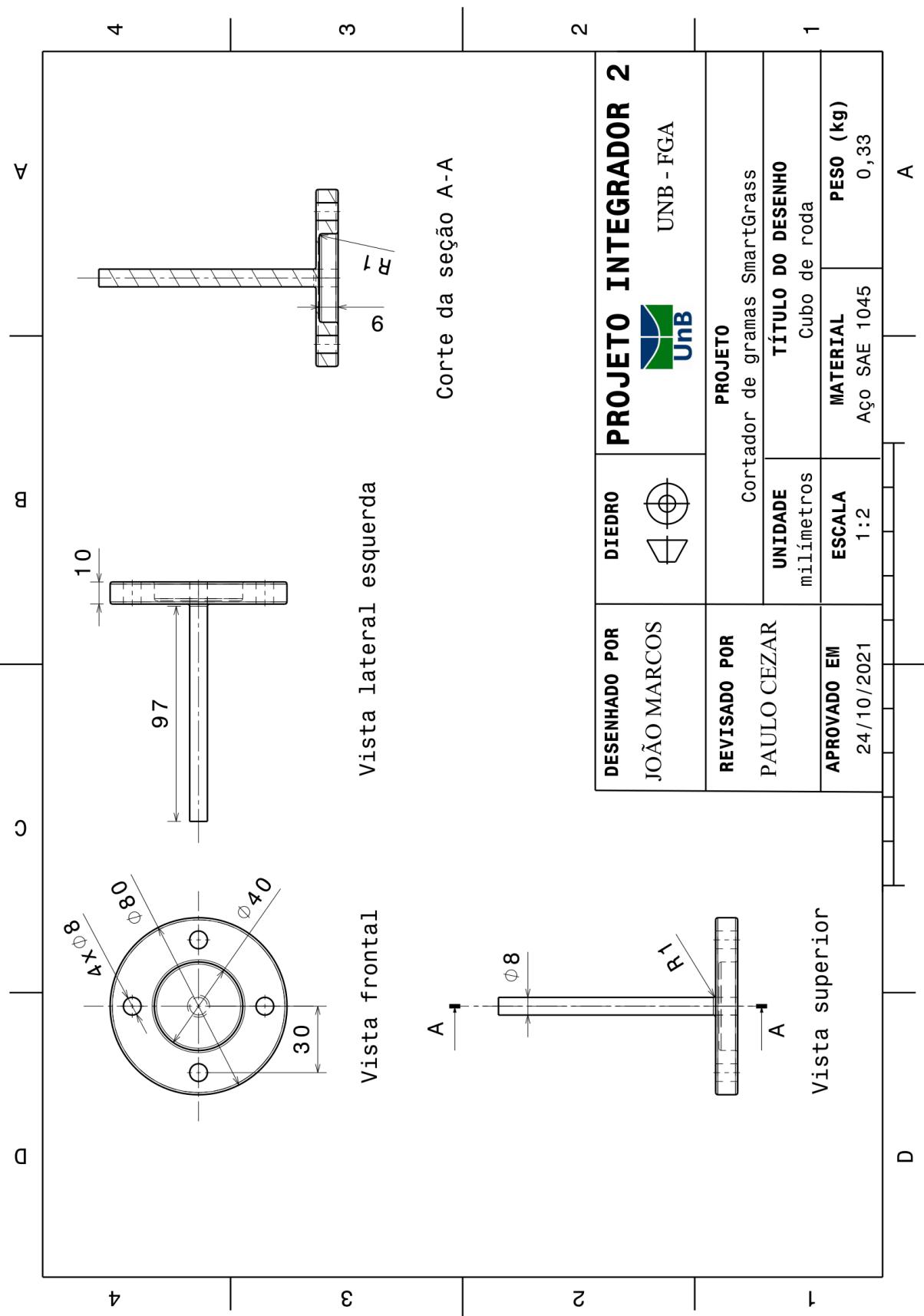


Figura 162 – Desenho Técnico do Cubo de Roda.

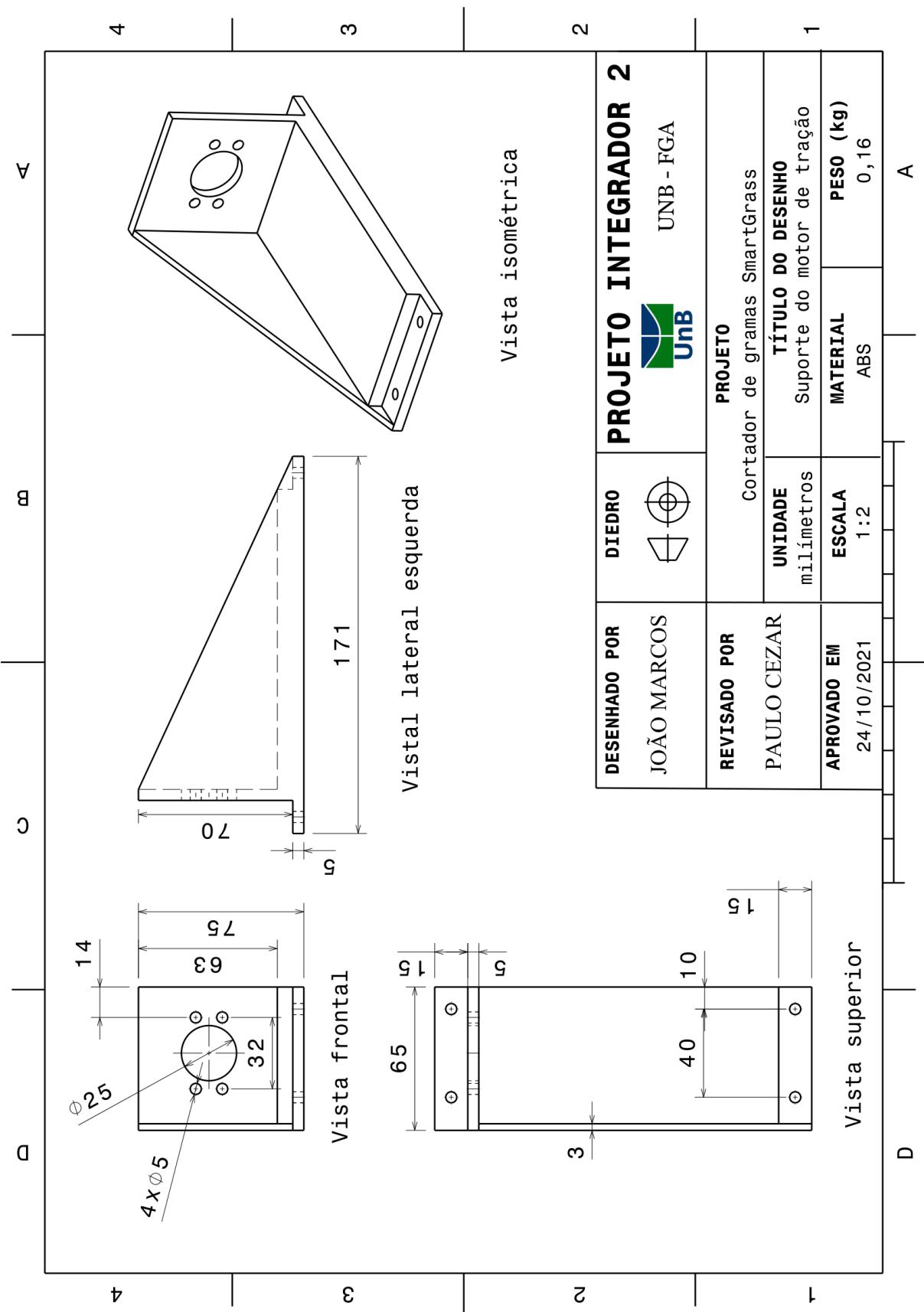


Figura 163 – Desenho Técnico do Suporte do Motor de Tração.

S.2 Caixa de redução

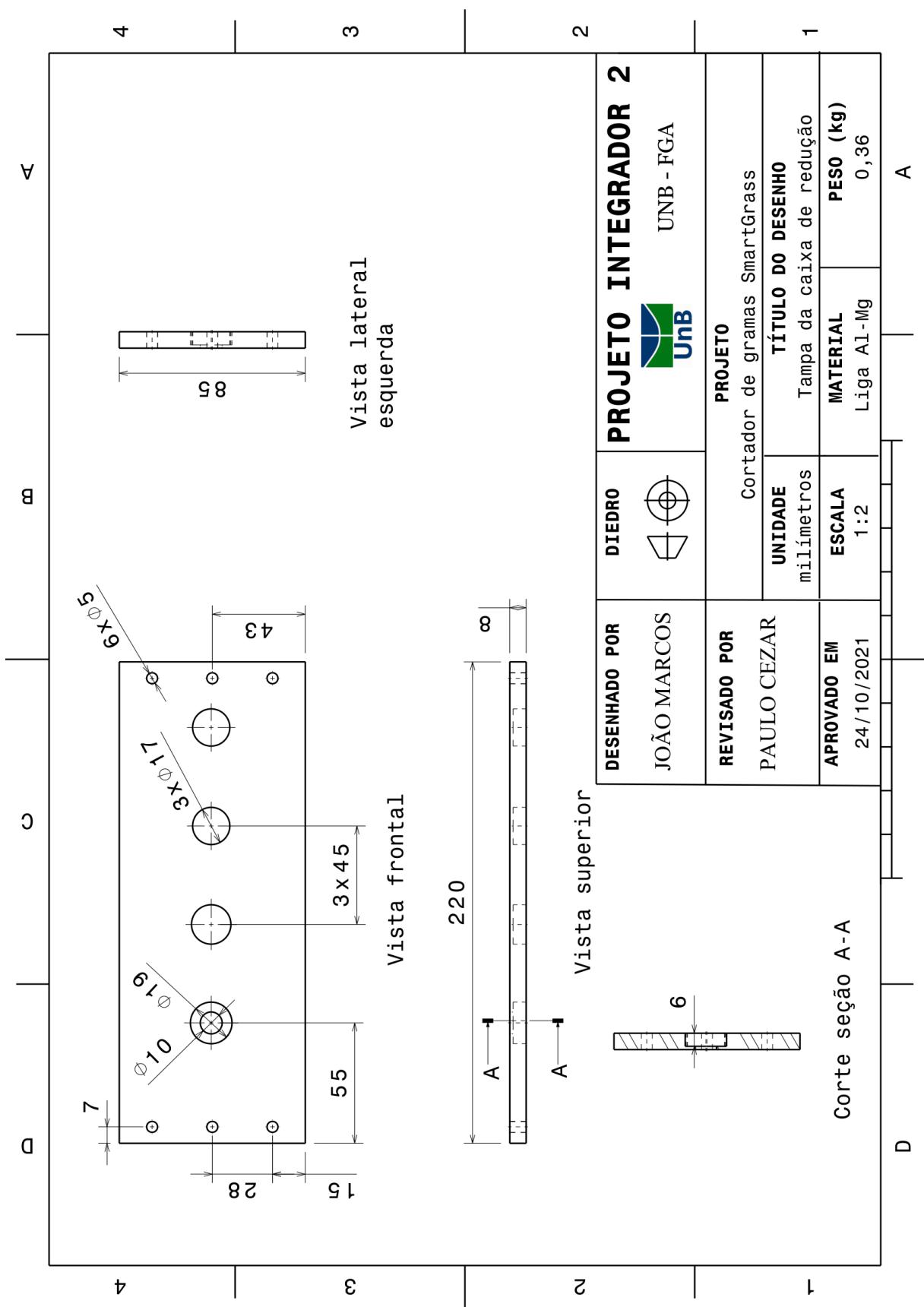


Figura 164 – Desenho Técnico da Tampa da Caixa de Redução.

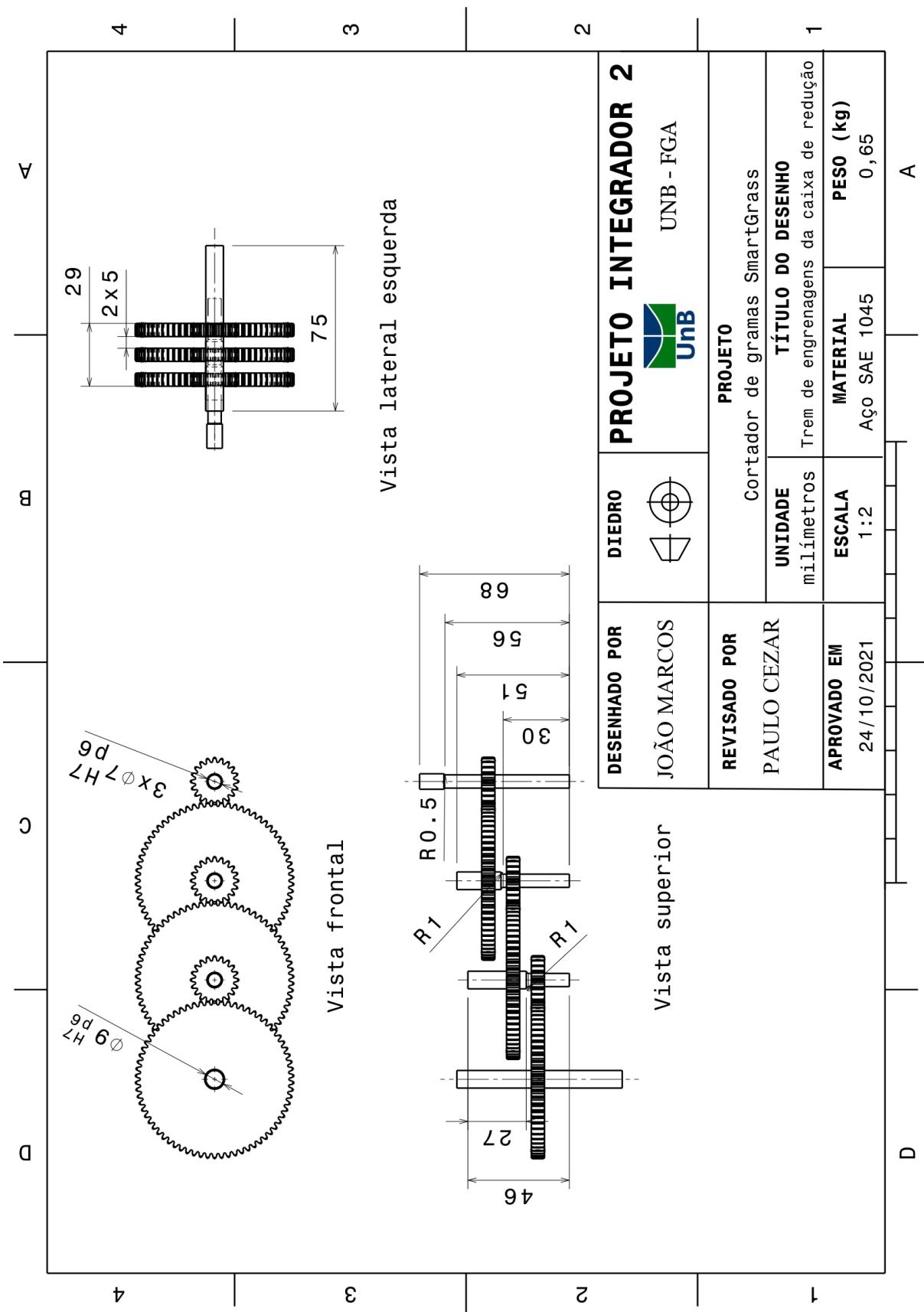


Figura 165 – Desenho Técnico do Trem de Engrenagens da Caixa de Redução.

S.3 Sistema de Corte e Ajuste

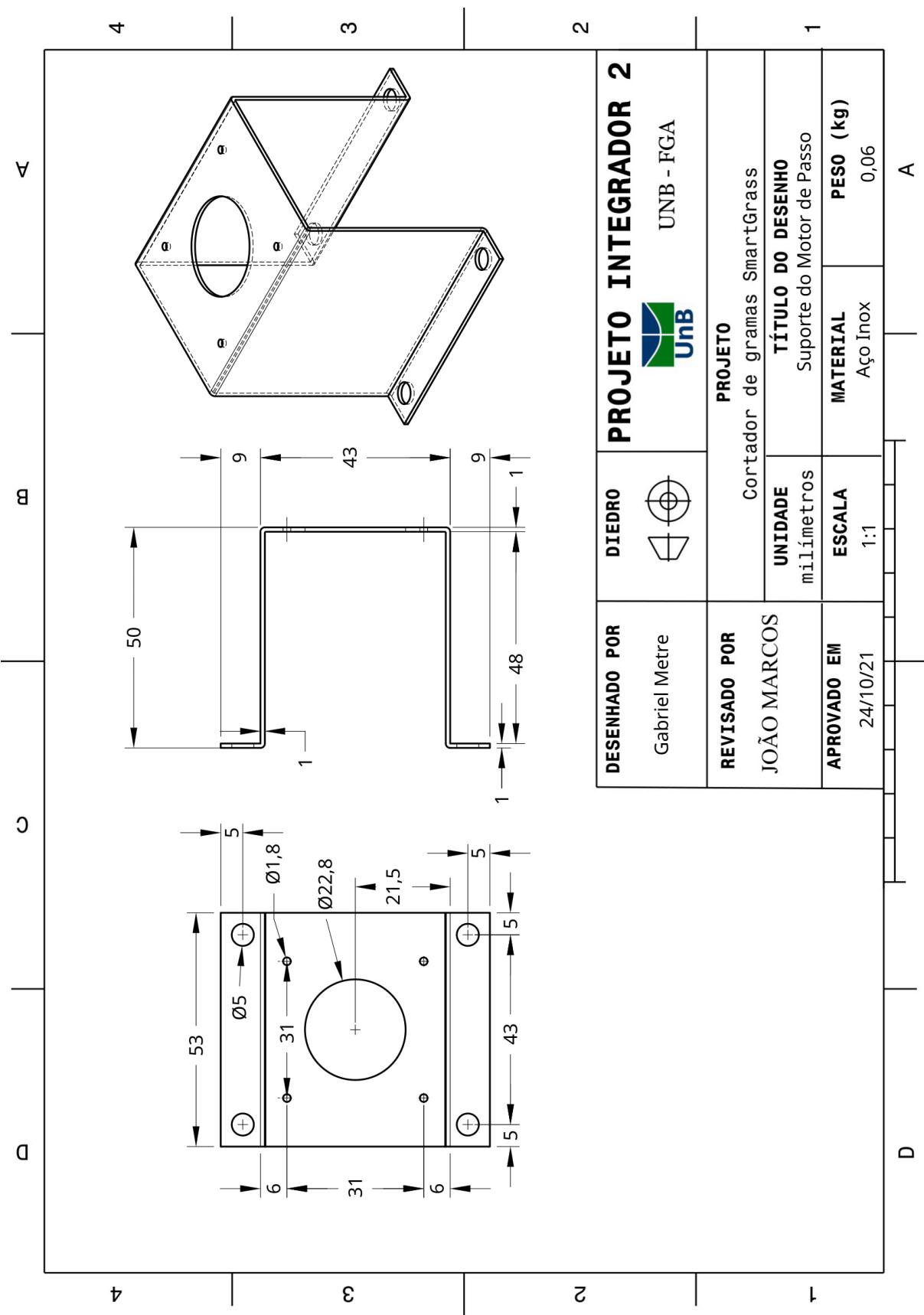


Figura 166 – Desenho Técnico do Suporte do Motor de Passo.

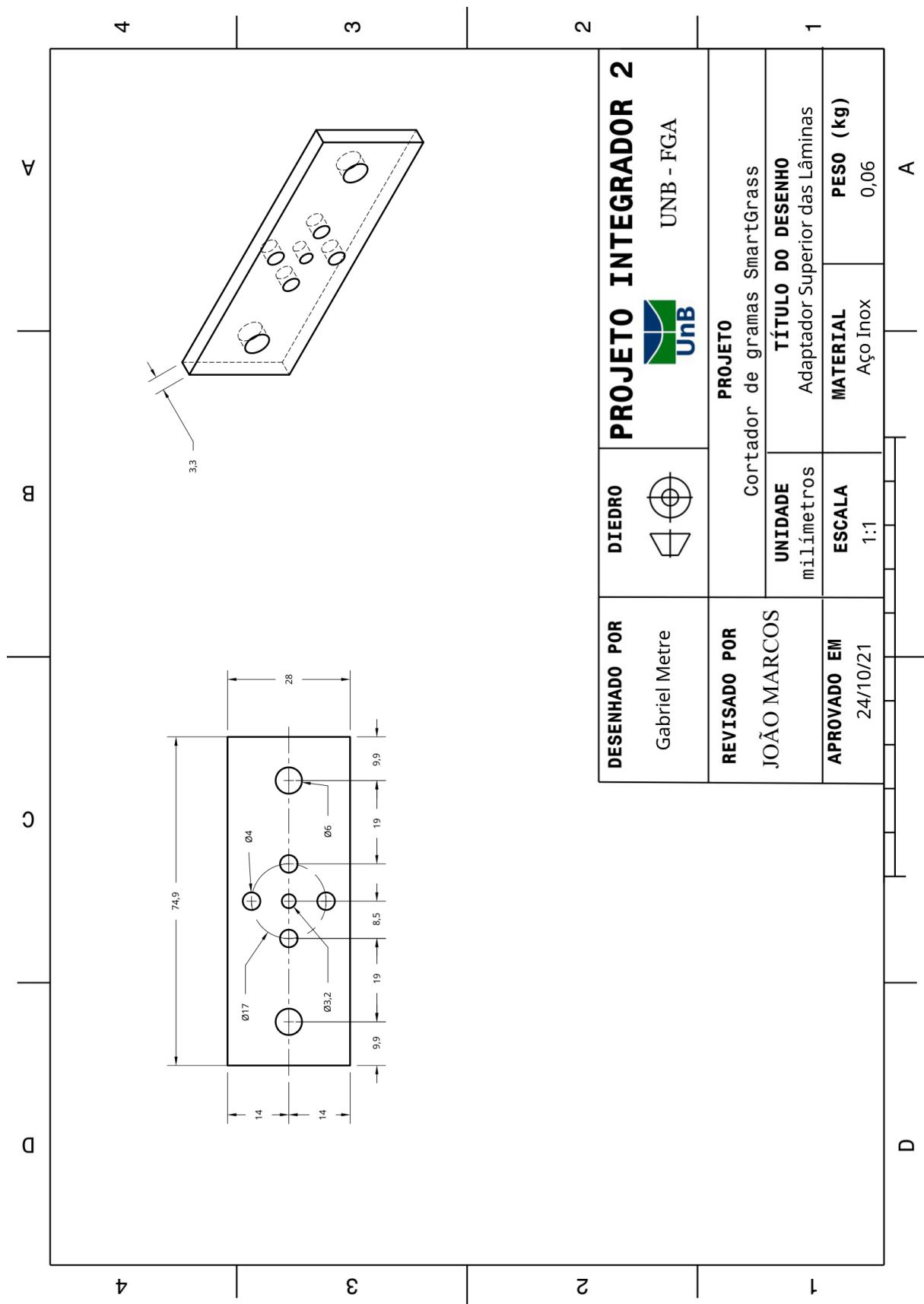


Figura 167 – Desenho Técnico do Adaptador Superior Lâminas de Corte.

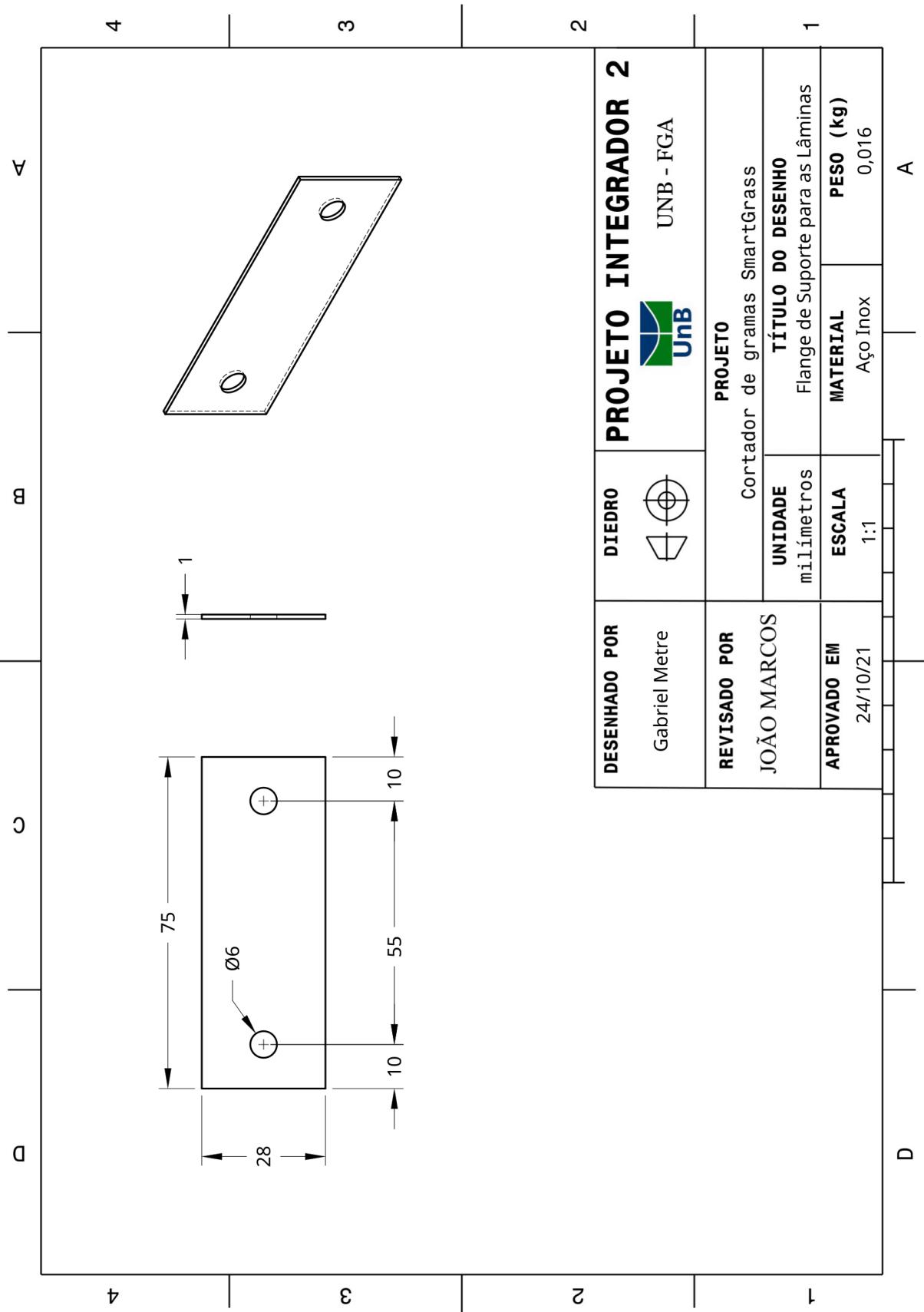


Figura 168 – Desenho Técnico do Flange.

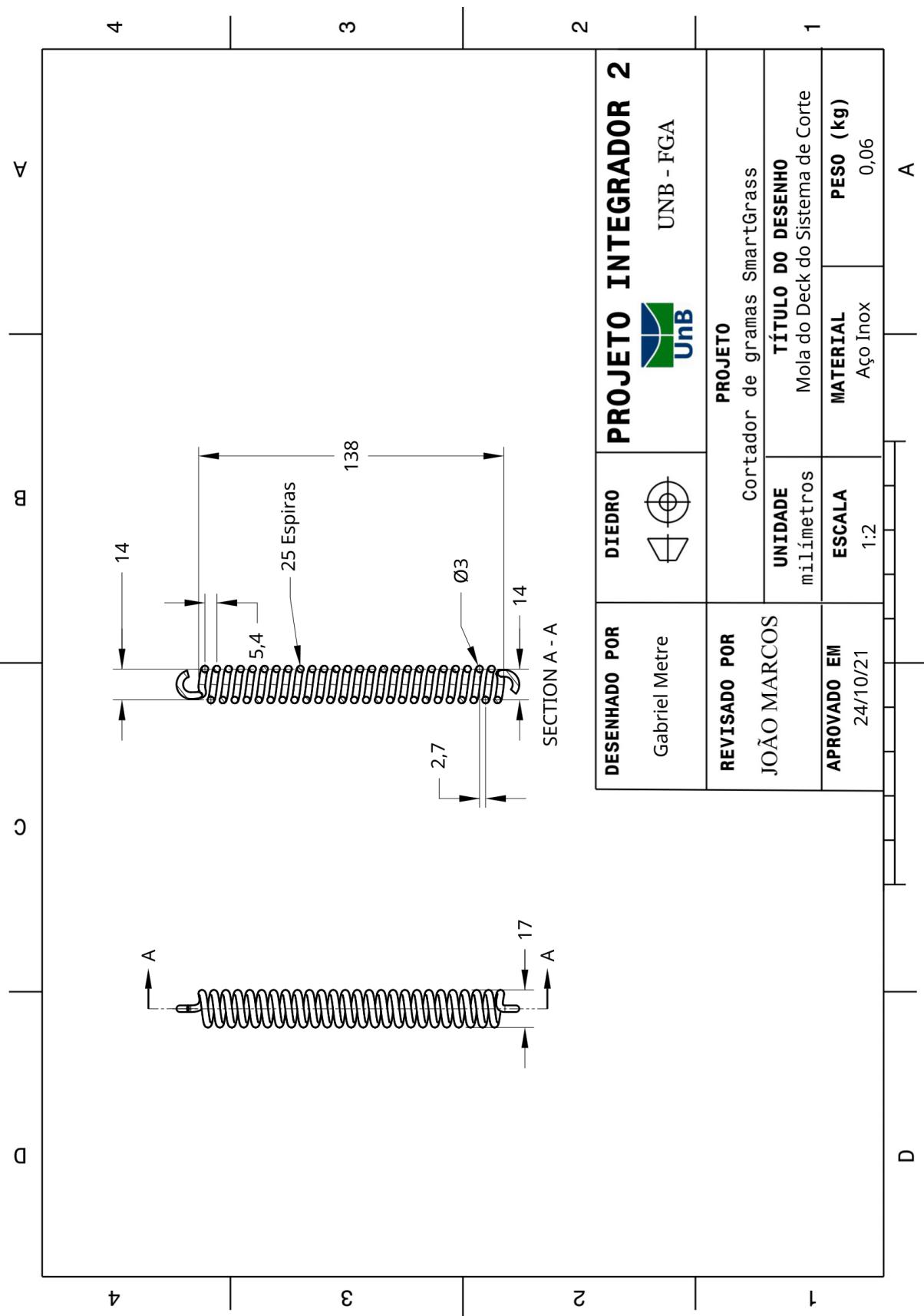


Figura 169 – Desenho Técnico da Mola.

S.4 Carroceria

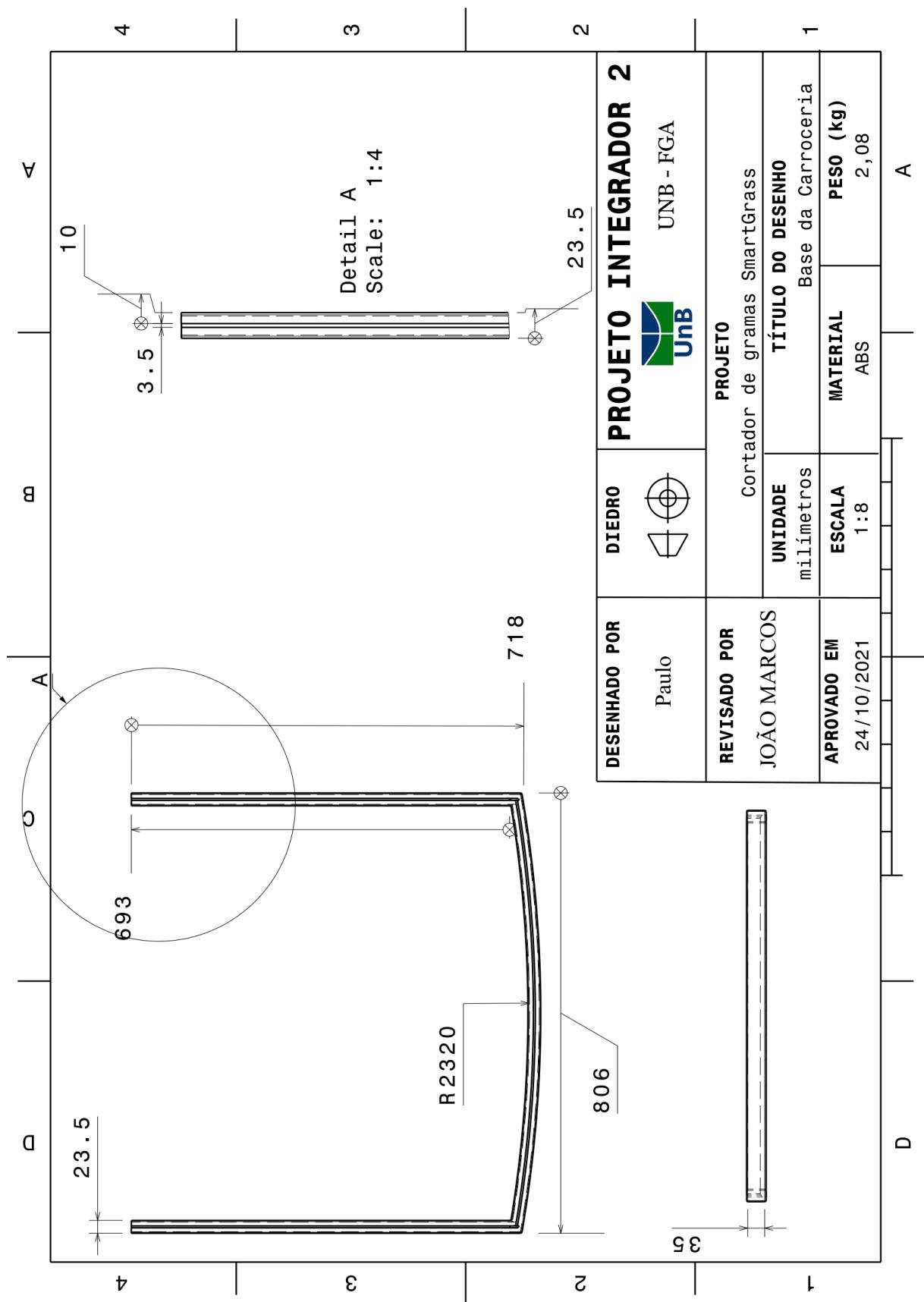


Figura 170 – Desenho técnico da Base da Carroceria.

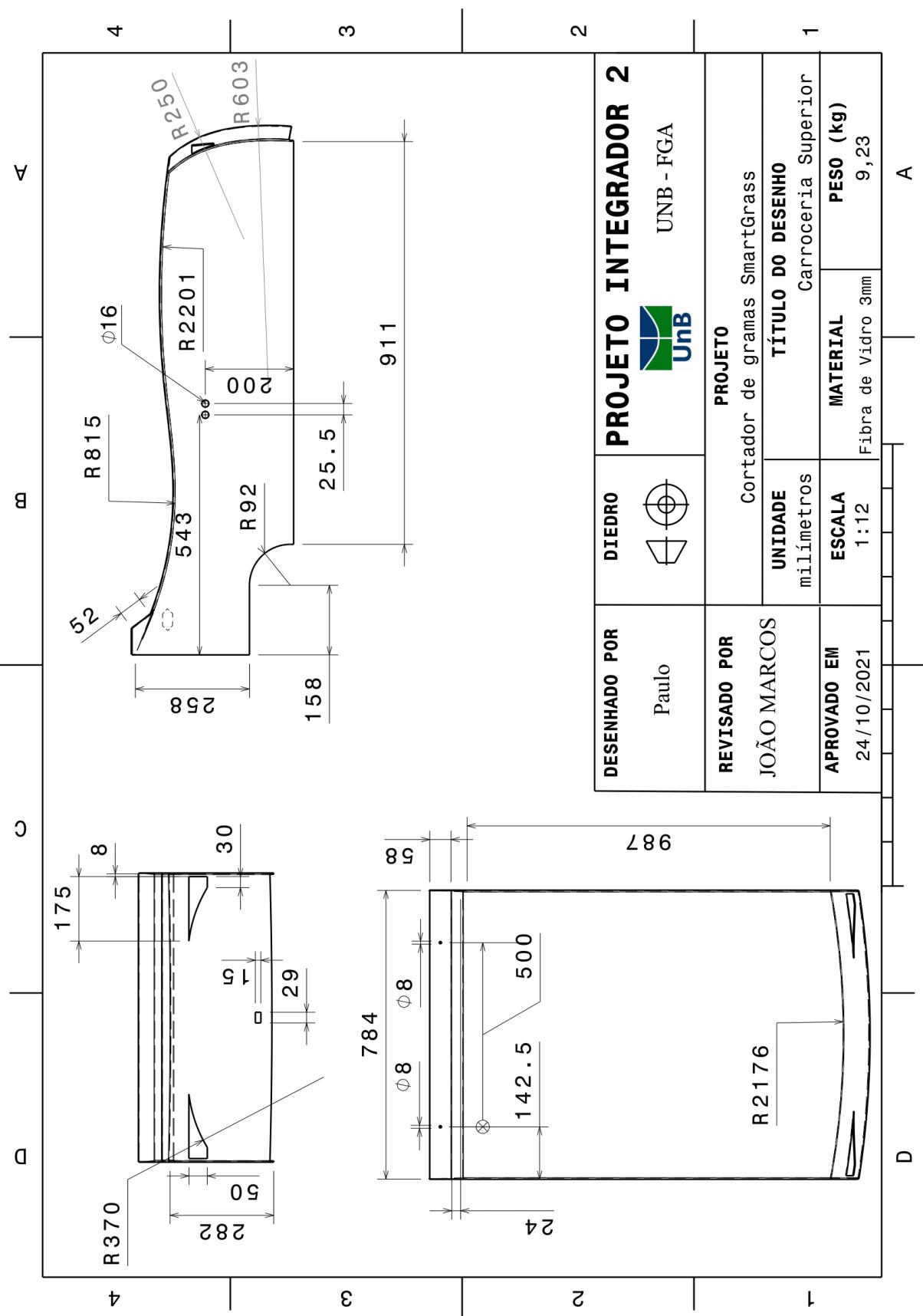


Figura 171 – Desenho técnico da Carroceria Superior.

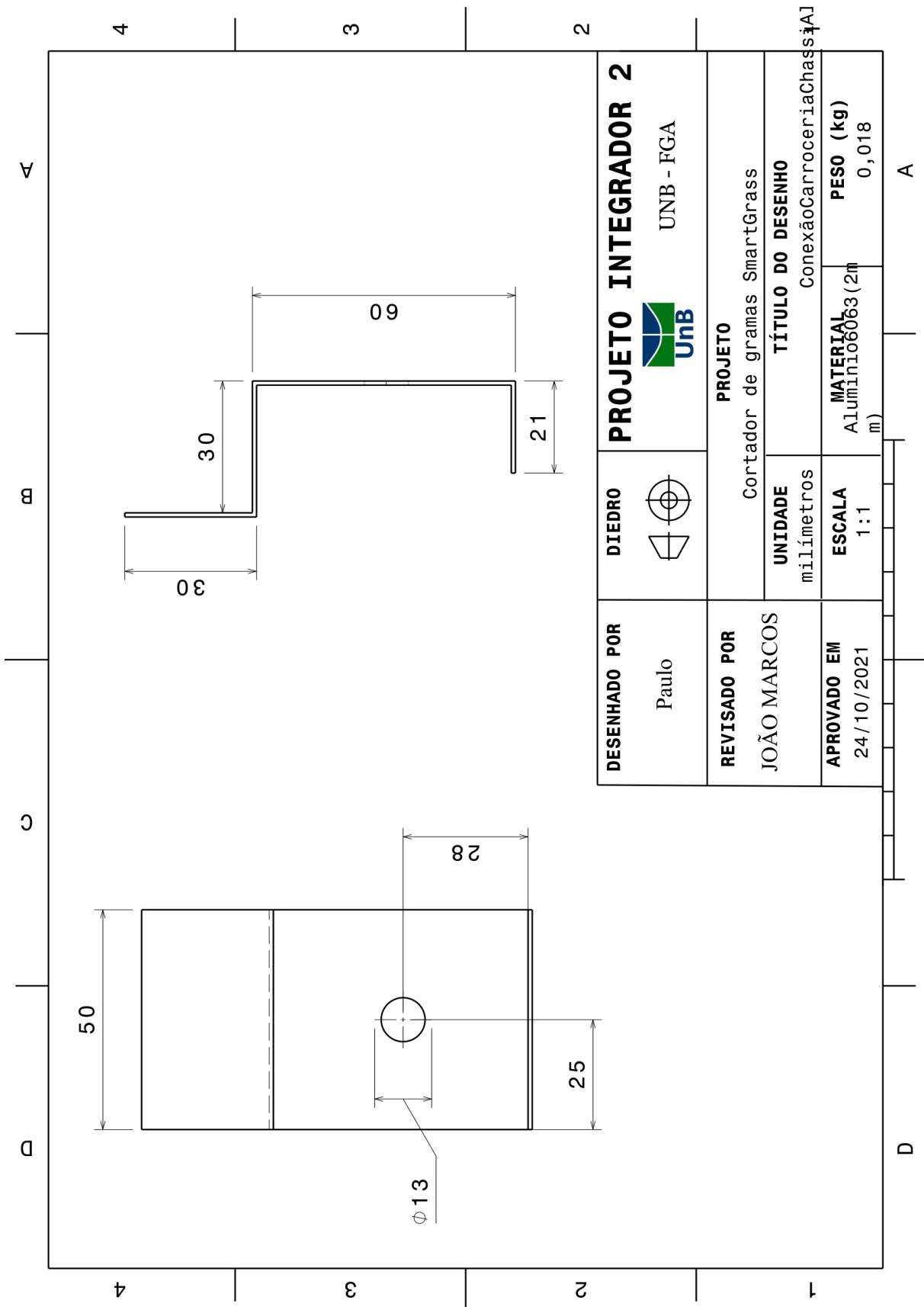


Figura 172 – Desenho técnico da Conexão Carroceria Chassi Alto.

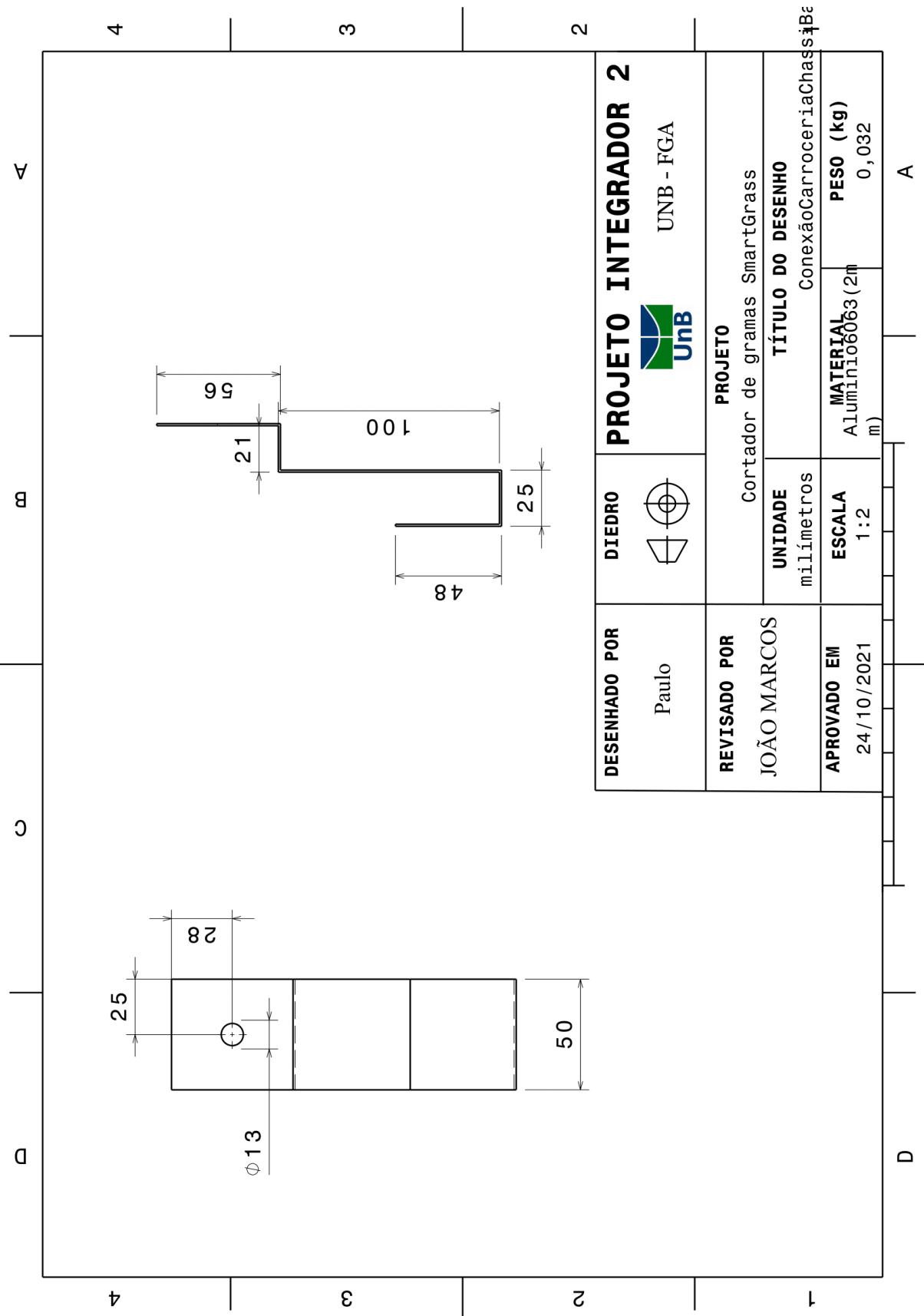


Figura 173 – Desenho técnico da Conexão Carroceria Chassi Baixo.

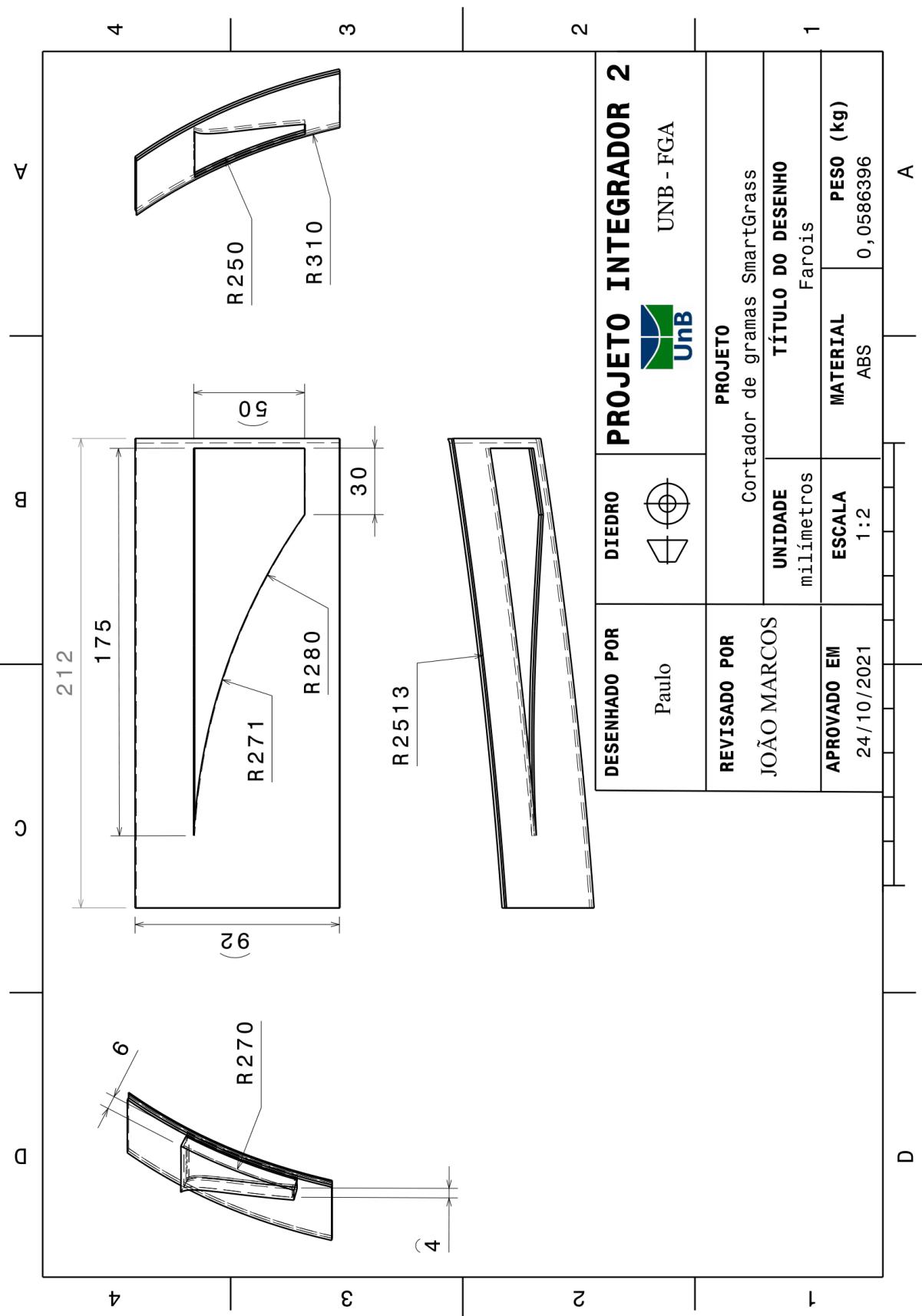


Figura 174 – Desenho técnico dos Faróis.

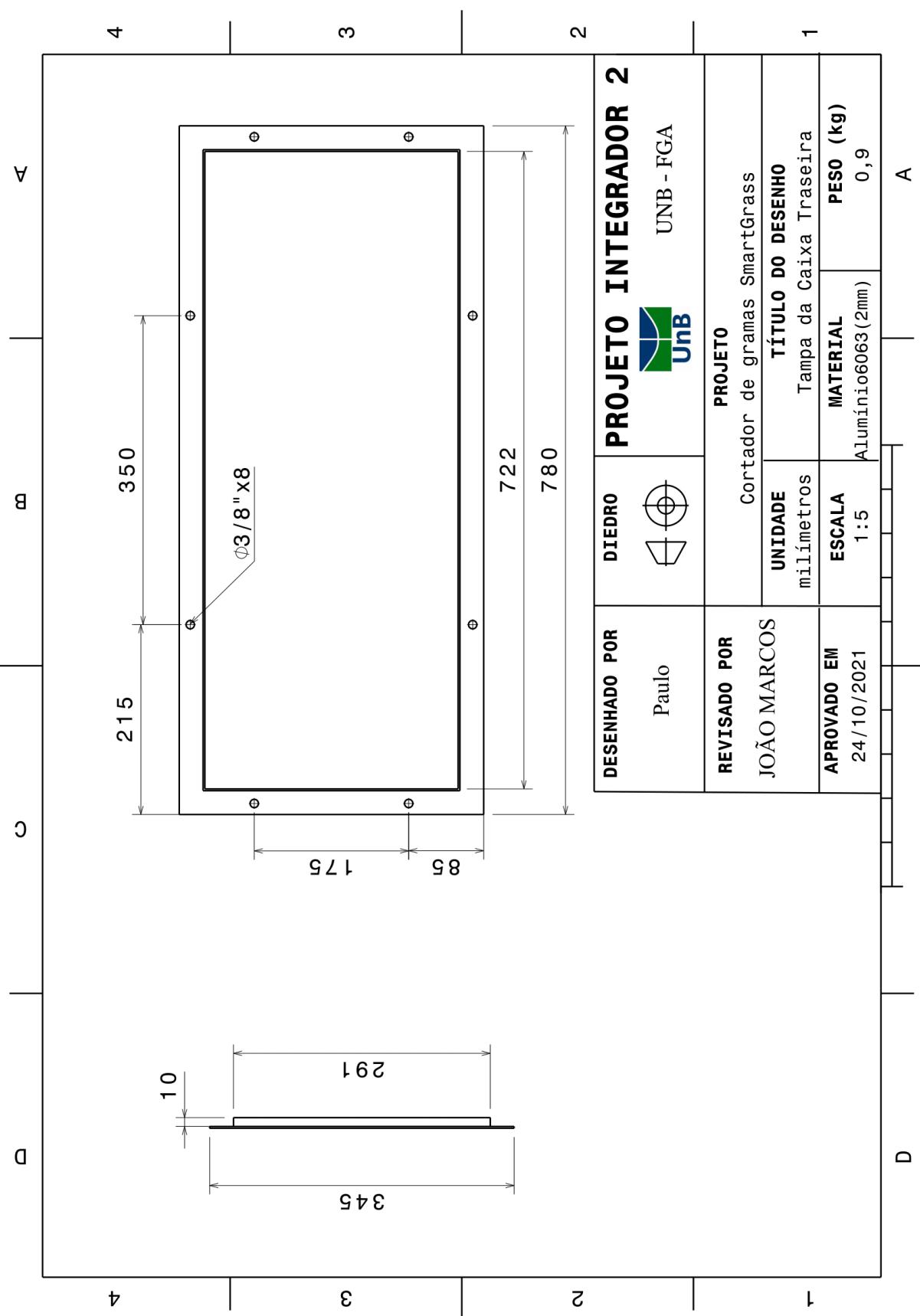


Figura 175 – Tampa Caixa Traseira.

S.5 Caixa Traseira da Carroceria

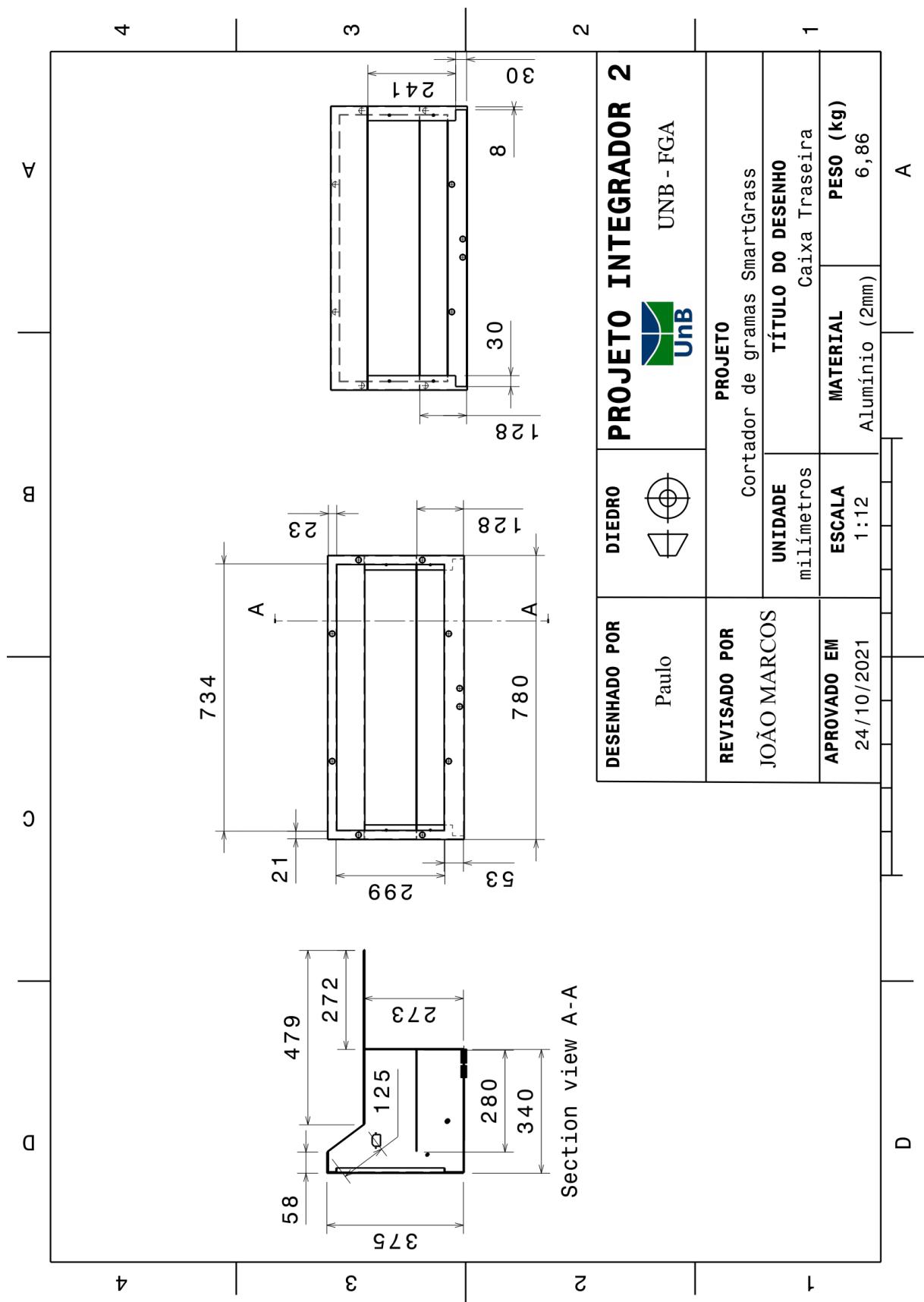


Figura 176 – Desenho técnico da Caixa Traseira 1/2.

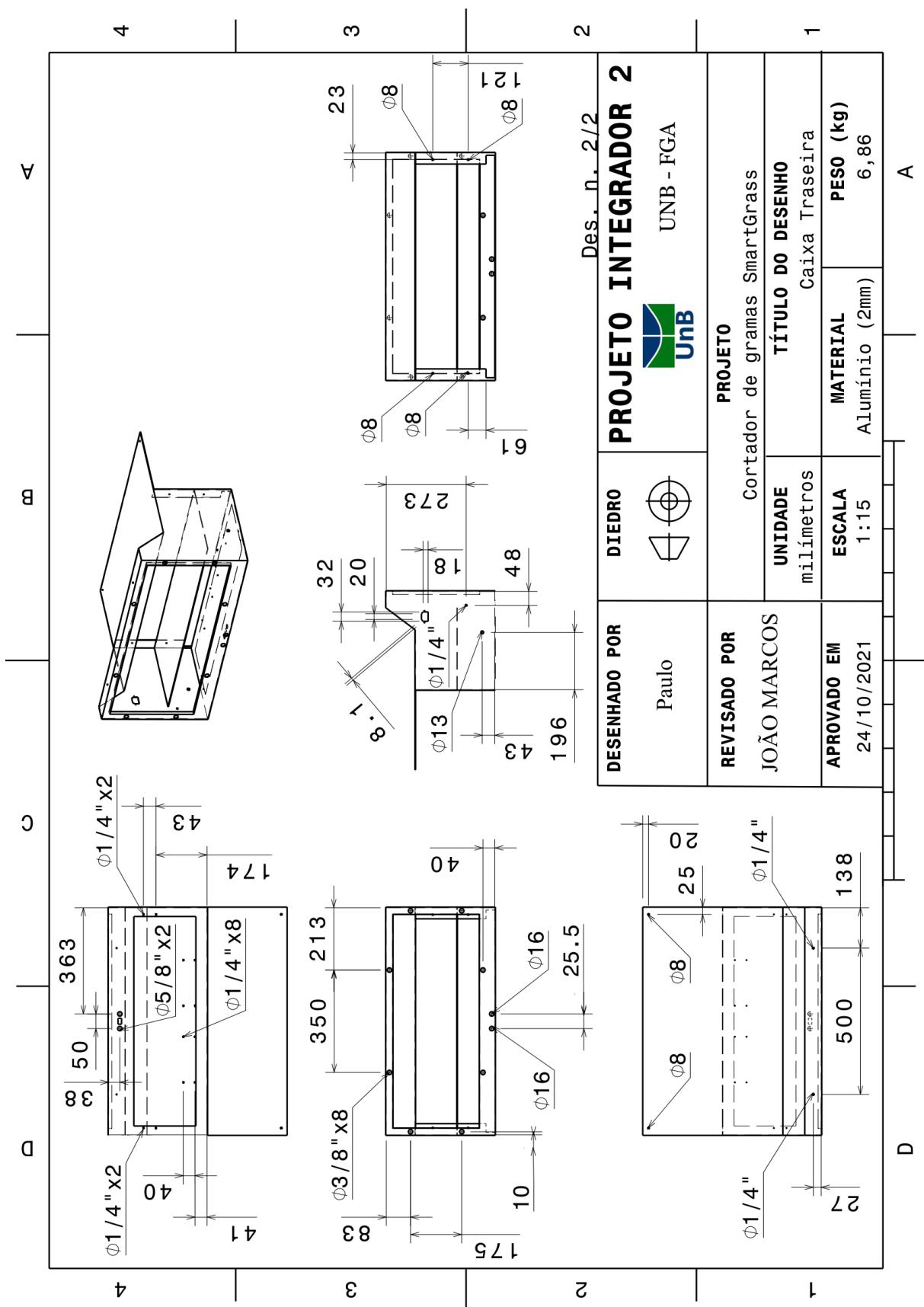


Figura 177 – Desenho técnico da Caixa Traseira 2/2.

S.6 CADs dos componentes eletrônicos

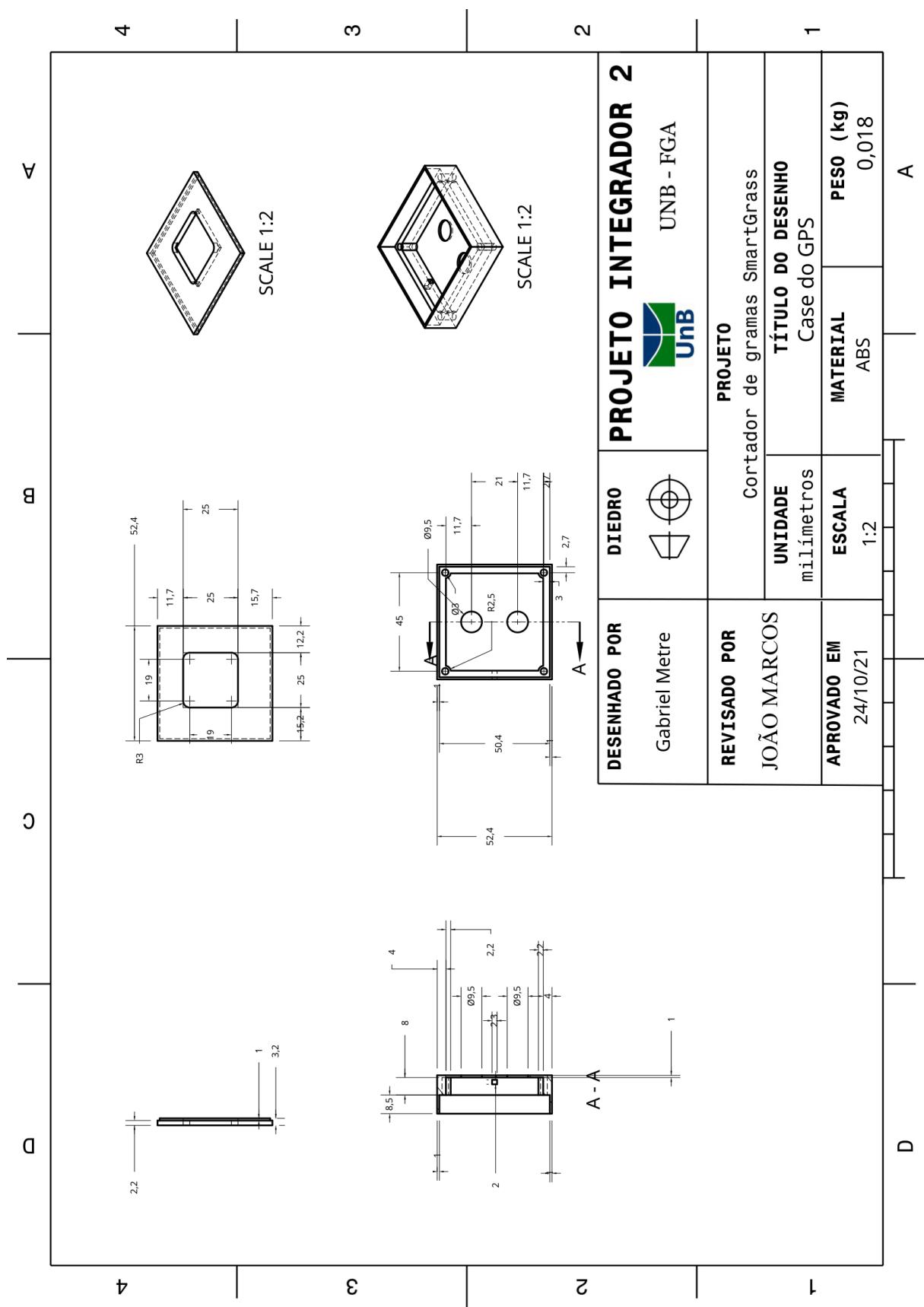


Figura 178 – Desenho Técnico da Case do Ublox GPS.

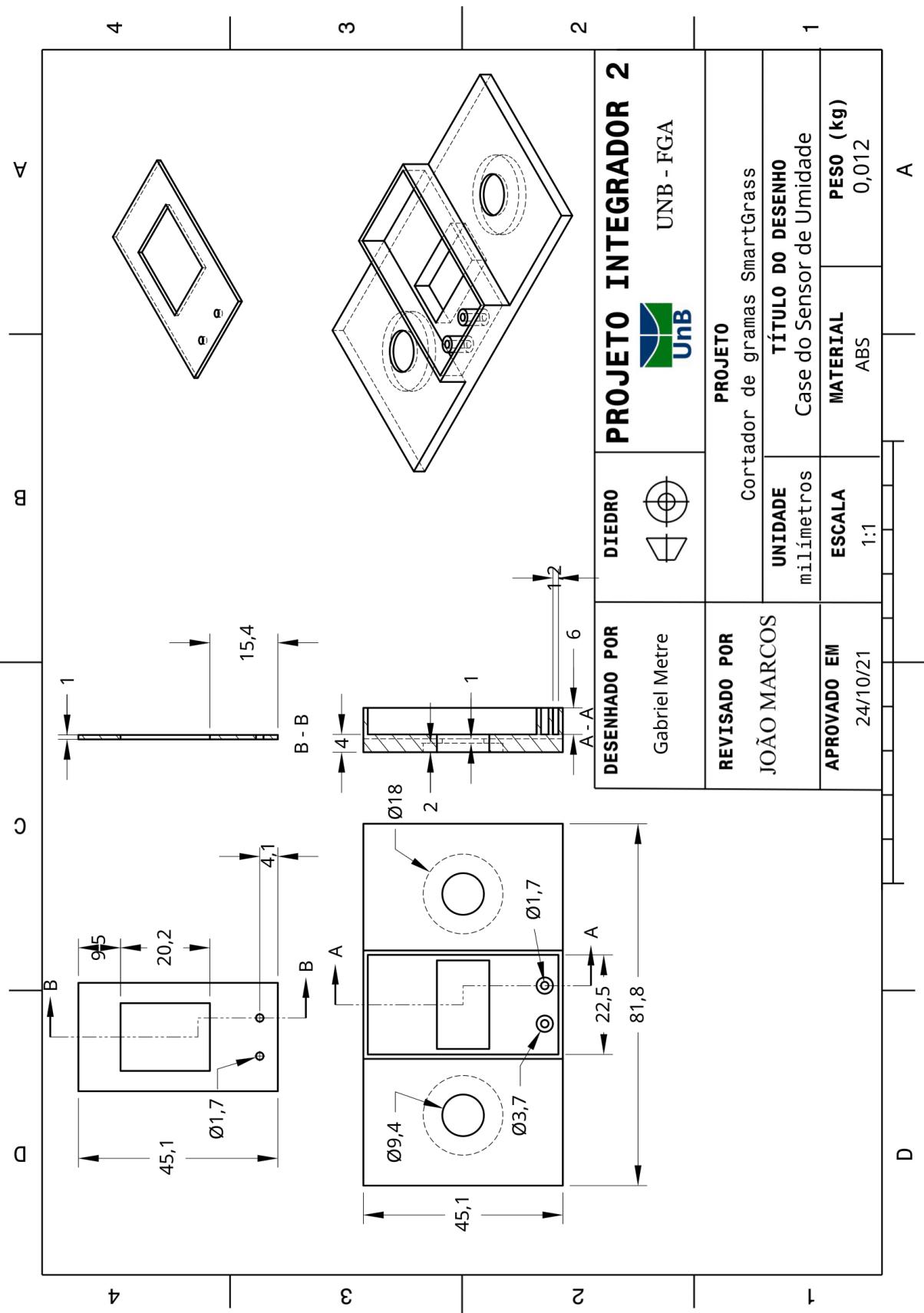


Figura 179 – Desenho Técnico da Case do Sensor de Umidade.

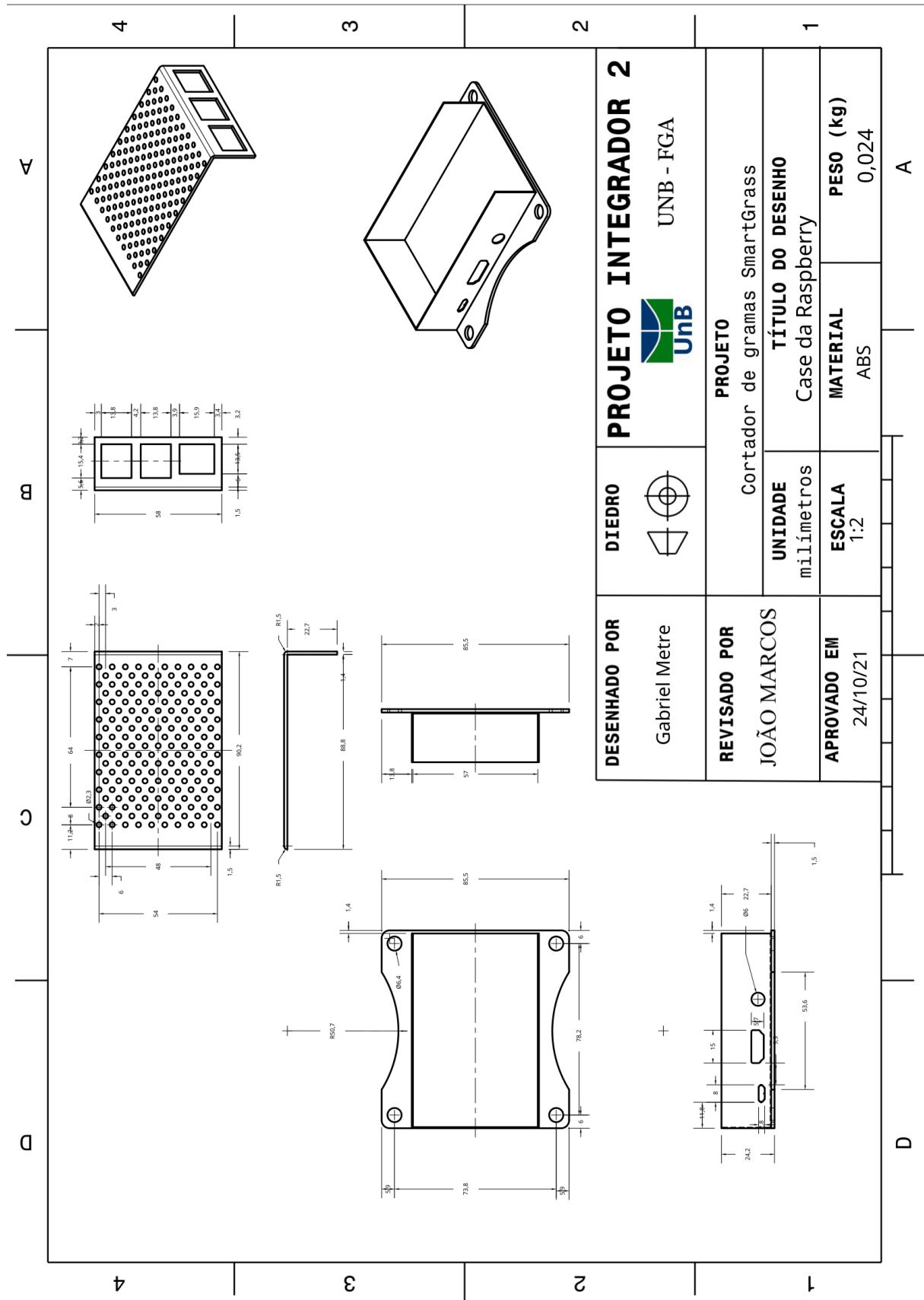


Figura 180 – Desenho Técnico da Caixa RaspBerry.

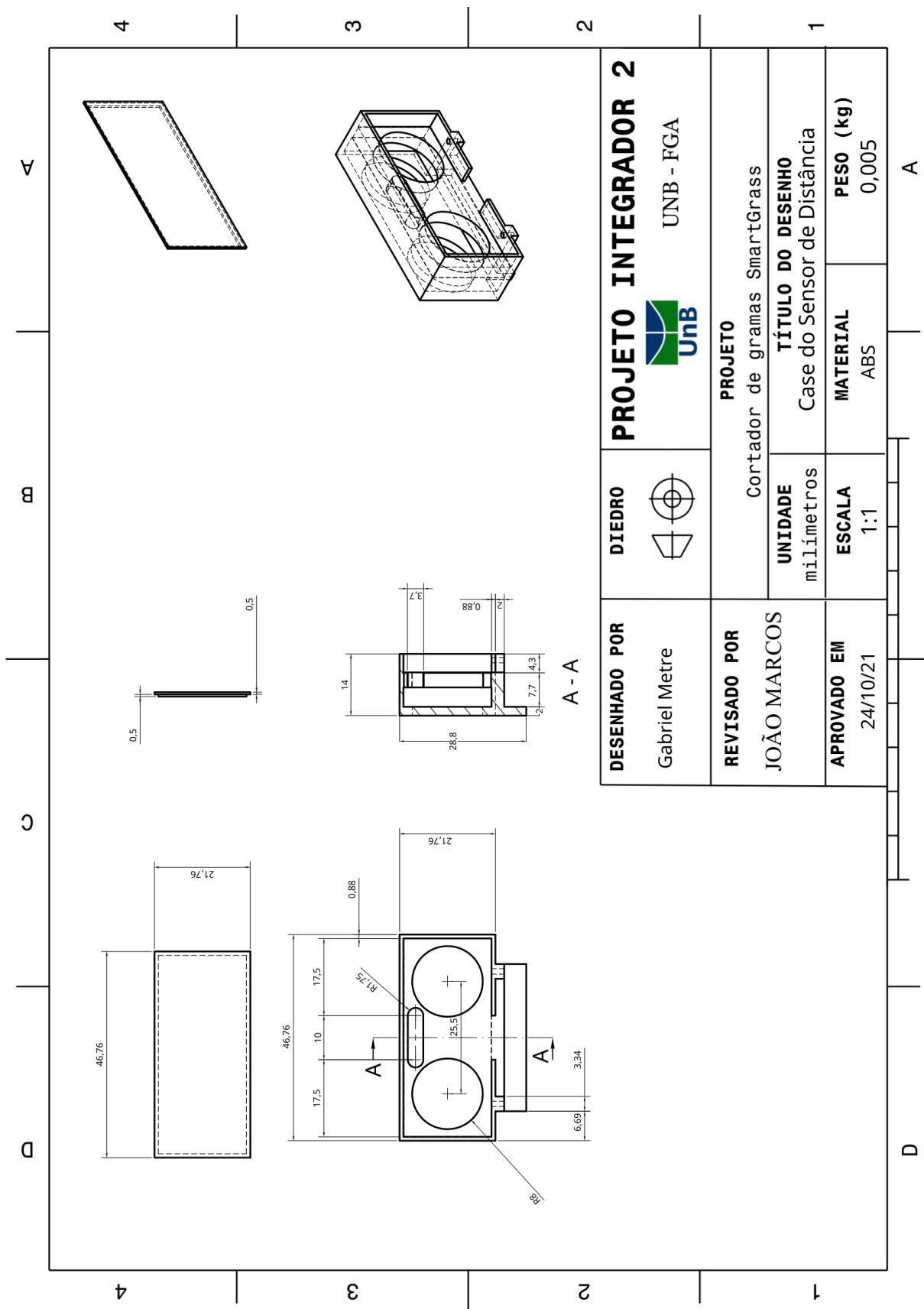


Figura 181 – Desenho Técnico da Case Sensor de Distância.

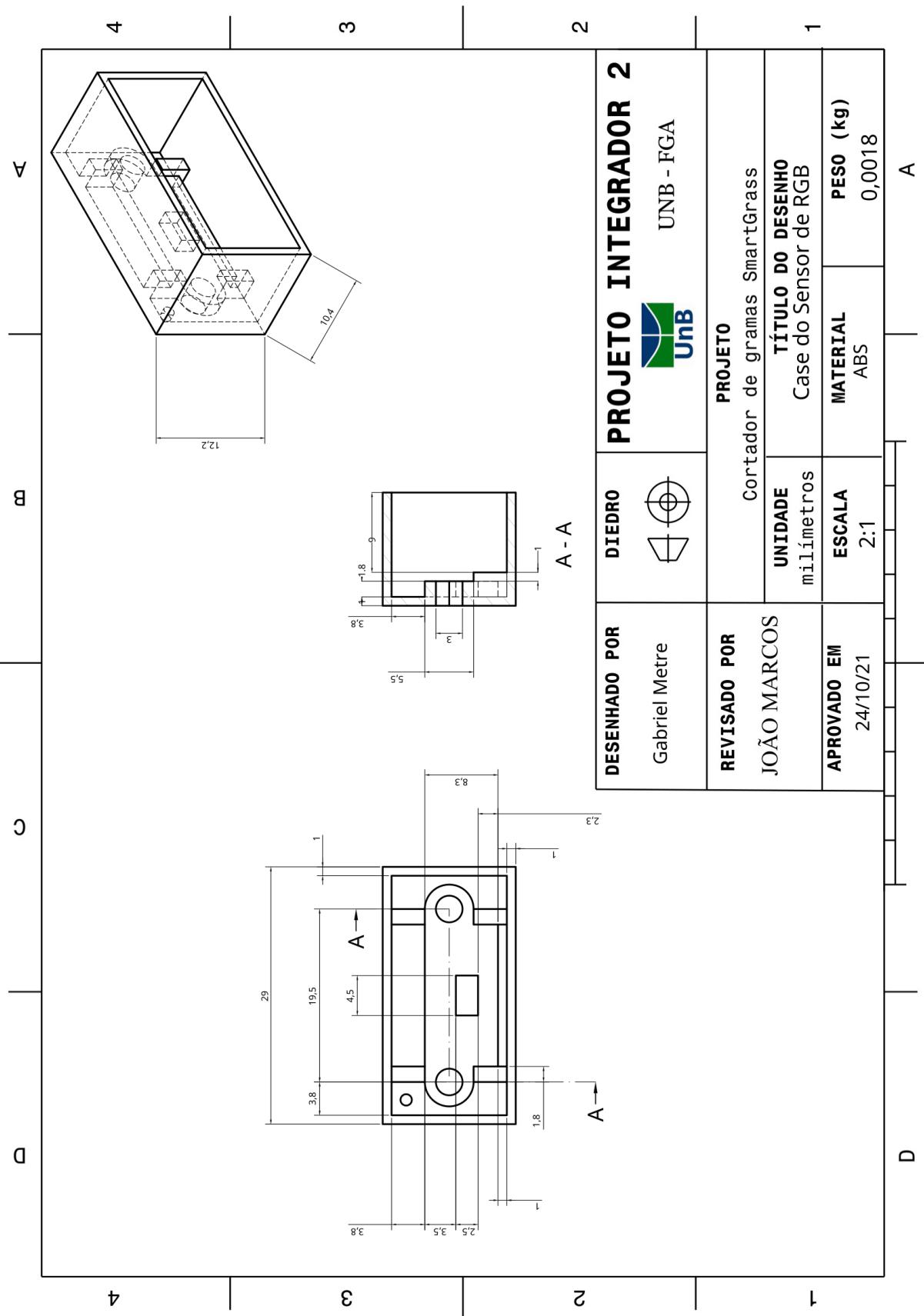


Figura 182 – Desenho Técnico da Case Sensor RGB.

APÊNDICE T – Justificativas e Cálculos do Sistema de Corte e Ajuste

T.1 Justificativa das Escolhas do Sistema de Corte e Ajuste

Dos principais componentes desse sistema, é possível destacar o conjunto de lâminas e os componentes para a regulagem de altura do corte. Dessa forma, essa seção tem por objetivo definir e justificar:

1. O método escolhido para a regulagem de altura;
2. O modo de transmissão de potência de um motor para a respectiva lâmina, bem como os componentes de fixação necessários;
3. As conexões entre as lâminas e os componentes de regulagem de altura; e
4. A forma de integração do sistema com o chassi.

T.1.0.1 Regulagem de Altura do Corte

Para que seja um cortador de grama versátil, é imprescindível que tenha controle de altura do corte. Nesse projeto, será utilizado um sistema que regula a altura do corte de forma motorizada. Assim, para atender diversos tipos de gramados, é necessário definir o intervalo de altura ideal para o cortador de grama.

Correlato a isso, para manter a qualidade da grama, a altura não deve passar de 8 cm . Assim, é possível definir que o limite superior das lâminas é 8 cm em relação ao solo. De forma geral, para assegurar a qualidade do gramado, não se deve cortar a grama em alturas mais baixas que 2 cm em relação ao solo. Dessa forma, é possível afirmar que um curso de 6 cm é suficiente para atender os gramados no domínio proposto pelo projeto.

A melhor forma de realizar o controle de altura é com a utilização de um suporte que, ao se movimentar verticalmente, modifica a altura de todas as lâminas de forma simultânea. Assim, a integração ideal do motor e lâminas é pela utilização de um *deck* suporte, tanto para separar o motor da região das lâminas, quanto para realizar o controle de altura de corte. Sendo assim, os motores das lâminas se encontram apoiados e aparafusados na região superior do *deck*, com seus eixos atravessando o *deck* transversalmente (Figura 183).

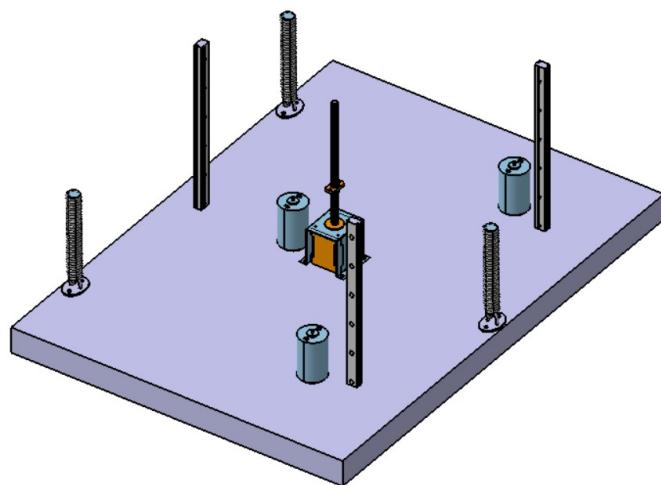


Figura 183 – Motores na região superior e lâminas na região inferior do *deck*.

Quanto ao material do *deck*, deve ser resistente aos efeitos corrosivos provenientes da umidade do solo. Além disso, o *deck* deverá suportar o peso do conjunto lâmina-motor e as vibrações dos motores de cada lâmina. Por isso, foi escolhido o aço inox, o qual confere a resistência mecânica e à corrosão necessária. Ademais, uma análise mais detalhada do material será realizada na Seção 2.3.3.2.2.

Para o controle de altura, é necessário que seja utilizado um mecanismo que transforma o movimento de rotação de um motor em movimento linear. Dessa forma, foi escolhido que a melhor alternativa é o uso de um motor de passo para mover o *deck* com as lâminas. Tal escolha foi realizada em conjunto com a área de eletroeletrônica principalmente pela facilidade e precisão no controle de altura e mais detalhes sobre a justificativa dessa escolha podem ser encontrados na Seção 2.1.4.

Assim, definindo as alturas mínima e máxima de corte como 2 cm e 8 cm, respectivamente, conclui-se que o motor de passo deve contemplar um deslocamento vertical do *deck* de 6 cm.

T.1.0.2 Fixação do Motor de Passo

A primeira decisão relacionada ao método de fixação do motor de passo, mostrado na Figura 184, é o local do motor.



Figura 184 – Motor de passo TR8.

No caso em que o motor é fixado no chassi, seria necessário que a castanha de bronze fosse fixada no *deck*. Porém, essa configuração torna-se inviável visto que seria necessário que o fuso atravessasse o *deck* e, nessa configuração, a movimentação do fuso entraria em conflito com o movimento das lâminas. Dessa forma, foi escolhido que o motor será fixado no *deck* e a castanha de bronze no chassi.

As opções de fixação do motor de passo restringem o movimento em um grau de liberdade, porém, exigindo demasiadamente das conexões motor-*deck* e castanha-chassi. Dessa forma, o suporte do *deck* no ponto de fixação do motor é uma possível causa de tensões e deformações indesejadas. Nessa perspectiva, a segunda opção mencionada, guias lineares, será elucidada a seguir.

T.1.0.3 Guias Lineares

Para impedir a rotação indesejada do *deck*, é possível fazer uso de trilhos que permitem apenas o movimento vertical. Assim, a solução de guias lineares é a mais indicada para sistemas que precisam de rigidez e precisão. Correlato a isso, a rigidez é conferida pela ausência de folgas entre os componentes de rolamento, assim, impedindo, adequadamente, a rotação do *deck*. Além disso, o sistema de guias lineares possui apenas um grau de liberdade (translação na direção do trilho), diferentemente do sistema de pinhão-cremalheira, por exemplo.

Portanto, nesse projeto, serão utilizadas guias lineares em conjunto com a utilização do motor de passo. Dessa forma, faz-se necessário definir qual tipo de guia linear será utilizada.

Existem, basicamente, dois tipos de guias lineares, as de deslizamento (elementos bucha-guia) e as de rolamento. Para as guias de deslizamento, os trilhos e o componentes guiados possuem superfícies em constante contato. Em geral, esse tipo de guia é utilizado para cargas altas e necessita de lubrificação periódica. Por outro lado, as guias de rolamento utilizam elementos rolantes, como esferas e cilindros, para que ocorra o movimento e, por esse motivo, não é necessária a lubrificação constante do sistema. Sendo assim, a utilização de guias de rolamento é a melhor alternativa para o projeto.

T.1.0.3.1 Fixação das Guias Lineares

O sistema de rolamento é composto pelo trilho e pelo bloco linear, também chamado de patim. A Figura 185 ilustra variados tipos do sistema de rolamento proposto.



Figura 185 – Diferentes tipos de guias lineares.

Assim, os patins serão aparafusados no chassi e cada trilho será soldado no *deck*. Portanto, os blocos ficarão fixos em relação ao chassi e o movimento do *deck* irá movimentar os trilhos verticalmente.

T.1.0.4 Lâmina de Corte

A lâmina é um ponto crítico do trabalho, portanto, o design deve ser apropriado para cortar grama adequadamente. Sendo assim, foram elencadas as principais características que uma lâmina de qualidade deve ter.

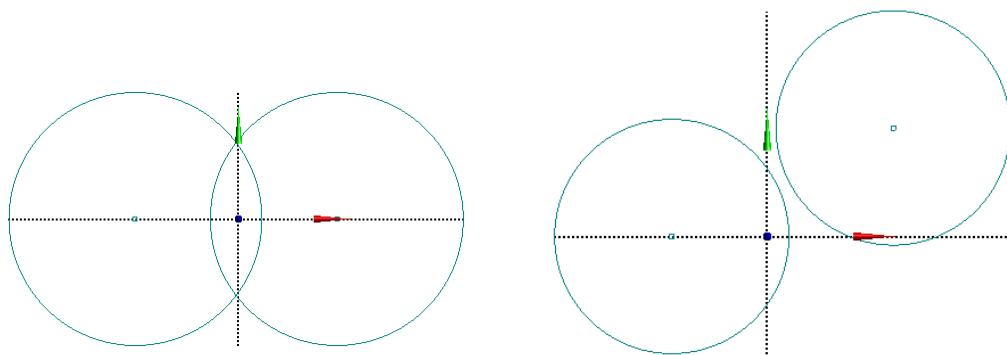
- Ductilidade: o corpo da lâmina deve ser dúctil o suficiente para que não ocorram fraturas devido à aceleração centrípeta, por exemplo;
- Fragilidade/resistência no fio de corte: A parte cortante da lâmina deve ser resistente para que corte bem e não tenha que ser trocada com frequência;
- Utilizar de uma cobertura de tinta ou spray para que a lâmina não enferruje e/ou escolher um material inoxidável em sua totalidade; e
- Geometria adequada para o corte.

Para a fabricação de lâminas, são realizados diversos testes para ratificar a qualidade ou realizar correções. Por esse motivo, serão utilizadas lâminas terceirizadas para esse projeto.

T.1.0.4.1 Quantidade de Lâminas

Relacionado ao número de lâminas do cortador, o principal fator que deve ser levado em consideração é o porte do cortador. Para cortadores de grama domésticos, seria interessante a utilização de apenas uma lâmina. Porém, para o escopo desse projeto, devem ser utilizadas duas ou três lâminas, a fim de atender instituições, praças e jardins, por exemplo.

Para cortadores de grama com mais de uma lâmina, é necessário definir a posição ideal das lâminas e o sistema mecânico por trás da rotação de cada lâmina. Relacionado ao posicionamento das lâminas, para um sistema com duas lâminas, existem duas configurações possíveis, de acordo com as Figuras 186(a) e 186(b). A primeira configuração, mostrada na Figura 186(a), ilustra duas lâminas alinhadas paralelamente à frente do cortador. Nessa configuração, é necessário que exista uma interseção da região de corte para que a grama seja cortada de forma homogênea. Por esse motivo, é essencial que as lâminas sejam sincronizadas de modo a não se chocarem. A segunda configuração, mostrada na Figura 186(b) é uma solução que evita a interseção das lâminas ao mesmo tempo que varre a área necessária, sendo uma opção mais atraente para o projeto.



(a) Configuração de duas lâminas com sobreposição.
 (b) Configuração diagonal de duas lâminas.

Figura 186 – Configurações possíveis com duas lâminas.

Análogo à configuração mostrada na Figura 186(b), o esquema de três lâminas (Figura 187) também faz uso de angulação para evitar a necessidade de sincronização de lâminas e obter um corte homogêneo. Assim, com um sistema de três lâminas, é possível obter uma largura de corte maior e uma melhora da simetria e equilíbrio do *deck*, facilitando o uso de apenas um motor de fuso para o controle de regulagem de altura do corte.

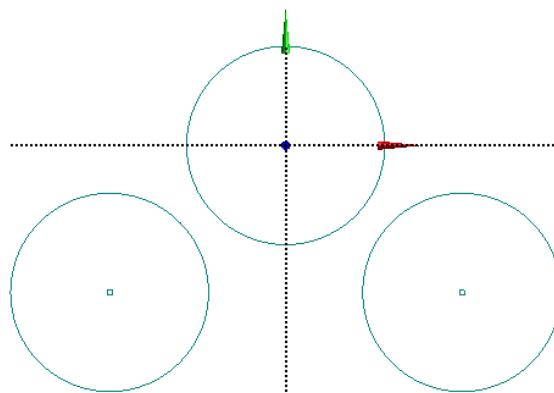


Figura 187 – Configuração de três lâminas.

Outro fator a ser considerado na decisão da quantidade de lâminas é o sistema mecânico por trás da rotação das lâminas. Enquanto seria interessante a utilização de apenas um motor para a rotação de múltiplas lâminas, seria necessário projetar um sistema de transmissão de torque para as respectivas lâminas. Tal sistema não é recomendado, visto que é um possível agravador de vibrações. Assim, nesse projeto, para evitar vibrações indesejadas e problemas no sistema de transmissão, será utilizado um motor para cada lâmina.

Ante o exposto, as vantagens e desvantagens de cada configuração estão resumidas na Tabela 112. Pela análise da tabela, tem-se que a configuração de três lâminas possui o maior número de vantagens e apenas uma desvantagem, a quantidade de motores. Assim, a viabilidade do sistema com três motores foi analisada juntamente com a área de eletrônica e a opção de três lâminas foi selecionada como a alternativa ideal para o projeto.

Tabela 112 – Vantagens e desvantagens de cada configuração.

Configuração	Vantagens	Desvantagens
Uma lâmina	Uso de um único motor	Baixa largura de corte
Duas lâminas (com sobreposição)	Boa largura corte	Sincronização de lâminas; Uso de dois motores; Atuador único não é viável
Duas lâminas (disposição diagonal)	Boa largura de corte; Não há necessidade de sincronização	Uso de dois motores; Motor de passo único não é viável
Três lâminas	Excelente largura de corte; Não há necessidade de sincronização; Uso de um único motor de passo	Uso de três motores

Para limitar a largura do cortador de grama, consequentemente restringindo o peso, foi escolhido que a lâmina central deve ter em torno de 30 cm e as lâminas traseiras

18 cm com uma interseção de 4 cm em cada lado. Assim, a largura de corte l_c inicial é de 58 cm, aproximadamente, de acordo com a Equação T.1.

$$l_c = 30 \text{ cm} + 2 \times 18 \text{ cm} - 2 \times 4 \text{ cm} \Rightarrow l_c = 58 \text{ cm} \quad (\text{T.1})$$

T.1.0.5 Dimensionamento de Molas

Como as guias lineares permitem o deslocamento vertical livremente, sem nenhum sistema de redundância, as conexões parafusadas no motor de passo estariam suportando P_{deck} . Para auxiliar nesse suporte, serão utilizadas três molas, reduzindo, assim, os esforços nas conexões motor-deck e motor-chassi.

Dessa forma, é necessário encontrar o valor da constante elástica de cada mola em função dos parâmetros conhecidos do sistema de regulagem e corte, de forma a minimizar os esforços das conexões mencionadas.

T.1.0.5.1 Cálculo da Constante Elástica

Correlato a isso, de acordo com o diagrama de corpo livre do *deck*, mostrado na Figura 188, é possível obter a Equação T.2, a qual representa o equilíbrio das forças verticais no *deck*. Da equação, as contribuições das forças elásticas de cada mola ($F_{el,1}$, $F_{el,2}$ e $F_{el,3}$), a força exercida pelo motor de passo (F_m) e o peso do *deck* (P_{deck}) devem se anular, garantindo o equilíbrio estático. Vale ressaltar que o valor P_{deck} inclui os três conjuntos lâmina-motor e o peso dos trilhos.

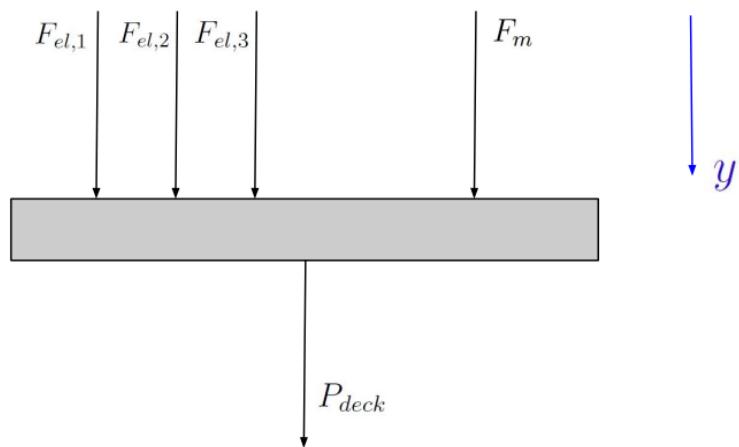


Figura 188 – Diagrama de corpo livre do *deck*.

$$\sum F_y = F_{el,1} + F_{el,2} + F_{el,3} + F_m + P_{deck} = 0 \quad (\text{T.2})$$

Para $F_{el} = F_{el,1} + F_{el,2} + F_{el,3}$, é possível escrever a força exercida pelo motor de passo conforme a Equação T.3.

$$F_m = -P_{deck} - F_{el} \quad (\text{T.3})$$

Para que solução das molas de sustentação seja coerente, é necessário que $|F_m| < P$, caso contrário, a força exercida pelo motor de passo seria maior que o caso sem molas. Portanto, essa restrição, em conjunto com a Equação T.3, resulta na Equação T.4.

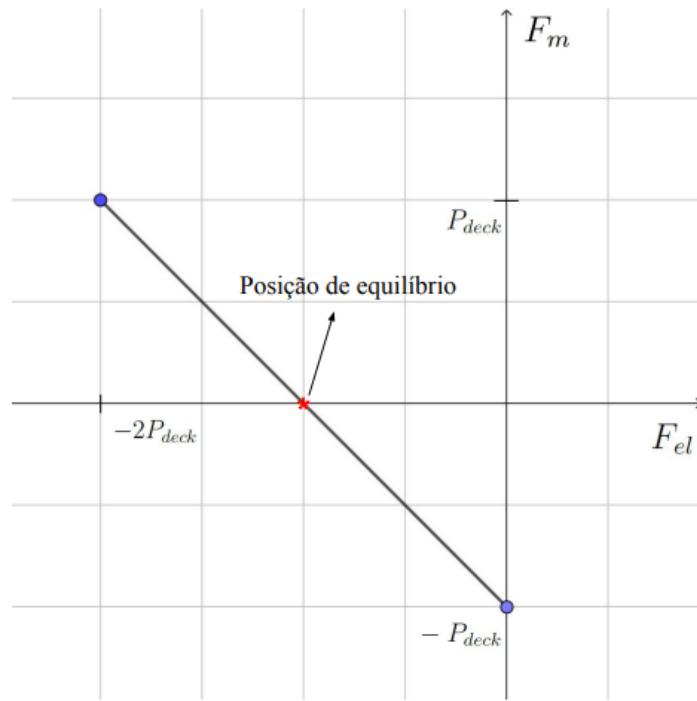
$$|-P_{deck} - F_{el}| < P_{deck} \quad (\text{T.4})$$

Desenvolvendo a Equação T.4,

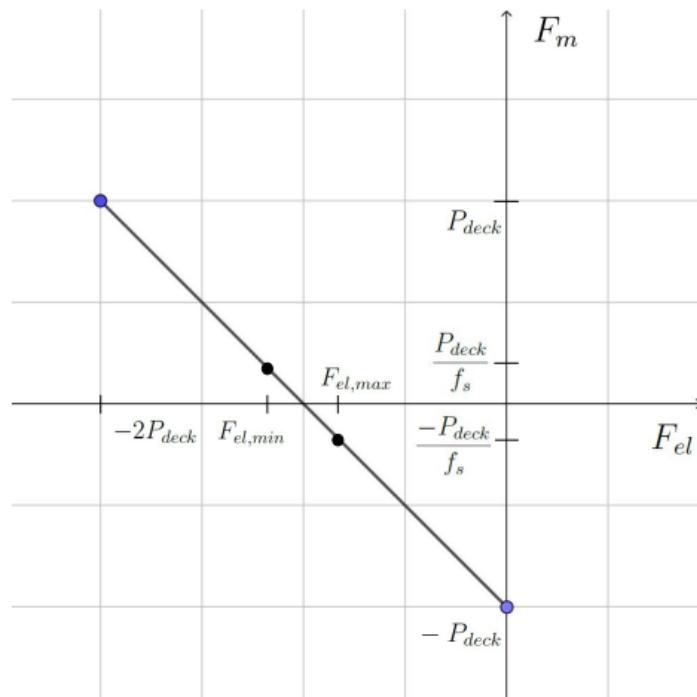
$$\begin{aligned} -P_{deck} &< -P_{deck} - F_{el} < P_{deck} \Rightarrow 0 < -F_{el} < 2P_{deck} \\ &\Rightarrow -2P_{deck} < F_{el} < 0 \end{aligned} \quad (\text{T.5})$$

Da Equação T.5, é possível concluir que a força elástica possui intensidade menor que $2P_{deck}$ e é negativa, o que está de acordo com o esperado para o equilíbrio, ou seja, possui sentido contrário ao mostrado na Figura 188.

Pela Equação T.3 e pelo intervalo de valores de F_{el} (Equação T.5), é possível obter o gráfico da Figura 189. Da figura, é possível notar que existe um ponto em que o motor de passo não realiza nenhum esforço, ou seja, $F_m = 0$. Ainda, nota-se que a mola possui alongamento, visto que $F_{el} \neq 0$. Tal alongamento é chamado de deflexão estática Δy .

Figura 189 – Valores de F_m em função de F_{el} .

Além da restrição $|F_m| < P_{deck}$, é interessante escolher um fator de sustentação f_s , de forma a reduzir significativamente o peso suportado pelas conexões, ou seja, $|F_m| \leq P_{deck}/f_s$, conforme ilustrado pela Figura 190. Assim, se $f_s = 100$, o peso máximo suportado pelas conexões será $P_{deck}/100$, o que é uma excelente redução de carga nas conexões.

Figura 190 – Valores de F_m considerando o fator de sustentação f_s .

Dessa forma, considerando a Figura 190 e a Equação T.3,

$$\begin{cases} P_{deck}/f_s = -P_{deck} - F_{el,min} \Rightarrow F_{el,min} = \frac{-P_{deck}}{f_s}(f_s + 1) \\ -P_{deck}/f_s = -P_{deck} - F_{el,max} \Rightarrow F_{el,max} = \frac{-P_{deck}}{f_s}(f_s - 1) \end{cases} \quad (\text{T.6})$$

Como as molas estão em paralelo entre o *deck* e o *chassi*, é necessário somar as constantes elásticas de cada mola para obter a constante elástica total do sistema. Considerando que todas as molas são idênticas (mesma constante elástica k e comprimento inicial L_0) e suas extremidades estão presas em locais de mesma altura, $F_{el} = -3ky$, em que y é o alongamento total da mola. Vale esclarecer que o alongamento máximo y_{max} corresponde ao valor de $F_{el,min}$, visto que $|F_{el,min}| > |F_{el,max}|$. Portanto, desenvolvendo a Equação T.6,

$$\begin{cases} -3ky_{max} = \frac{-P_{deck}}{f_s}(f_s + 1) \Rightarrow y_{max} = \frac{P_{deck}}{3kf_s}(f_s + 1) \\ -3ky_{min} = \frac{-P_{deck}}{f_s}(f_s - 1) \Rightarrow y_{min} = \frac{P_{deck}}{3kf_s}(f_s - 1) \end{cases} \quad (\text{T.7})$$

Além disso, vale ressaltar que y_{max} é equivalente ao *deck* completamente abaixado e, analogamente, y_{min} é o valor do alongamento total para o *deck* em sua posição superior. Relacionado a isso, para o projeto, foi escolhido que a posição de equilíbrio será na metade do curso do motor de passo, ou seja, 5 cm do solo. Assim, o motor de passo exerce esforço máximo absoluto de P_{deck}/f_s . Para $y_{max} - y_{min} = c$, em que c é o curso do motor de passo ($c = 6\text{ cm}$), da Equação T.7, tem-se,

$$\begin{aligned} c &= \frac{P_{deck}}{3kf_s}[(f_s + 1) - (f_s - 1)] \Rightarrow c = \frac{2P_{deck}}{3kf_s} \\ &\Rightarrow k = \frac{2P_{deck}}{3cf_s} \end{aligned} \quad (\text{T.8})$$

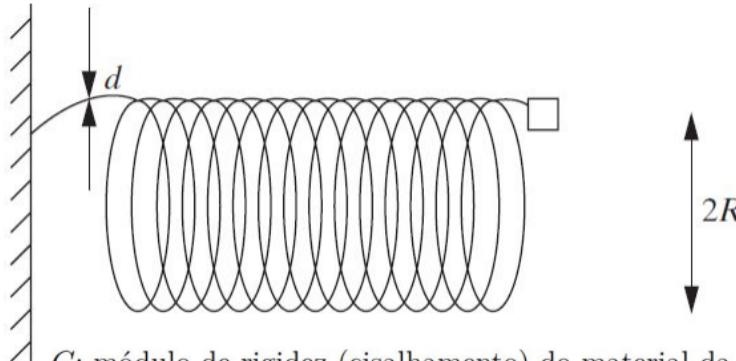
Assim, foi encontrada a expressão da constante elástica k de cada mola (Equação T.8) a partir de valores conhecidos do peso do *deck* P_{deck} , curso do motor de passo c e fator de sustentação requerido f_s .

T.1.0.5.2 Dimensões das Molas

Como, em geral, as molas não são vendidas com a informação da constante da mola e a situação atual não permite o teste das molas, é necessário que seja fabricada uma mola, por intermédio de uma empresa, com a constante elástica necessária. Correlato a isso, para encomendar molas, é necessário indicar as dimensões relevantes. Assim, será

utilizada a Equação T.9 para relacionar a constante k conhecida as dimensões relevantes da mola. A Figura 191 foi adaptada do livro *Engineering Vibration* (INMAN, 2014) e esclarece as dimensões relevantes da mola para a Equação T.9.

$$k = \frac{Gd^4}{64nR^3} \quad (\text{T.9})$$



- G : módulo de rigidez (cisalhamento) do material da mola;
- d : diâmetro do arame da mola;
- n : número de voltas;
- R : raio externo da mola;

Figura 191 – Dimensões da mola.

Para uma mola sem espaços entre as voltas do arame, conforme mostrado na Figura 192, é possível obter a relação $L_0 = nd$.

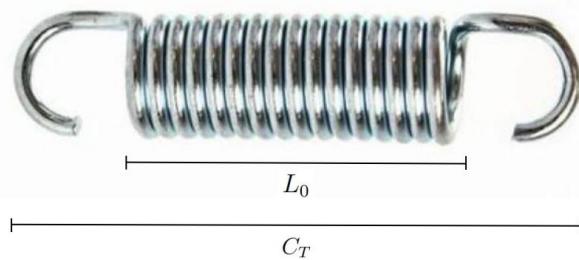


Figura 192 – Exemplo de mola.

Assim, para definir todas as dimensões da mola, é necessário levar em consideração o comprimento total da mola C_T , incluindo os ganchos, as dimensões da fixação das molas e a distância entre a posição de equilíbrio do *deck* e a estrutura do chassi.

Em vista disso, para calcular as dimensões da mola, será utilizada a constante da mola k , dada pela Equação T.8. Assim, a constante da mola é obtida pelo massa estimada

do *deck* e seus componentes, conforme mostrado na Equação T.11.

$$k = \frac{2P_{deck}}{3cf_s} \Rightarrow k = \frac{2m_{total}g}{3cf_s} = \frac{2 \times 11,7 [kg] \times 9,81 [m/s^2]}{3 \times 0,06 [m] \times 100} \Rightarrow k = 12,7 N/m \quad (\text{T.10})$$

Da Equação T.9 e para os valores mostrados na Tabela 113, é obtida a constante de mola necessária, de acordo com a Equação T.11.

Tabela 113 – Dimensões da mola.

Parâmetro	Valor
d	3 mm
R	7 mm
n	25
G (aço inox)	86,2 MPa

$$k = \frac{Gd^4}{64nR^3} \Rightarrow k = \frac{86,2 [MPa] \times (3 [mm])^4}{64 \times 25 \times (7 [mm])^3} \Rightarrow k \approx 12,7 N/m \quad (\text{T.11})$$

Dadas as posições das molas, faz-se necessário considerar as respectivas forças elásticas no cálculo do momento nas guias. Sendo assim, os cálculos dos momentos requeridos pelos sistema se encontram na Seção T.1.0.6.

T.1.0.6 Simulação Estática do *Deck* e Validação das Guias Lineares

Conforme mencionado, o objetivo das guias lineares é equilibrar o momento de rotação do *deck*. Para diminuir ao máximo tal momento, o motor de fuso foi posicionado no centro de gravidade do *deck*, considerando a distribuição de peso nele. Assim, o momento de rotação suportado pelas guias será praticamente o momento gerado pelas molas.

T.1.0.6.1 Condições das Simulações

Para esse cálculo, foram estimados todos os esforços no *deck*, os quais estão resumidos na Tabela 114 nas posições em que o *deck* está na posição mais abaixada e na mais elevada.

O peso do conjunto 1 diz respeito ao conjunto lâmina-motor frontal, com a lâmina de 30 cm. Analogamente, o conjunto 2 está relacionado aos conjuntos lâmina-motor laterais (traseiros) com a lâmina de 18 cm.

Conforme mencionado na seção T.1.0.5, a força máxima no motor de fuso foi assumida como P_{deck}/f_s para o dimensionamento das molas. Para o fator de sustentação

escolhido $f_s = 100$, a força máxima atuando no motor de fuso é calculada pela massa do *deck* e seus componentes (trilhos, conjuntos lâmina-motor e motor de fuso), de acordo com a Equação T.12. Tal massa foi avaliada em 11,7 kg. Assim, a força máxima exercida pelo motor de passo, em valor absoluto, é encontrada pela Equação T.12.

$$\begin{aligned} |F_{m,max}| &= \frac{P_{deck}}{f_s} = \frac{11,7 \text{ [kg]} \times 9,81 \text{ [m/s}^2\text{]}}{100} \\ &\Rightarrow |F_{m,max}| = 1,14 \text{ N} \end{aligned} \quad (\text{T.12})$$

A força elástica total pode ser encontrada com a Equação T.6. Esse cálculo foi realizado de acordo com a Equação T.13.

$$\begin{aligned} F_{el,min} &= \frac{-P_{deck}}{f_s}(f_s + 1) \\ &\Rightarrow |F_{el,min}| = 115,6 \text{ N} \\ F_{el,max} &= \frac{-P_{deck}}{f_s}(f_s - 1) \\ &\Rightarrow |F_{el,max}| = 113,3 \text{ N} \end{aligned} \quad (\text{T.13})$$

Tabela 114 – Esforços no *deck*.

Esforço	Valor [N]
$P_{C,1}$ (peso do conjunto 1)	6,51
$P_{C,2}$ (peso do conjunto 2)	3,46
P_m (força peso do motor de fuso)	3,34
P_{trilho} (peso de cada trilho)	2,60
$P_{deck,material}$ (peso considerando o material do <i>deck</i> apenas)	89,6
$ F_{m,max} $ (força máxima motor de fuso - valor absoluto)	1,14
$F_{el,min}$ (força elástica total quando o <i>deck</i> está completamente abaixado)	-115,6
$F_{el,max}$ (força elástica total quando o <i>deck</i> está completamente levantado)	-113,3

Além dos esforços mencionados, é interessante comentar que foi utilizada a condição de aceleração da gravidade para contabilizar o peso das guias e da estrutura do *deck*. Assim, nota-se que a estrutura está em equilíbrio vertical, de acordo com as Equações T.14 e T.15, as quais representam o somatório de forças verticais no *deck* na posição mais baixa e na posição mais alta, respectivamente.

$$P_{C,1} + 2P_{C,2} + P_m + 3P_{trilho} + P_{deck,material} + |F_{m,max}| + F_{el,min} = 0 \quad (\text{T.14})$$

$$P_{C,1} + 2P_{C,2} + P_m + 3P_{trilho} + P_{deck,material} - |F_{m,max}| + F_{el,max} = 0 \quad (\text{T.15})$$

Para o cálculo dos momentos de flexão nas guias, é necessário incluir a posição dos patins na simulação. Assim, foram criadas faces nas guias (Figura 193) para representar a restrição conferida pelos patins, tanto na altura mais baixa do *deck*, quanto na altura mais alta do *deck*.

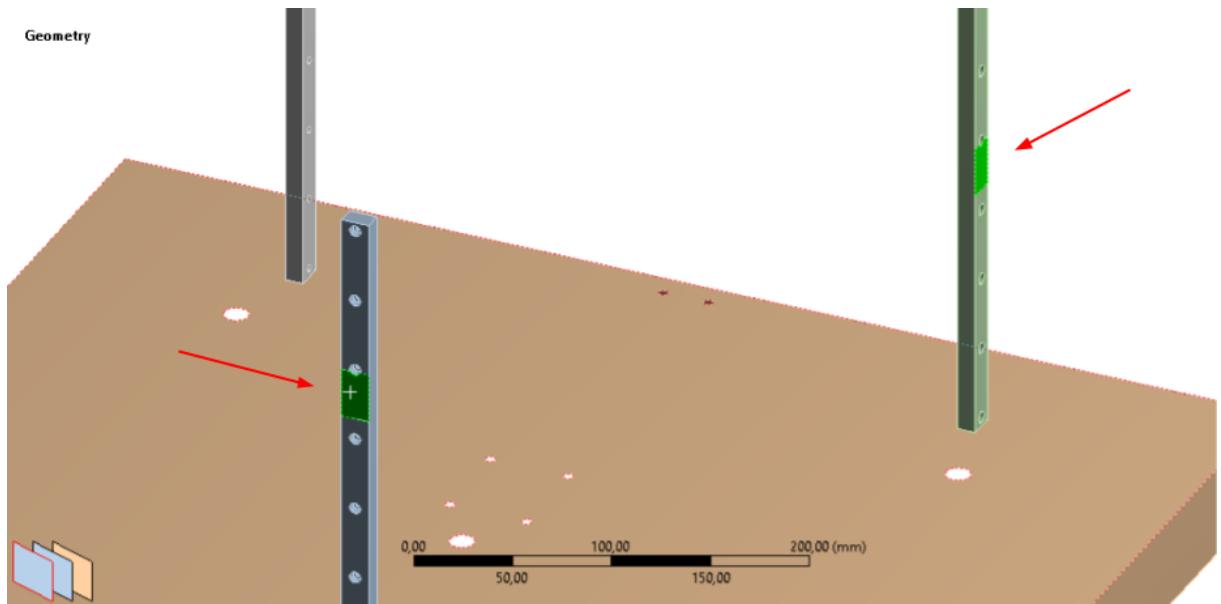


Figura 193 – Faces auxiliares para representar os patins na posição mais baixa.

Para as condições mostradas na Figura 194, foram obtidas as tensões e deformações de acordo com os esforços no *deck*. Para fins de esclarecimento, a força do motor de fuso, indicada na figura, é a soma de P_m e $F_{m,max}$. Analogamente, foram definidas as condições de simulação para o *deck* em sua configuração mais alta (Figura 195). Ademais, como os trilhos estão soldados no *deck*, foi utilizada a conexão *bonded* entre as superfícies dos trilhos e a superfície do *deck*.

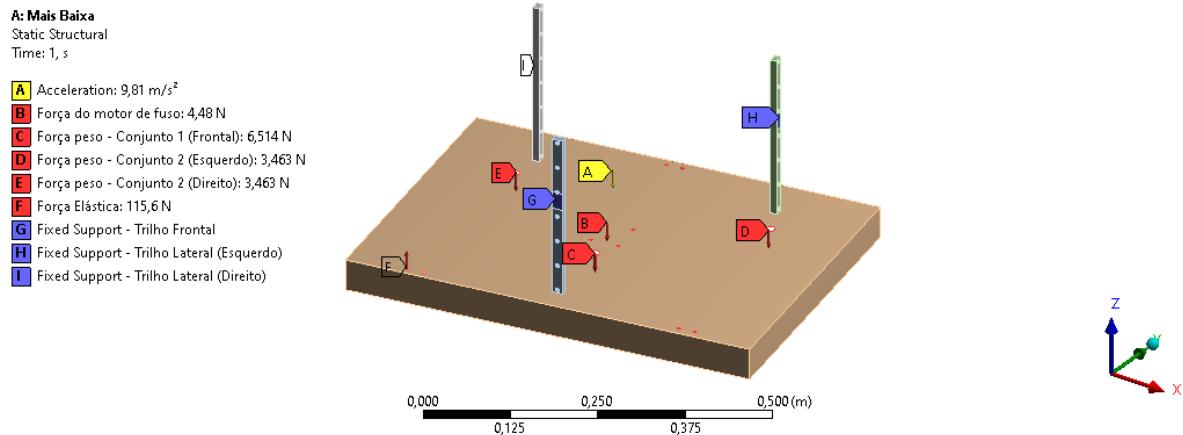


Figura 194 – Esforços e condições de contorno da simulação estática para o *deck* na configuração mais baixa.

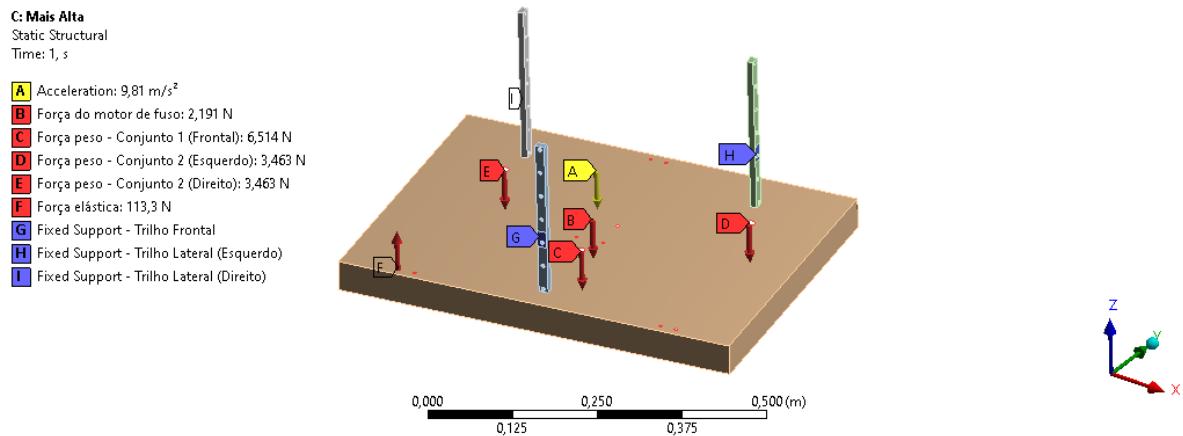
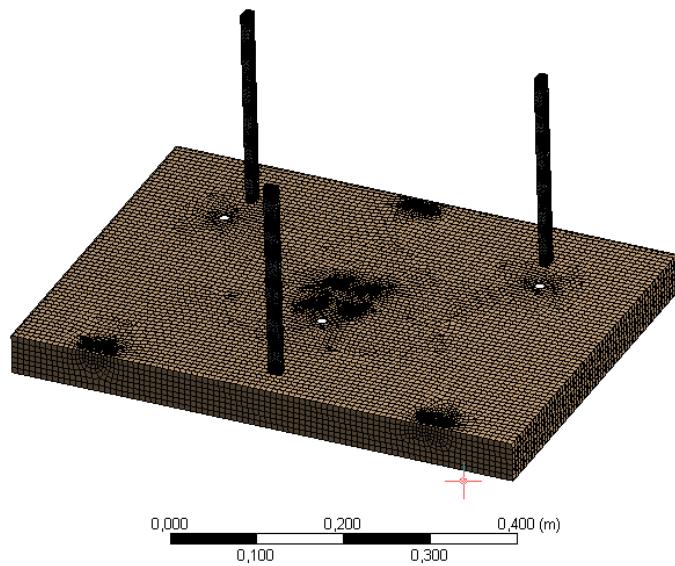


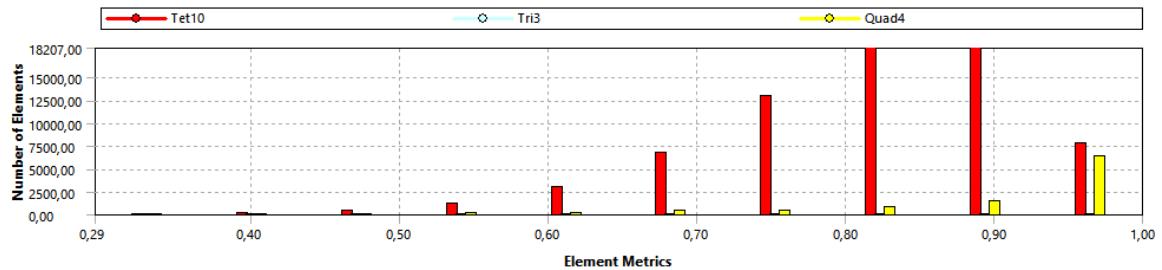
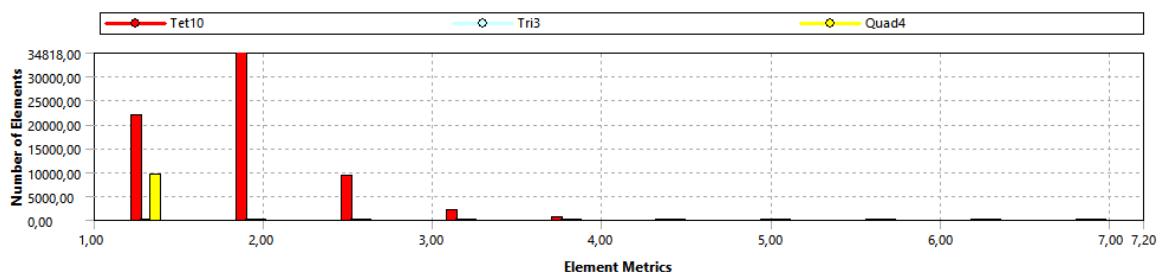
Figura 195 – Esforços e condições de contorno da simulação estática para o *deck* na configuração mais alta.

T.1.0.6.2 Malha

Como o *deck* possui espessura fina $e = 3,0 \text{ mm}$, foi modelado como elementos 2D. Por outro lado, os trilhos são compostos de elementos 3D. A malha gerada possui 115867 nós e 78022 elementos e está ilustrada na Figura 196.

Figura 196 – Malha do *deck*.

Das Figuras 197 a 199 é possível observar os parâmetros de qualidade de malha *element quality*, *aspect ratio* e *skewness*. Correlato a isso, os parâmetros *element quality* e *aspect ratio* ideal corresponde aos valores próximos de 1. Por outro lado, o valor ideal do parâmetro *skewness* é 0. Sendo assim, é possível concluir que a maioria dos elementos está nas faixas ideais, conferindo qualidade para a solução.

Figura 197 – *Element quality*.Figura 198 – *Aspect ratio*.

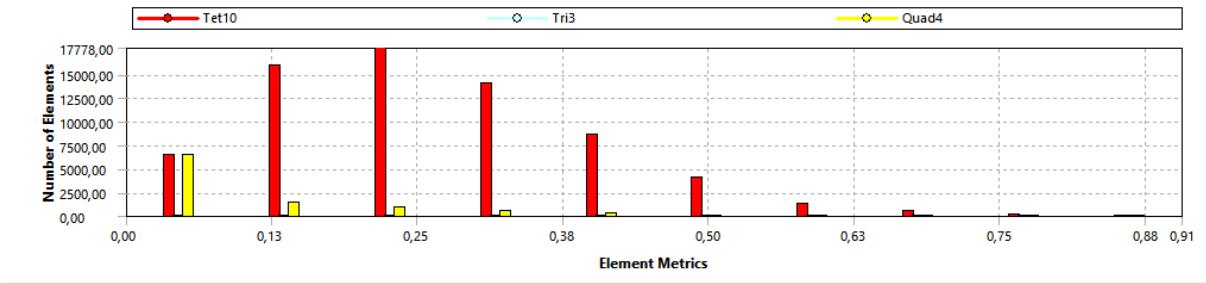


Figura 199 – Skewness.

T.1.0.6.3 Resultados

Relacionado às guias lineares, é possível comparar o momento de flexão calculado numericamente e o limite especificado pelo fabricante. Tal comparação encontra-se ilustrada na Tabela 115 para a posição mais baixa do *deck* e na Tabela 116 para a posição mais alta. Os eixos de referência *x*, *y* e *z* estão ilustrados na Figura 200. A rigor, foi indicado o sentido dos momentos exigidos calculados numericamente, porém, o momento limite refere-se aos dois sentidos, ou seja, é um valor absoluto. Definindo o *CS* como a razão entre o momento limite e o momento exigido, das tabelas, é possível concluir que a guia utilizada é suficiente para o esforço aplicado.

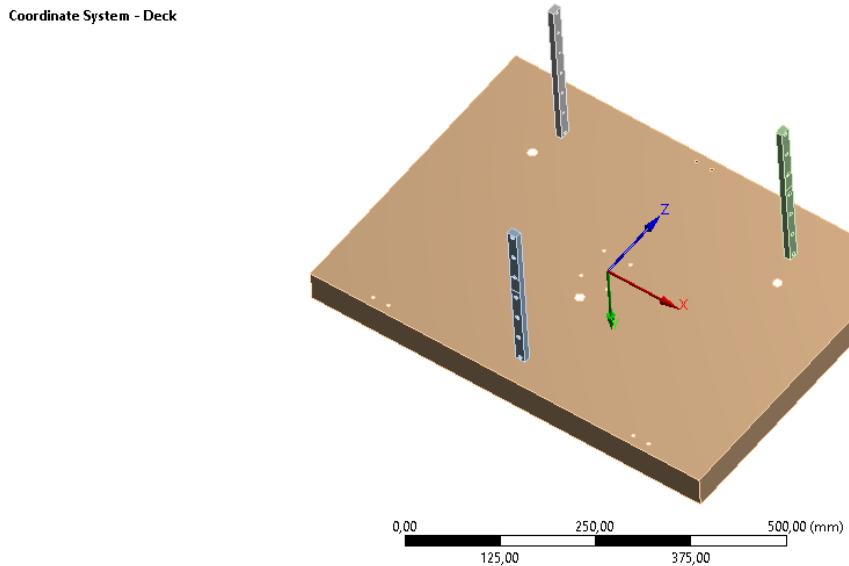
Figura 200 – Sistema de coordenadas do *deck*.

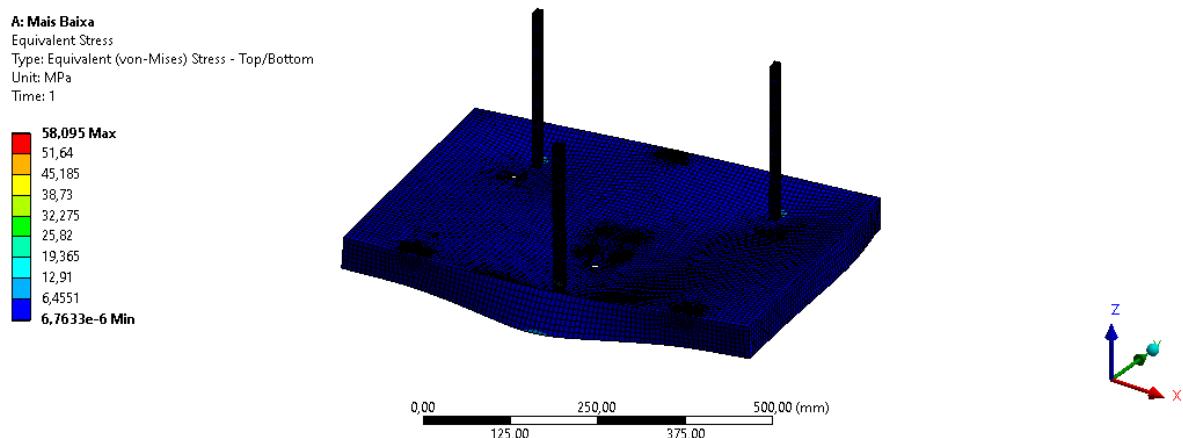
Tabela 115 – Momentos de reação nos patins para o *deck* em sua configuração mais baixa.

Momentos de Cada Trilho	Momento Limite [N · m]	Momento Exigido [N · m]	<i>CS</i>
Frontal M_x	21,56	-1,6	13,4
Frontal M_y	45,08	$-4,5 \cdot 10^{-4}$	101303
Frontal M_z	21,56	$1,3 \cdot 10^{-3}$	15783
Lateral Esquerdo M_x	21,56	0,75	28.8
Lateral Esquerdo M_y	45,08	$5,1 \cdot 10^{-2}$	886.2
Lateral Esquerdo M_z	21,56	-0,29	75.6
Lateral Direito M_x	21,56	0,75	28.8
Lateral Direito M_y	45,08	$-5,1 \cdot 10^{-2}$	886.2
Lateral Direito M_z	21,56	0,29	75.6

Tabela 116 – Momentos de reação nos patins para o *deck* em sua configuração mais alta.

Momentos de Cada Trilho	Momento Limite [N · m]	Momento Exigido [N · m]	<i>CS</i>
Frontal M_x	21,56	-1,8	11.7
Frontal M_y	45,08	$-1,1 \cdot 10^{-3}$	42649
Frontal M_z	21,56	$1,6 \cdot 10^{-3}$	13292
Lateral Esquerdo M_x	21,56	1,1	19,2
Lateral Esquerdo M_y	45,08	$9,7 \cdot 10^{-2}$	464,1
Lateral Esquerdo M_z	21,56	-0,20	108,3
Lateral Direito M_x	21,56	1,1	19,2
Lateral Direito M_y	45,08	$-9,7 \cdot 10^{-2}$	464,1
Lateral Direito M_z	21,56	0,20	108,3

Ainda sobre as simulações, foram obtidos os valores de tensão e deformação da estrutura quando submetida aos esforços mencionados. Nas Figuras 201 e 202 estão ilustrados os resultados de tensão e deformação, respectivamente, para a configuração do *deck* mais baixa. Analogamente, as Figuras 203 e 204 referem-se aos resultados de tensão e deformação para a configuração mais alta do *deck*.

Figura 201 – Tensões de Von Misses para o *deck* em sua configuração mais baixa.

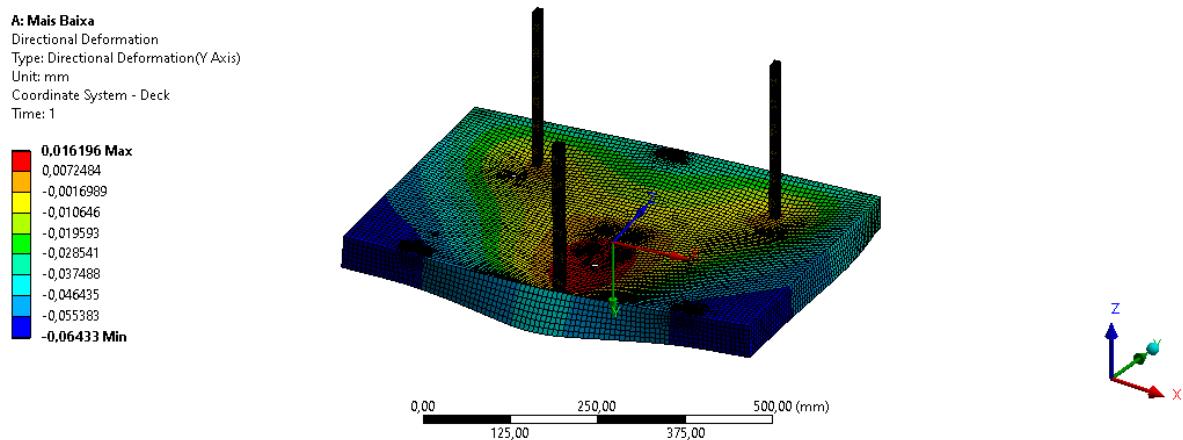


Figura 202 – Alongamento para o *deck* em sua configuração mais baixa.

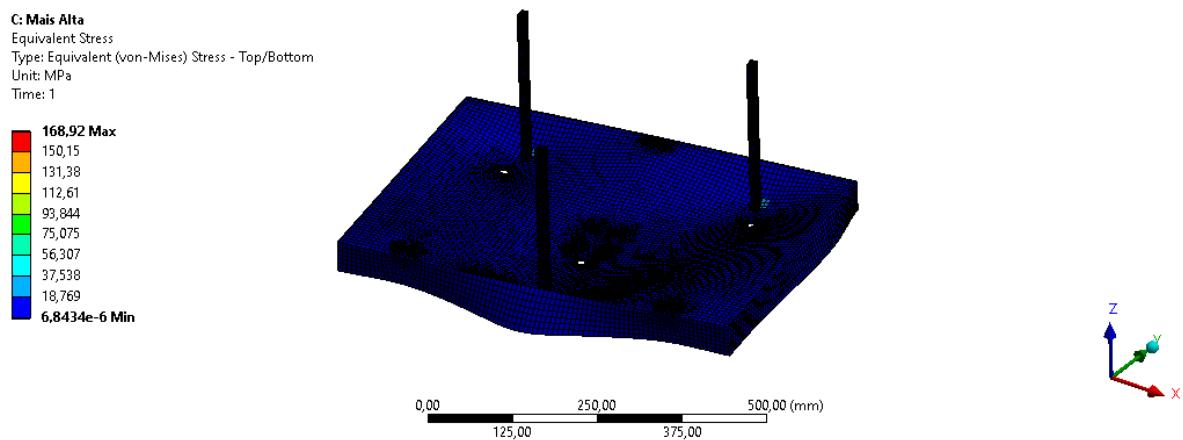


Figura 203 – Tensões de Von Misses para o *deck* em sua configuração mais alta.

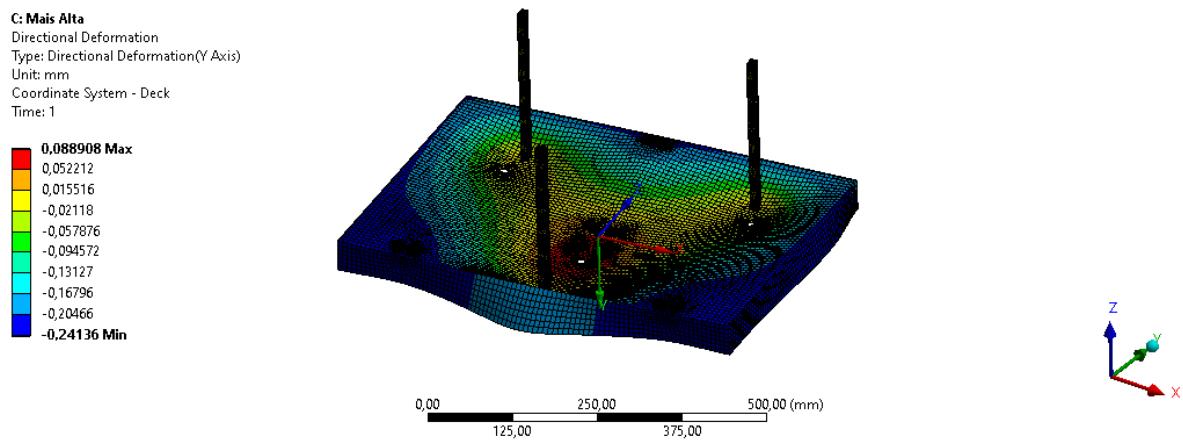


Figura 204 – Alongamento para o *deck* em sua configuração mais alta.

Das Figuras 201 e 203, observa-se que as tensões máximas estão significativamente abaixo da tensão de escoamento do aço inox $\sigma_{y,inox} = 240 \text{ MPa}$. No caso da configuração

mais baixa, o valor máximo de tensão representa 24,2% de $\sigma_{y,inox}$ e, para a configuração mais alta, o valor máximo representa 70,4% de $\sigma_{y,inox}$. Além disso, das Figuras 202 e 204, observa-se que a deformação máxima é de 0,06 mm e 0,24 mm para as configurações mais baixa e mais alta, respectivamente. Assim, esses valores correspondem a 2,0% e 8,0% da espessura do material do *deck*. Dessa forma, é possível concluir que a estrutura está adequada, tanto pela análise das guias, quanto pela análise da integridade estrutural do *deck*.

T.1.0.7 Simulação Dinâmica - Análise Modal

Diversas estruturas estão inherentemente sujeitas a vibrações mecânicas, sendo estas geralmente indesejáveis devido aos seus efeitos nocivos como falhas por fadiga e níveis inadequados de ruído a usuários e operadores (FLORES, 2004).

Os modos de vibrar de uma estrutura são determinados pelas propriedades do material (massa, rigidez e amortecimento) e pelas condições de contorno da estrutura. Cada um dos modos de vibração possui sua respectiva frequência natural em que ocorrerá (GUILLAUME, 2002).

A ressonância ocorre quando as frequências das forças atuando no modelo de estudo coincidem com as frequências naturais do mesmo levando a oscilações muito grandes (RAO, 2008).

Segundo (RAMESHA, 2005):

Análise modal é uma técnica para estudar a dinâmica características de uma estrutura sob excitação vibracional. Frequências naturais, formas modais e vetores modais de um estrutura pode ser determinada usando análise modal. Modal a análise permite que o projeto evite vibrações ressonantes ou vibrar em uma frequência especificada e dá aos engenheiros uma ideia de como o design responderá a diferentes tipos de cargas dinâmicas.

A modelagem matemática, entretanto, para o sistema do *deck* é extremamente complicada e extensa a partir de soluções puramente analíticas. Portanto, a metodologia adotada foi novamente, utilizar métodos de simulações numérica dentro do ambiente Modal do ANSYS.

T.1.0.7.1 Malha e Condições de Contorno da Simulação Modal

A malha utilizada foi a mesma da simulação estática representada acima na Seção T.1.0.6.2.

Novamente, foram utilizadas condições similares às da Seção T.1.0.6.1, com exceção das forças aplicadas, visto que se deseja obter as frequências naturais. Os trilhos estão soldados no *deck*, foi utilizada a conexão *bonded* dentre as superfícies dos trilhos e a superfície do *deck*.

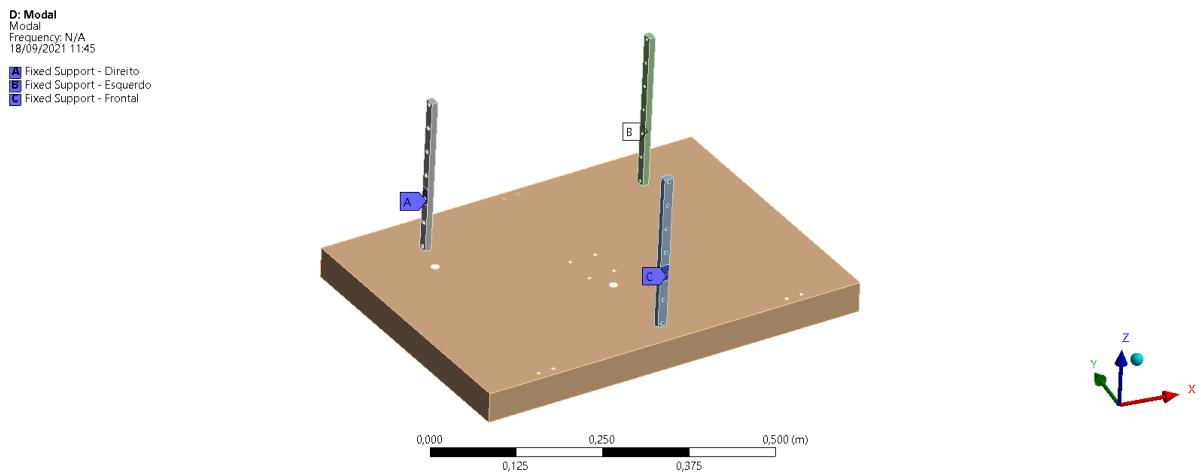


Figura 205 – Condições de contorno da simulação estática para o *deck* na configuração mais alta.

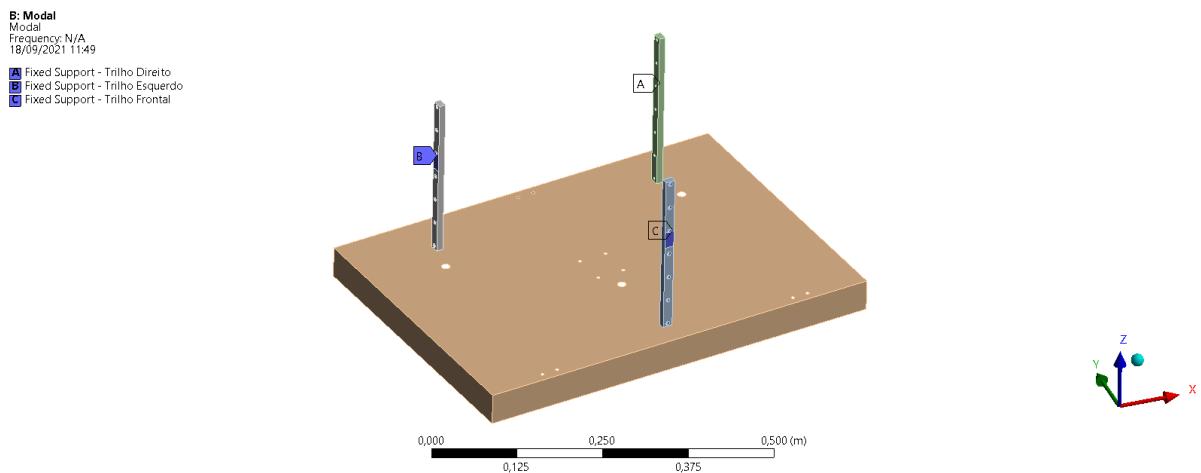


Figura 206 – Condições de contorno da simulação estática para o *deck* na configuração mais alta.

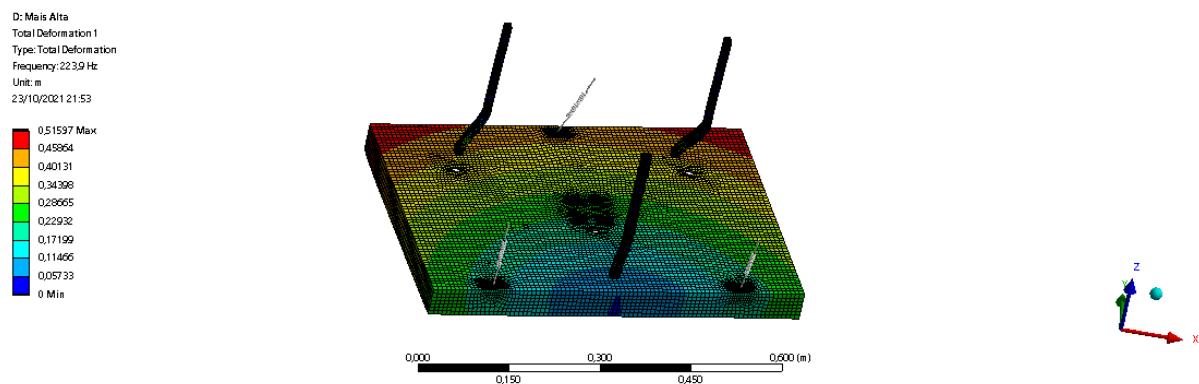
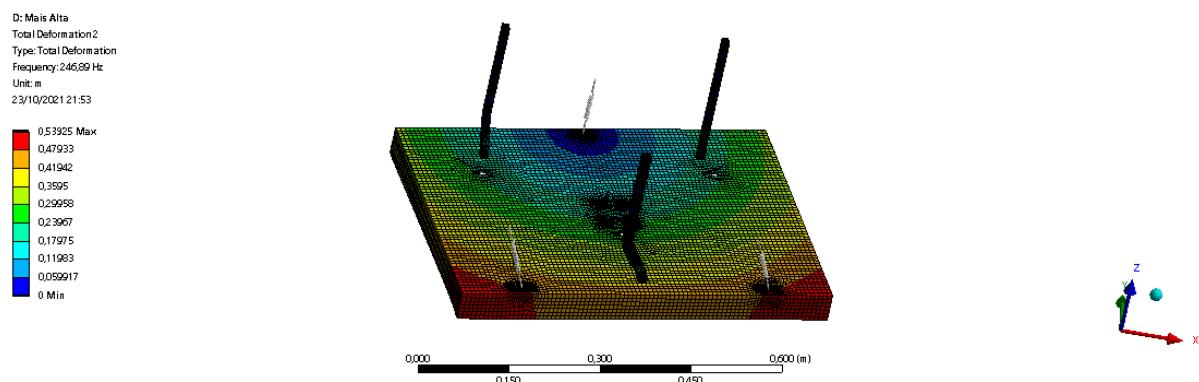
T.1.0.7.2 Resultados

Segue os resultados para as configurações mais altas e mais baixas do *deck*:

- Configuração mais alta do *deck*

Tabela 117 – Tabela de Frequências naturais do *deck* na configuração mais alta.

Modo	Frequência [Hz]
1	223,9
2	246,89
3	264,16
4	351,54
5	351,54
6	351,55

Figura 207 – Modo 1 de vibração do *deck* na configuração mais alta.Figura 208 – Modo 2 de vibração do *deck* na configuração mais alta.

D: Mais Alta
 Total Deformation 3
 Type: Total Deformation
 Frequency: 264,16 Hz
 Unit: m
 23/10/2021 21:53

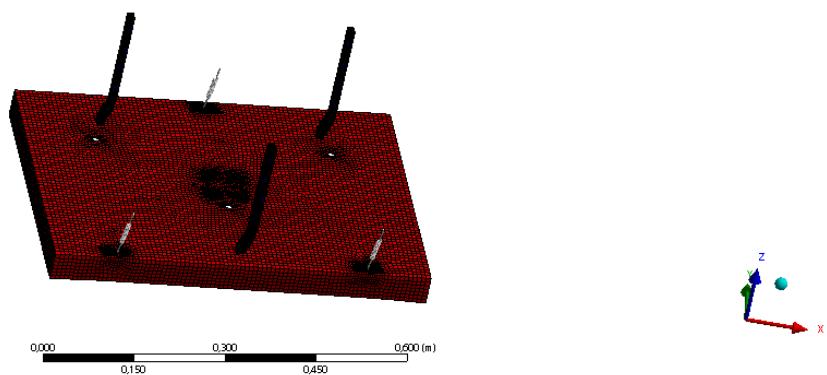
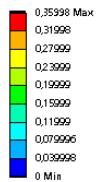


Figura 209 – Modo 3 de vibração do *deck* na configuração mais alta.

D: Mais Alta
 Total Deformation 4
 Type: Total Deformation
 Frequency: 351,54 Hz
 Unit: m
 23/10/2021 21:53

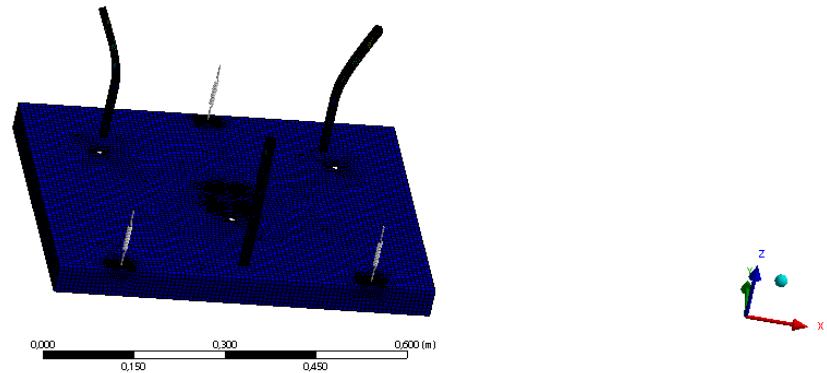
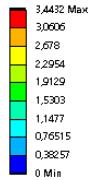


Figura 210 – Modo 4 de vibração do *deck* na configuração mais alta.

D: Mais Alta
 Total Deformation 5
 Type: Total Deformation
 Frequency: 351,54 Hz
 Unit: m
 23/10/2021 21:54

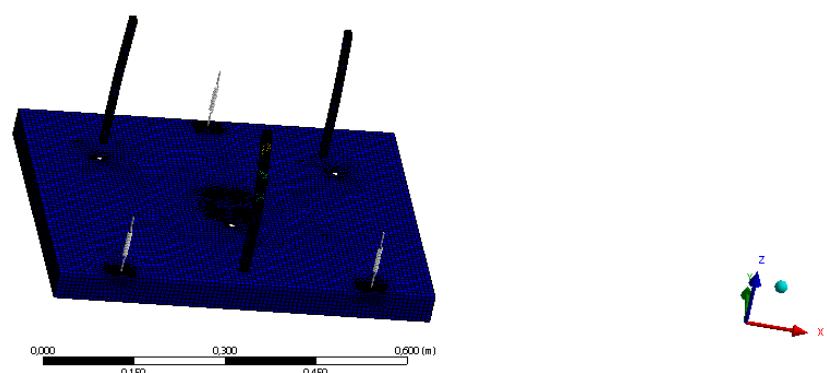


Figura 211 – Modo 5 de vibração do *deck* na configuração mais alta.

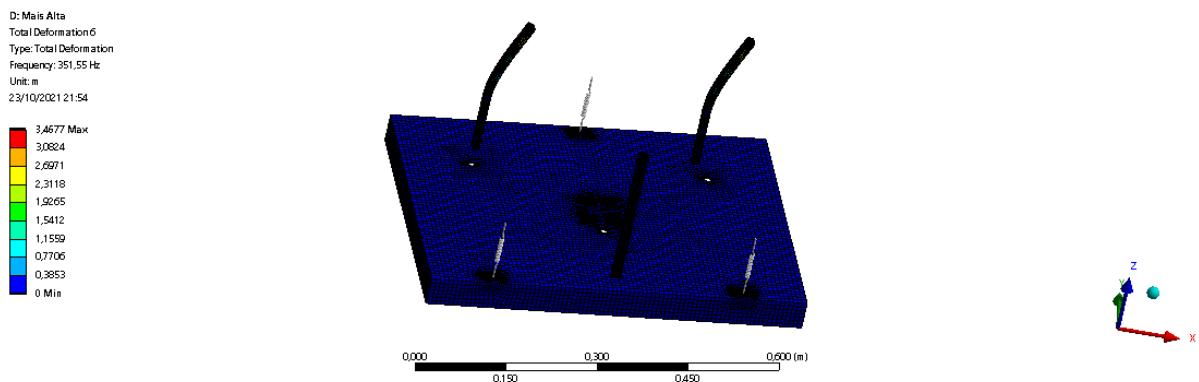


Figura 212 – Modo 6 de vibração do *deck* na configuração mais alta.

- Configuração báis baixa do *deck*

Tabela 118 – Tabela de Frequências naturais do *deck* na configuração mais alta.

Modo	Frequência [Hz]
1	223,9
2	246,89
3	264,16
4	351,54
5	351,54
6	351,55

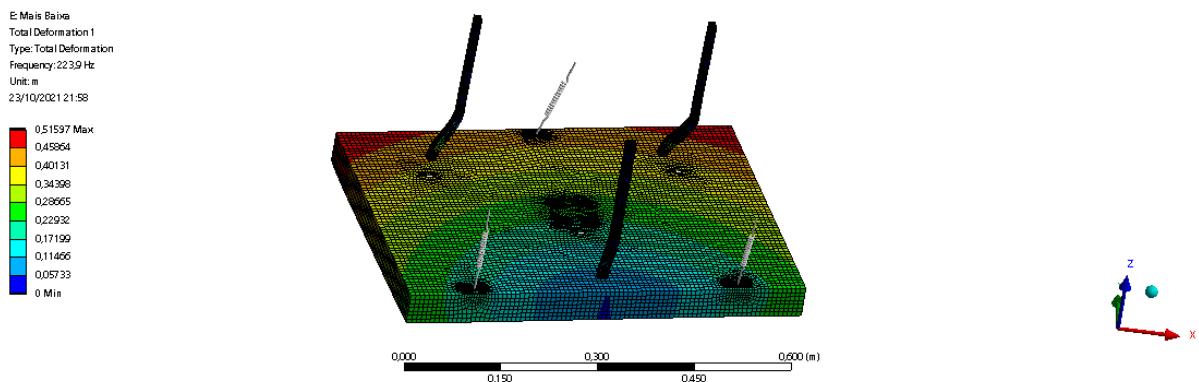
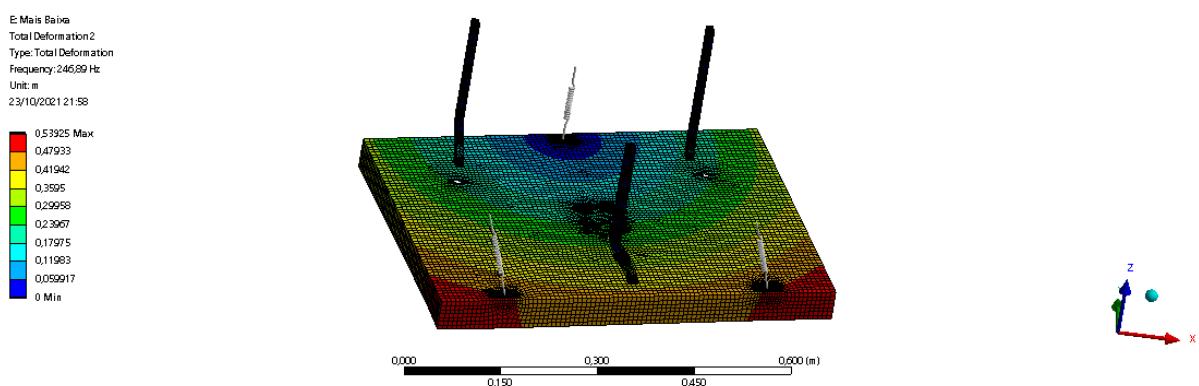
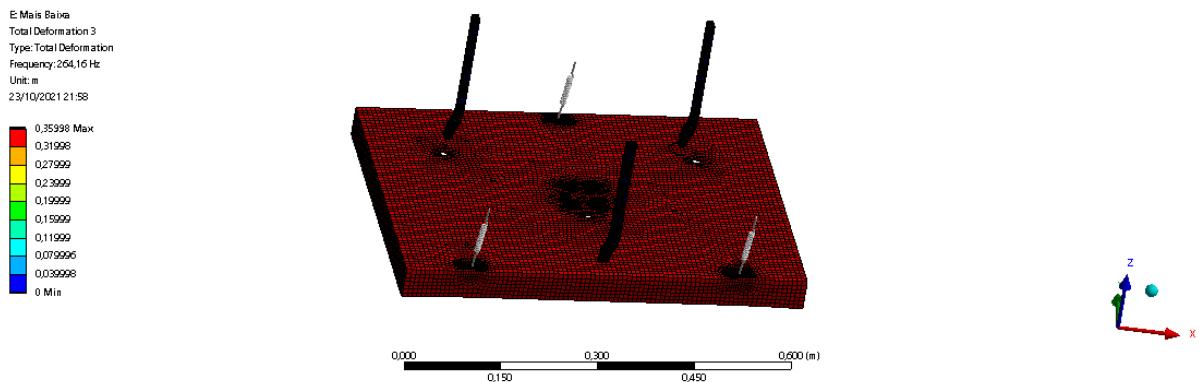
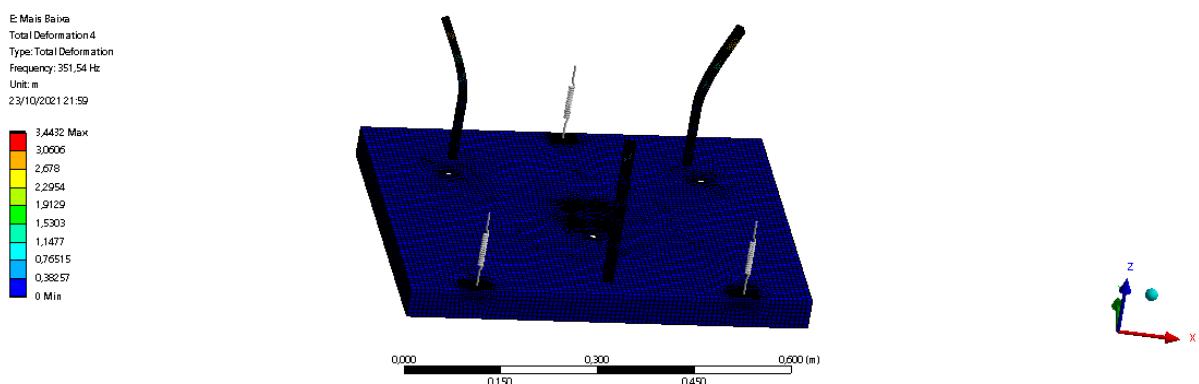
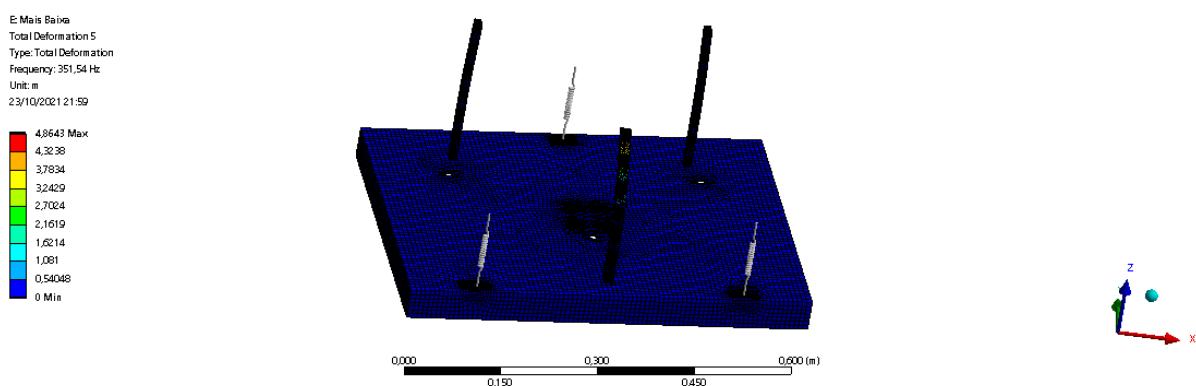
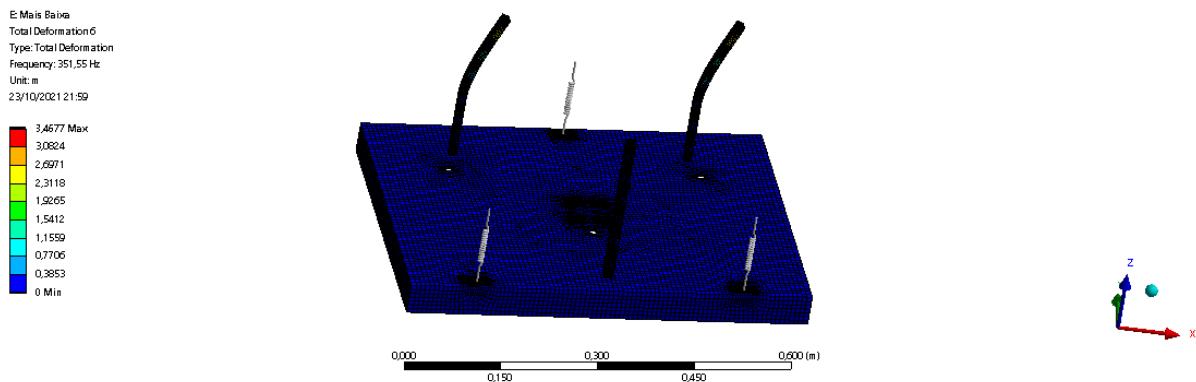


Figura 213 – Modo 1 de vibração do *deck* na configuração mais baixa.

Figura 214 – Modo 2 de vibração do *deck* na configuração mais baixa.Figura 215 – Modo 3 de vibração do *deck* na configuração mais baixa.Figura 216 – Modo 4 de vibração do *deck* na configuração mais baixa.

Figura 217 – Modo 5 de vibração do *deck* na configuração mais baixa.Figura 218 – Modo 6 de vibração do *deck* na configuração mais baixa.

Das Tabelas 117 e 118, temos que as frequências naturais do primeiro modo para a configuração mais alta e mais baixa do *deck*. Essas frequências devem ser cuidadosamente analisadas para evitar a ressonância com os outros subsistemas. Principalmente, as primeiras frequências naturais de ambas configurações, que possuem um valor baixo. Observa-se também que apesar de existirem duas configurações para o *deck* que suas frequências naturais dos seis primeiros modos de vibração de ambas configurações do *deck* possuem valores próximos para cada um dos seis modos. O que é benéfico pois reduz o intervalo de frequência entre os respectivos modos de ambas configurações, reduzindo o número de frequências que devem ser analisadas quando integradas com outros subsistemas, visto que as frequências tem valores próximos.

Além da análise dos modos e suas respectivas frequências, outras duas características importantes da análise modal são:

- *Participation factor*: Indica o valor da resposta do sistema para cada uma das direções X, Y e Z do sistema para cada um dos modos de vibração (ANSYS, 2020).

- *Effective Mass*: Indica a quantidade de massa deslocada para o respectiva direção e modo de vibração do *Participation factor* (FINKELSTEIN, 2019).

A partir dos dois parâmetros acima, observa-se, por exemplo, para a configuração mais alta do *deck*, a partir das Tabelas 119 e 120, que o modo de vibração 3 com frequência natural igual à 67,989 Hz é o modo mais contribui para o deslocamento do *deck* na direção X devido ao valor de 0,15057; sendo responsável por 2,27E-02 kg da massa do *deck* deslocando-se na direção X.

Esses parâmetros sinalizam os modos que deverão ser principalmente evitados caso, por requisito de alguma futura integração com outro subsistema, for desejado evitar um deslocamento em uma certa direção.

Tabela 119 – *Participation Factor* para a configuração mais alta do *deck*.

Modo	f [Hz]	Direção X [1]	Direção Y [1]	Direção Z [1]	Rotação X [1]	Rotação Y [1]	Rotação Z [1]
1	17,811	-9,57E-02	-1,71E-02	-1,59E-04	-5,84E-02	0,32694	6,44E-03
2	50,869	3,49E-03	-2,02E-02	1,159	-1,73E-02	-2,41E-03	4,64E-05
3	67,989	0,15057	2,35E-02	-2,30E-02	3,81E-02	-0,22557	2,59E-02
4	72,367	-2,97E-02	0,18596	1,5336	0,10543	1,62E-02	2,78E-04
5	78,103	0,10004	1,67E-02	-3,44E-03	-1,78E-02	9,65E-02	-8,70E-03
6	85,642	-4,84E-02	0,2727	-0,49506	0,2372	4,18E-02	-1,48E-04

Tabela 120 – *Effective Mass* para a configuração mais alta do *deck*.

Modo	f [Hz]	Direção X [kg]	Direção Y [kg]	Direção Z [kg]	Rotação X [kg]	Rotação Y [kg]	Rotação Z [kg]
1	17,811	9,16E-03	2,93E-04	2,54E-08	3,41E-03	1,07E-01	4,14E-05
2	50,869	1,22E-05	4,09E-04	1,34E+00	3,00E-04	5,79E-06	2,16E-09
3	67,989	2,27E-02	5,54E-04	5,30E-04	1,45E-03	5,09E-02	6,68E-04
4	72,367	8,81E-04	3,46E-02	2,35E+00	1,11E-02	2,62E-04	7,73E-08
5	78,103	1,00E-02	2,79E-04	1,18E-05	3,16E-04	9,32E-03	7,56E-05
6	85,642	2,34E-03	7,44E-02	0,24509	5,63E-02	1,75E-03	2,19E-08
Sum		4,51E-02	0,11048	3,941	7,28E-02	0,16911	7,86E-04

Tabela 121 – *Participation Factor* para a configuração mais baixa do *deck*.

Modo	f [Hz]	Direção X [1]	Direção Y [1]	Direção Z [1]	Rotação X [1]	Rotação Y [1]	Rotação Z [1]
1	17,547	-1,67E-01	-2,99E-02	-1,89E-04	-5,78E-02	0,32364	5,60E-03
2	50,732	1,14E-02	-6,07E-02	1,1437	-1,67E-02	-2,29E-03	1,74E-04
3	66,659	0,62761	9,92E-02	-2,06E-02	3,09E-02	-0,18523	6,37E-02
4	70,438	-1,38E-01	0,88718	1,2844	0,10994	1,82E-02	-2,04E-04
5	76,366	1,4633	2,45E-01	2,46E-03	-2,96E-02	1,61E-01	-2,97E-01
6	78,641	1,66E-01	1,131	-0,89105	7,59E-02	-1,19E-03	-9,93E-02

Tabela 122 – *Effective Mass* para a configuração mais baixa do *deck*.

Modo	f [Hz]	Direção X [kg]	Direção Y [kg]	Direção Z [kg]	Rotação X [kg]	Rotação Y [kg]	Rotação Z [kg]
1	17,547	2,77E-02	8,91E-04	3,58E-08	3,34E-03	0,10474	3,14E-05
2	50,732	1,30E-04	3,68E-03	1,308	2,78E-04	5,24E-06	3,01E-08
3	66,659	0,3939	9,84E-03	4,23E-04	9,57E-04	3,43E-02	4,06E-03
4	70,438	1,90E-02	0,78708	1,6498	1,21E-02	3,31E-04	4,16E-08
5	76,366	2,1413	6,01E-02	6,04E-06	8,75E-04	2,58E-02	8,84E-02
6	78,641	2,76E-02	1,2791	0,79397	5,76E-03	1,41E-06	9,86E-03
Sum		2,6097	2,1407	3,7522	2,33E-02	0,16518	0,10233

Apesar das simulações numéricas mostrarem um resultado coerente, para uma fase final do produto, ainda sim é necessário validar o modelo da simulação numérica a partir de métodos de Análise Modal Experimental (AME), visto que modelar estruturas com conexões, juntas e soldagens podem ser muito mais complexas, mesmo que seja assumido um comportamento linear das mesmas ([MAIA N. M. M.; SILVA, 2001](#)).

Porém, a análise modal experimental, não foi possível ser feita pois requisitaria a fabricação real de todos os subsistemas aqui apresentados, que não foram possíveis serem construídos presencialmente devido às resoluções do Conselho de Ensino, Pesquisa e Extensão (CEPE) com a determinação de que as atividades acadêmicas aconteçam em modo remoto.

APÊNDICE U – Memória de cálculos da solução energética

U.1 Características das baterias

As figuras abaixo mostram o visual das baterias e também as especificações de cada uma:



Figura 219 – Bateria de 12V 15Ah.

Tabela 123 – Bateria de 12V 15Ah : especificações.

Tipo de Bateria	Íon-Lítio
Tensão (V)	12V
Capacidade (Ah)	15Ah
Energia Armazenada (Wh)	180Wh
Peso (kg)	1,05kg
Dimensões (C x L x A)(mm)	120mm x 70mm x 70mm
Corrente de carga (A)	5A



Figura 220 – Bateria de 24V 30Ah.

Tabela 124 – Bateria de 24V 30Ah : especificações.

Tipo de Bateria	Íon-Lítio
Tensão (V)	24V
Capacidade (Ah)	30Ah
Energia Armazenada (Wh)	720Wh
Peso (kg)	4,4kg
Dimensões (C x L x A)(mm)	150mm x 70mm x 230mm
Corrente de carga (A)	5A

U.2 Dimensionamento do Carregador

U.2.1 Fonte de Tensão

Para calcular a fonte de tensão necessária foi utilizada a tensão de pico V_p chega ao circuito, que pode ser encontrada utilizando a equação U.1 :

$$V_p = V_{\text{entrada}} * V_{rms} \rightarrow V_p = 220 * 1,414 = 311,2V \quad (\text{U.1})$$

Onde: V_p é a tensão de pico.

V_{rms} é a raiz quadrada média ou valor efetivo de uma forma de onda.

U.2.2 Transformador

Para converter 220 V_{ca} rede elétrica em 38 V_{ca}, sabendo que a frequência é de 60 Hz, é necessário um transformador abaixador para reduzir a tensão. No transformador, existem bobinas primárias e secundárias que aumentam ou diminuem a tensão de acordo com o número de voltas das bobinas. Para atender os requisitos do circuito de carga, a classificação de tensão deve ser maior do que a tensão necessária. Assumindo um transformador ideal sem perdas, foi utilizada a Equação U.2:

$$V_{\text{saída}} = \frac{V_{\text{entrada}}}{\frac{L_p}{L_s}} \therefore \frac{L_p}{L_s} = 5,78 \quad (\text{U.2})$$

Onde:

V_{entrada} : Tensão de entrada (o lado primário do transformador);

$V_{\text{saída}}$: Tensão de saída (o lado secundário do transformador);

$\frac{L_p}{L_s}$: Coeficiente de acoplamento entre os enrolamentos primário e secundário;

L_p : Indutância da bobina primária;

L_s : Indutância da bobina secundária.

U.2.3 Retificador

A ponte retificadora remove a parte negativa da V_{ac} produzindo a V_{cc} parcial. Todo o processo é feito usando 4 diodos que permitem que a corrente flua apenas em uma direção.

U.2.4 Filtração

A saída após a retificação não é uma Vcc adequada, é uma saída de oscilação e tem um fator de ondulação muito alto. Esta saída pulsante não é necessária, portanto, é preciso utilizar um capacitor de filtragem. A equação U.3 a seguir mostra como:

$$C = \frac{I}{V} \quad (\text{U.3})$$

- I é a corrente de saída máxima;
- t é o tempo;
- C é a capacitância.

Temos uma onda de frequência de 120Hz após a conversão de 60Hz CA em CC, através de um retificador de ponte de onda completa. Como a parte negativa do pulso é convertida em positiva, um pulso será contado como dois. Portanto, o período de tempo será de $1/120 = 0,0083\text{s} = 8,3\text{ms}$

Considerando primeiramente o carregador de 12V, encontrou-se a tensão de pico por meio da equação U.4:

$$V_{pico} = V_{rms} \times 1,414 \rightarrow V_{pico} = 38V \times 1,414 = 53,73V \quad (\text{U.4})$$

O capacitor quando descarregado deve fornecer 2V a mais que o necessário para o regulador de tensão ($12V + 2V = 14V$), então a tensão de saída é:

$$V = 53,73V - 14V = 39,73V$$

Então:

$$C = (10A \times 8,3\text{ms}) / 39,73V = 0,0021 \text{ F}$$

A figura 221 abaixo mostra a simulação antes e após a inserção do capacitor de filtragem para diminuir o ripple de tensão, em amarelo seria a tensão sem a filtragem e em azul após a filtragem:

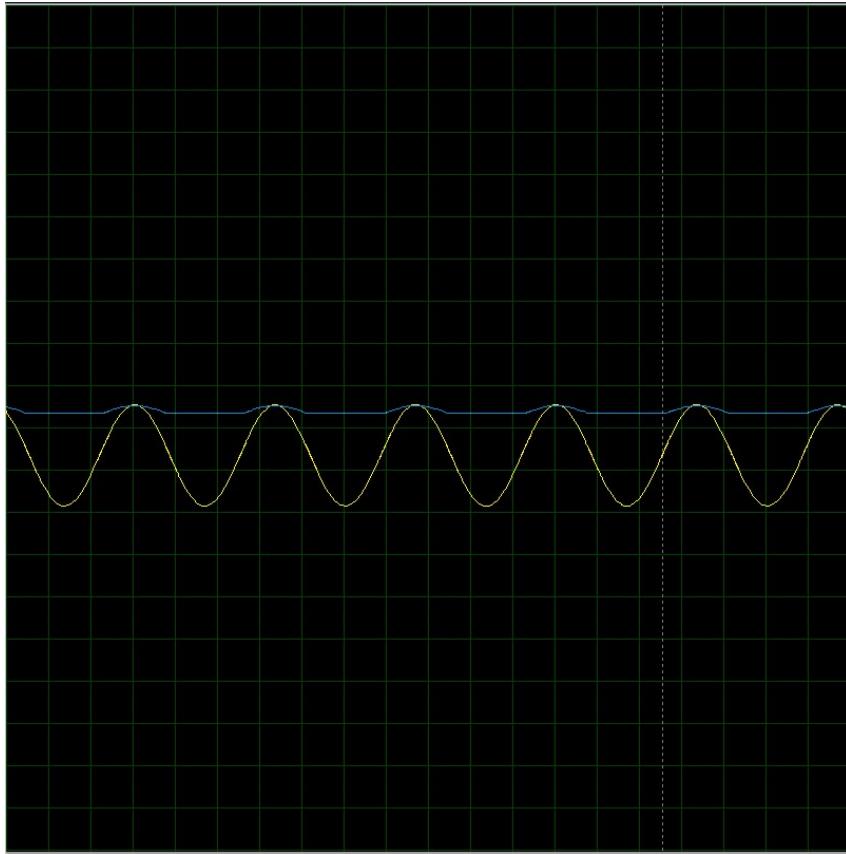


Figura 221 – Simulação de filtragem.

U.2.5 Regulador de Tensão e Corrente

O regulador de tensão LM7812 é capaz de fornecer uma saída fixa de 12.6V com uma corrente máxima de 1 amperes. Para o aumento de corrente, foi necessário o uso de dois transistores Tip 127. O regulador de tensão tem todos os circuitos internos para fornecer uma CC regulada adequada. Um diodo 1N4007 deve ser conectado para proteger o componente de curto circuitos e para controlar o sentido da corrente.

U.3 Dimensionamento dos motores de locomoção

No cortador de grama foi definido o uso de dois motores DC para a locomoção, sendo cada um deles conectado à cada uma roda.

Cada um dos motores deve ser escolhido com as mesmas especificações para haver equilíbrio em todo o conjunto.

Primeiramente, deve-se levar a bateria utilizada propriamente para a alimentação energética de todos os motores em consideração. Como estipulado, a duração de funcionamento de todo sistema do cortador de grama deve ser no mínimo de 1h e 30min, sendo assim, a bateria de 30Ah consegue descarregar no máximo 10A de corrente para cada

um desses dois motores, pois cada motor, passado todo o tempo de duração da bateria, deverá ter consumido 15A. Sabendo a corrente que chegará constante em cada motor, foi definido a Potência Elétrica máxima por hora que cada motor pode utilizar por meio da equação U.5:

$$P_{Elétrica} = V \times I \rightarrow 24V \times 10Ah = 240Wh \quad (\text{U.5})$$

- P é a potência elétrica;
- V é a tensão;
- I é a corrente.

Outro ponto relevante para a escolha dos motores é a potência mecânica necessária para garantir o torque nas rodas para o cortador conseguir se locomover. A potência mecânica pode ser definida pela equação U.6:

$$P_{Mecânica} = T \times 2\pi \times w \quad (\text{U.6})$$

- P sendo a potência mecânica;
- W sendo a velocidade angular (Hz ou rps);
- T sendo o torque na roda (N.m).

O torque mínimo e máximo foi definido pela pesquisa feita pelo grupo de estruturas, sendo mostrado na Tabela 11. A velocidade angular mínima e máxima estão relacionadas com as velocidades mínimas e máximas lineares pela equação U.7:

$$v = w \times R \quad (\text{U.7})$$

- v sendo a velocidade linear (em metros por segundo);
- R sendo o raio de cada roda (em metros);
- w sendo a velocidade angular (em radianos por segundo).

A velocidade linear média considerada será entre 0.5 e 1m/s.

$$w(v) = \frac{v}{R} \rightarrow w(0,5) = \frac{0,5}{0,101} = 4,92rad/s. \quad (\text{U.8})$$

$$w(v) = \frac{v}{R} \rightarrow w(1) = \frac{1}{0,101} = 9,82 \text{ rad/s.} \quad (\text{U.9})$$

A importância de fato será na potência mecânica máxima que as rodas irão produzir, sendo assim, foi usado a condição em que o torque do cortador estará na maior inclinação, ou seja, sua velocidade sendo como 0,5m/s, de acordo com a equação U.6:

$$P_{\text{Mecânica}} = 14,7 \text{ N.m} \times 2\pi \times 0,78 \text{ rps} = 72,32 \text{ W.} \quad (\text{U.10})$$

Todo o sistema possuirá uma caixa de redução entre a transmissão de energia do motor até a roda. Essa caixa reduzirá em 42,875 vezes (referenciar o tópico de estruturas) o torque das rodas para o motor, aumentando proporcionalmente a rotação necessária ao motor. O torque máximo necessário ao motor (considerando 0,5m/s) será o torque de 14,7 N.m das rodas reduzido em 42,875 vezes, ou seja, 0,34N.m. E a rotação aumentará para o motor proporcionalmente em 42,875 vezes, de forma a manter a mesma potência, ou seja, de 46,98rpm para 2014,37 rpm. Então, para considerar a escolha dos motores, terá que ser atendido os seguintes requisitos:

- 10A de corrente;
- 72W de potência;
- 24V de tensão;
- 0,34N.m de torque;
- 2014,37 rpm;
- Baixo ruído;

Então, foi definido assim a escolha do motor CC "XDD94-12Y-50S" que atende todos os requisitos.

A potência elétrica que a bateria pode fornecer está sendo mostrada na tabela 125:

Tabela 125 – Potência elétrica fornecida ao motor.

Potência Elétrica (para cada motor)	
Tensão (Volts)	24
Corrente (Ampére)	10
Energia Fornecida (Wh)	240

A velocidade angular em cada roda está sendo mostrada na tabela 126:

Tabela 126 – Velocidade angular em cada roda.

Velocidade Angular (em cada roda)	
Velocidade Linear (metros por segundo)	0,5
Raio da roda (metros)	0,101
Velocidade Angular (radianos por segundo)	4,95049505

Por meio da velocidade angular e o torque máximo (11), pode-se calcular a potência mecânica máxima desenvolvida pelas rodas na tabela 127:

Tabela 127 – Potência mecânica máxima desenvolvida pelas rodas.

Potência mecânica máxima (de cada roda)	
Torque do motor (N.m)	14,7
Velocidade angular (rps)	0,78
Potência Mecânica (Watts)	72,00648

A tabela 128 mostra a proporção de redução entre torque e rotação calculada pelo grupo de estruturas:

Tabela 128 – Proporção entre torque e rotação.

Caixa de Redução (roda para motor)	
	Proporção
Torque (N.m)	42,875 1
	14,7 0,3429
Proporção	
Velocidade angular (rpm)	1 42,875
	46,8 2006,55

E, por fim, foi achado as especificações mínimas para a escolha do motor de locomoção na tabela 129:

Tabela 129 – Especificações para o motor de locomoção.

Especificações para o motor	
Tensão (Volts)	24
Corrente (Ampere)	10
Potência mecânica (Watts)	72,00648
Torque (N.m)	0,3429
Frequência (rpm)	2006,55

U.4 Dimensionamento dos motores de corte

O cortador conta com 3 lâminas de corte, para cada lâmina haverá um motor DC controlando sua rotação. O cálculo necessário para a rotação ideal das lâminas para corte de grama não é bem definido, então foi feita uma pesquisa de mercado, onde foi elencado a rotação e torque do motor de corte de alguns cortadores de grama, estará mostrado no ?? O torque necessário para movimento inicial das lâminas é um dos requisitos também, com base na equação abaixo, foi associado ao torque o momento de inércia das lâminas e a aceleração angular do eixo do motor(HALLIDAY, 2005)(MERIAM, 2005).

$$T = I \times \alpha \quad (\text{U.11})$$

- T sendo o torque necessário para rotação (N.m);
- I sendo o momento de inércia do objeto ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$);
- alfa sendo a aceleração angular do eixo(rad/s^2);

O momento de inércia utilizado é o de uma haste conectada verticalmente por um eixo, foi considerado apenas o cálculo para a maior hélice, tendo em vista que o torque máximo necessário será dessa hélice com maior peso:

$$I = \frac{m \times L^2}{12} \rightarrow I = \frac{0,36\text{kg} \times (0,30\text{m})^2}{12} = 0,0027\text{kg} \cdot \text{m}^2 \quad (\text{U.12})$$

- m sendo a massa da hélice (kg);
- L sendo o comprimento da hélice (m).

Com base nas necessidades do projeto e no que foi pesquisado nas especificações de outros cortadores de grama, foi decidido que a rotação das lâminas deve alcançar ao

menos 3000rpm de velocidade angular, em, pelo menos, 5 segundos. A aceleração angular é a razão entre a velocidade angular e o tempo de aceleração:

$$\alpha = \frac{w}{t} \rightarrow \alpha = 62,8 \text{ rad/s}^2 \quad (\text{U.13})$$

Então:

$$T = 0,0027 \text{ kg.m}^2 \times 62,8 \text{ rad/s}^2 \rightarrow T = 0,17 \text{ N.m} \quad (\text{U.14})$$

São 3 hélices e 3 motores, os cálculos de torque para cada um são muito próximos tendo em vista que o raio de cada hélice tem pouca diferença de comprimento, então foi considerado o pior caso para o torque do motor, o da hélice maior e consequentemente mais pesada.

A curva característica do motor escolhido mostrado na figura 222 mostra em como o torque dinâmico do motor se assemelha ao torque dinâmico dos outros motores mostrados na matriz de comparação a seguir na tabela 130 :

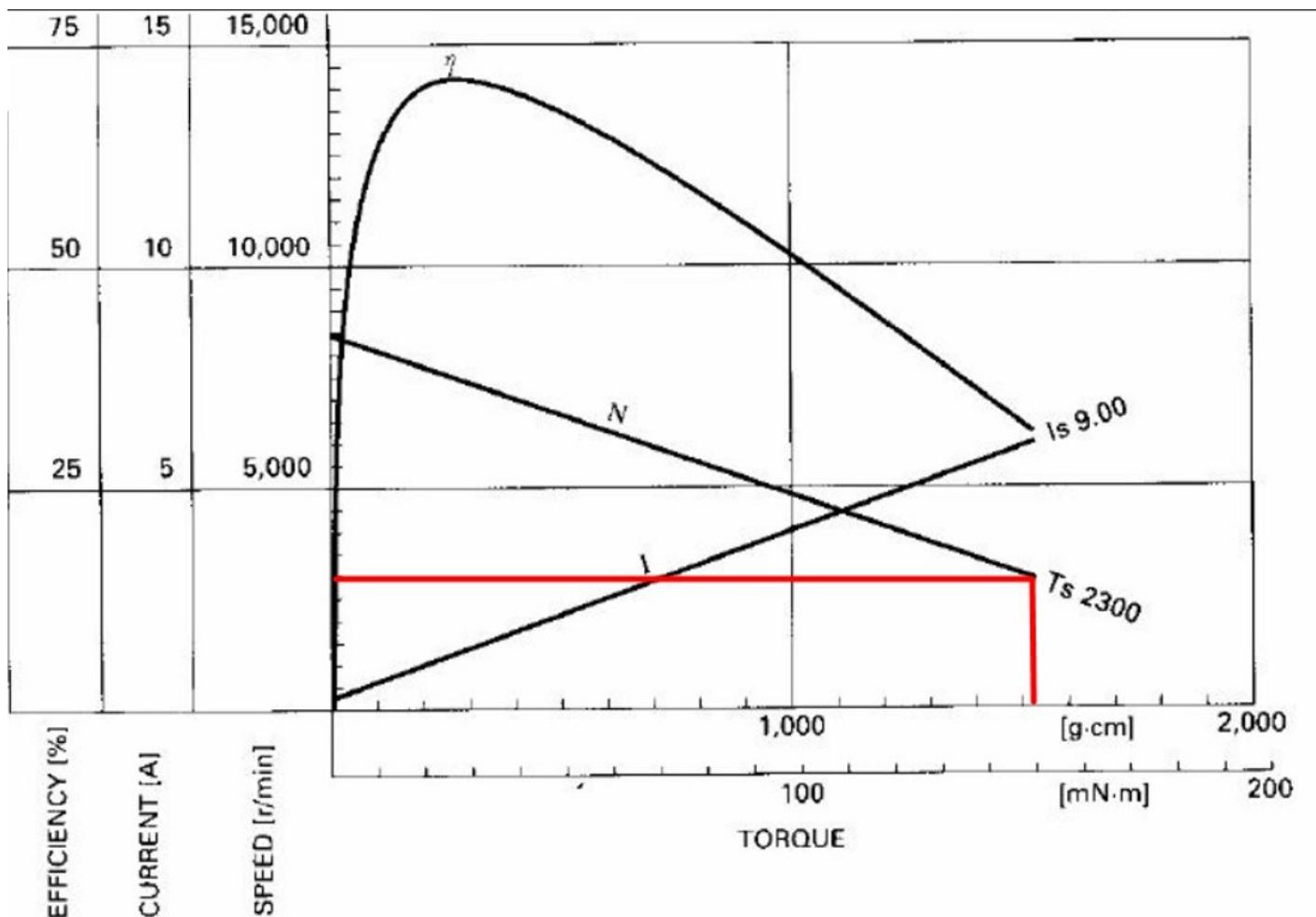


Figura 222 – Curva característica do motor de corte.

Tabela 130 – Matriz de comparação motores de corte.

Matriz de Comparação dos motores de corte				
Automower 420	Automower 550 EPOS	Automower 105	Automower 310	
2300	2700	2900	2300	
30	35	20	25	
0,12	0,12	0,085	0,11	
0,1246	0,1238	0,0659	0,1038	
1,03849	1,03208	0,77518	0,94408	

Com base nos cálculos e na matriz de comparação dos motores, foi escolhido o motor RS555-SH-4033, com 6980rpm e com seu torque dinâmico sendo de 0,15N.m.

APÊNDICE V – Ata de Reuniões Gerais

V.1 Reunião 01: 24/07/2021

- Apresentação dos integrantes do grupo;
- Discussão do tema do projeto: cortador de grama teve preferência sobre moto elétrica e robô garçom;
- Escolha de canais de comunicação: Teams, Github, Overleaf, Whatsapp.

V.2 Reunião 02: 29/07/2021

- Pontos de Controle: o projeto precisa ser finalizado no PC2; o PC3 conterá apenas o projeto montado em Assembly, a integração do subsistemas, a escrita do plano de testes e os manuais de montagem, de manutenção e do usuário; O PC1 deverá conter quase todo o projeto pronto, mas, principalmente, esquemáticos e CADs.
- Confirmação dos canais de comunicação decididos na Reunião 01;
- Discussão sobre reuniões gerais semanais: poderão ser aos sábados, mas há quem prefira durante a semana, no horário de aula – ficamos de fazer votação;
- Decisão: caso alguma área de trabalho tenha de comprar normas NBR, o valor será dividido entre todos os integrantes do grupo;
- Decisão: escrever ata das reuniões;
- Reuniões entre diretores e desenvolvedores: serão decididas entre diretores e desenvolvedores;
- Reuniões de levantamentos de Requisitos Gerais e específicos, EAP e EAR: serão realizadas 3 reuniões em 2 ou 3 dias seguidos. A primeira reunião: será reunião geral para levantamento de requisitos, riscos e EAP gerais. A segunda reunião: será composta por uma reunião realizada por cada grupo de trabalho – diretor e desenvolvedores – para levantamento de requisitos, riscos e EAP específicos. A terceira reunião: será uma reunião geral para análise de tudo o que foi levantado até então (requisitos, EAP, EAR) e fechamento do escopo do projeto. Essa última reunião deverá acontecer no máximo até o dia 02/08/2021.

V.3 Reunião 03: 31/07/2021

- Levantamento requisitos de alto nível;
- Discussão: tamanho do cortador (residencial, mas robusto), sistema de segurança com reconhecimento facial contra furto, motores de tração independentes, motor do cortador será independente, cortador deverá ter sistema de regulagem da altura de corte, conexão com app para celular, não se sabe se terá base de recarga;
- Levantamento de requisitos específicos por parte dos subgrupos em reuniões separadas;
- Apresentação dos requisitos específicos levantados pelas equipes;
- Discussão sobre os requisitos específicos;
- Preenchimento da matriz de conhecimento por cada equipe, contemplando os requisitos, o conhecimento que seria necessário para concretizá-los e a identificação do nível de conhecimento de cada integrante da equipe em relação ao nível de conhecimento exigido para a concretização do requisito;
- Foi determinado que as equipes se reuniriam no domingo para finalização do levantamento dos requisitos específicos e início do desenvolvimento da EAP de cada equipe em separado.

V.4 Reunião 04: 02/08/2021

- Apresentação, discussão e aprovação dos requisitos de alto nível, dos requisitos não funcionais, e dos requisitos específicos;
- Sistema de segurança contra furto ficou de ser definido;
- Sistema de reconhecimento visual de obstáculos e câmera integrada ficaram de ser discutidos;
- Sistema de coleta e descarte de grama vai ser revisto e passará por nova votação;
- Foi apresentado o cronograma inicial e a matriz de riscos que será desenvolvida ao longo da semana;
- Foi informado às equipes os horários de reuniões marcadas com professores: Quarta: software, estruturas, energia; Sexta: eletrônica. Nomes: Little Grass, GramaBot, GamaBot, GardenBot, LawnBot, Robô Jardineiro, Smart Grass,

V.5 Reunião 05: 06/08/2021

- Informe: deveríamos marcar a reunião geral para toda sexta às 19:30h. Integrantes ficaram de pensar. Coordenador geral ficou de fazer forms para votação geral.
- O grupo foi informado sobre as críticas e sugestões feitas pelo professor Felício ao projeto. Para ele, o projeto deveria ser de um cortador de grama para serviços em chácaras, sítios, áreas públicas.
- O grupo foi informado sobre a conversa com os professores Randher e Paolo, que ficaram de marcar reunião com o professor Felício para acertar o escopo do nosso projeto. A ideia é desenvolver um escopo que fique entre um meio termo entre o que estávamos fazendo e o que o professor Felício sugeriu.
- Foi discutido que haverá algumas mudanças em eletrônica e energia em caso de mudança do escopo do projeto para um cortador maior. Não haverá mudanças para o software. O grupo que sofrerá mais mudanças será o grupo de estruturas, que terá de dimensionar um sistema de corte maior, com maior número de lâminas e motores, a estrutura deverá ser maior e mais resistentes, as rodas deverão ser maiores, a tração deverá ser mais forte.
- Foi discutida a ideia de um cortador de grama mais robusto. Algumas imagens com exemplos foram enviadas ao grupo de whatsapp e chat no teams.
- Foi discutida a possibilidade de se acrescentar um aspirador de grama com um sistema de armazenamento, para o robô aspirar e armazenar a grama cortada, com a possibilidade, ainda não acertada, de que o cortador deposite a grama armazenada em um ponto do local onde a grama está sendo cortada, para posterior coleta dos resíduos pelo usuário. Isso aumentaria o escopo da estrutura e acrescentaria um pouco de complexidade ao grupo de software.
- Foi decidido não usar a palavra residencial com o Felício. Então, nosso cortador provavelmente vai ser utilizado também para corte de gramado em áreas de parques, maiores que áreas de jardins residenciais.
- Foi sugerido que o projeto possa ser definido como projeto voltado para cortador de uso em parques públicos e gramados de instituições públicas e privadas, escolas, comércios, prefeituras, etc, o que poderia representar um meio termo entre o sugerido pelo professor Felício e o que o grupo já vinha desenvolvendo.
- Foi decidido que os subgrupos vão pesquisar o assunto relacionado ao aumento do tamanho do cortador de grama, para levantar as dificuldades e analisar a possibilidade de mudarmos para um cortador maior, caso isso seja necessário.

- Decisão final: foi decidido que o grupo não vai bater o martelo, tomar uma decisão final sobre o escopo do projeto, até a reunião com os professores que deverá ser marcada para a semana que vem. Vamos manter a ideia de um cortador residencial, analisar a possibilidade de esse cortador ser mais robusto para uso em áreas públicas, mas não para chácaras. Essa ideia deverá ser defendida na reunião com os professores durante a semana. Caso de fato não seja possível manter a ideia original, tentaremos um meio termo. Mas, a decisão final será tomada após a reunião com professores.
- Coordenador geral: ficou de tentar marcar reunião com professores para dia anterior à quarta-feira, caso seja possível.

V.6 Reunião 06: 13/08/2021

- Decidiu-se trocar nome IOT por "Automatizado";
- Decidido que não haverá base de recarregamento. O cortador será recarregado na tomada;
- Eletrônica: o cortador terá um painel display para mostrar informações básicas para o usuário;
- Foi informado a todos as novas datas de apresentação do relatório e as datas de entrega dos textos dos relatórios. A data de finalização e envio do relatório será sempre um dia antes da data final de envio do documento;
- Foi informado que o professor Paolo já perguntou duas vezes como vamos fazer para evitar que o cortador corte arbustos ou mudas de plantas pequenas que o usuário não deseja cortar. É um problema que de fato vamos ter de resolver;
- Foi discutido, mas não decidido, alguns métodos para evitar que o cortador corte uma muda de rosas plantada no meio do gramado. 1) Usar sensor de presença para detectar a presença da rosa; 2) Associação de: giroscópio + acelerômetro + celular – para o usuário percorrer o perímetro do gramado e demarcá-lo na memória do cortador, de forma que a movimentação do cortador se restrinja ao perímetro demarcado; 3) GPS; 4) Usuário precisa colocar uma tela em torno da muda ou arbusto de plantas que ele não quer cortar, para o cortador, uma vez que detecte essa tela como um obstáculo, mude de direção e não passe por cima da muda de planta; 5) Uso de câmera e reconhecimento visual: ele pode identificar que há um objeto fino, diferente de grama, à frente dele, e decidir que precisa contornar aquele objeto, mas não vai fazer uma identificação visual sobre a identidade do objeto, ou seja, não necessariamente vai reconhecer aquele objeto como uma rosa e diferenciá-la de uma muda de árvore, de um gato ou de um pé de erva-daninha;

- Ficou decidido que será marcada reunião entre eletrônica e software para discutir a questão de reconhecimento/desvio de obstáculos que podem ser confundidos com grama (rosa no meio do jardim).

V.7 Reunião 07: 20/08/2021

- Foi discutido o escopo do projeto: ficaria com o tamanho que está ou seria aumentado de tamanho? Muitos entenderam da reunião com os professores que tudo ficaria como está. Foi criado um forms para votação. No forms, as pessoas votariam se o projeto continuaria como estava ou se seria aumentado de tamanho.
- Foram informadas aos integrantes algumas das críticas feitas pelos professores aos grupos que apresentaram o ponto de controle no dia 20/08. Um arquivo word com as críticas foi colocado no teams e enviado ao grupo de whatsapp da equipe.
- Foi lembrada a todos a data de envio do relatório do PC1 aos professores: 28/08/2021.
- Foi discutida a existência ou não de câmera no cortador. As equipes de software e eletrônica ficaram de se reunir no domingo para decidir.
- O coordenador ficou de marcar reunião do grupo com o professor Alex, para o grupo de energia, o professor Felício, para o grupo de eletrônica, e o professor Randher, para o grupo de Estruturas. Foi informado que o professor Felício espera que todo o grupo esteja presente nas reuniões marcadas com ele.
- O grupo de software informou que ele mesmo agendaria reunião com o professor Chaim.

V.8 Reunião 08: 27/08/2021

- Foi discutido o conteúdo a ser inserido no relatório do PC1. Deu-se um enfoque na questão dos custos, da integração entre eletrônica e software e na necessidade de se justificar bem cada escolha.
- Foi decidido que a apresentação seria feita no Canva e a gravação seria por meio de áudio, que seria enviado à Bruna, para posterior montagem de vídeo que integraria áudio e slides. A Karina ficou de abrir o Canva. Cada grupo faria sua parte dos slides.
- Os tempos de cada área de trabalho na gravação do vídeos, que deveria totalizar 20 minutos, seriam: Gestão - 3 minutos; Energia – 3 minutos; Eletrônica - 4 minutos; Estrutura – 5 minutos; Software – 5 minutos.

V.9 Reunião 09: 03/09/2021

- Foi informada a todos a necessidade de corrigir as referências. É preciso fazer as referências completas na parte da bibliografia. Retirar as referências que aparecem na lista de figuras.
- Foi informado que o coordenador fará a correção dos problemas de formatação do relatório, mas cada grupo corrigirá a bibliografia das referências que acrescentou ao texto.
- Foi pedido ajuda com o látex.
- A partir de agora, as entregas para o PC2 serão realizadas 2x por semana.
- Desenvolvedores deverão validar as entregas antes da data final de entrega.
- Cada entrega será validada quando ela vier acompanhada da parte do relatório referente a ela.
- Substituir a palavra "robô"por "cortador".

V.10 Reunião 10: 10/09/2021

- Foi informado a todos a data de entrega do relatório do PC2: 18/09.
- Foi informado a todos para não atrasarem as entregas e finalizarem a escrita de seus relatórios até a data marcada.
- Foi perguntado a todos sobre o andamento dos grupos. O grupo de software está com as entregas em dia. O grupo de energia informou ter acordado com o professor Alex que o carregamento será por fio. O grupo de eletrônica está tentando não atrasar atividade. O grupo de estrutura está com um pouco de atraso, mas que ainda não é prejudicial à equipe.
- Todos os grupos apresentaram as atividades realizadas desde a apresentação do PC1 e a data da reunião. O objetivo foi fazer com que todos saíssem da reunião com uma visão geral do projeto.

V.11 Reunião 11: 17/09/2021

- Foi analisada a situação de cada grupo em relação às entregas do PC2. O grupo de software estava em dia com as entregas. No grupo de eletroeletrônica, as entregas

de eletrônica estavam em dia, mas algumas entregas do grupo de energia estavam atrasadas. O Grupo de estrutura estava com simulações e CADs atrasados.

- Foi estabelecido o horário de 15h para envio do relatório no dia 18/09.
- Foi decidido que a apresentação do PC2 será filmada. A divisão do tempo será assim: 2 minutos para a gestão, 6 minutos para a estrutura, 4 minutos para a eletrônica e 4 minutos para a energia.

V.12 Reunião 12: 24/09/2021

- Foram discutidas as críticas apresentadas pelos professores ao PC2. O Grupo de energia vai entrar em contato com o professor Alex, para discutir o circuito com problema. Os demais integrantes da energia vão ajudar a corrigir o circuito. O diretor de eletrônica vai fazer o memorial de cálculo da especificação dos motores, para apresentar ao professor Randher na reunião do dia 29/09. O grupo de estruturas vai levantar a NR 15, sobre ruído sonoro, e a norma regulamentadora que trata do desenho de molas.
- Foi informado a todos sobre os manuais que precisarão ser feitos: manual de instalação, manual de montagem e manutenção, manual do usuário.
- Foi informado que será necessário realizar plano de testes individual, de cada área, e integrado, para o caso de o cortador já montado.
- Foi informado sobre a necessidade de criação de vídeo propaganda para o PC3. O Gabriel Teixeira e o Gabriel Metre se comprometeram com o vídeo. Foi informado que os demais que quiserem participar precisam informar sua vontade para serem incluídos no vídeo.

V.13 Reunião 13: 01/10/2021

- Foi informado a todos sobre a escrita dos manuais. A energia e a estrutura foram informadas do manual de montagem e manutenção e do manual do usuário. O software foi informado sobre o manual do usuário.
- Foi informado a todos que deveremos finalizar esses manuais até o dia 17/10, uma semana antes da entrega do relatório do PC3.
- Ficou decidido marcar reunião com o Felício, o Randher e o Alex.

- O software informou que conversou com o Chaim e ficou certo de que eles devem entregar apenas as partes mais importantes dos códigos, em especial, a parte que realiza integração com a eletrônica.
- Foi informado a todos que a parte de integração deve ser privilegiada nessa fase do projeto.

V.14 Reunião 14: 08/10/2021

- Foi informada a todos a data de entrega do relatório do PC3 e de sua apresentação.
- Todos foram informados da importância dos manuais de montagem, de fabricação e do usuário. Foi mostrado a todos os sumários escritos para os manuais, o template para o manual de fabricação e de montagem. A Fabiana, de software, já começou a escrever o manual do usuário de software, e ficou de tentar padronizá-lo e colocá-lo no Canva, para ser parte do manual de usuário geral.
- Foi informado a todos sobre o plano de testes e de integração.

V.15 Reunião 15: 15/10/2021

- Foi informado a todos sobre a formatação dos manuais, que a escrita dever ser técnica nos manuais de montagem e de fabricação e simples no manual do usuário.
- Ficou-se ciente de que as entregas de códigos do software serão feitas antes, durante e após a entrega e apresentação do PC3.

V.16 Reunião 16: 22/10/2021

- Foi discutido com todos as críticas feitas pelos professores aos grupos que apresentaram os pontos de controle na parte da tarde.
- Foi informado a todos sobre o fundo branco das imagens colocadas nos manuais, sobre a necessidade de colocação de todos os planos de testes no arquivo de Plano de Testes.
- Foi informado que o relatório será enviado para o Moodle às 13 h.
- Foi informado a todos que todas as decisões finais devem ser fundamentadas em cálculos e simulações.

- Foi decidido que, diante de atrasos ou dificuldade de passar os manuais para o Overleaf, eles serão postados no Github e, no relatório, será indicado o local onde foram postados.
- O grupo de Energia ficou de finalizar o relatório, inserir a tabela de fios e atualizar o diagrama unifilar.
- O grupo de Eletrônica vai finalizar os manuais de fabricação, de montagem e o do usuário.
- O grupo de Software vai apenas fazer uma atualização no relatório e desenvolver o plano de testes.
- O grupo de Estrutura vai finalizar desenhos técnicos, manual de montagem, manual de fabricação, manual do usuário, lista de custos e de materiais.

APÊNDICE W – Avaliação dos Integrantes

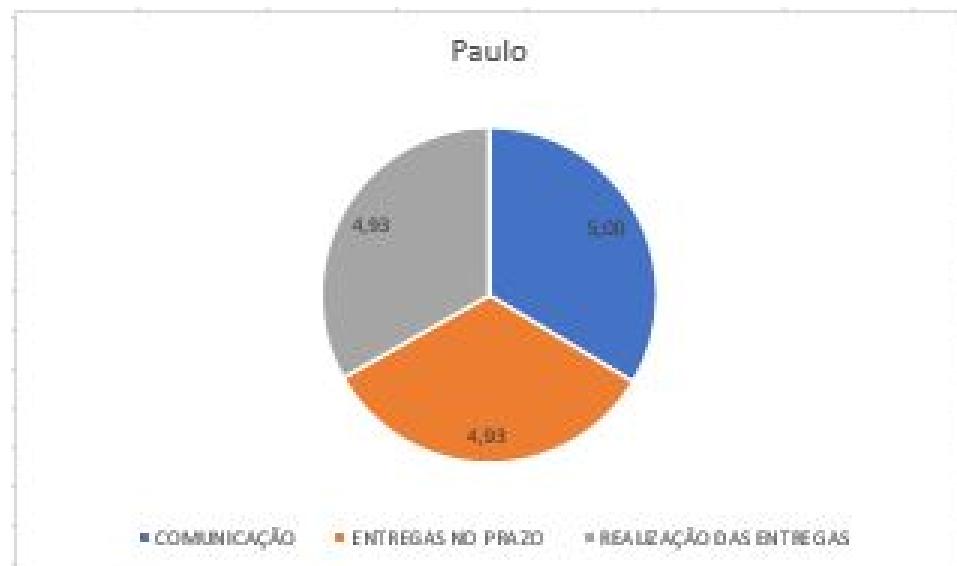


Figura 223 – Avaliação Paulo Cezar.

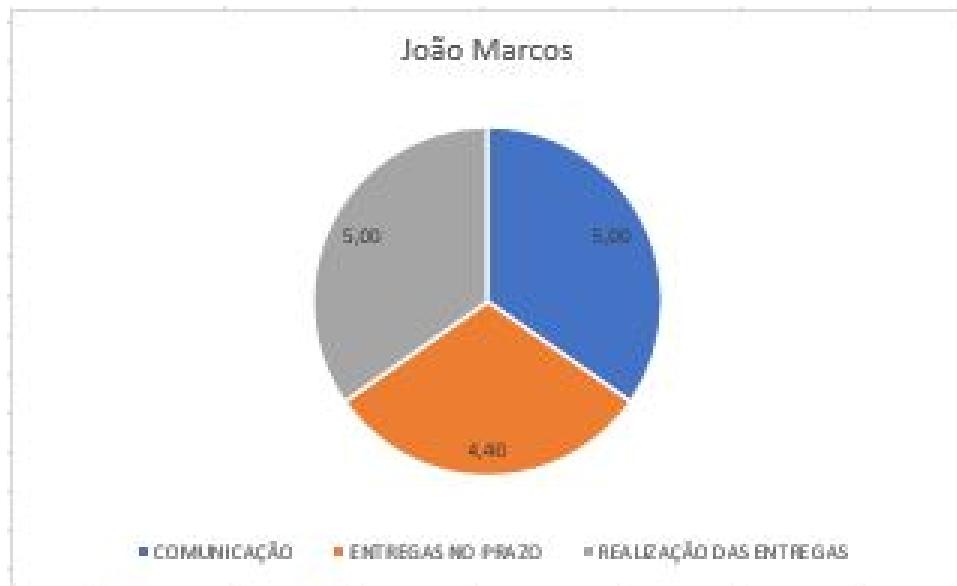


Figura 224 – Avaliação João Marcos.



Figura 225 – Avaliação Alexandre .



Figura 226 – Avaliação Bruna .



Figura 227 – Avaliação Gabriel Teixeira.

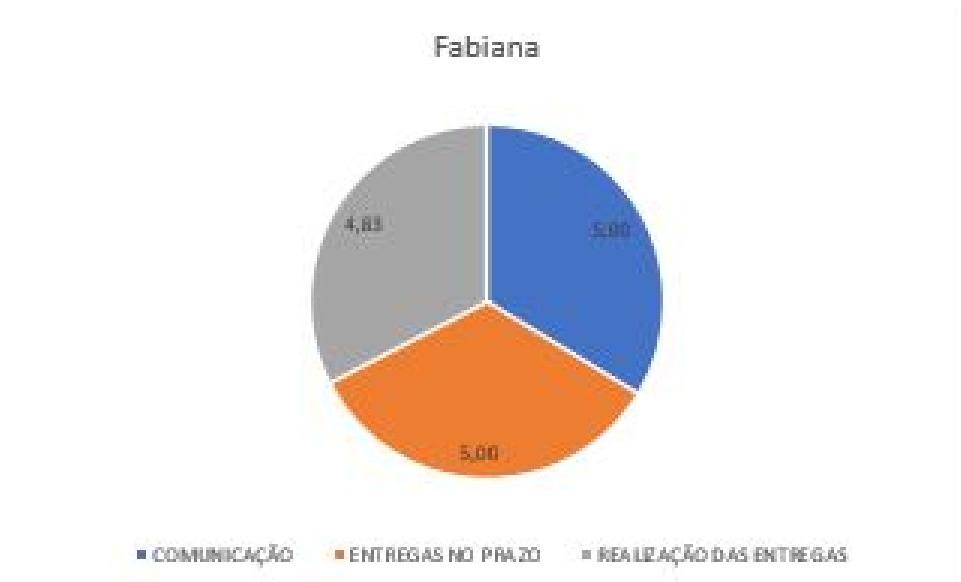


Figura 228 – Avaliação Fabiana.

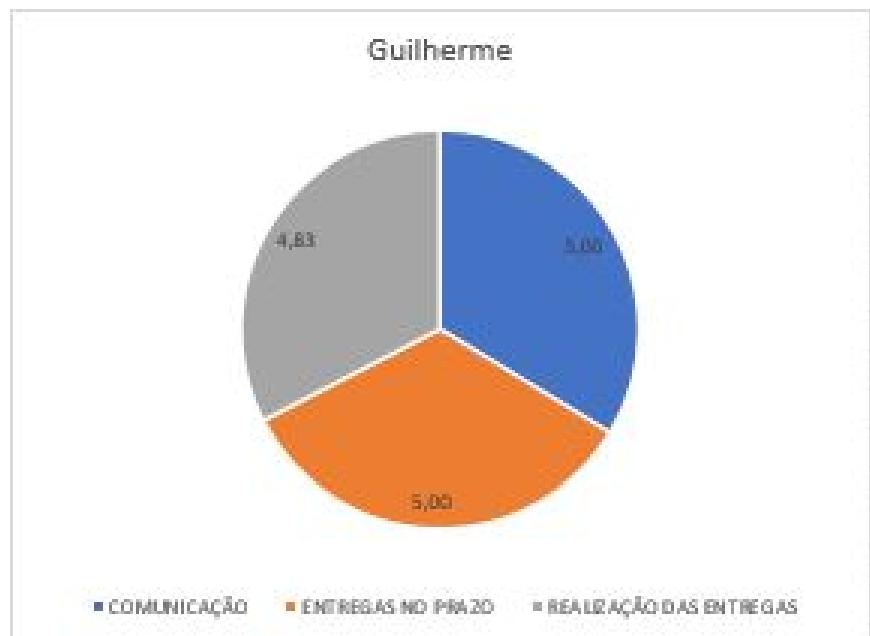


Figura 229 – Avaliação Guilherme.



Figura 230 – Avaliação Letícia.

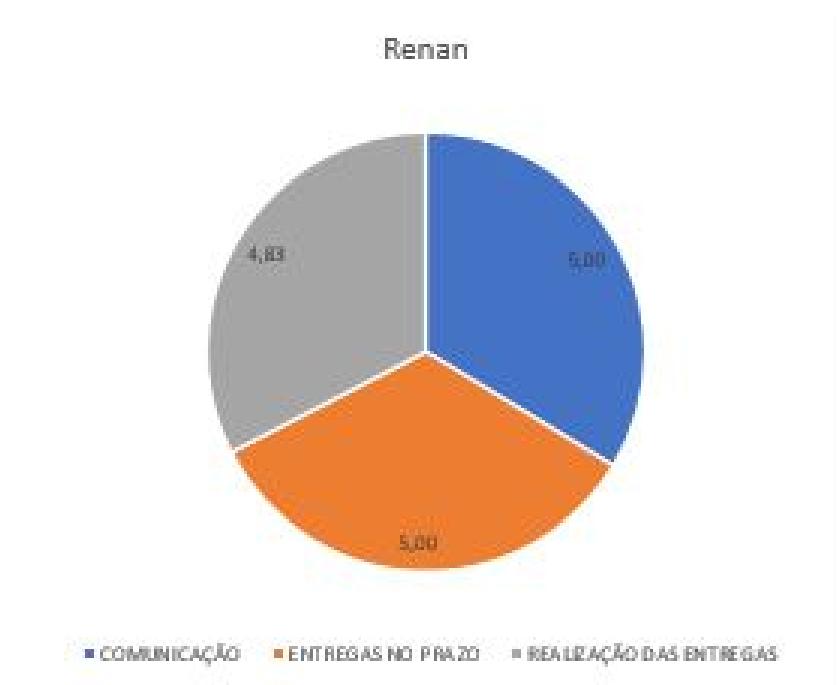


Figura 231 – Avaliação Renan.

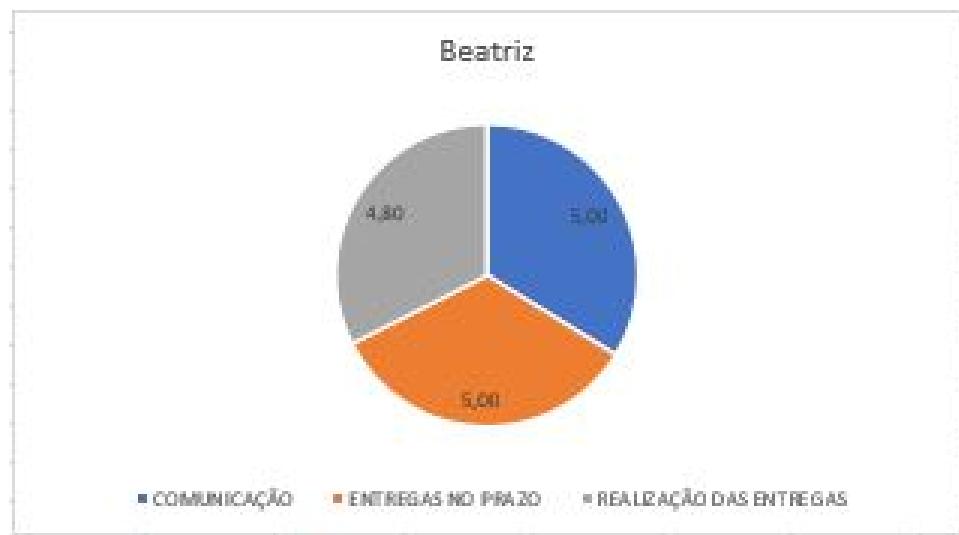


Figura 232 – Avaliação Beatriz.



Figura 233 – Avaliação GabrielM.

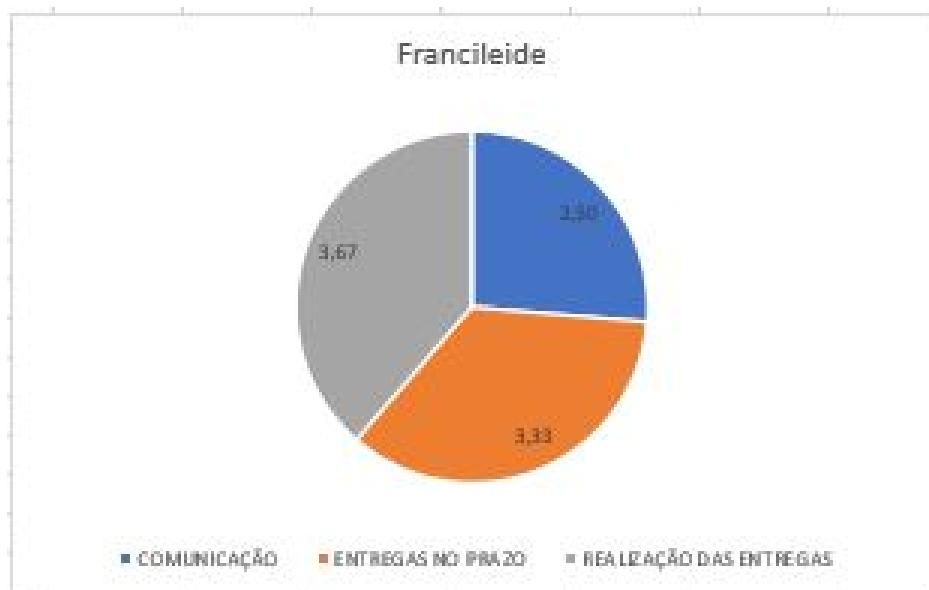


Figura 234 – Avaliação Francileide.

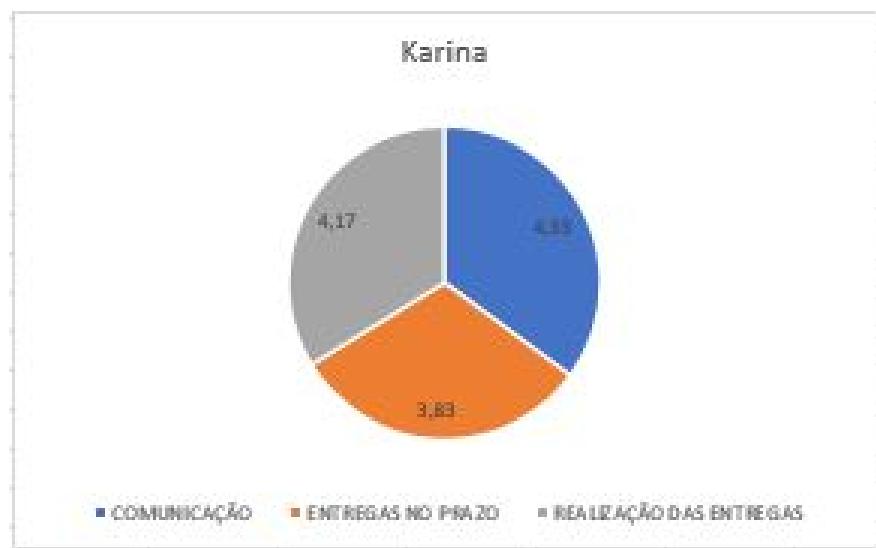


Figura 235 – Avaliação Karina.

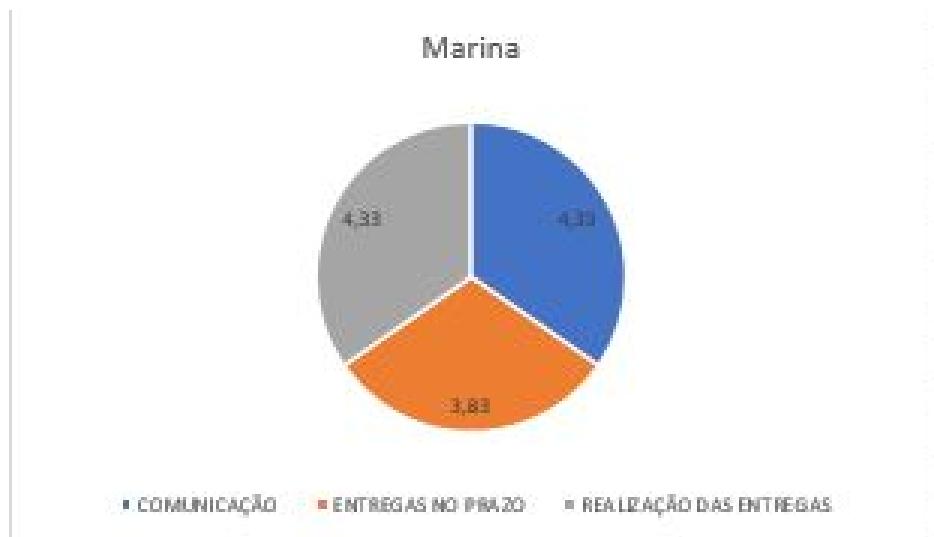


Figura 236 – Avaliação Marina.



Figura 237 – Avaliação Paulo Eduardo.

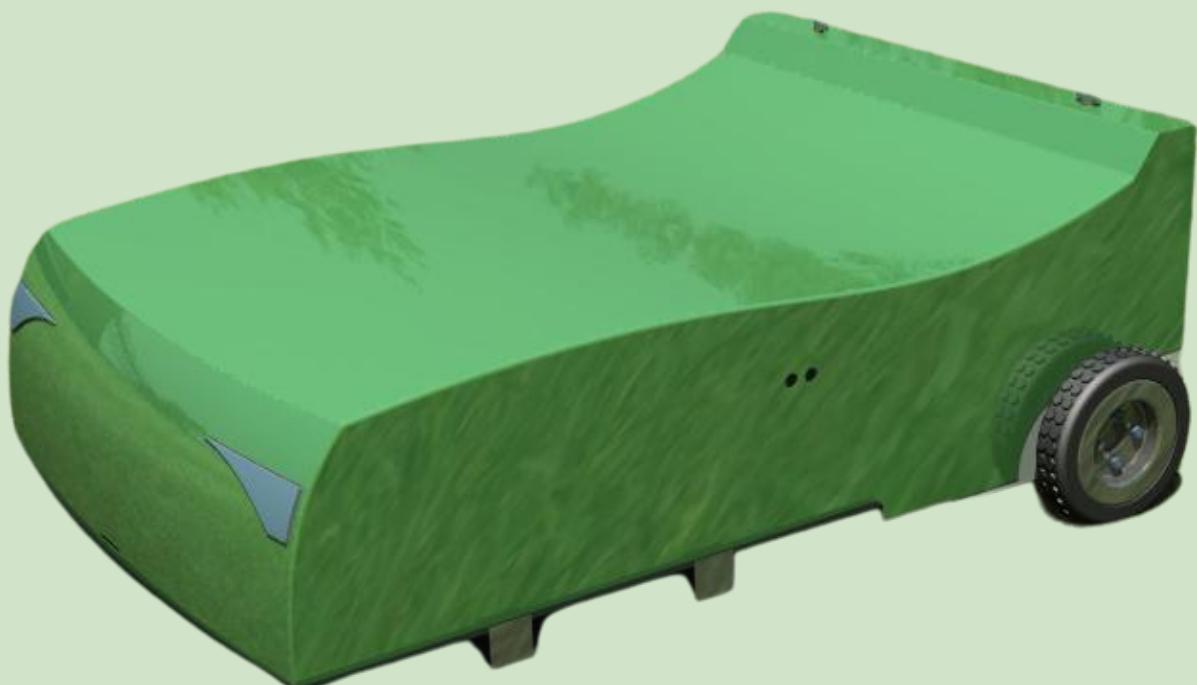
APÊNDICE X – Manuais

X.1 Manual de Fabricação



SMART GRASS

MANUAL DE FABRICAÇÃO



SUMÁRIO

1. Descrição do Manual

2. Descrição do Produto

3. Vista Geral do Produto

4. Construção dos Subsistemas Eletroeletrônicos

4.1 Controle de Tração

4.2 Sistema de Recarga das baterias

4.3 Sistema de Detecção de nível de tensão da bateria

4.4 Circuito de Regulagem de tensão de 5V

5. Fabricação dos Subsistemas Estruturais

6. Montagem dos Subsistemas Estruturais

6.1 Subsistema de Corte

6.2 Subsistema de Ajuste

6.3 Subsistema de Tração

6.4 Caixa de Redução

6.5 Carroceria

6.6 Case dos Componentes Eletroeletrônicos

7. Especificações Técnicas

1. DESCRIÇÃO DO MANUAL

Esse manual tem por objetivo a descrição do processo de fabricação dos componentes do cortador de grama Smart Grass que não poderão ser adquiridos no mercado. As imagens são ilustrativas e suas dimensões e especificações técnicas podem ser encontradas nos desenhos técnicos do produto. Os processos de fabricação incluem os materiais e principais ferramentas a serem utilizados na fabricação de cada componente.

2. DESCRIÇÃO DO PRODUTO

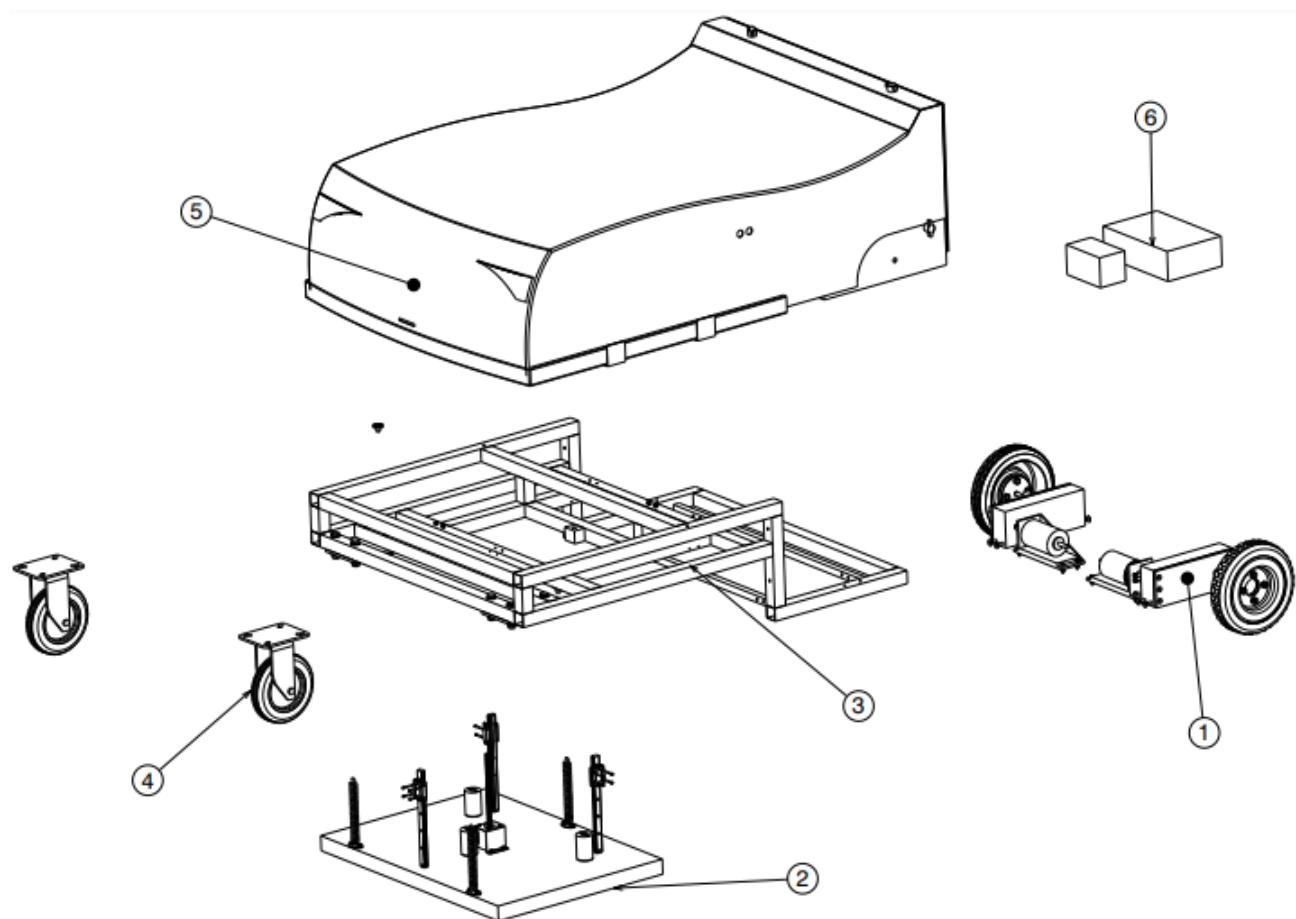
O Smart Grass é um produto automatizado corta-grama. Seu objetivo é cortar grama de grandes áreas de forma automática.

O produto possui sistema de armazenamento de energia e pode movimentar-se durante operação sem a necessidade de permanecer conectado à tomada.

O produto foi desenvolvido para operar em terrenos urbanos, sem buracos e entulhos.

A estrutura do produto é impermeável e suas conexões mais externas devem ser vedadas para evitar que frestas abertas permitam a passagem de líquido para seu interior.

3. VISTA GERAL DO PRODUTO



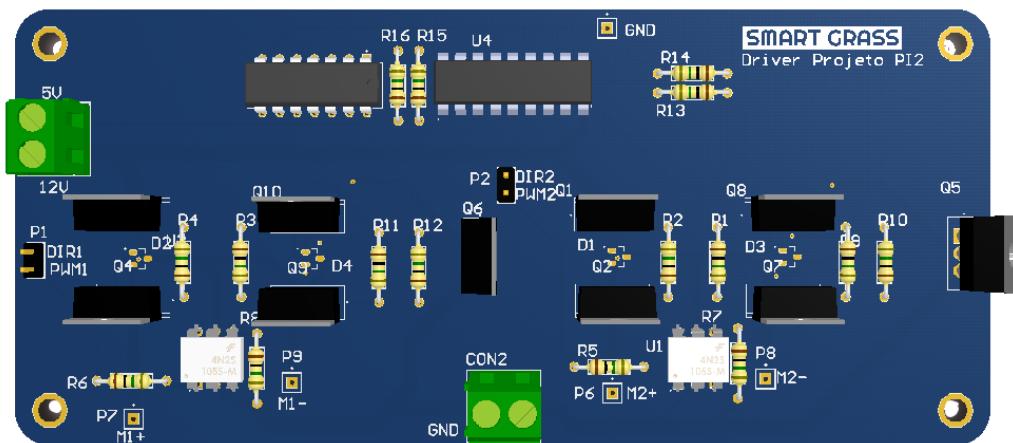
4.CONSTRUÇÃO DOS SUBSISTEMAS ELETROELETRÔNICOS

Esta seção descreve os parâmetros de fabricação das placas de circuito impresso desenvolvidas no projeto. Todos os arquivos Gerber de fabricação podem ser encontrados no repositório do projeto.

4.1 CONTROLE DE TRAÇÃO

São mostradas abaixo as principais características de montagem de placa de controle de tração desenvolvida pela equipe.

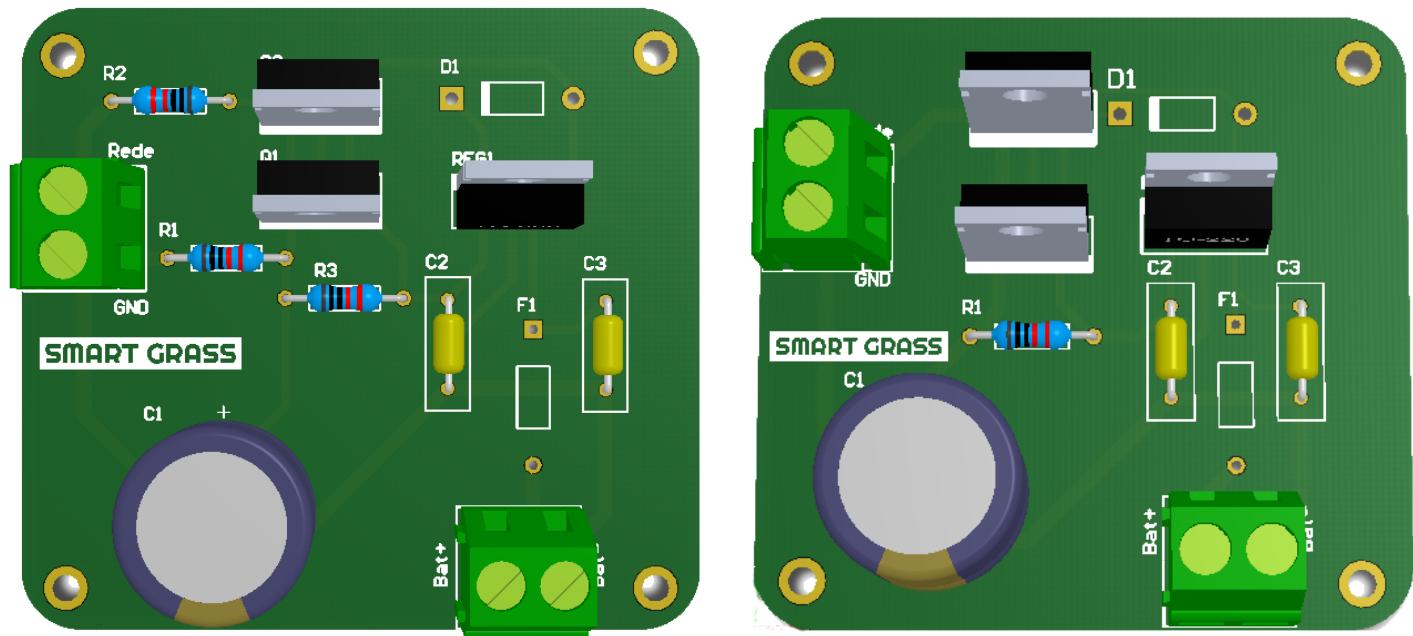
CARACTERÍSTICAS DE FABRICAÇÃO	REQUISITOS
Material	Fibra de vidro FR-4
n° de camadas	2
Dimensões	142,24mm X 63,50mm
Espessura da placa	2mm
Cor	Azul
Silkscreen	Branca
Acabamento	HASL (com chumbo)
Espessura de cobre	0.2 oz



4.2 SISTEMA DE RECARGA DAS BATERIAS

São mostradas abaixo as principais características de montagem de placa do sistema de recarga das baterias desenvolvida pela equipe.

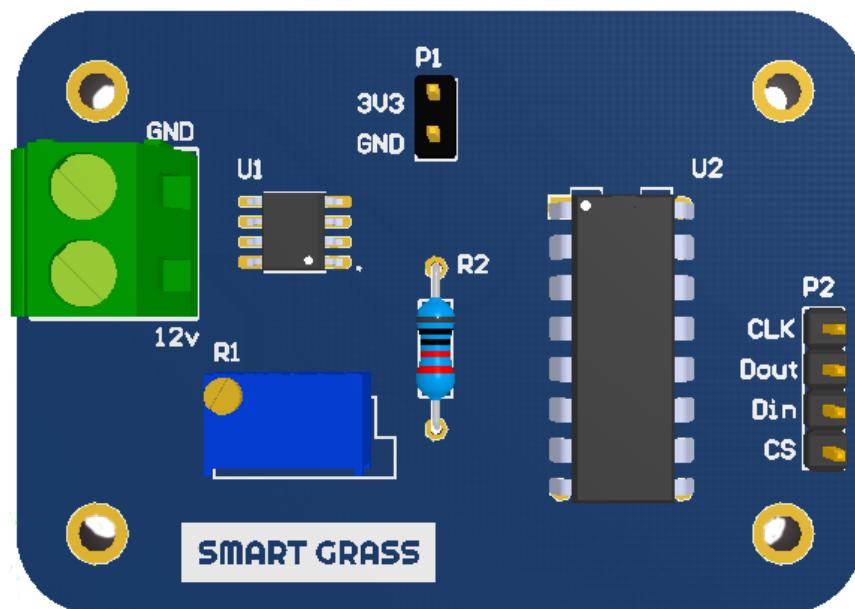
CARACTERÍSTICAS DE FABRICAÇÃO	REQUISITOS
Material	Fibra de vidro FR-4
n° de camadas	2
Dimensões	58,4mm X 53,35mm
Espessura da placa	1.6mm
Cor	Verde
Silkscreen	Branca
Acabamento	HASL (com chumbo)
Espessura de cobre	0.2 oz



4.3 SISTEMA DE DETECÇÃO DE NÍVEL DE TENSÃO DA BATERIA

A Tabela abaixo elenca os requisitos a serem utilizados para fabricação do circuito de detecção do nível de tensão da bateria.

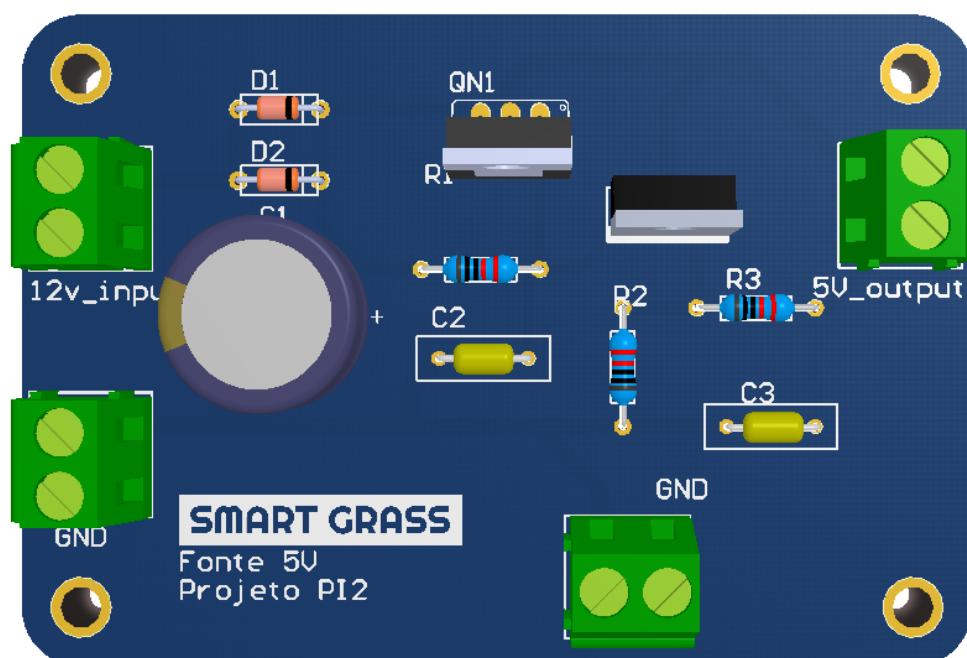
CARACTERÍSTICAS DE FABRICAÇÃO	REQUISITOS
Material	Fibra de vidro FR-4
n° de camadas	2
Dimensões	53,34mm X 38,10mm
Espessura da placa	1.6mm
Cor	Azul
Silkscreen	Branca
Acabamento	HASL (com chumbo)
Espessura de cobre	0.2 oz



4.4 CIRCUITO DE REGULAGEM DE TENSÃO DE 5V

A Tabela abaixo elenca os requisitos a serem utilizados para fabricação do circuito de regulagem de tensão para 5V.

CARACTERÍSTICAS DE FABRICAÇÃO	REQUISITOS
Material	Fibra de vidro FR-4
n° de camadas	2
Dimensões	81,5mm X 55,9mm
Espessura da placa	2mm
Cor	Azul
Silkscreen	Branca
Acabamento	HASL (com chumbo)
Espessura de cobre	0.2 oz



5. FABRICAÇÃO DOS SUBSISTEMAS ESTRUTURAIS

Esta seção descreve os materiais utilizados na fabricação de alguns componentes estruturais.

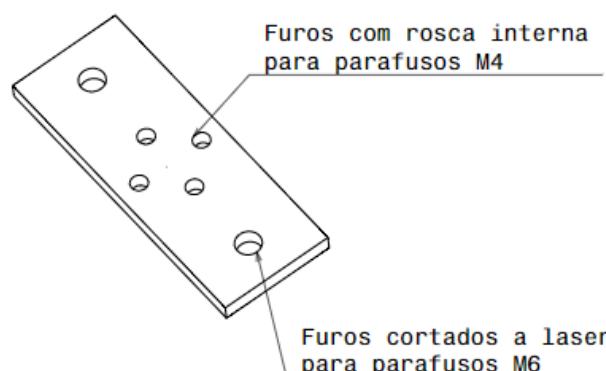
ITEM	COMPONENTE	QUANTIDADE
1	ABS	0,5 kg
2	Chapa do deck de aço inox	1
3	Fibra de Vidro	4,725 kg
4	Epoxy	4,8 kg
5	Endurecedor	1,5 kg
6	Super Cola Max (fibra/alumínio)	3
7	Espuma PVC Expandido 6 mm	1
8	PLA Transparente	2,1 kg
9	Acrílico Flexível de 2 mm	2 m
10	Barra de 6 metros seção quadrada 16 x 16 (chapa 20; 0,90 mm)	1
11	Barra de 6 metros seção quadrada 30 x 30 (chapa 22; 0,75 mm)	2
12	Chapa do deck de aço inox	1

6. MONTAGEM DOS SUBSISTEMAS ESTRUTURAIS

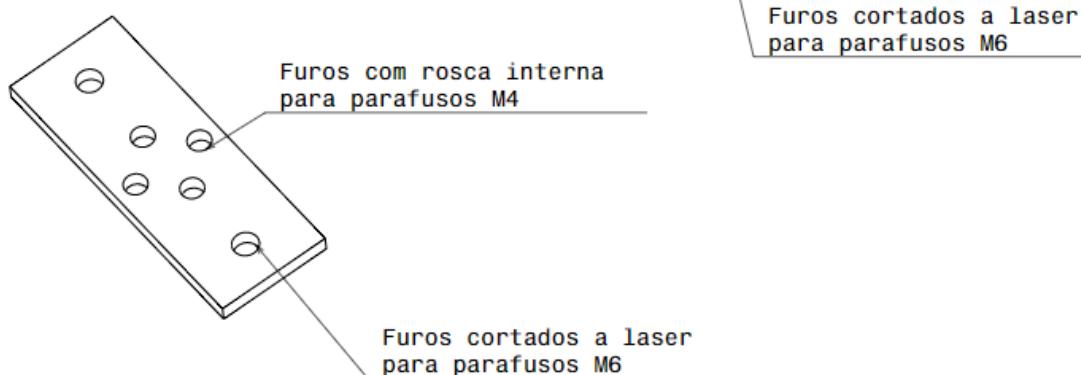
6.1 SUBSISTEMA DE CORTE

ADAPTADORES

Adaptador para lâmina de 30 cm



Adaptador para lâmina de 18 cm

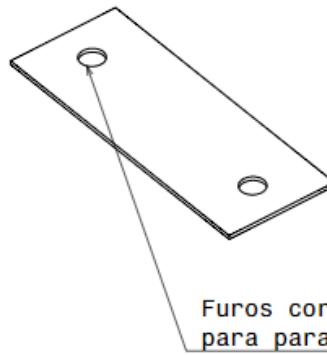


PROCESSO DE FABRICAÇÃO

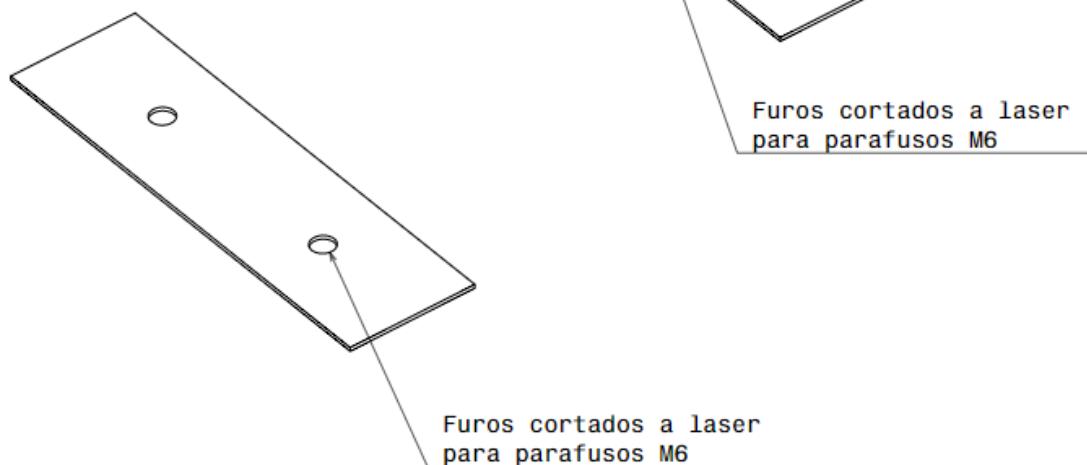
1. Corte a laser da placa de aço inox;
2. Corte a laser dos furos laterais;
3. Furos com broca M4.

FLANGES

Flange para lâmina de 30 cm



Flange para lâmina de 18 cm

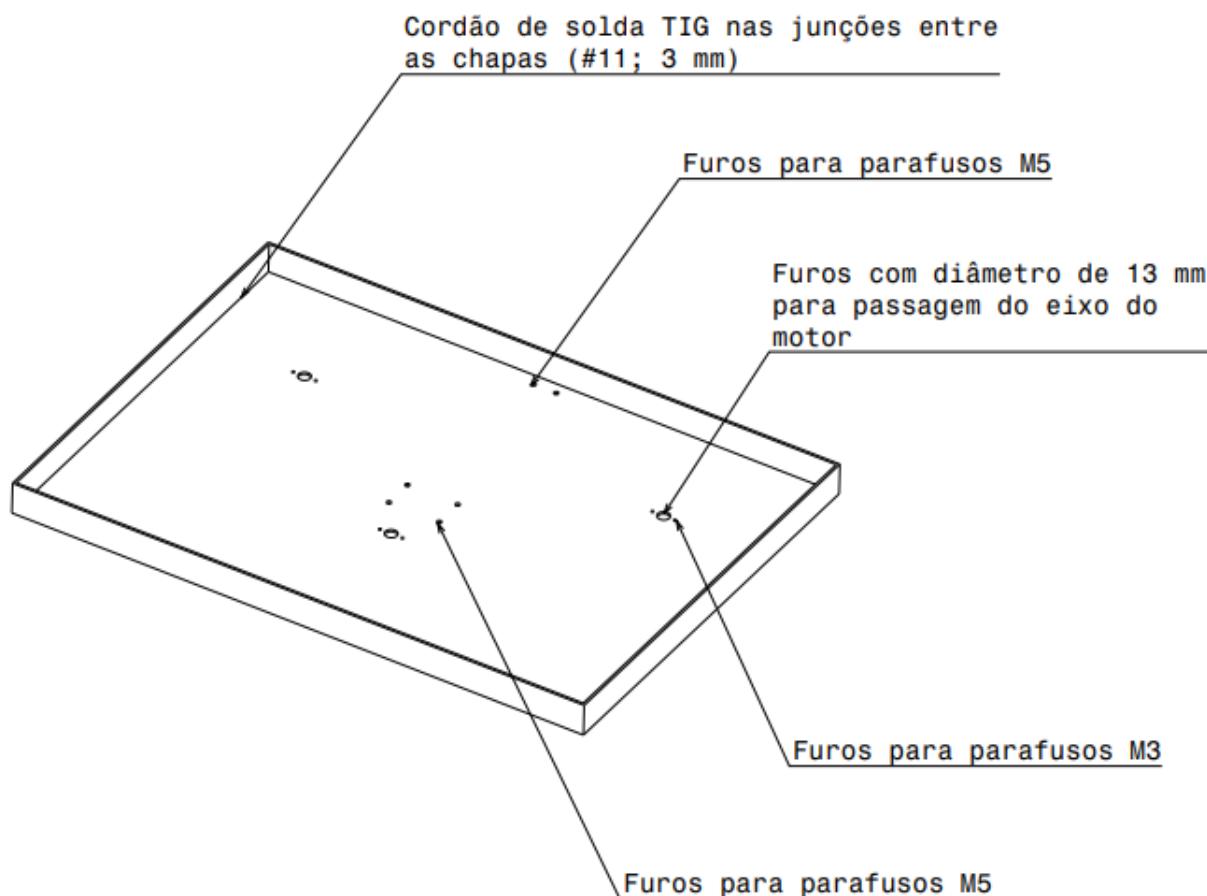


PROCESSO DE FABRICAÇÃO

1. Corte a laser da placa de aço inox;
2. Corte a laser dos furos laterais.

6.2 SUBSISTEMA DE AJUSTE

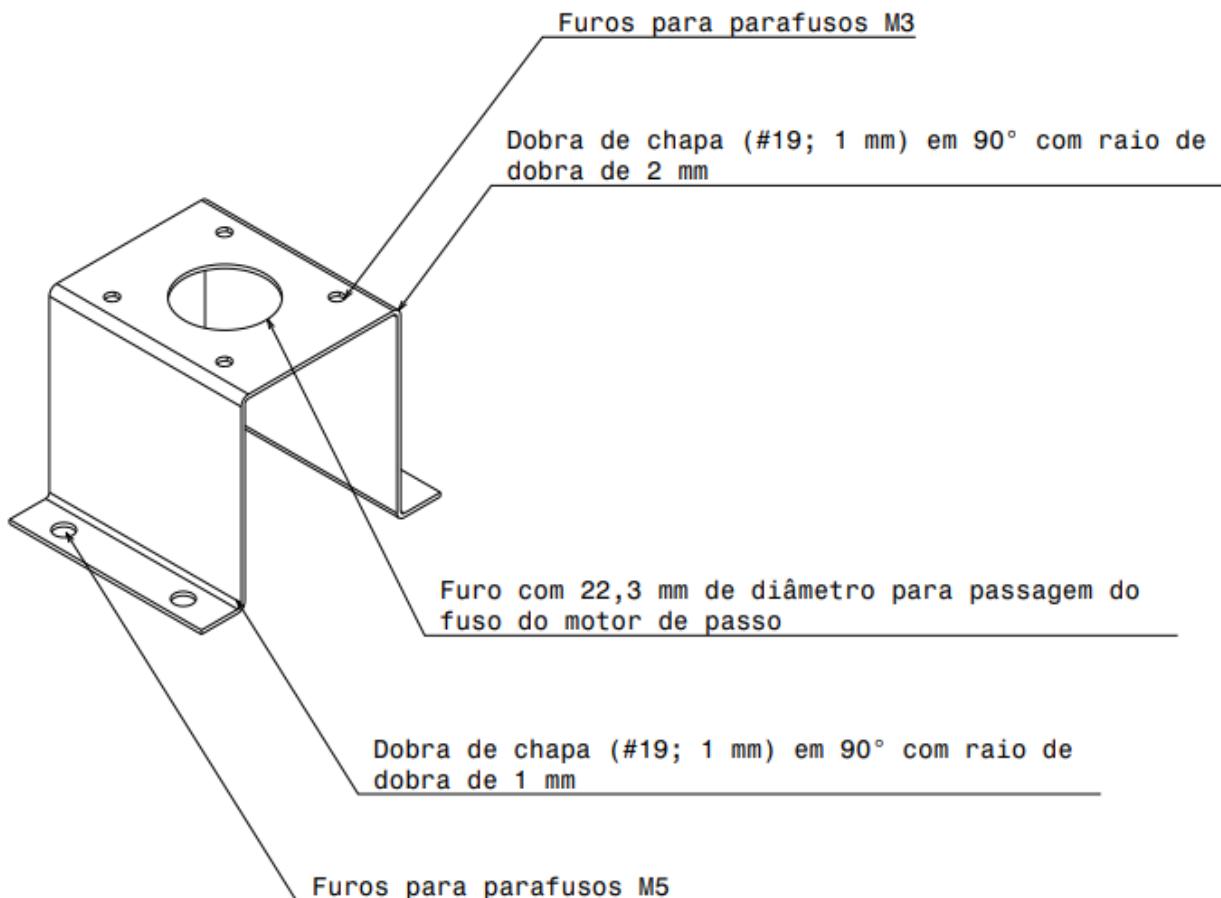
DECK



PROCESSO DE FABRICAÇÃO

1. Corte a laser das cinco placas de aço inox;
2. Os furos da placa central, correspondendo ao encaixe dos fixadores das molas, motores das lâminas e motor de passo são feitos a laser;
3. As placas de aço inox devem ser soldadas nos locais indicados com solda do tipo junta de canto;
4. Os trilhos devem ser fixados na placa principal do deck.

ELEMENTO DE FIXAÇÃO DO MOTOR DE PASSO



PROCESSO DE FABRICAÇÃO

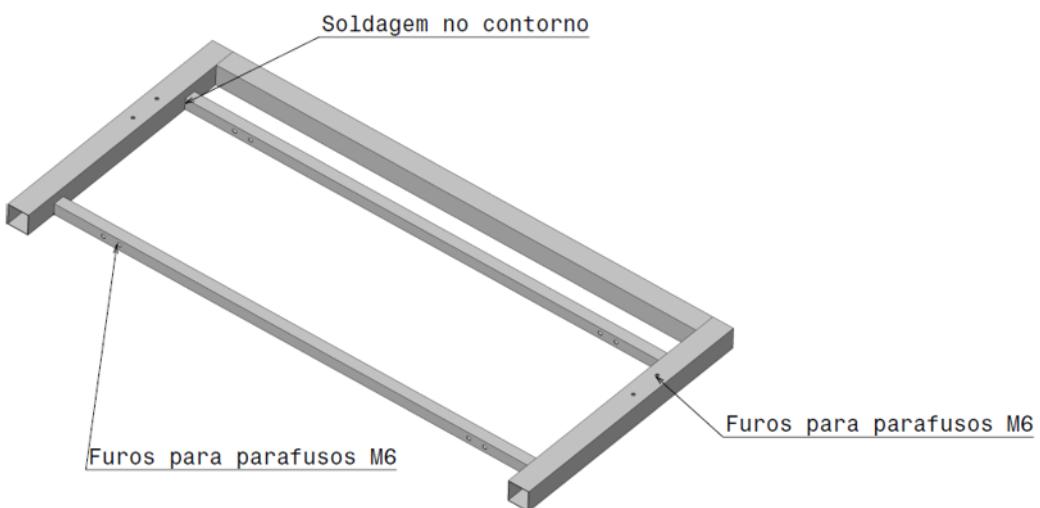
1. Corte a laser da placa de aço inox;
2. Corte a laser dos furos;
3. Dobras nos locais indicados.

6.3 SUBSISTEMA DE TRAÇÃO

A fabricação do chassi se dá por meio de três partes principais, são elas: Quadro inferior, Quadro de fixação das guias e Quadro superior. Mas, além disso, peças de fixação entre o chassi e a carroceria também devem ser rigidamente fixadas ao chassi.

QUADRO INFERIOR

O quadro inferior representa a parte do chassi na qual serão acoplados os componentes de tração e a Caixa Traseira da Carroceria.

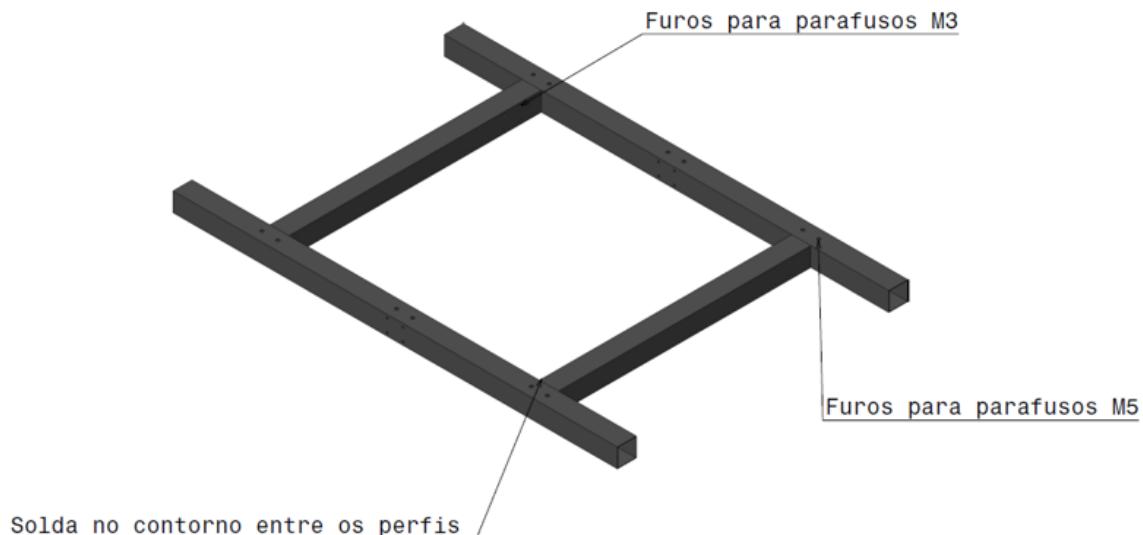


PROCESSO DE FABRICAÇÃO

1. De posse de uma barra (seção 16 x 16 mm²; #20) adquirida no Gravia, é necessário cortar duas barras com 700 mm de comprimento utilizando uma esmerilhadeira;
2. Com o auxílio de uma furadeira, realizar furos para parafusos M6 de fixação das caixas de redução nas barras 16 mm x 16 mm previamente cortadas. As posições dos furos devem estar em conformidade com o desenho técnico fornecido ao fabricante;
3. De posse de uma barra (seção 30 x 30 mm²; #22) adquirida no Gravia, realizar o corte de duas barras de 368 mm de comprimento e uma barra com 700 mm de comprimento utilizando uma esmerilhadeira.
4. Com o auxílio de uma furadeira, realizar furos nos perfis 30 x 30 para parafusos M6 nas posições representadas no desenho técnico fornecido ao fabricante. Os furos serão utilizados para fixação dos mancais no chassi;
5. O operador deve fabricar um gabarito adequado e utilizar esquadro para定位 os tubos a 90°, um em relação ao outro, conforme o desenho técnico;
6. Com o gabarito fabricado e tubos devidamente posicionados, realizar os cordões de solda por meio de solda TIG em todo o contorno de junção dos perfis.

QUADRO INFERIOR

O quadro inferior representa a parte do chassi na qual serão acoplados os patins das guias do sistema de corte, bem como os ganhos das molas do sistema de redundância do sistema de corte.

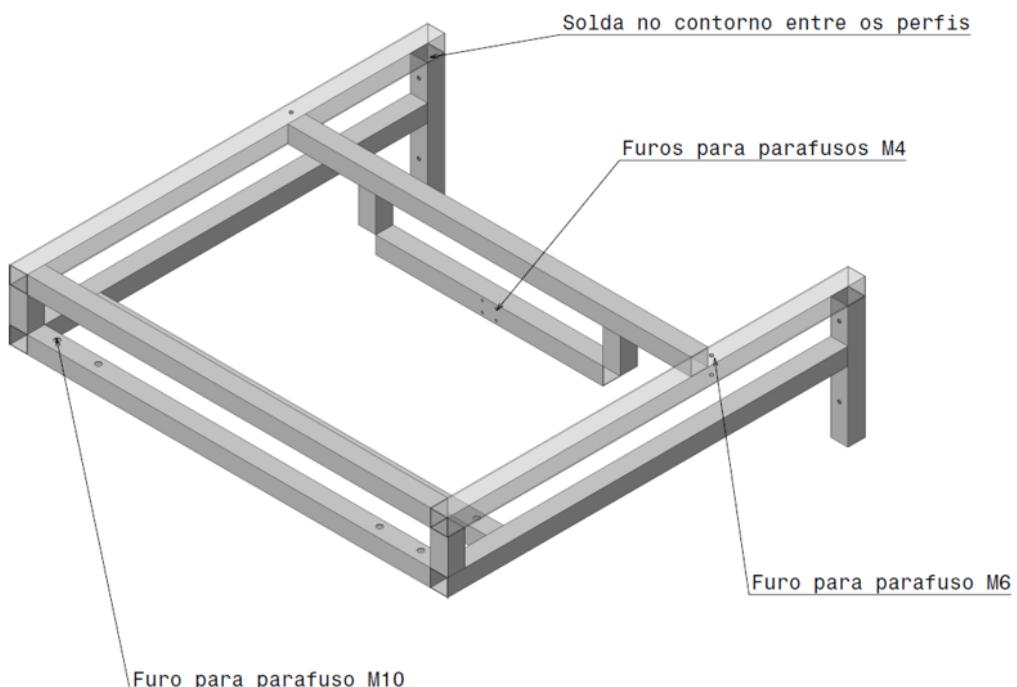


PROCESSO DE FABRICAÇÃO

1. Cortar duas barras de 700 mm e duas barras de 398 mm de comprimento;
2. Realizar os furos para a fixação dos ganchos da mola nos perfis de 700 mm utilizando parafusos M5x40 conforme as posições especificadas nos desenhos técnicos;
3. Realizar os furos em dois perfis de 398 mm e em um perfil de 700 mm, para fixar os patins das guias com parafusos Philips M3x35;
4. Utilizar os gabaritos de 90° para posicionamento relativo entre os tubos conforme o desenho técnico;
5. Com os tubos devidamente posicionados, realizar os cordões de solda através de solda TIG em todo o contorno de junção dos perfis.

QUADRO SUPERIOR

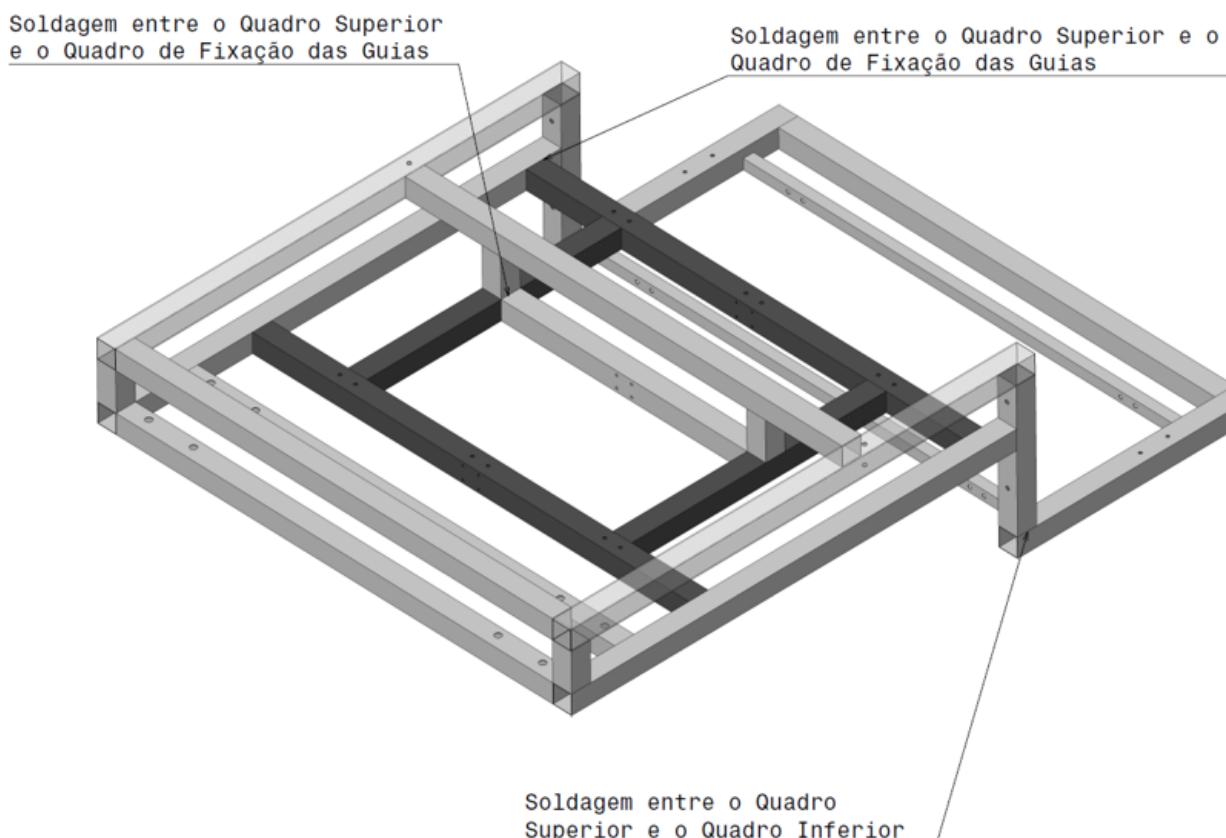
O quadro superior representa a parte do chassi na qual serão acopladas as rodas frontais do cortador, bem como o quadro de fixação das guias. Além disso, nesta peça é fixada a carroceria e o suporte da castanha do fuso do motor do Sistema de Corte.



PROCESSO DE FABRICAÇÃO

1. De posse de uma barra (seção 30 x 30 mm²; #20) adquirida no Gravia, é necessário cortar 4 barras com 700 mm de comprimento utilizando uma esmerilhadeira;
2. Furar duas destas barras de 700 mm com broca de 10 mm conforme as posições especificadas nos desenhos técnicos;
3. Cortar 4 barras com 725 mm de comprimento e realizar furos nestas barras com broca de 6 mm nas devidas posições;
4. Cortar 2 barras com 212 mm de comprimento e realizar os furos com broca de 6 mm;
5. Cortar duas peças no comprimento de 725 mm. Duas destas peças possuirão um furo para parafusos M6 (em cada peça);
6. Realizar o corte de 4 barras com 60 mm de comprimento;
7. Realizar o corte de uma barra com 394 mm de comprimento;
8. Realizar o posicionamento de todas as peças conforme o desenho técnico utilizando auxílio de gabaritos pré-fabricados para junções em ângulo reto entre os perfis;
9. Realizar os cordões de solda (solda TIG) em todo o contorno dos perfis que estão conectados.

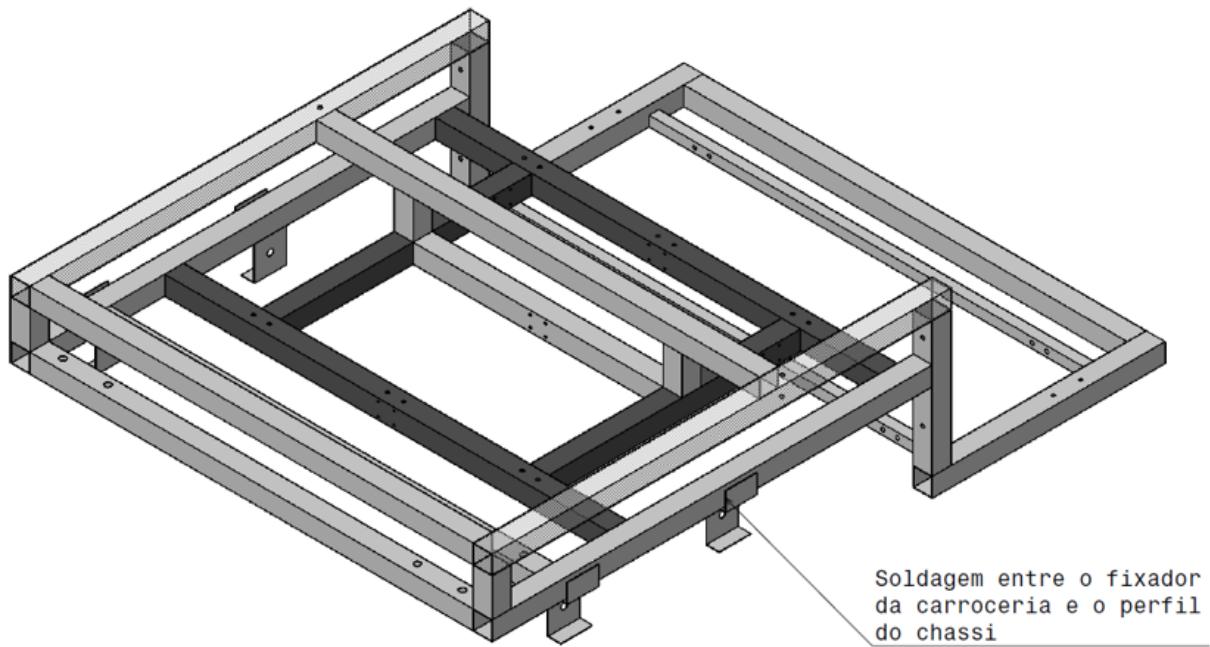
JUNÇÃO DO QUADRO SUPERIOR, QUADRO DE FIXAÇÃO DAS GUIAS E QUADRO INFERIOR



PROCESSO DE FABRICAÇÃO

1. Realizar a junção entre o Quadro superior e o Quadro de fixação das guias por meio de solda TIG;
2. Por fim, adiciona-se o Quadro inferior à montagem do item anterior por meio de soldagem nos locais especificados.

JUNÇÃO DOS FIXADORES DA CARROCERIA AO CHASSI



PROCESSO DE FABRICAÇÃO

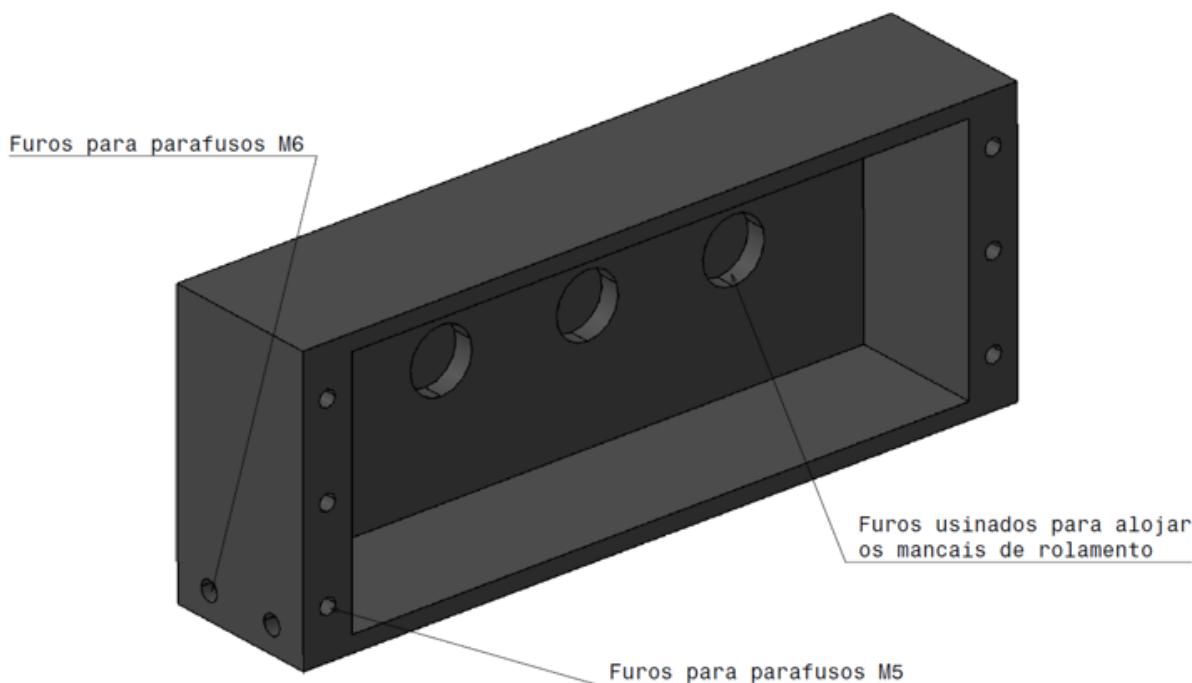
1. Realizar posicionamento das peças de fixação da carroceria nos perfis do chassi, conforme a imagem acima;
2. Realizar a solda no contorno da junção entre cada peça e o respectivo perfil ao qual está fixada. O chassi completo deve estar em conformidade com a imagem acima.
3. Pintar o chassi com tinta eletrostática.

6.4 CAIXA DE REDUÇÃO

A caixa de redução será montada por alguns componentes prontos adquiridos de fornecedores (mancais de rolamentos e engrenagens) e outros componentes deverão ser fabricados a partir de matéria prima previamente adquirida. Nesse sentido, neste manual objetiva-se especificar as etapas de fabricação das peças que devem ser fabricadas especificamente para o projeto do cortador de grama Smart Grass.

Carcaça da caixa de redução: a carcaça da caixa de redução será composta por duas partes, sendo a primeira o alojamento de engrenagens e a segunda, a tampa. É importante ressaltar que a caixa é projetada para que ser livre de manutenções durante a vida útil do cortador SmartGrass. Com isso, esta será montada apenas uma única vez pelo fabricante do produto.

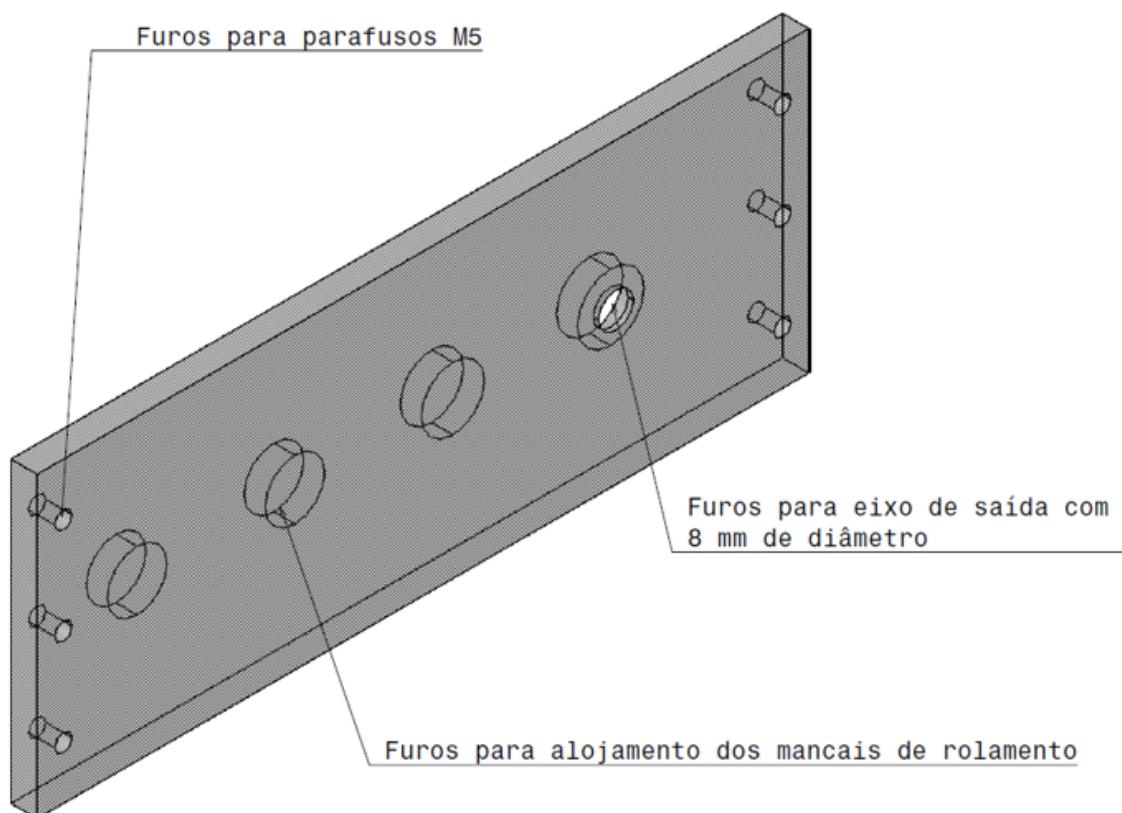
ALOJAMENTO DE ENGENAGENS



PROCESSO DE FABRICAÇÃO

1. Um tarugo de alumínio deverá ser adquirido e usinado em máquina CNC para atingir o resultado mostrado na Figura acima;
2. Realizar furos para parafusos M6 nas laterais do alojamento de engrenagens (2 furos em cada lateral);
3. Realizar furos para parafusos M5 na parte frontal do alojamento (6 furos);
4. Utilizar uma furadeira com a ferramenta macho para realizar furos rosados internos para os parafusos M5. O padrão de rosca dos parafusos especificados e do furo rosado deve coincidir.

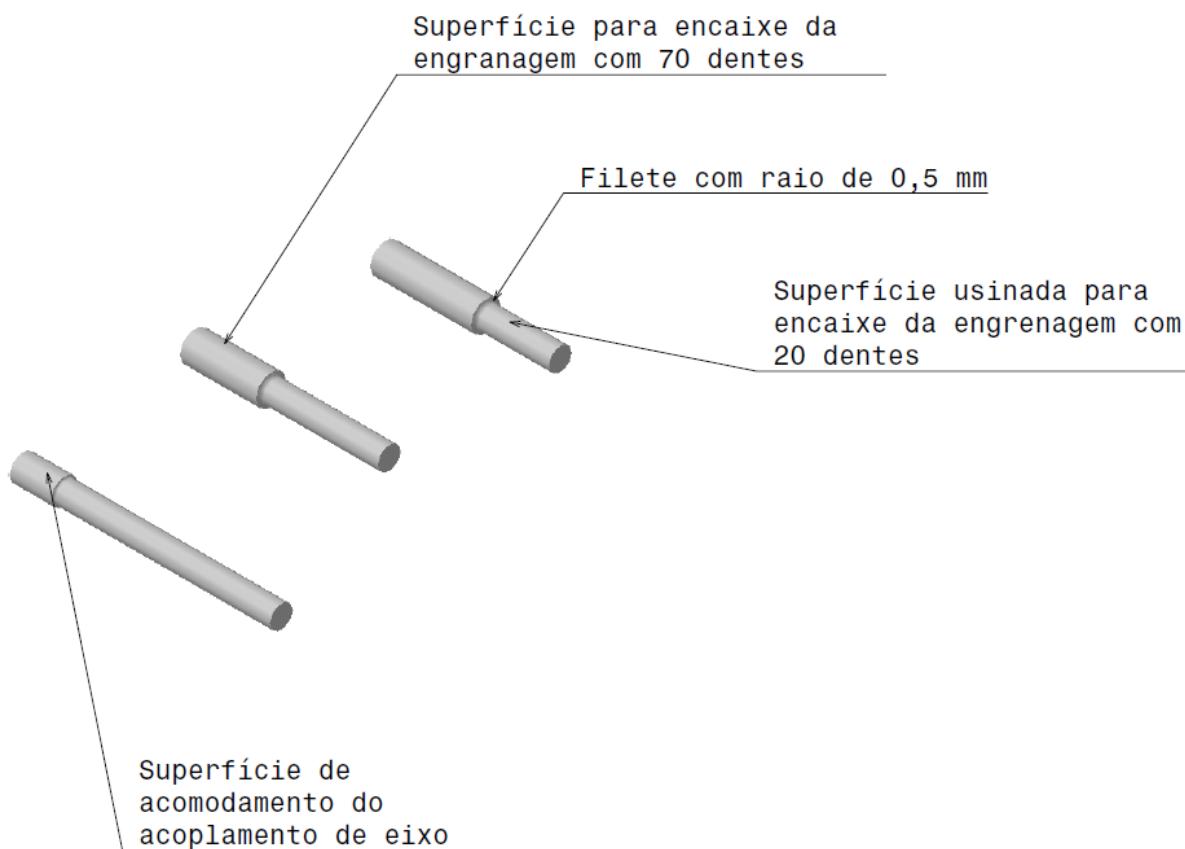
ALOJAMENTO DE ENGRANAGENS



PROCESSO DE FABRICAÇÃO

1. Uma chapa de liga de alumínio magnésio com espessura de 7,5 mm deverá ser usinada para que os furos de alojamento dos mancais sejam fabricados;
2. Utilizar uma furadeira para realizar o furo do eixo de saída da caixa de redução;
3. Realizar 6 furos para parafusos M5.

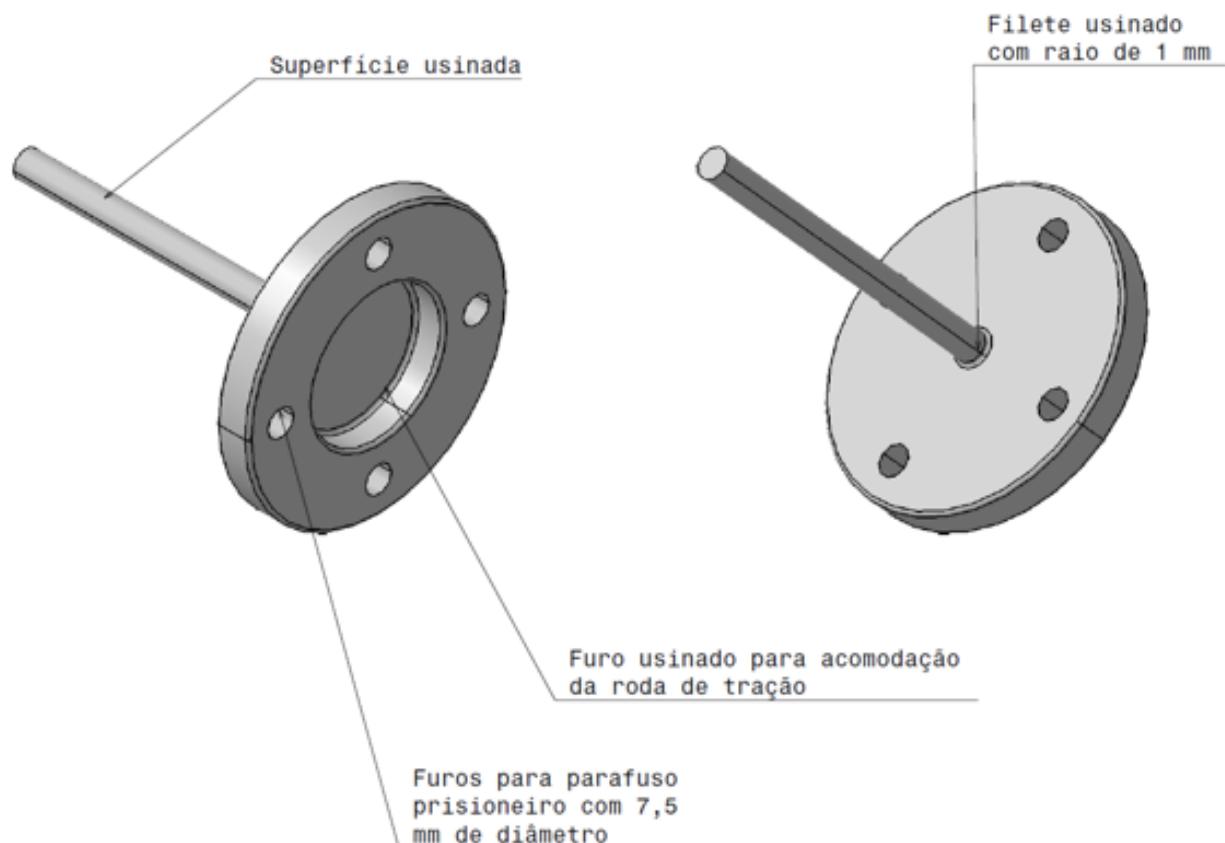
EIXOS



PROCESSO DE FABRICAÇÃO

1. Usinar o eixo de entrada da caixa de redução de acordo com as especificações fornecidas pelo desenho técnico, conforme a Figura;
2. Usinar o eixo de saída da caixa de redução conforme as especificações do desenho técnico. O resultado da fabricação está representado na imagem acima.

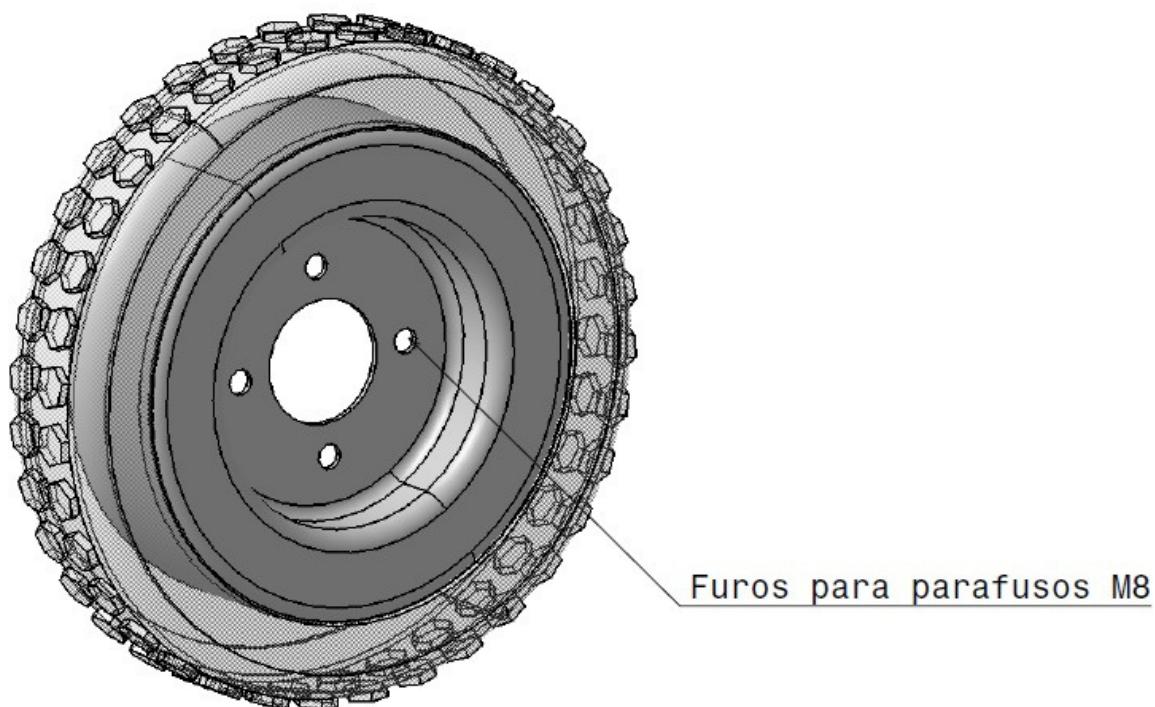
CUBO DE RODA



PROCESSO DE FABRICAÇÃO

1. Usinar o eixo de acoplamento entre as rodas de tração e o eixo de saída da caixa de redução. Após isso é necessário realizar furos de 7,5 mm de diâmetro conforme as posições especificadas no desenho técnico. O resultado está representado na imagem acima.

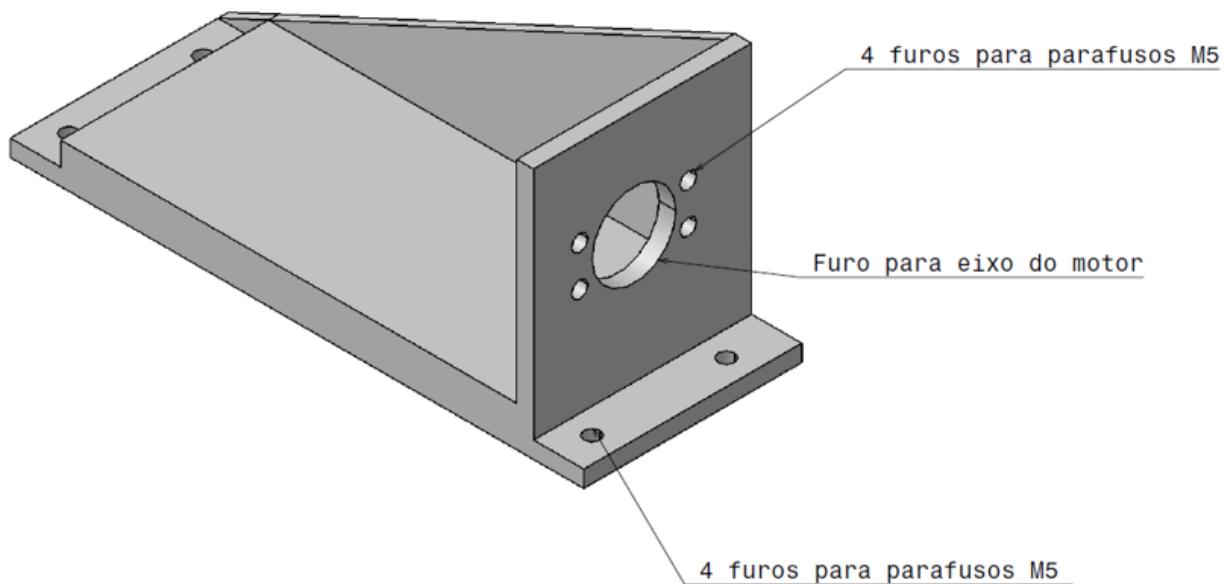
RODA DE TRAÇÃO



PROCESSO DE FABRICAÇÃO

1. As rodas de tração, embora sejam especificadas, serão modificadas para que a transmissão de potência possa ocorrer de maneira adequada. Os furos das rodas devem coincidir com os furos do eixo de acoplamento das rodas;
2. Realizar furos para fixação de modo a coincidir com os furos do cubo de roda.

SUPORTE DO MOTOR DE TRAÇÃO

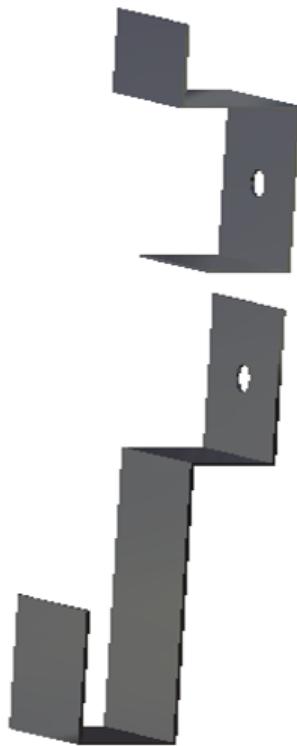


PROCESSO DE FABRICAÇÃO

1. Enviar para um laboratório com suporte para impressão 3D com material ABS. A fabricação deve seguir os furos e posições de furos conforme o desenho técnico. O resultado está representado na imagem acima.

6.5 CARROCERIA

FIXAÇÃO DA CARROCERIA

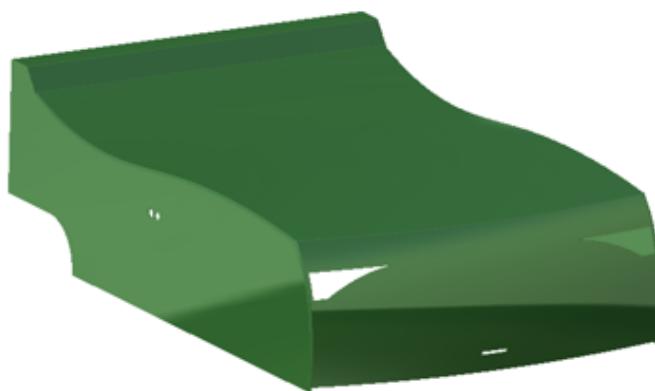


MATERIAL	ESPECIFICAÇÃO/QUANTIDADE
Alumínio	2 mm
FERRAMENTA	TIPO
Broca para alumínio	10 mm

PROCESSO DE FABRICAÇÃO

1. Cortar as chapas de alumínio nas medidas exigidas;
2. Dobrar as chapas da parte superior e inferior nas medidas exigidas;
3. Juntar as chapas no ponto de conexão e furá-las no ponto indicado no desenho técnico;
4. Soldar a parte superior do componente superior na parte externa do chassi.

CARROCERIA

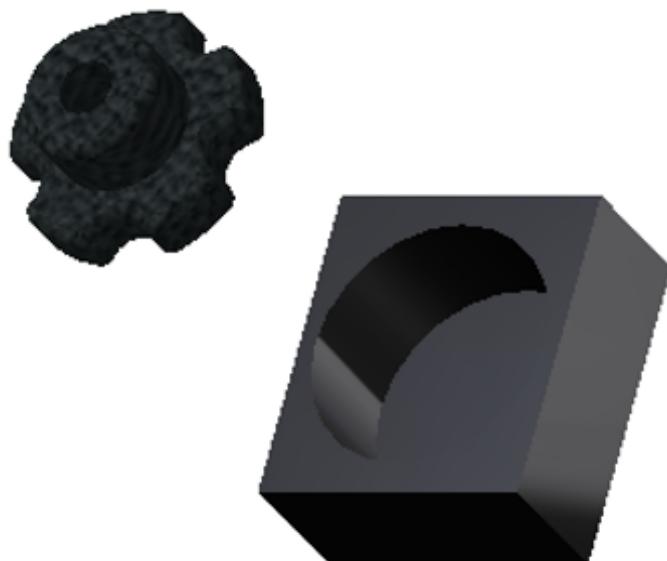


MATERIAL	ESPECIFICAÇÃO/QUANTIDADE
Tecido de Fibra de Vidro	3
Epoxy	4,8 kg
Endurecedor	1,5 kg
Isopor	3 (1x1x1m)
Cola	Super Cola Max
Lixa	320/400/600/1200
Fio Quente	1,5 kg
MATERIAL	TIPO
Broca	16 mm
Serra Automática	Tico Tico

PROCESSO DE FABRICAÇÃO

1. Colar as peças de isopor e cortá-las com o fio quente até dar ao conjunto o formato da carroceria;
2. Lixar o isopor, se necessário, e deixar sua superfície plana e homogênea sempre que possível;
3. Adicionar a primeira camada de fibra seguida de camada de Epoxy misturada em endurecedor (seguir instruções do fabricante para a proporção Epoxy/Endurecedor), até completar três camadas de tecido e Epoxy
4. Secar por 24 horas;
5. Após secagem, lixar a superfície com lixa fina, fazer os furos laterais com a broca, fazer os cortes com a serra tico tico.

BORRACHA COM PORCA MANÍPULO



MATERIAL	ESPECIFICAÇÃO/QUANTIDADE
Bloco de borracha	55x50x25 mm
Porca manípulo borboleta	1/4"
Cola	Super Cola Max

PROCESSO DE FABRICAÇÃO

1. Cortar o interior do bloco de borracha de forma a abrir um encaixe no formato da porca manípulo;
2. Encaixar e colar a porca manípulo no encaixe aberto no bloco de borracha.

BASE DE APOIO DA CARROCERIA



MATERIAL	ESPECIFICAÇÃO/QUANTIDADE
ABS Preto	2,08 kg
FERRAMENTA	TIPO
Impressora 3D	

PROCESSO DE FABRICAÇÃO

1. Encomendar impressão 3D para a peça.

FAROIS

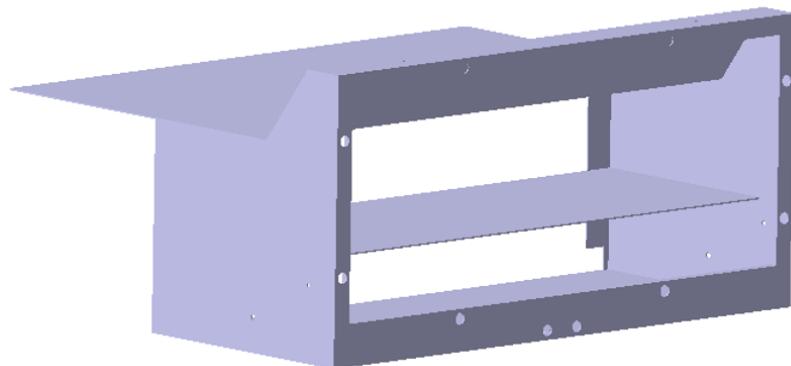


MATERIAL	ESPECIFICAÇÃO/QUANTIDADE
PLA Transparente	0,0586396 kg
FERRAMENTA	TIPO
Impressora 3D	

PROCESSO DE FABRICAÇÃO

1. Encomendar impressão 3D para a peça.

CAIXA TRASEIRA

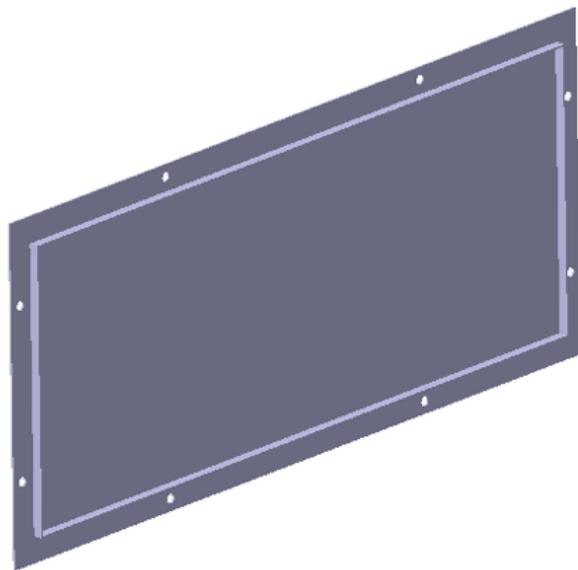


MATERIAL	ESPECIFICAÇÃO/QUANTIDADE
Alumínio (2 mm)	6063
Tinta	Para pintura eletrostática
FERRAMENTA	TIPO
Máquina de Solda	TIG
Broca	6 mm
Broca	15 mm
Broca	8 mm

PROCESSO DE FABRICAÇÃO

1. Cortar as chapas nas medidas especificadas no desenho técnico;
2. Soldar o fundo e a chapa do meio da caixa nas paredes laterais;
3. Soldar as chapas da parte superior da caixa;
4. Soldar as chapas da parte frontal e traseira da caixa;
5. Fazer os furos frontais da caixa com a broca 15 mm;
6. Fazer os furos superiores e os laterais superiores com a broca 6 mm;
7. Fazer os furos laterais inferiores, para a saída da tração, com a broca 8 mm;
8. Pintar.

TAMPA DA CAIXA TRASEIRA

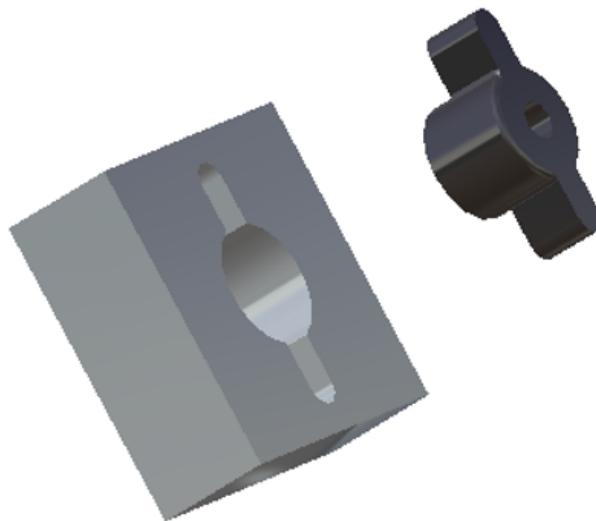


MATERIAL	ESPECIFICAÇÃO
Alumínio (2 mm)	6063
Tinta	Para pintura eletrostática
FERRAMENTA	TIPO
Máquina de Solda	TIG
Broca	9 mm

PROCESSO DE FABRICAÇÃO

1. Cortar as chapas nas medidas especificadas no desenho técnico;
2. Soldar as chapas finas em um dos lados da caixa;
3. Fazer os furos conforme as medidas do desenho técnico;
4. Pintar a tampa.

BORRACHA COM PORCA MANÍPULO BORBOLETA



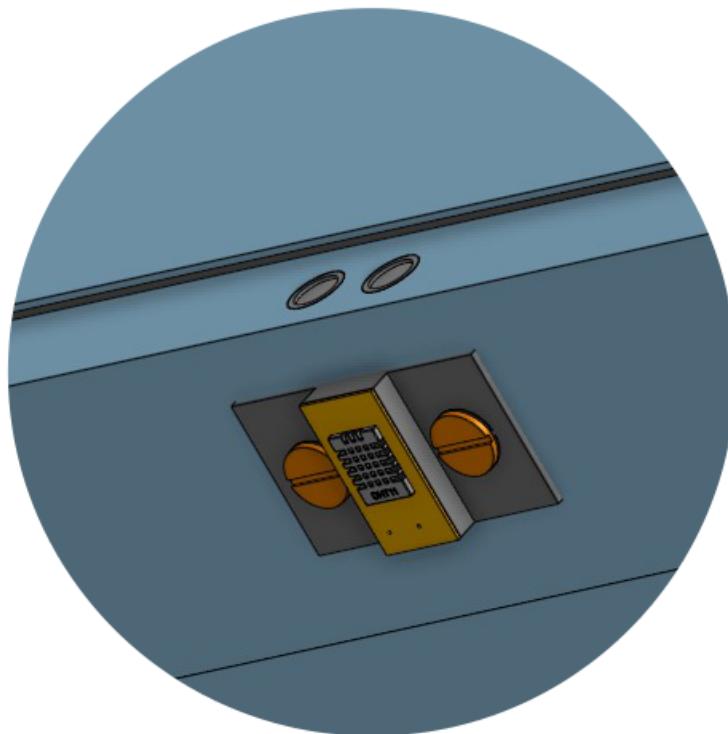
MATERIAL	ESPECIFICAÇÃO/QUANTIDADE
Bloco de Borracha	50x50x20 mm
Porca manípulo borboleta	1/4"
Super cola max	9 mm

PROCESSO DE FABRICAÇÃO

1. Cortar o interior do bloco de borracha de forma a abrir um encaixe no formato da porca manípulo borboleta;
2. Encaixar e colar a porca manípulo borboleta no encaixe aberto no bloco de borracha.

6.6 CASE DOS COMPONENTES ELETROELETRÔNICOS

CASE DO SENSOR DE TEMPERATURA E UMIDADE

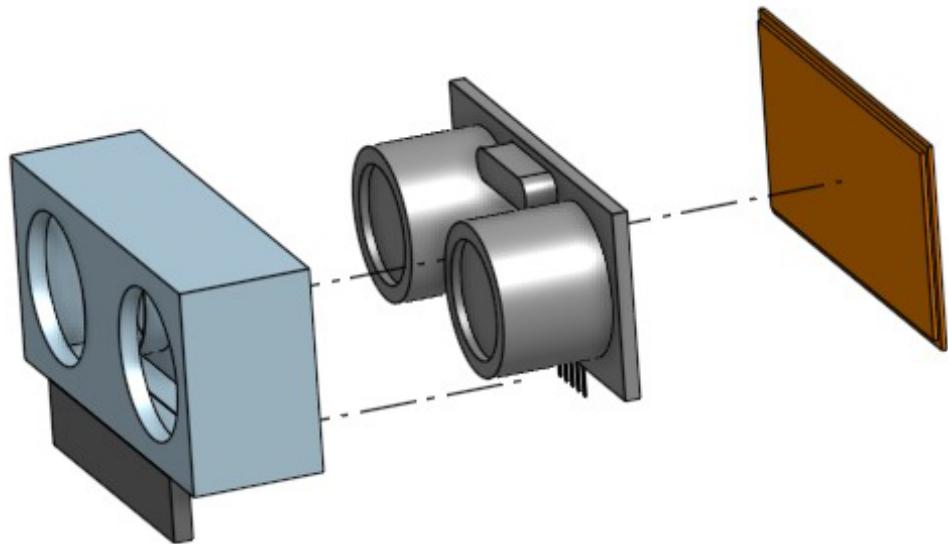


MATERIAL	ESPECIFICAÇÃO/QUANTIDADE
PLA Transparente	0,012 kg
FERRAMENTA	TIPO
Impressora 3D	

PROCESSO DE FABRICAÇÃO

1. Encomendar impressão 3D para a peça.

CASE DO SENSOR DE DISTÂNCIA

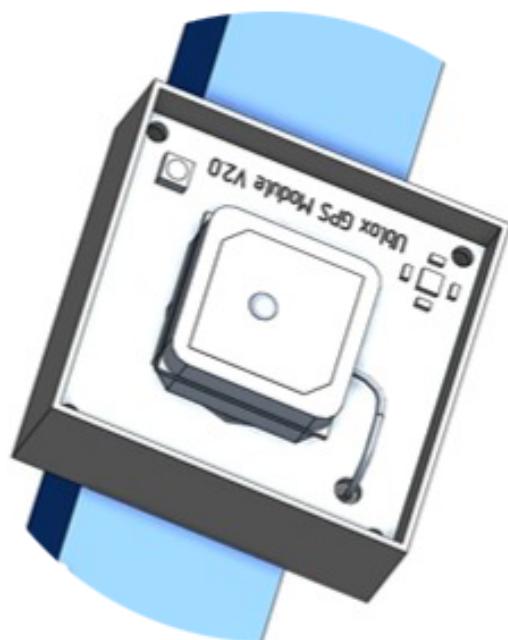


MATERIAL	ESPECIFICAÇÃO/QUANTIDADE
PLA Transparente	0,005 kg
FERRAMENTA	TIPO
Impressora 3D	

PROCESSO DE FABRICAÇÃO

1. Encomendar impressão 3D para a peça.

CASE DO GPS



MATERIAL	ESPECIFICAÇÃO/QUANTIDADE
PLA Transparente	0,018 kg
FERRAMENTA	TIPO
Impressora 3D	

PROCESSO DE FABRICAÇÃO

1. Encomendar impressão 3D para a peça.

CASE DA RASPBERRY

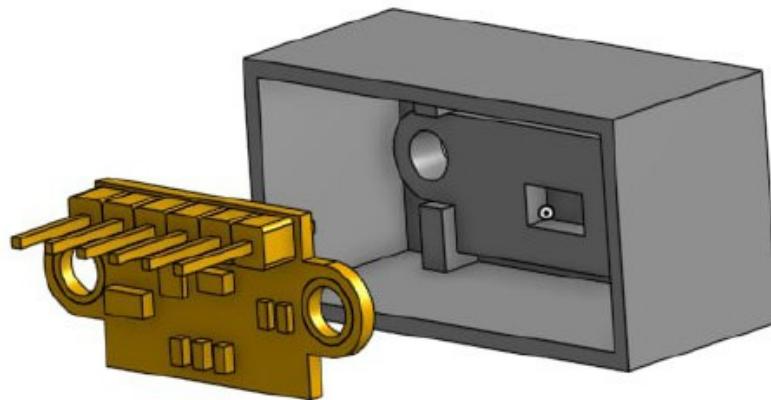


MATERIAL	ESPECIFICAÇÃO/QUANTIDADE
PLA Transparente	0,024 kg
FERRAMENTA	TIPO
Impressora 3D	

PROCESSO DE FABRICAÇÃO

1. Encomendar impressão 3D para a peça.

CASE DO SENSOR RGB



MATERIAL	ESPECIFICAÇÃO/QUANTIDADE
PLA Transparente	0,0018 kg
FERRAMENTA	TIPO
Impressora 3D	

PROCESSO DE FABRICAÇÃO

1. Encomendar impressão 3D para a peça.

7. ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

ESPECIFICAÇÕES FÍSICAS

Dimensões do cortador	1,212 m x 0,904 m x 0,452 m
Peso do cortador	53,3 kg
Ruído	48 dB
Resistência Química	Álcool Isopropílico, alvejantes, sabão neutro e produtos a base de cloro

ESPECIFICAÇÕES DA FONTE DE ALIMENTAÇÃO

Frequência da linha AC	60 Hz
Tensão de entrada	220 V
Tensão de saída	38 V
Corrente de saída	10 A
Potência de saída	570W



SMART GRASS

X.2 Manual de Montagem



MANUAL DE MONTAGEM

SMART GRASS

SUMÁRIO

- 1. Descrição do Manual**
 - 2. Descrição do Produto**
 - 3. Vista Geral do Produto**
 - 4. Componentes Eletrônicos**
 - 5. Componentes Estruturais**
 - 6. Instalação dos Subsistemas Eletroeletrônicos**
 - 6.1 Motores de Tração
 - 6.2 Motor de Passo
 - 6.3 Baterias
 - 6.4 Sensores
 - 7. Montagem dos Subsistemas Estruturais**
 - 8. Montagem dos Componentes Eletrônicos**
 - 9. Especificações Técnicas**
-

1. DESCRIÇÃO DO MANUAL

Esse manual tem por objetivo a descrição do processo de montagem dos subsistemas do cortador de grama Smart Grass. As imagens são ilustrativas e suas dimensões e especificações técnicas podem ser encontradas nos desenhos técnicos do produto. Os processos de montagem foram desenhados de forma lógica, considerando as dificuldades de montagem dos subsistemas e componentes.

2. DESCRIÇÃO DO PRODUTO

O Smart Grass é um produto automatizado corta-grama. Seu objetivo é cortar grama de grandes áreas de forma automática.

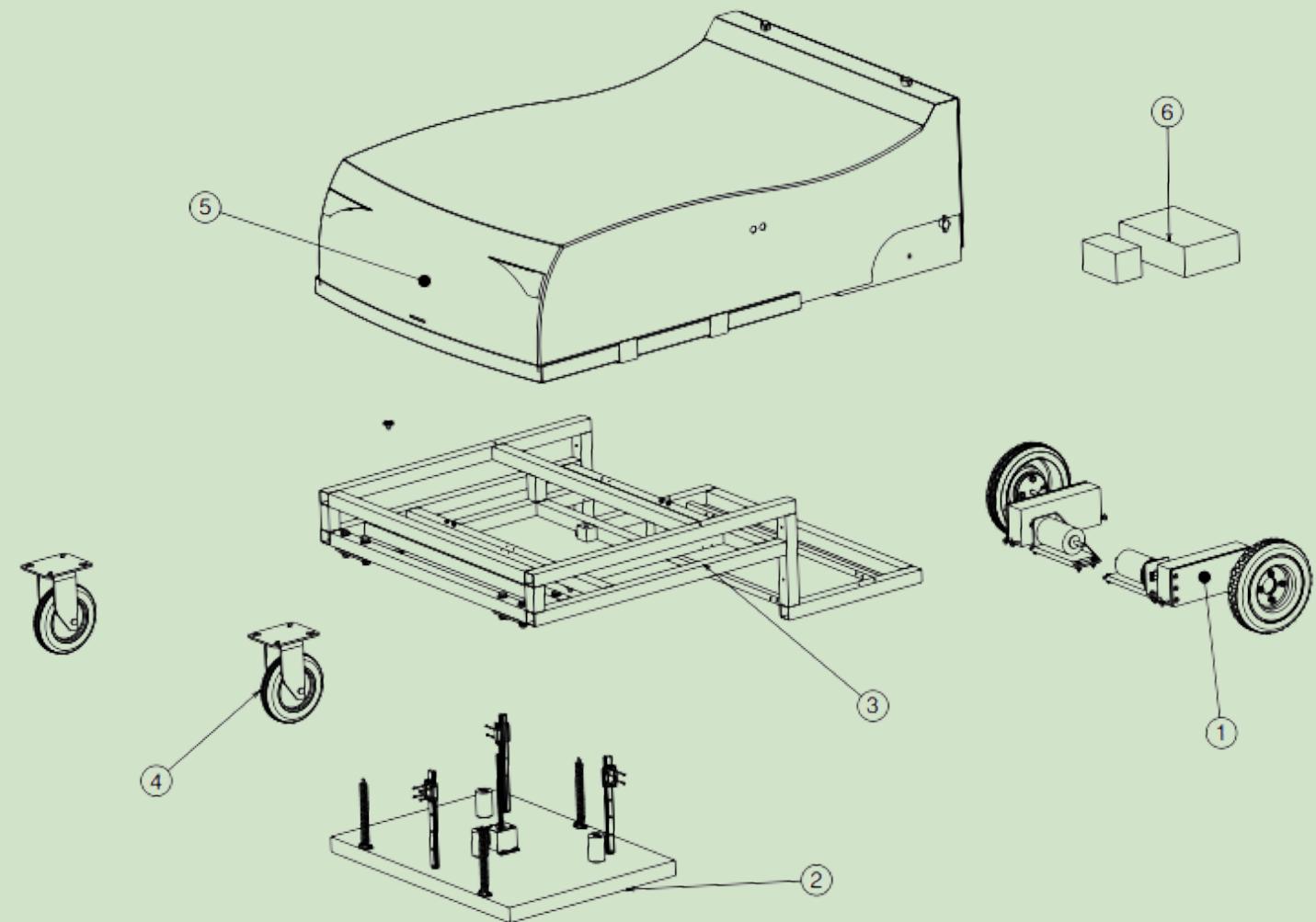
O produto possui sistema de armazenamento de energia e pode movimentar-se durante operação sem a necessidade de permanecer conectado à tomada.

O produto foi desenvolvido para operar em terrenos urbanos, sem buracos e entulhos.

A estrutura do produto é impermeável e suas conexões mais externas devem ser vedadas para evitar que frestas abertas permitam a passagem de líquido para seu interior.

A montagem do produto deve considerar as vedações à entrada de líquidos e os riscos dos componentes elétricos e eletrônicos para os usuários, isolando e protegendo todos os subsistemas e componentes que tragam riscos para o usuário.

3. VISTA GERAL DO PRODUTO



4. COMPONENTES ELETRÔNICOS

ITEM	COMPONENTE	QUANTIDADE
1	Raspberry Pi 3 modelo B+	1
2	Roteador celular	1
3	Motor DC RS555	3
4	Motor DC XD60D94-12Y-50S	2
5	Motor de Passo NEMA com fuso	1
6	Placa de circuito impresso de controle de locomoção	1
7	Placa de circuito impresso da fonte de 5V	1
8	Placa de circuito impresso para o carregamento das baterias	2
9	Placa de circuito impresso para verificação no nível de tensão da bateria;	1
10	Bateria 12V 15Ah	1
11	Bateria 24V 30Ah	1
12	Sensor Ultrassônico Hc-sr04	3
13	Sensor RGB	1
14	Sensor de distância por infravermelho VL53L0XV2	1
15	Unidade de medida inercial, composta pelos sensores acelerômetro, magnetômetro, giroscópio e barômetro	1
16	Sensor de temperatura e umidade	1

ITEM	COMPONENTE	QUANTIDADE
17	Sensor GPS	1
18	Botão liga desliga	1
19	LEDS indicadores do funcionamento do cortador	3
20	Driver DRV8825 e ponte	1

5. COMPONENTES ESTRUTURAIS

ITEM	COMPONENTE	QUANTIDADE
1	Lâmina de 30 cm	1
2	Lâminas de 18 cm	2
3	Acoplador para eixo de 3,175 mm	3
4	Adaptador do tipo I	1
5	Adaptadores do tipo II	2
6	Flanges	2
7	Parafusos Philips M3x6 para os motores das lâminas	6
8	Parafusos Allen M4x10 para os acoplamentos	12
9	Parafusos laterais M6x20 - Conjunto nº 1	2
10	Parafusos laterais M6x20 - Conjunto nº 2	4
11	Porcas M6 dos parafusos laterais	6
12	Chapa do deck de aço inox	1

ITEM	COMPONENTE	QUANTIDADE
13	Castanha	1
14	Elemento de fixação da castanha	1
15	Elemento de fixação do motor de passo	1
16	Parafusos Philips M3x10 para o suporte da castanha	2
17	Parafusos Philips M4x35 para o suporte da castanha	4
18	Parafusos Philips M3x35 para o suporte do motor de passo	4
19	Parafusos Allen M5x8 para o suporte do motor de passo	4
20	Porcas M5 dos parafusos de fixação do motor de passo no deck	4
21	Guias lineares com cromo 15 mm (linha anti oxidação)	3
22	Patins MGN15C	3
23	Parafusos Philips M3x35 de fixação dos patins	12
24	Manta para vibrações	1
25	Molas de tração	3
26	Ganchos das molas	6
27	Parafusos Allen M5x8 para fixação dos ganchos das molas no deck	6
28	Parafusos Allen M5x40 para fixação dos ganchos das molas no chassi	6
29	Porcas M5 dos parafusos de fixação das molas	12
30	Acoplamento rígido para eixo de 6 mm de diâmetro	1
31	Acoplamento rígido para eixo de 8 mm de diâmetro	1

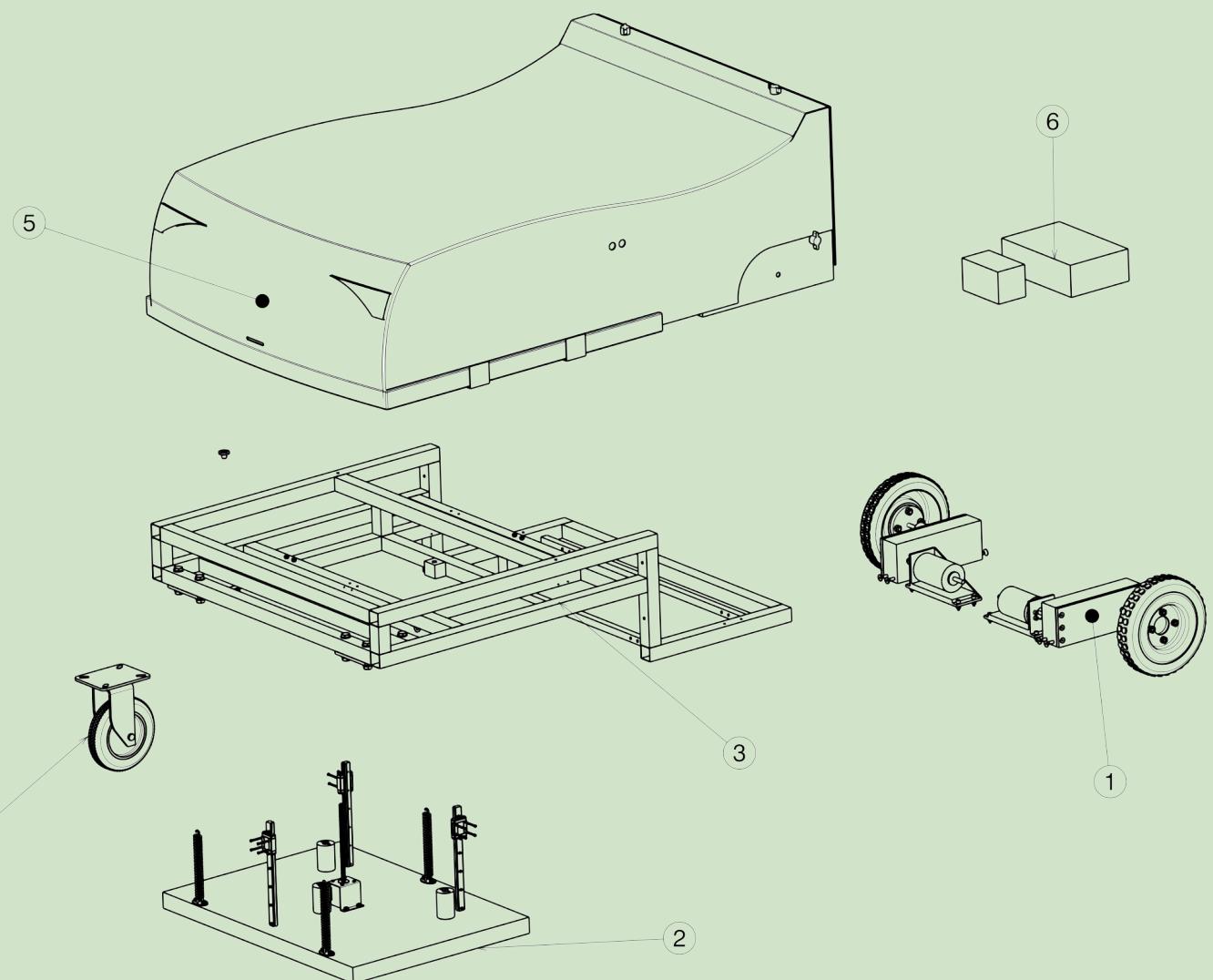
ITEM	COMPONENTE	QUANTIDADE
32	Arruela ISO 7090 5 x 10	4
33	Carcaça da caixa de redução	2
34	Cubo de roda	2
35	Eixo 1 - eixo de entrada (SAE 1045)	2
36	Eixo 2 - eixo intermediário (SAE 1045)	2
37	Eixo 3 - eixo intermediário (SAE 1045)	2
38	Eixo 4 - eixo de saída (SAE 1045)	2
39	Engrenagem de 20 dentes com módulo unitário	6
40	Engrenagem de 70 dentes com módulo unitário	6
41	Mancal com rolamento para eixo de 8 mm de diâmetro	2
42	Mancal de rolamento SKF 719/8 ACE/HCP4A	8
43	Mancal de rolamento SKF SKF 706 ACD/P4A	8
44	Parafuso Allen ISO 10642 de cabeça esfarelada M5 x 16	12
45	Parafuso Allen ISO 10642 de cabeça esfarelada M6 x 30	8
46	Parafuso Allen ISO 4762 M5 x 16	8
47	Parafuso Allen ISO 4762 M5 x 20	8
48	Parafuso ISO 4014 M5 x 45	4
49	Parafuso prisioneiro M8	8
50	Porca 4032 M8	8

ITEM	COMPONENTE	QUANTIDADE
51	Porca ISO 10501 M8	8
52	Porca ISO 4032 M5	8
53	Porca ISO 4034 M5	8
54	Roda de tração de 8"	2
55	Suporte para motor elétrico de tração	2
56	Tampa da caixa de redução	2
57	Arruela ISO 7089 10x20	16
58	Conjunto de roda frontal	2
59	Parafuso sextavado ISO 4017 M10 x 50	8
60	Placa adaptadora da roda frontal	2
61	Porca ISO 4032 M10	8
62	Barra de 6 metros seção quadrada 16 x 16 (chapa 20; 0,90 mm)	1
63	Arruela ISO 7089 6x12	12
64	Barra de 6 metros seção quadrada 30 x 30 (chapa 22; 0,75 mm)	2
65	Parafuso sextavado ISO 4014 M6 x 40	6
66	Porca ISO 4032 M6	6
67	Borracha Adesiva 8 mm	2,5 m
68	Borracha Adesiva 3x25 mm	3 m
69	Parafuso 3/8	8

ITEM	COMPONENTE	QUANTIDADE
70	Adaptador de Parafusos 5/8 para 3/8	8
71	Alumínio 2 mm	8
72	Fibra de Vidro	4,725 kg
73	Epoxy	4,8 kg
74	Endurecedor	1,5 kg
75	Super Cola Max (fibra/alumínio)	3
76	Parafuso Manípulo 3/8"	4
77	Porca Manípulo 3/8"	4
78	Borracha isolante	1 m
79	Parafuso Manípulo Borboleta 1/4"	4
80	Porca Manípulo Borboleta 1/4"	4
81	Borracha Borboleta	4
63	Espuma PVC Expandido 6 mm	1
64	PLA Transparente	2,1 kg
65	ABS	0,5 kg
66	Acrílico Flexível de 2 mm	2 m

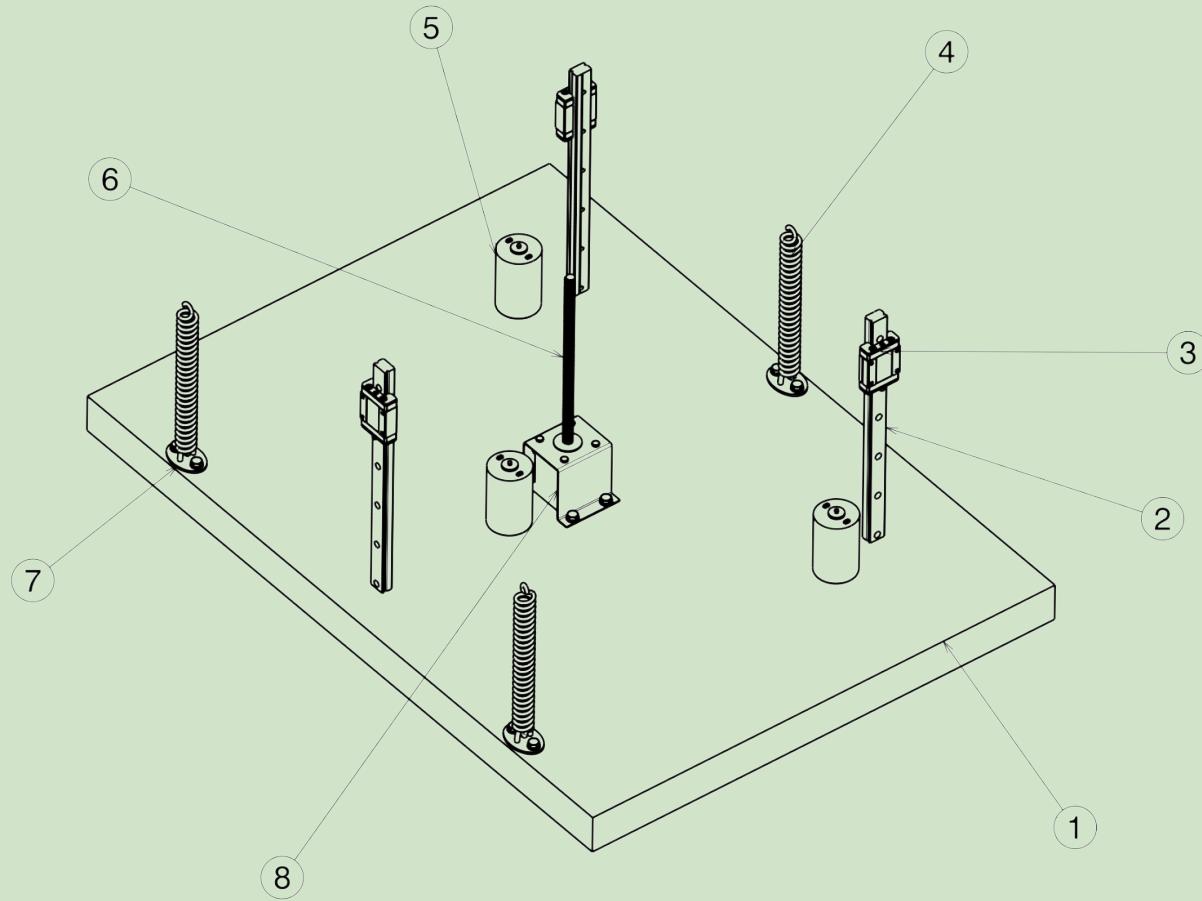
LEGENDA **DESCRIÇÃO**

1	Sistema de Tração
2	Sistemas (corte + ajuste de altura de corte)
3	Chassi
4	Rodas frontais
5	Carroceria
6	Baterias (24 V e 12 V)



SISTEMA DE CORTE E AJUSTE

LEGENDA	DESCRIÇÃO
1	Deck
2	Trilho Traseiro
3	Patim
4	Mola Traseira
5	Conjunto Lâmina-Motor
6	Motor de Passo
7	Gancho da Mola
8	Suporte do Motor de Passo



LEGENDA **DESCRIÇÃO**

9

Lâmina de 18 cm de diâmetro

10

Lâmina de 30 cm de diâmetro

11

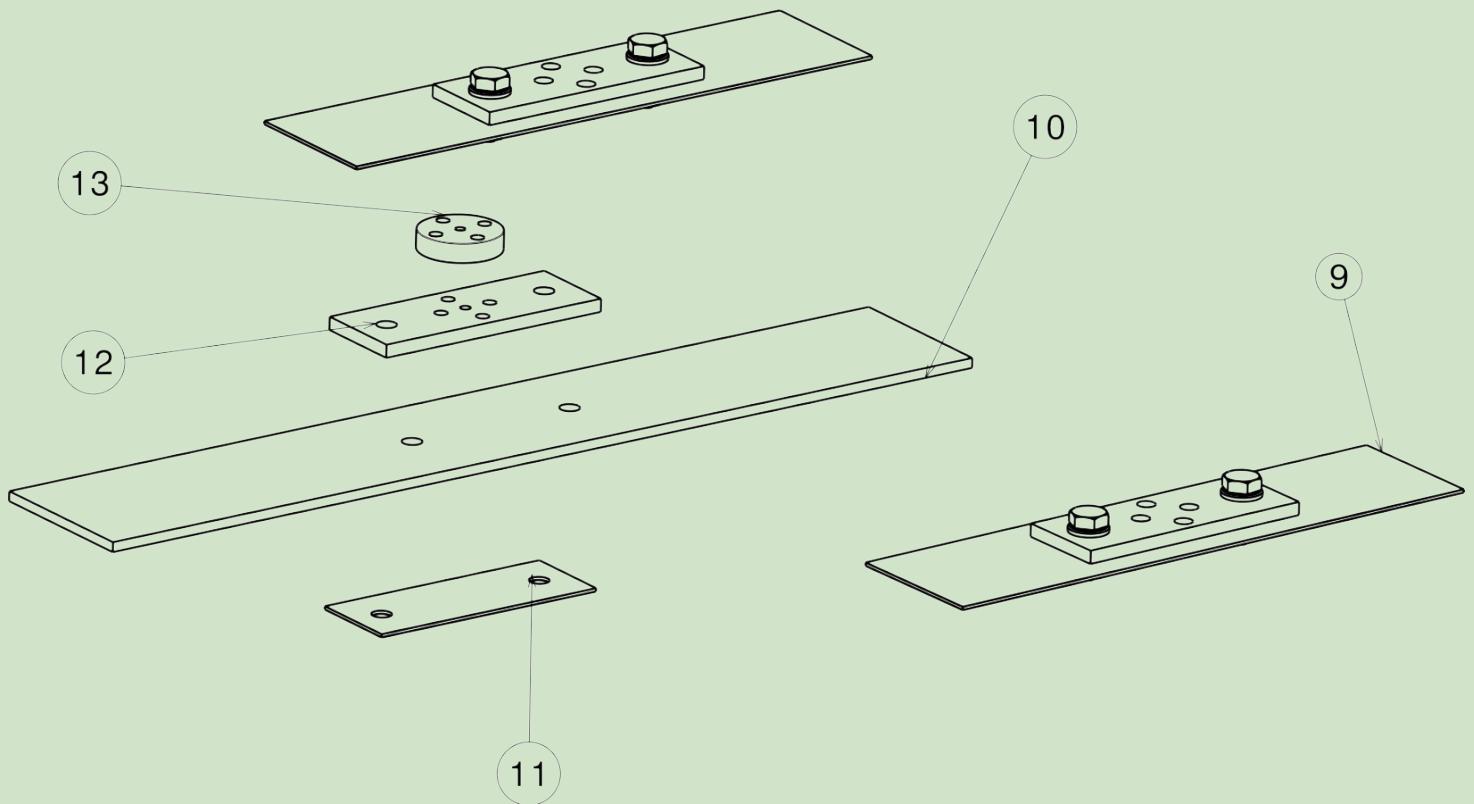
Flange

12

Adaptador

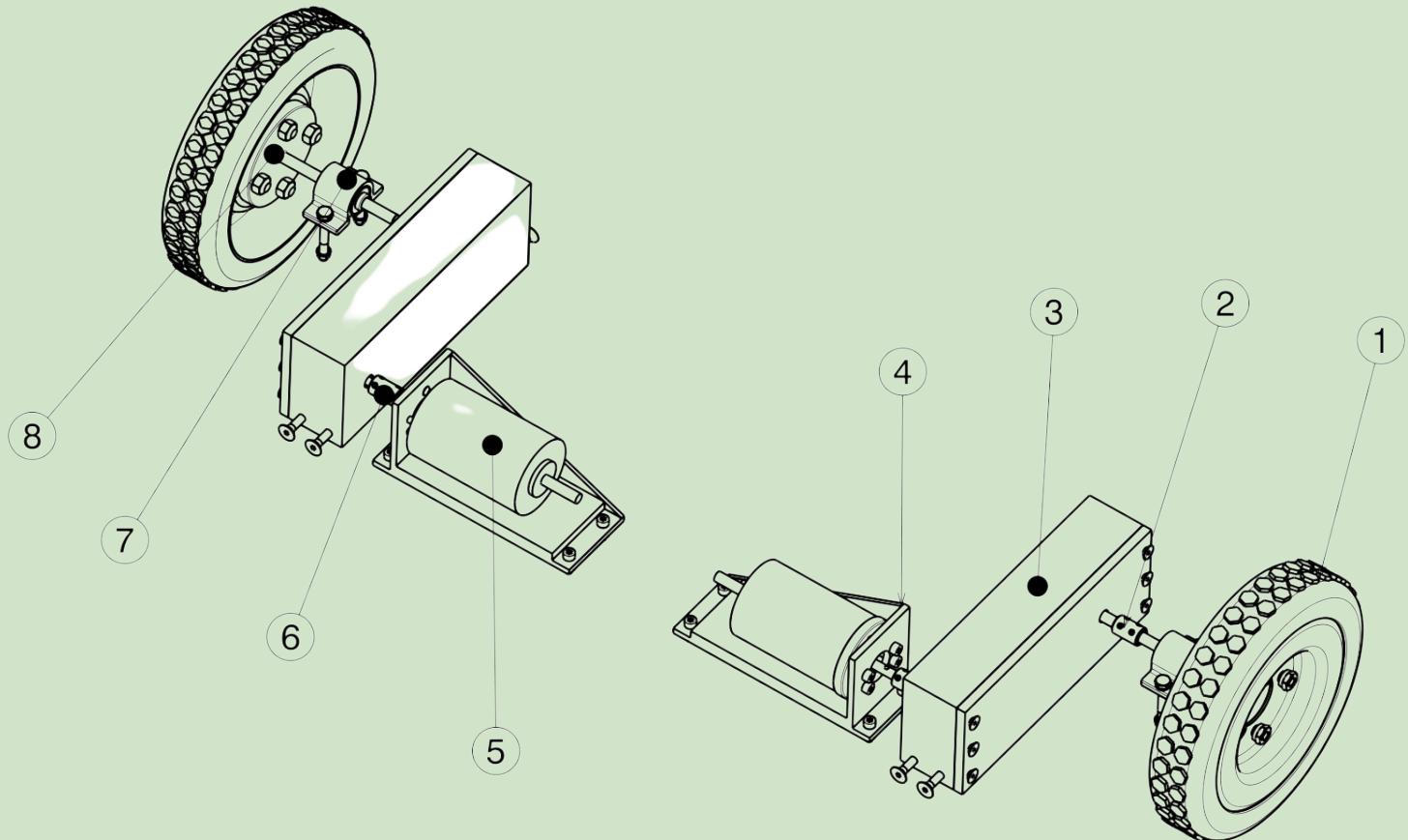
13

Acoplamento



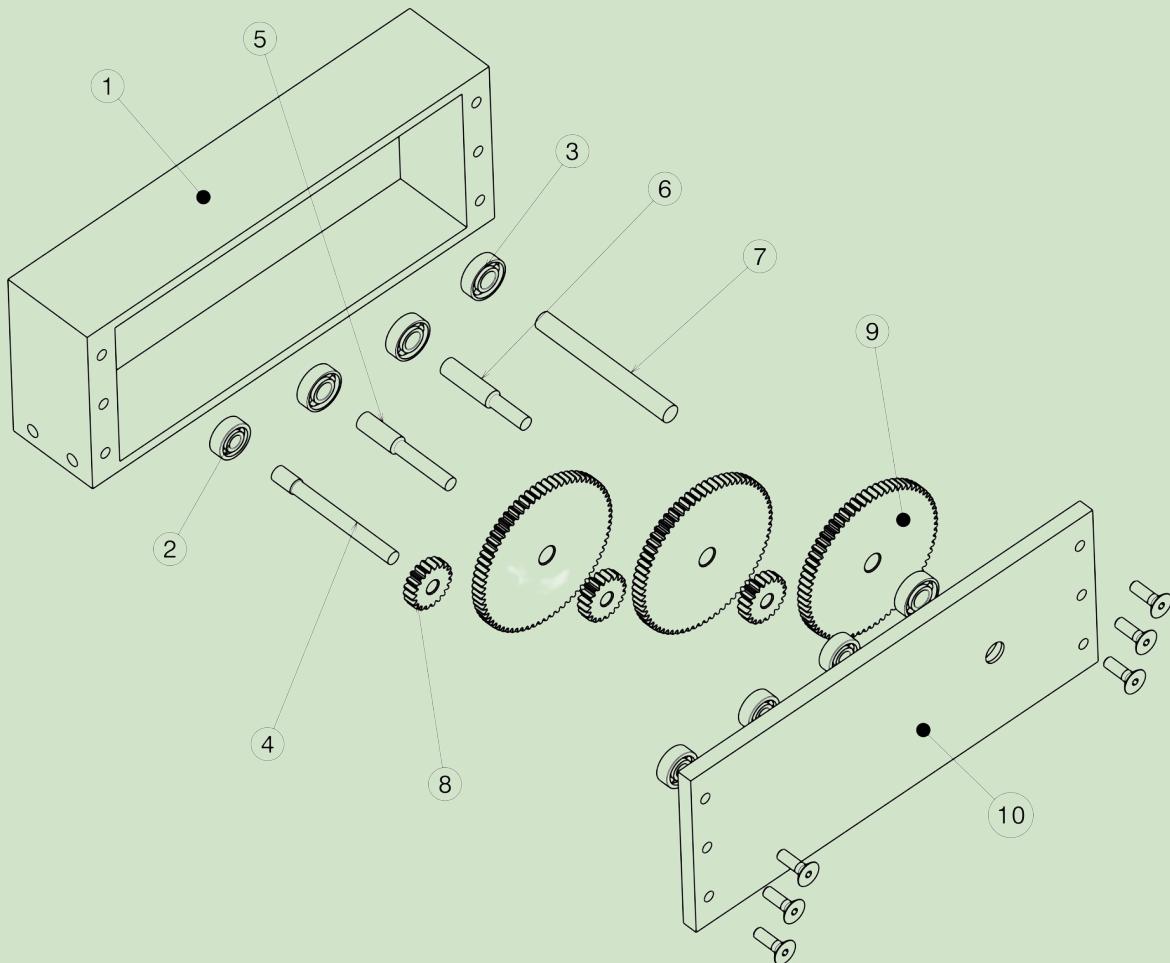
SISTEMA DE TRAÇÃO

LEGENDA	DESCRIÇÃO
1	Roda de tração
2	Acoplamento do eixo de saída
3	Caixa de Redução
4	Suporte do motor elétrico de tração
5	Motor de elétrico de tração
6	Acoplamento do eixo de entrada
7	Caixa de mancal
8	Cubo de roda



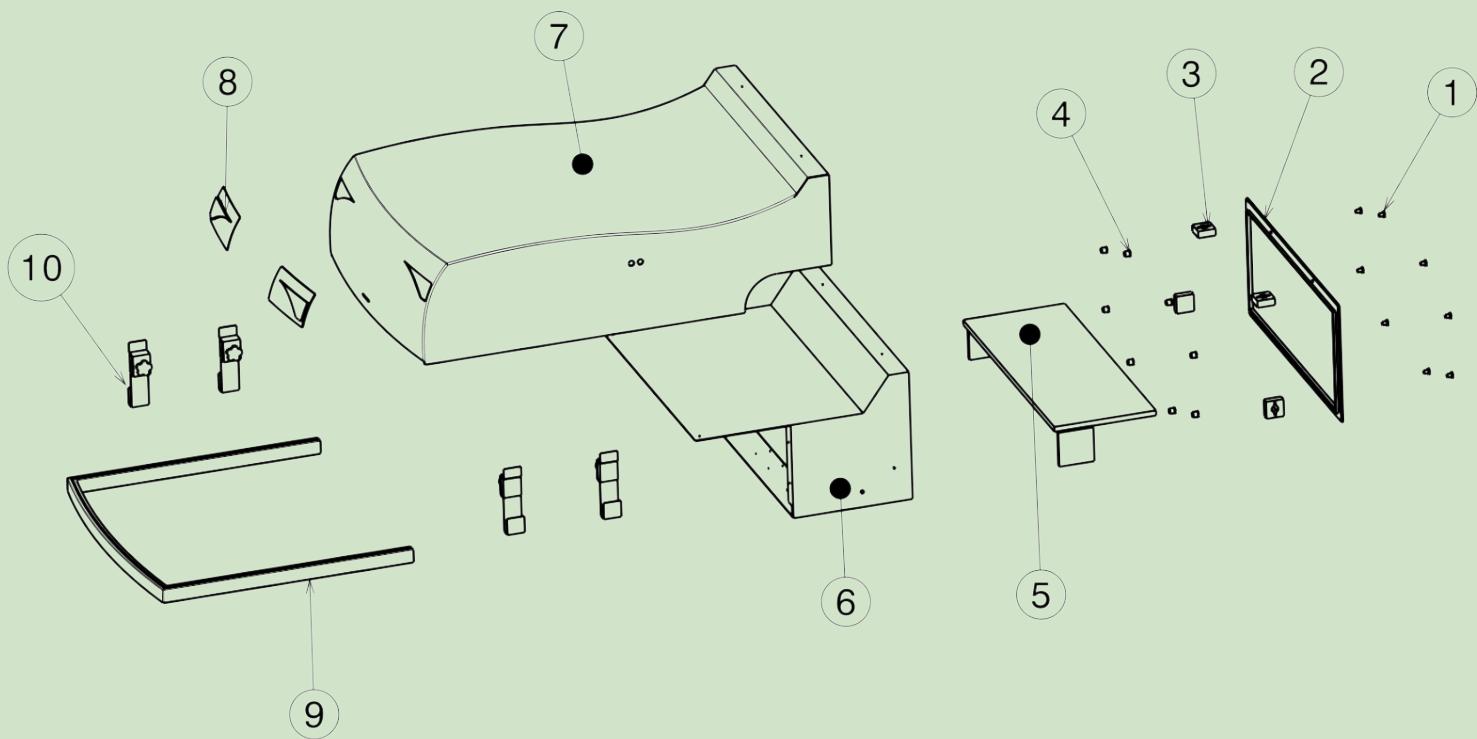
CAIXA DE REDUÇÃO

LEGENDA	DESCRIÇÃO
1	Carcaça da Caixa de Redução
2	Mancal de rolamento SKF SKF 706 ACD/P4A
3	Mancal de rolamento SKF 719/8 ACE/HCP4A
4	Eixo 1 - eixo de entrada
5	Eixo 2 - eixo intermediário
6	Eixo 3 - eixo intermediário
7	Eixo 4 - eixo de saída
8	Engrenagem com 20 dentes
9	Engrenagem com 70 dentes
10	Tampa da Caixa de Redução



CARROCERIA

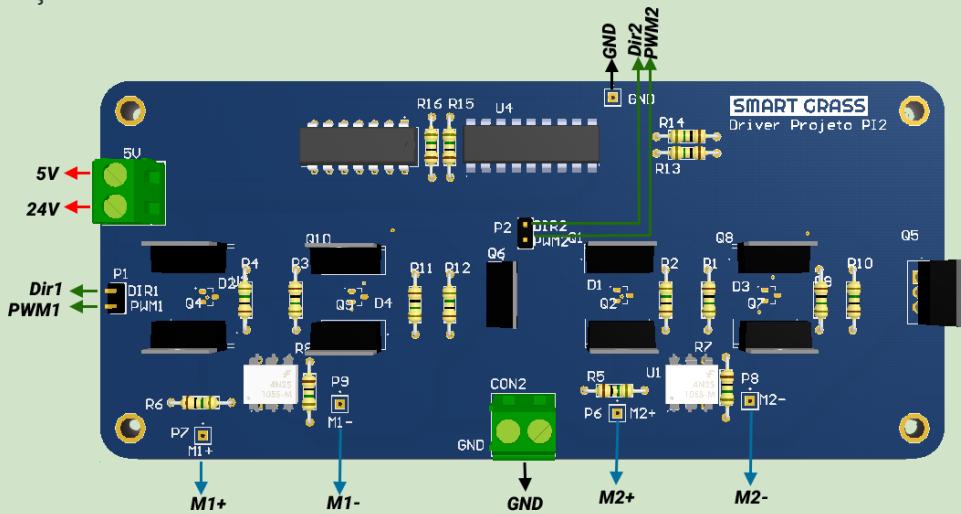
LEGENDA	DESCRIÇÃO
1	Parafusos
2	Tampa da Caixa Traseira
3	Conjunto (borracha + porca borboleta)
4	Adaptadores de parafuso
5	Espumas sonoras
6	Caixa de Traseira
7	Carroceria
8	Faróis
9	Base de apoio da carroceria
10	Suporte de fixação entre Carroceria e Chassi



6. INSTALAÇÃO DOS SUBSISTEMAS ELETROELETRÔNICOS

6. 1 MOTORES DE TRAÇÃO

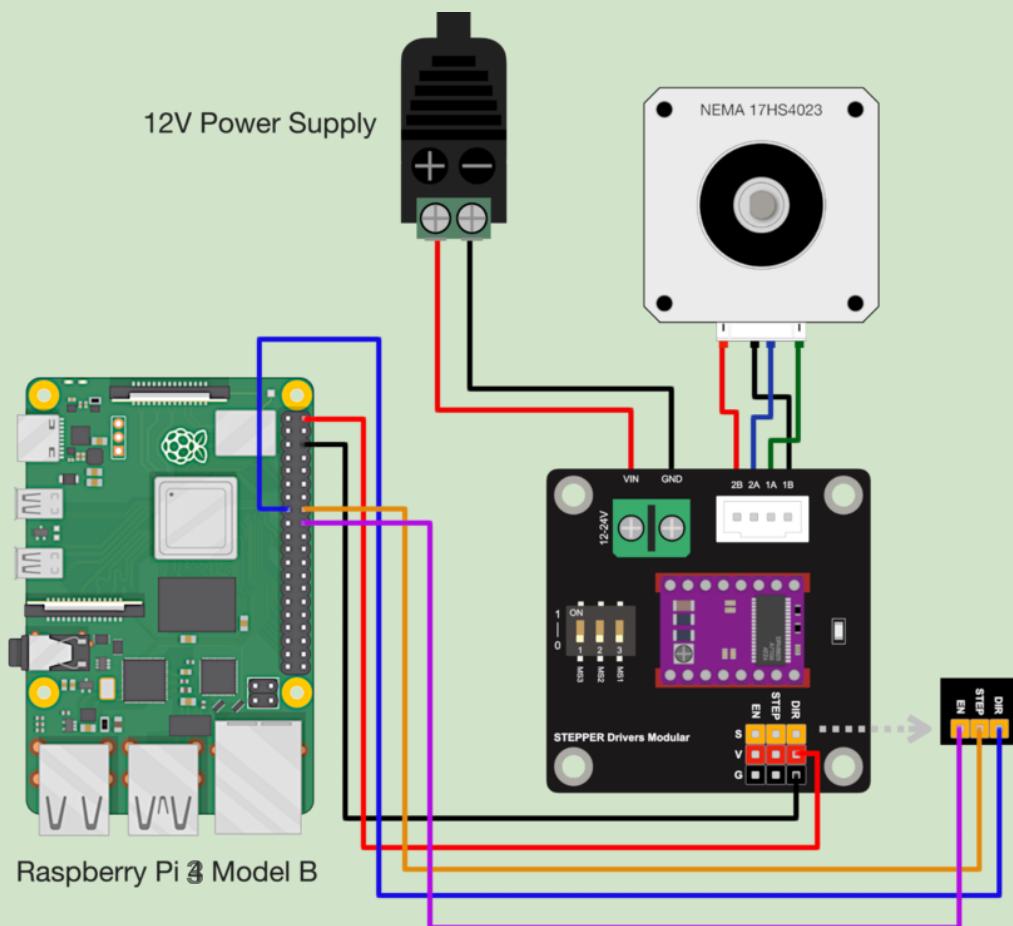
O controle dos motores de locomoção é feito pelo circuito driver abaixo. A fixação da placa é feita com parafusos M3, e as conexões entre a placa e os demais componentes devem ser feitas com base nos rótulos na placa, seguindo as especificações mostradas na tabela abaixo.



RÓTULO NA PLACA	DESCRIÇÃO	COMPONENTE PARA CONEXÃO	CABOS
24V	Alimentação 24V pela bateria	Bateria 24V 30Ah	Cabos PP flexível
5V	Alimentação 5V pelo regulador de tensão	Circuito regulador de tensão 5V	Cabos PP flexível
Dir1	Sinal de controle de direção do motor direito	Raspberry Pi (GPIO24)	Molex 2 pin
PWM1	Sinal de controle de velocidade do motor direito	Raspberry Pi (GPIO23)	Molex 2 pin
Dir2	Sinal de controle de direção do motor esquerdo	Raspberry Pi (GPIO9)	Molex 2 pin
PWM2	Sinal de controle de velocidade do motor esquerdo	Raspberry Pi (GPIO18)	Molex 2 pin
M1+	Conexão positiva do motor direito	Motor DC XD60D94-12Y-50S	Cabos PP flexível
M1-	Conexão negativa do motor direito	Motor DC XD60D94-12Y-50S	Cabos PP flexível
M2+	Conexão positiva do motor esquerdo	Motor DC XD60D94-12Y-50S	Cabos PP flexível
M2-	Conexão negativa do motor esquerdo	Motor DC XD60D94-12Y-50S	Cabos PP flexível
GND	Referência de tensão do circuito	Bateria 24V 30Ah	Cabos PP flexível

6.2 MOTOR DE PASSO

O controle de altura das lâminas é realizado pelo motor de passo que por sua vez é controlado pelo circuito driver DRV8825 abaixo. A fixação da placa é feita com parafusos M3, e as conexões entre a placa e os demais componentes devem ser feitas com base nos rótulos na placa, seguindo as especificações mostradas na tabela abaixo.



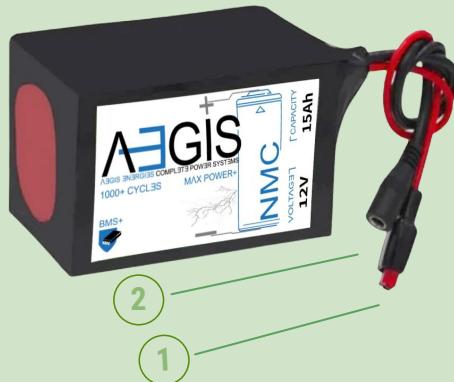
RÓTULO NA PLACA	DESCRIÇÃO	COMPONENTE PARA CONEXÃO	CABOS
VIN	Alimentação 12V pela bateria	Bateria 12V 2A	Molex 1 pin
GND	Referência de tensão do circuito	Bateria 12V 2A	Molex 1 pin
1A	Conexão bipolar A+	Motor de passo NEMA 17	Molex 1 pin
2A	Conexão bipolar A-	Motor de passo NEMA 17	Molex 1 pin
1B	Conexão bipolar B+	Motor de passo NEMA 17	Molex 1 pin
2B	Conexão bipolar B-	Motor de passo NEMA 17	Molex 1 pin
DIR	Sinal de controle de direção	Raspberry Pi (GPIO22)	Molex 1 pin
STEP	Sinal de controle do passo	Raspberry Pi (GPIO25)	Molex 1 pin
EN	Sinal de controle de liberação (Enable)	Raspberry Pi (GPIO27)	Molex 1 pin

6.3 BATERIAS

As baterias possuem dois conectores para a conexão entre a bateria, o carregador ou os componentes eletrônicos. As tabelas mostram na legenda os pontos de conexão, o componente onde devem ser conectados (conexão externa) e o tipo de conector necessário:

- Bateria Aegis 12V 15Ah

LEGENDA	CONEXÃO EXTERNA	CONECTOR
1	Carregador	PP45 vermelho/preto
2	Driver motor de corte	DC (Fêmea)



- Bateria Aegis 24V 30Ah

LEGENDA	CONEXÃO EXTERNA	CONECTOR
1	Carregador	PP45 vermelho/preto
2	Driver motor de locomoção	SB50 Cinza

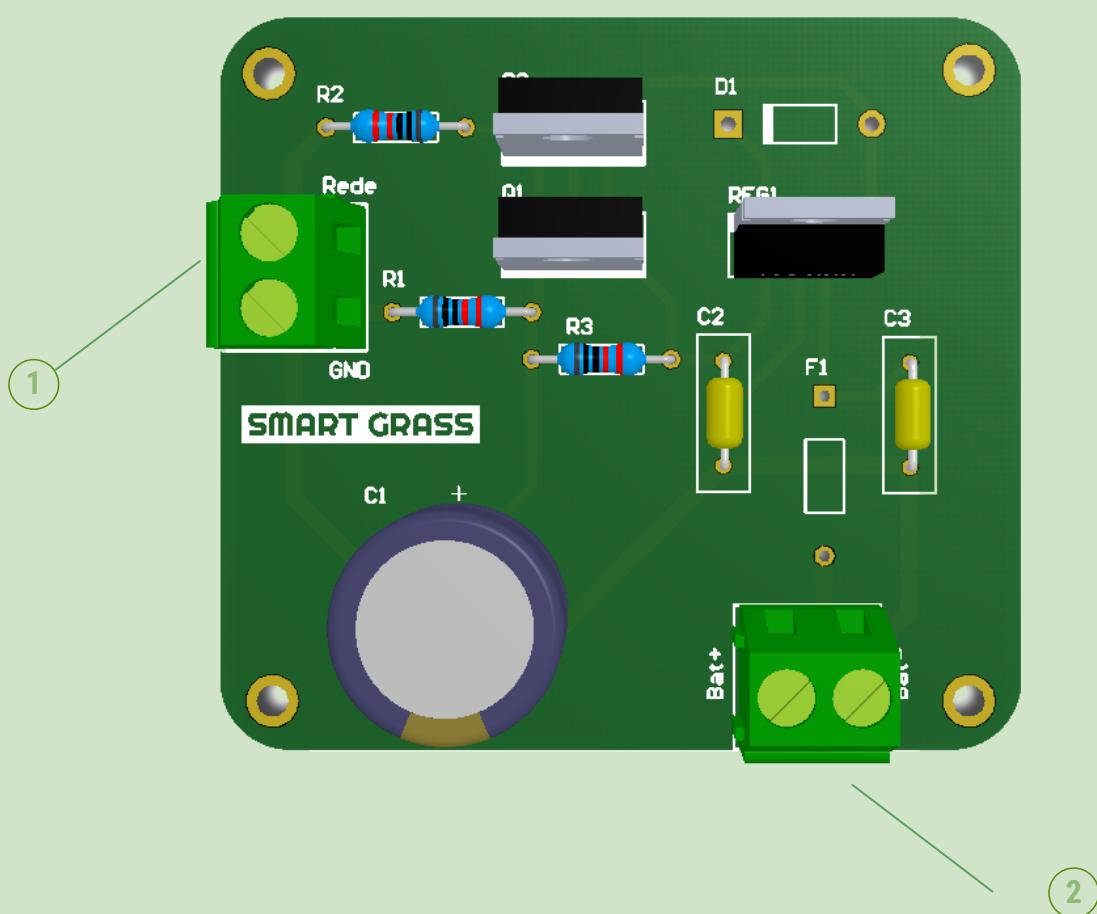


6.3 BATERIAS

- **Carregador 12 V**

O carregamento da bateria de 12V é feito pelo circuito apresentado logo abaixo. A fixação da placa é feita com parafusos M3, e as conexões entre a placa e os demais componentes devem ser feitas com base nos rótulos na placa, seguindo as especificações mostradas na tabela abaixo.

LEGENDA	CONEXÃO EXTERNA	CABOS
1	Conektor Emenda	PP 1,5mm ²
2	Bateria de 12V	PP 1,5mm ²

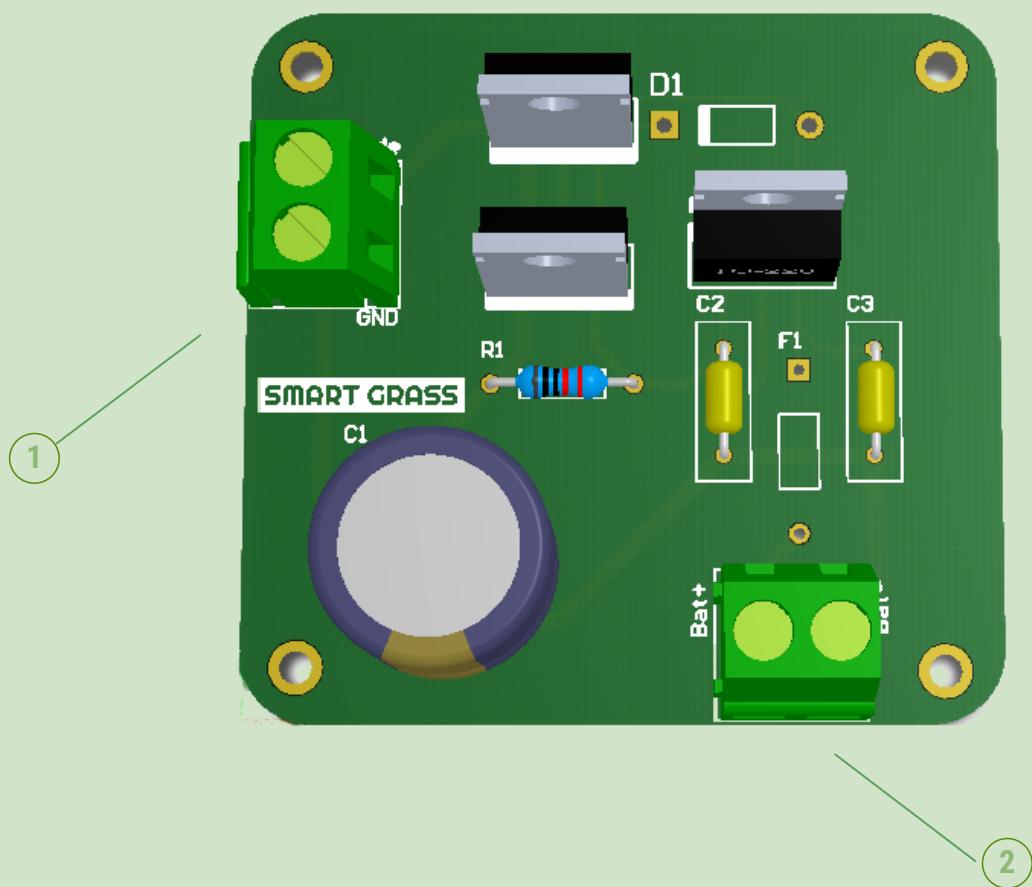


6.3 BATERIAS

- **Carregador 24 V**

O carregamento da bateria de 24V é feito pelo circuito apresentado logo abaixo. A fixação da placa é feita com parafusos M3, e as conexões entre a placa e os demais componentes devem ser feitas com base nos rótulos na placa, seguindo as especificações mostradas na tabela abaixo.

LEGENDA	CONEXÃO EXTERNA	CABOS
1	Conector Emenda	PP 1,5mm ²
2	Bateria de 24V	PP 1,5mm ²

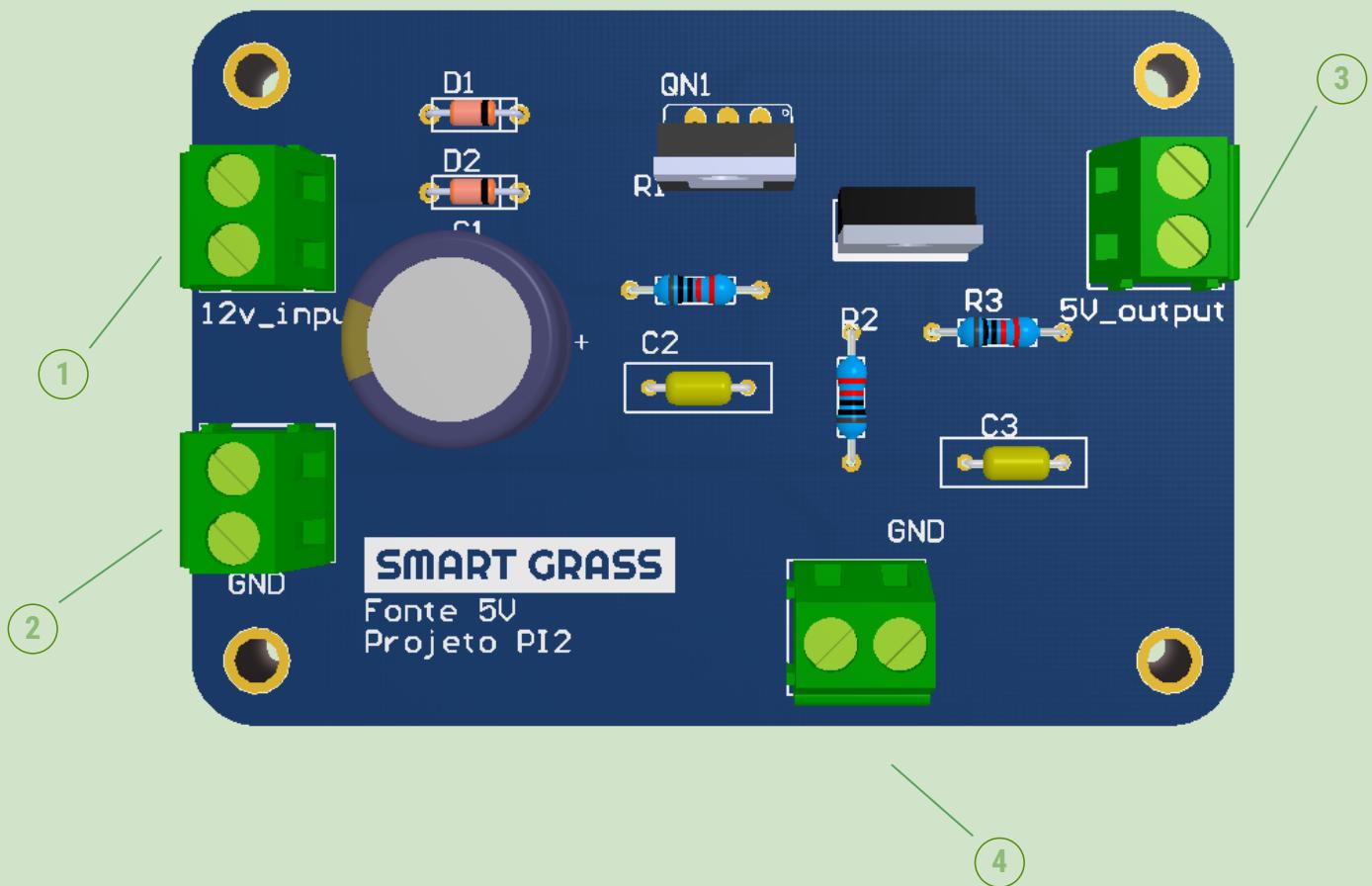


6.3 BATERIAS

- **Fonte 5 V**

A fonte de 5V foi desenvolvida para diminuir a tensão de 12V proveniente da bateria para 5V para alimentação do microcomputador. A fixação da placa é feita com parafusos M3, e as conexões entre a placa e os demais componentes devem ser feitas com base nos rótulos na placa, seguindo as especificações mostradas na tabela abaixo.

LEGENDA	CONEXÃO EXTERNA	CABOS
1	Bateria 12V/Barramento 12V	PP 0,75mm ²
2	GND da bateria de 12V	Cabo PP Flexível
3	Microcomputador (Raspberry pi)	PP 0,75mm ²
4	GND da bateria de 12V	Cabo PP Flexível

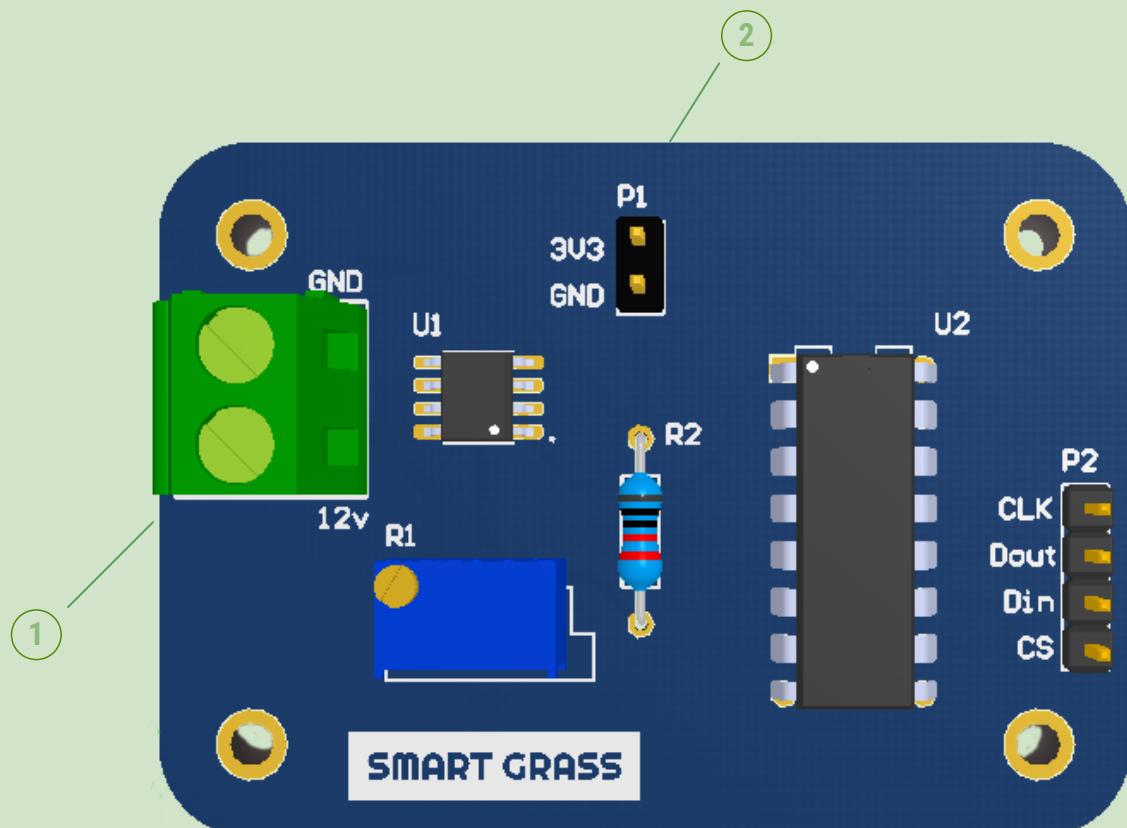


6.3 BATERIAS

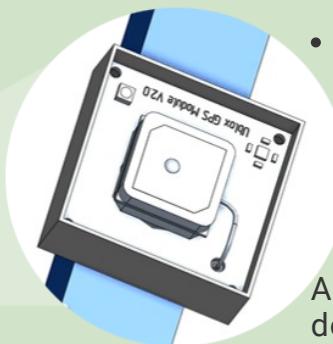
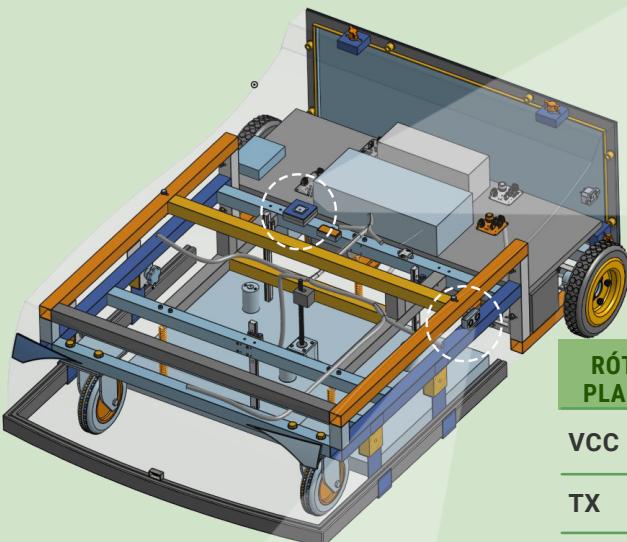
- Nível de bateria

O circuito de nível da bateria tem objetivo de reduzir a tensão de 12V da bateria para aproximadamente 3,3V para o microcomputador conseguir indentificar o nível da bateria. A fixação da placa é feita com parafusos M3, e as conexões entre a placa e os demais componentes devem ser feitas com base nos rótulos na placa, seguindo as especificações mostradas na tabela abaixo.

LEGENDA	CONEXÃO EXTERNA	CABOS
1	Bateria 12V/Barramento 12V	PP 0,75mm ²
2	Conversor A/D	Cabo PP Flexível



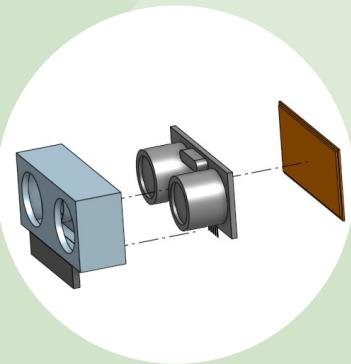
6.4 SENsores



- O sensor GPS ficará encaixado no compartimento mostrado na figura ao lado.
- A fixação é feita a partir dos furos na placa, já a antena é encaixada na tampa externa.

A tabela abaixo descreve as conexões do sensor GPS no projeto.

RÓTULO NA PLACA (GPS)	CONEXÃO EXTERNA	CABOS
VCC	Raspberry Pi (3,3V)	Molex 4 pin
TX	Raspberry Pi (GPIO14)	Molex 4 pin
RX	Raspberry Pi (GPIO 15)	Molex 4 pin
GND	Raspberry Pi (GND)	Molex 4 pin



- Os sensores de detecção de distância ultrassônicos são encaixados ao redor do cortador em estruturas como a mostrada na figura ao lado.
- A tabela abaixo descreve as conexões do sensor ultrassônico.

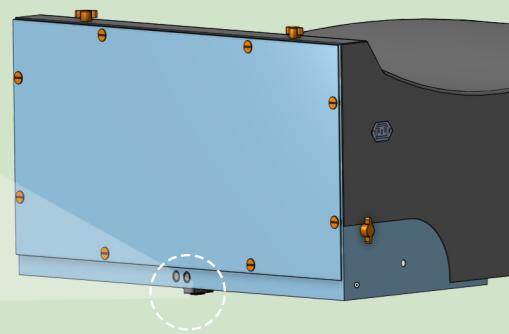
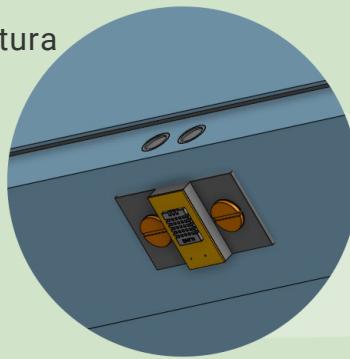
RÓTULO NA PLACA (ULTRASSÔNICO)	CONEXÃO EXTERNA	CABOS
VCC	Raspberry Pi (5V)	Molex 4 pin
Trigger	Raspberry Pi (GPIO 8)	Molex 4 pin
ECHO	Raspberry Pi (GPIO 4-7)	Molex 4 pin
GND	Raspberry Pi (GND)	Molex 4 pin

- Também foi adicionado um roteador celular ao projeto para conexão via REDE sim. A instalação desse componente segue as disposições da tabela abaixo.

RÓTULO NO COMPONENTE(ROTEADOR)	CONEXÃO EXTERNA	CABOS
Alimentação	Circuito regulador de tensão 5V	Cabo PP flexível
Ethernet	Raspberry Pi (ethernet)	Cabo ethernet
Slot de cartão	Cartão SIM	

- O cortador de grama também possui um sensor de temperatura e umidade, fixado na parte inferior da estrutura, como mostra a figura ao lado.

A tabela abaixo descreve as conexões do sensor DHT no projeto.

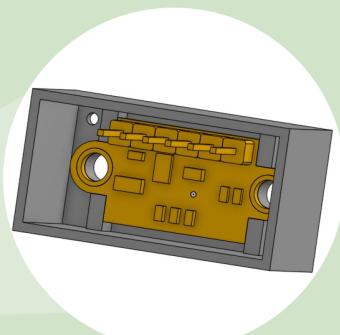
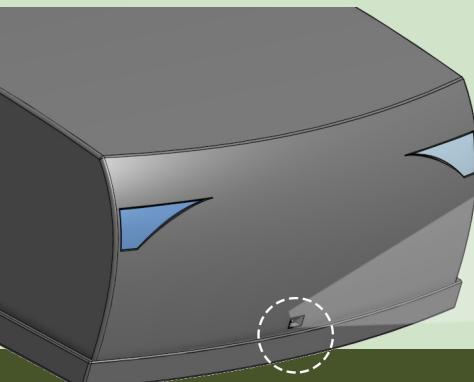


RÓTULO NO COMPONENTE(DHT)	CONEXÃO EXTERNA	CABOS
Vdd	Raspberry PI (3,3V)	Molex 3 pin
Dados	Raspberry PI (GPIO13)	Molex 3 pin
GND	Raspberry PI (GND)	Molex 3 pin

O cortador também possui um sensor infravermelho para auxiliar na detecção e desvio de obstáculos. Esse sensor é posicionado na parte frontal da estrutura e encaixado como na imagem abaixo. Também na parte frontal, está o sensor de detecção de cor, responsável pela identificação de grama. As conexões desses sensores são descritas nas tabelas abaixo.

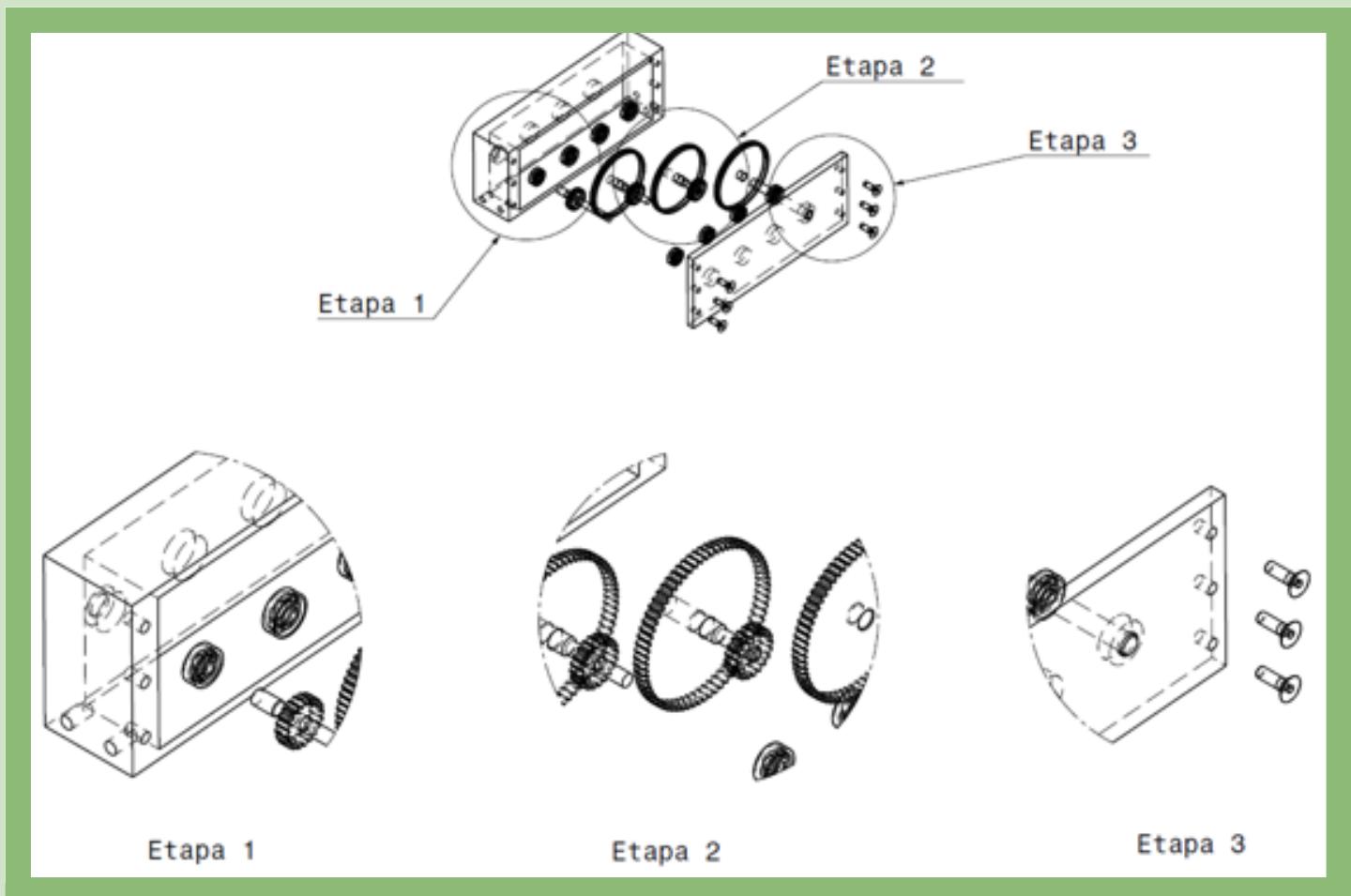
RÓTULO NA PLACA (INFRAVERMELHO)	CONEXÃO EXTERNA	CABOS
Vdd	Raspberry PI (3,3V)	Molex 6 pin
SDA	Raspberry PI (GPIO2)	Molex 6 pin
SDL	Raspberry PI (GPIO3)	Molex 6 pin
SHUTDOWN	Raspberry PI (GPIO22)	Molex 6 pin
GND	Raspberry PI (GND)	Molex 6 pin

RÓTULO NA PLACA (COR RGB)	CONEXÃO EXTERNA	CABOS
Vdd	Raspberry PI (3,3V)	Molex 6 pin
SDA	Raspberry PI (GPIO0)	Molex 6 pin
SDL	Raspberry PI (GPIO1)	Molex 6 pin
LED	Raspberry PI (GPIO12)	Molex 6 pin
GND	Raspberry PI (GND)	Molex 6 pin



7. MONTAGEM DOS SUBSISTEMAS ESTRUTURAIS

ETAPA 1 - MONTAGEM DOS MANCAIS DE ROLAMENTO NA CARCAÇA DA CAIXA DE REDUÇÃO. A MONTAGEM SERÁ REALIZADA POR INTERFERÊNCIA



- Aquecer os alojamentos dos mancais de rolamento da carcaça de redução por meio da ferramenta “Irradiador de infravermelho”, também fornecida pela fabricante de mancais de rolamento SKF;
- Utilizar kit de ferramentas SKF para montagem de rolamentos. O kit utilizado deve conter anéis de impacto, buchas de impacto e martelo sem retrocesso. Deve-se observar atentamente às recomendações fornecidas pelo fabricante de mancais de rolamento com o intuito de evitar falhas prematuras. Recomenda-se a utilização de luvas resistentes ao calor por parte do operador de montagem dos mancais na carcaça da caixa de redução.

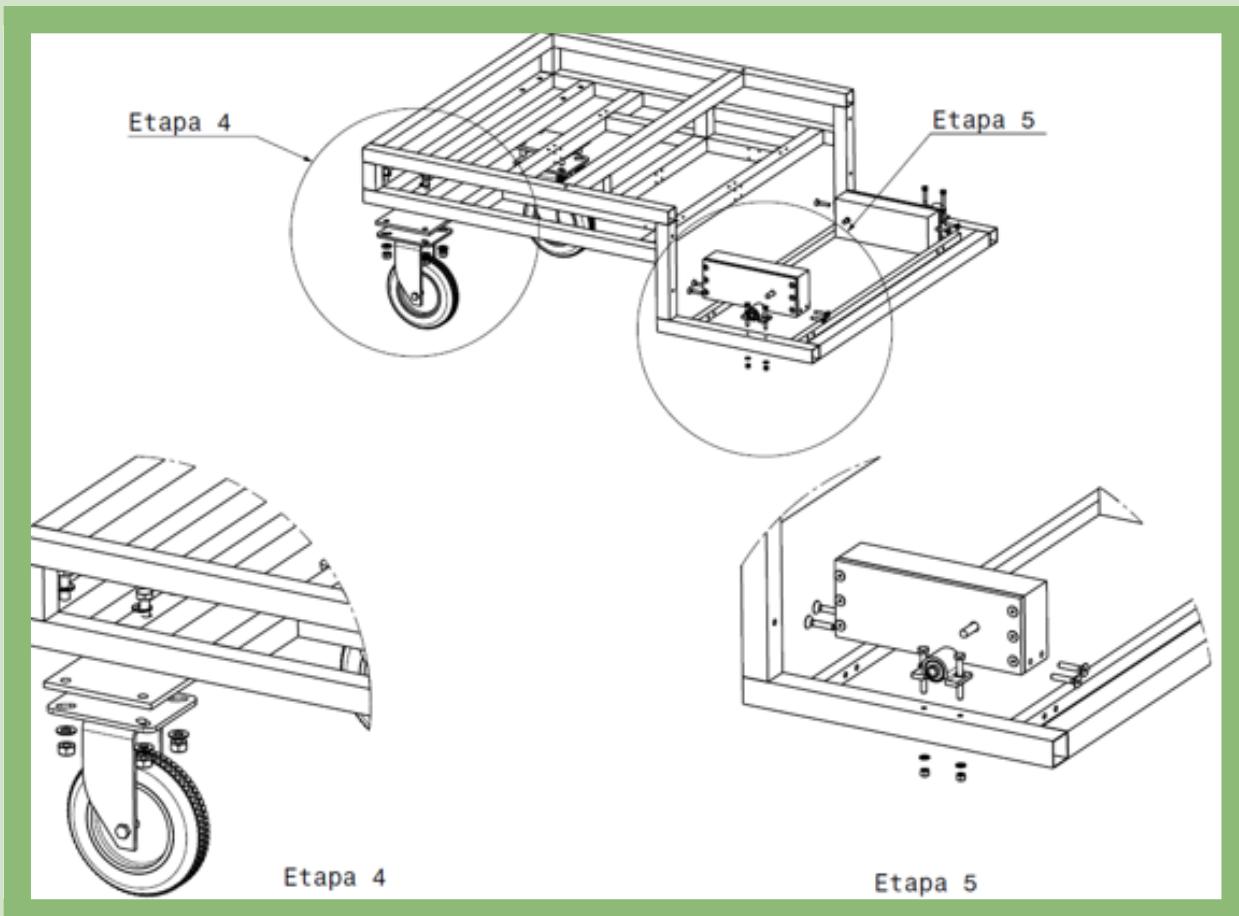
ETAPA 2 - POSICIONAMENTO DAS ENGRANAGENS SOBRE OS EIXOS DE TRANSMISSÃO DE POTÊNCIA

- Resfriar os eixos numa temperatura e tempo suficientes para garantir a contração do material;
- Aquecer as engrenagens numa temperatura suficientemente alta para permitir a dilatação do furo interno. Entretanto, a temperatura não pode ser elevada a ponto de gerar variações das propriedades do material da engrenagem;
- As engrenagens devem ser posicionadas conforme o desenho técnico;
- Os conjuntos (eixos + engrenagens) devem ser posicionados nos furos dos rolamentos posicionados na carcaça durante a Etapa 1.

ETAPA 3 - MONTAGEM DOS ROLAMENTOS NA TAMPA DA CAIXA DE REDUÇÃO

- Aquecer os alojamentos dos mancais de rolamento com “Irradiador de infravermelho” SKF, de preferência;
- Utilizar kit de ferramentas SKF para posicionamento dos mancais de rolamento em seus devidos alojamentos. O operador deve se atentar ao uso de luvas resistentes ao calor nesta operação;
- Posicionar as extremidades dos eixos em seus respectivos mancais de rolamento alojados na tampa da carcaça;
- Parafusar a tampa na carcaça da caixa de redução.

ETAPA 4 - MONTAGEM DAS RODAS FRONTAIS NO CHASSI

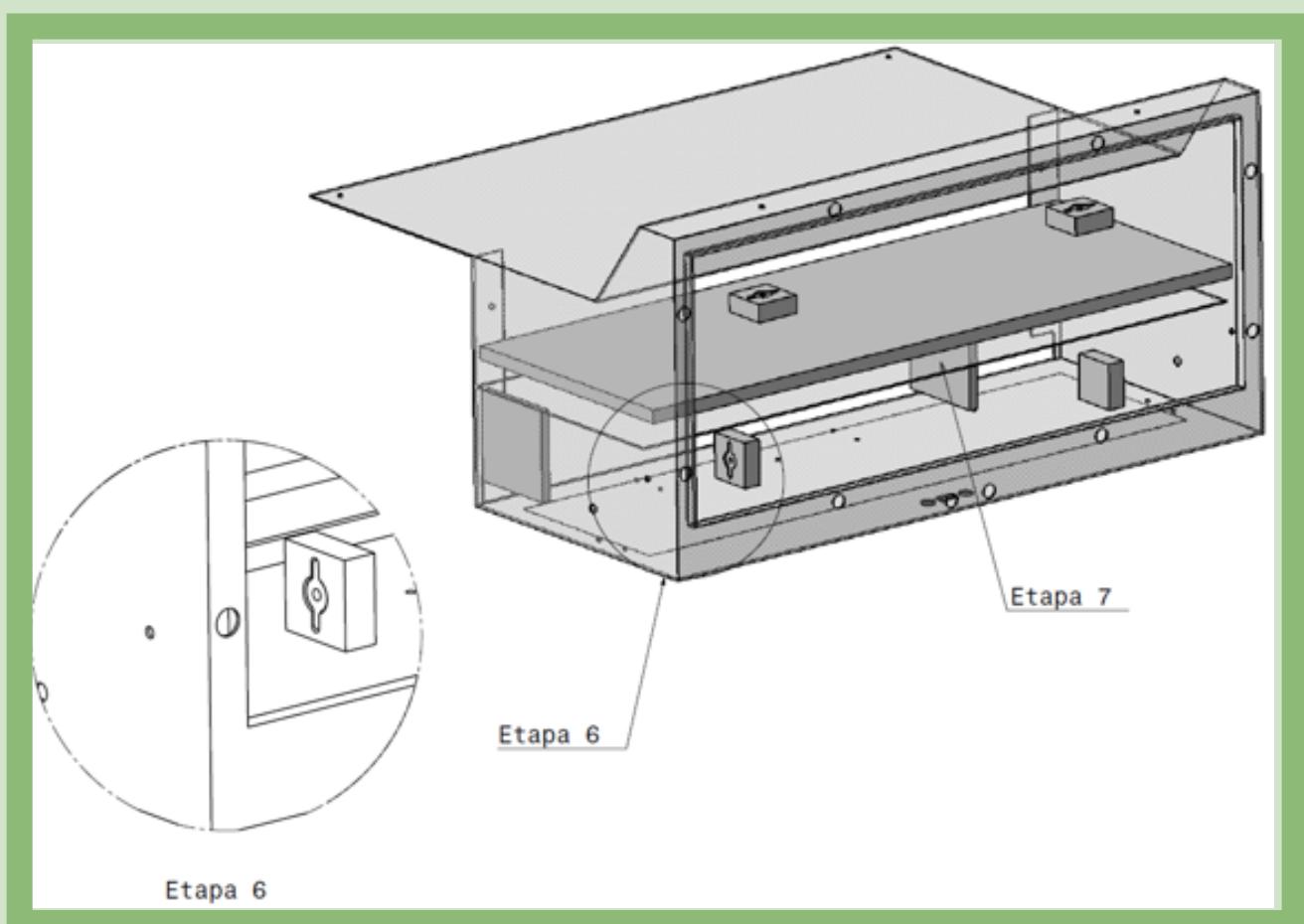


- Posicionar as rodas frontais e a placa adaptadora da roda frontal de forma alinhada com os furos do chassi, conforme a Figura acima;
- Utilizar parafusos sextavados ISO 4017 M10 x 50, arruelas ISO 7089 10x20 e porcas ISO 4032 M10 para fixar as rodas frontais ao chassi, conforme a imagem;
- Utilizar Parafuso Allen ISO 10642 de cabeça escareada M6 x 30 para fixar a caixa de redução ao chassi.

ETAPA 5 - MONTAGEM DA CAIXA DE REDUÇÃO E DAS CAIXAS DE MANCAL AO CHASSI

- Posicionar o chassi em plataforma que permita o nivelamento deste, de tal modo que o chassi sempre esteja fixo e que as faces inferiores dos perfis sempre estejam paralelas ao solo durante todas as Etapas de montagem seguintes;
- Posicionar as caixas de redução ao chassi em conformidade com os respectivos furos indicados na imagem da Etapa 5;
- Utilizar parafusos Allen ISO 10642 de cabeça escareada M6 x 30 para fixar a caixa de redução ao chassi;
- Posicionar as caixas de mancal para eixo de 8 mm conforme indicado pela imagem referente à Etapa 5;
- Utilizar parafusos ISO 4014 M5 x 45, arruelas ISO 7090 5 x 10 e porcas ISO 4034 M5 para fixar as caixas de mancal ao chassi.

ETAPA 6 - CONEXÃO DAS PORCAS BORBOLETA À CAIXA TRASEIRA

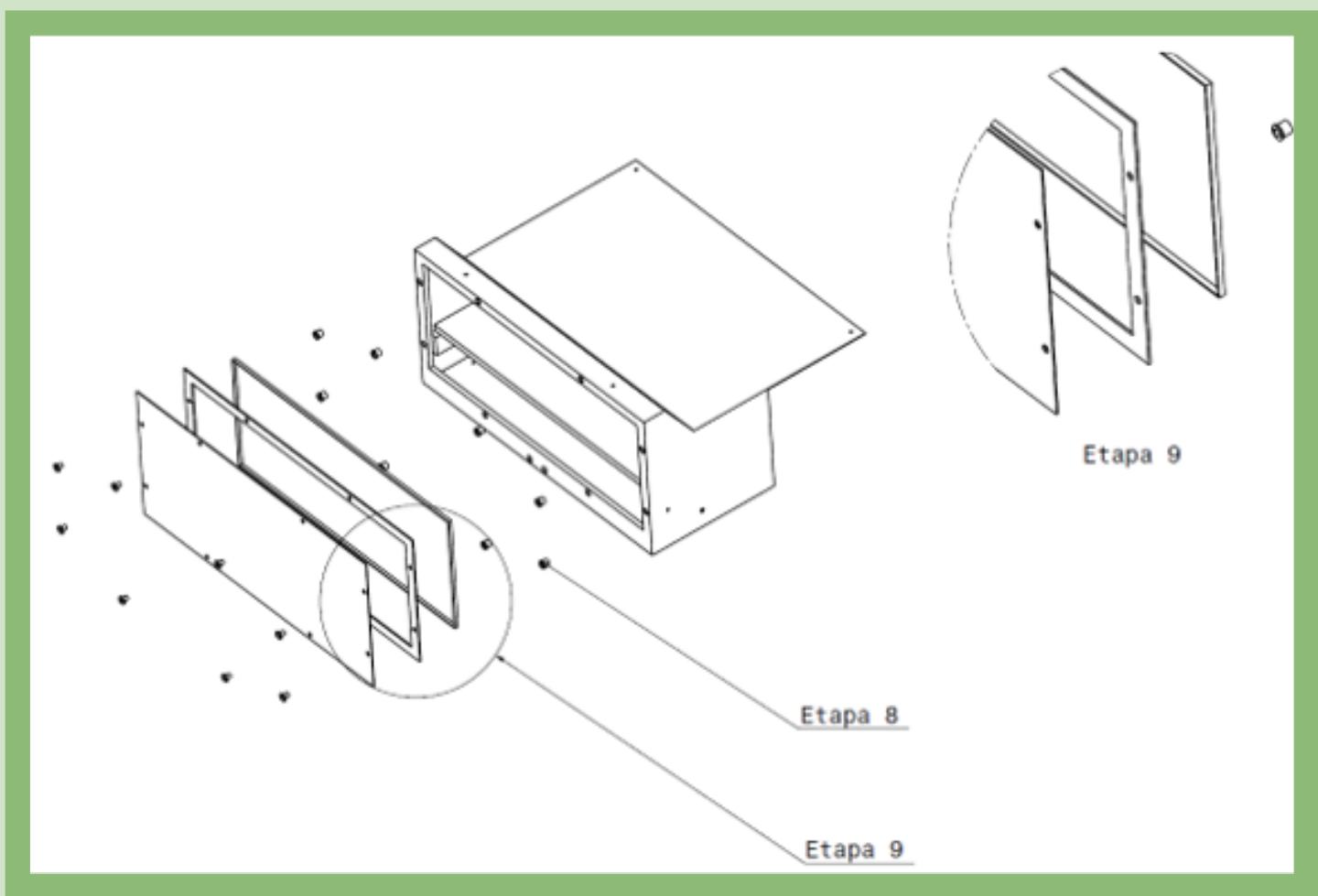


- Colar as borrachas com as porcas manípulo borboletas nos locais indicados, cuidando para que os furos das porcas coincidam com os furos de encaixe dos parafusos manípulo borboleta.

ETAPA 7 - CONEXÃO DAS ESPUMAS À CAIXA TRASEIRA

- Acrescentar as espumas emborrachadas à superfície central da caixa e às paredes laterais internas, próximas ao fundo da caixa traseira;
- Colá-las com a cola especificada na lista de materiais. A espuma emborrachada da base central da caixa precisa ser encaixada de modo que suas laterais não ultrapassem os limites da superfície central da caixa.

ETAPA 8 - CONEXÃO DOS ADAPTADORES DE PARAFUSOS À CAIXA TRASEIRA

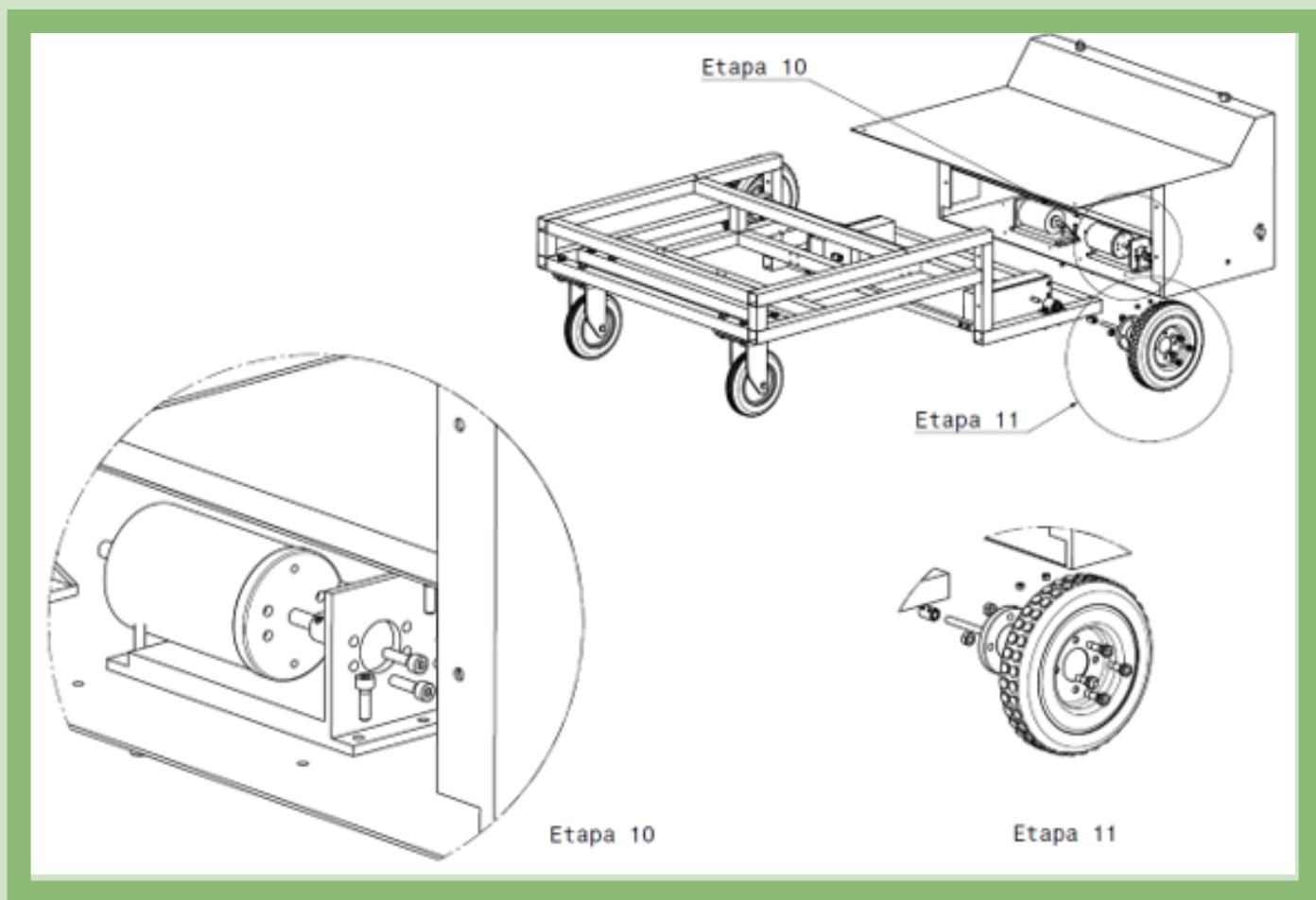


- Encaixar os adaptadores de parafusos nos furos da caixa traseira, conforme desenho.

ETAPA 9 - COLAGEM ENTRE TAMPA, BORRACHAS DE VEDAÇÃO E CAIXA TRASEIRA

- Cortar as borrachas adesivas nas medidas indicadas no desenho técnico e colá-las na tampa da caixa traseira, seguindo a ordem de colagem:
 - Colar primeiro a borracha de vedação que vai no fundo da tampa da caixa traseira;
 - Em seguida, colar a borracha de vedação das paredes de encaixe da tampa.

ETAPA 10 - CONEXÃO DOS MOTORES ELÉTRICOS DE TRAÇÃO NO SUPORTE E CONEXÃO DO SUPORTE NA CAIXA TRASEIRA



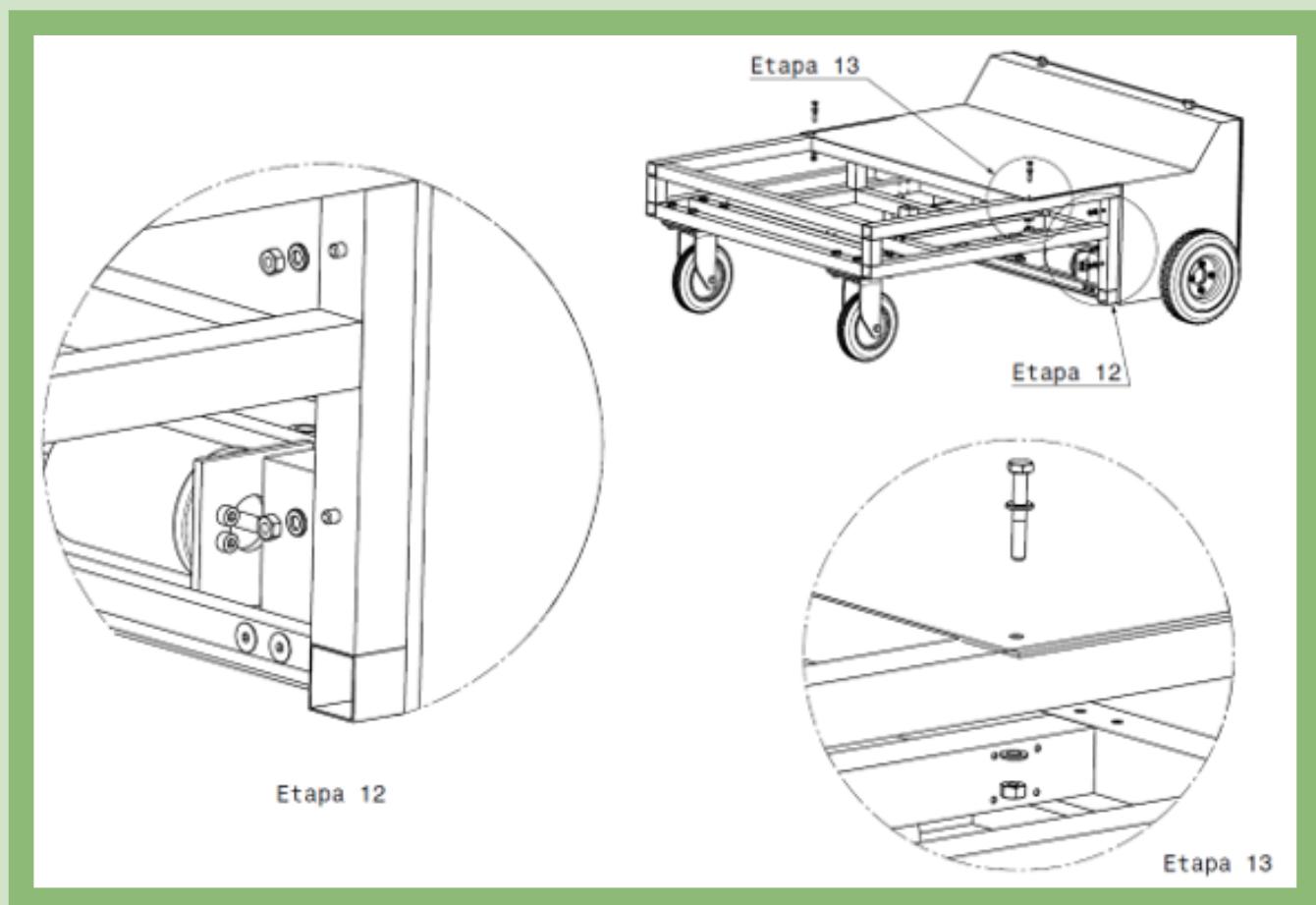
- Utilizar parafusos Parafuso Allen ISO 4762 M5 x 20 para fixar os motores elétricos de tração conforme a imagem;
- Utilizar parafusos Allen ISO 4762 M5 x 16 e porcas ISO 4032 M5 para fixar os suportes com os motores elétricos de tração à Caixa Traseira;
- Utilizar parafusos Parafuso Allen ISO 4762 M5 x 20 para fixar os motores elétricos de tração conforme a imagem;

- Utilizar parafusos Allen ISO 4762 M5 x 16 e porcas ISO 4032 M5 para fixar os suportes com os motores elétricos de tração à Caixa Traseira;
- Posicionar a Caixa Traseira alinhando os motores elétricos de tração aos respectivos eixos de entrada da Caixa de Redução;
- Utilizar o acoplamento de eixo para acoplar o eixo do motor elétrico ao eixo de entrada da Caixa de Redução;
- Alinhar o Cubo de Roda com a caixa de mancal do eixo traseiro;
- Utilizar o acoplamento de eixo para acoplar o eixo de saída da Caixa de Redução ao cubo de roda.

ETAPA 11 - FIXAÇÃO DAS RODAS DE TRAÇÃO AO CUBO DE RODA

- Utilizar parafusos do tipo prisioneiro M8, porcas ISO 10501 M8 e porcas ISO 4032 M8 para fixar as rodas de tração aos cubos de roda conforme a imagem referente à Etapa 11.

ETAPA 12 - FIXAÇÃO DA CAIXA TRASEIRA AO CHASSI (PARTE LATERAL)

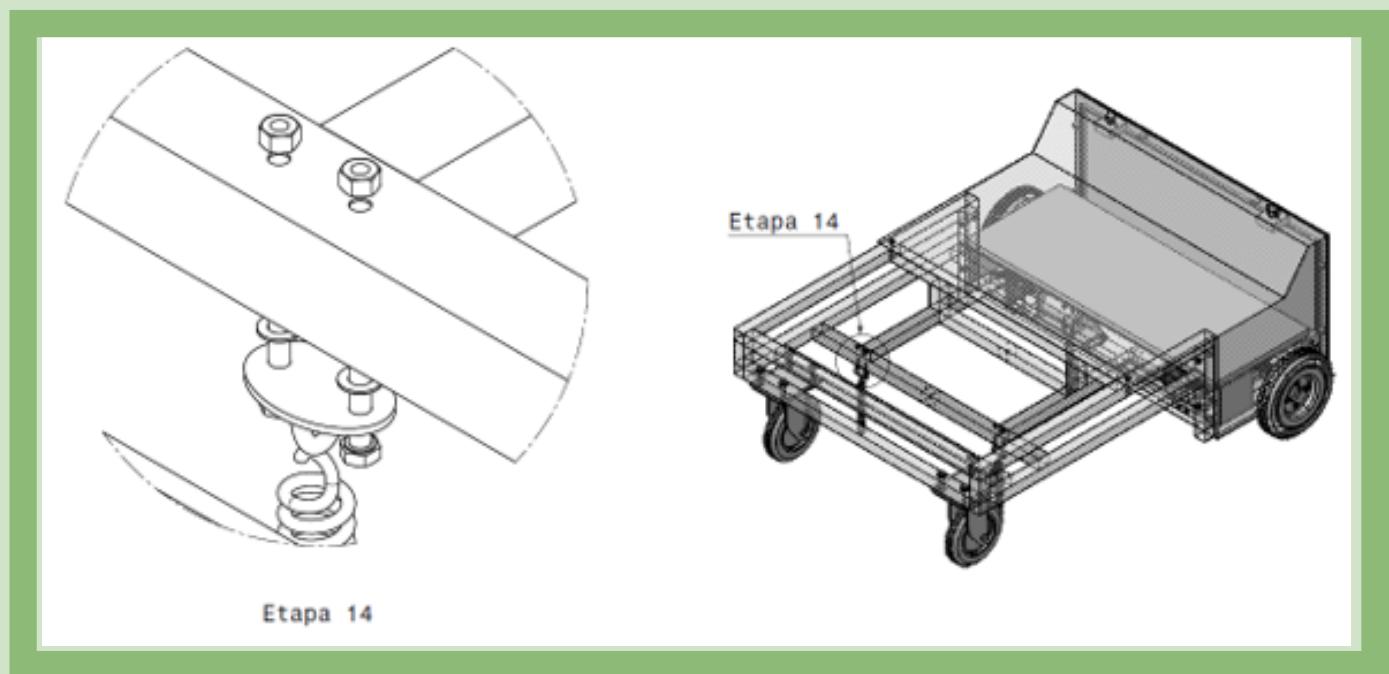


- Utilizar parafusos sextavados ISO 4014 M6 x 40, porcas ISO 4032 M6 e arruelas ISO 7089 6x12 para fixar a caixa traseira aos pilares (barras verticais do chassi) conforme ilustrado na imagem. O procedimento deve ser realizado em ambos os lados do chassi.

ETAPA 13 - FIXAÇÃO DA CAIXA TRASEIRA AO CHASSI (PARTE SUPERIOR)

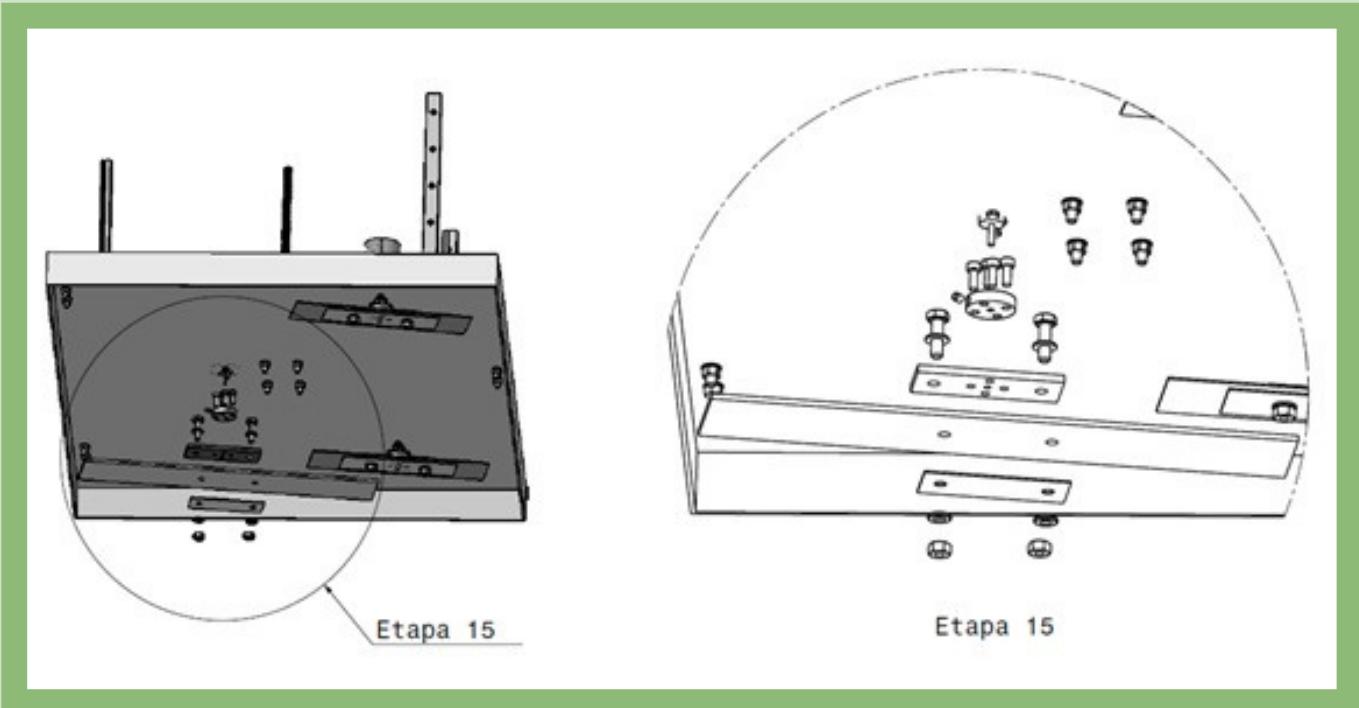
- Utilizar parafusos sextavados ISO 4014 M6 x 40, porcas ISO 4032 M6 e arruelas ISO 7089 6x12 para fixar a caixa traseira às vigas (barras horizontais do chassi), conforme ilustrado na imagem.

ETAPA 14 - FIXAÇÃO DAS MOLAS DE TRAÇÃO AO CHASSI



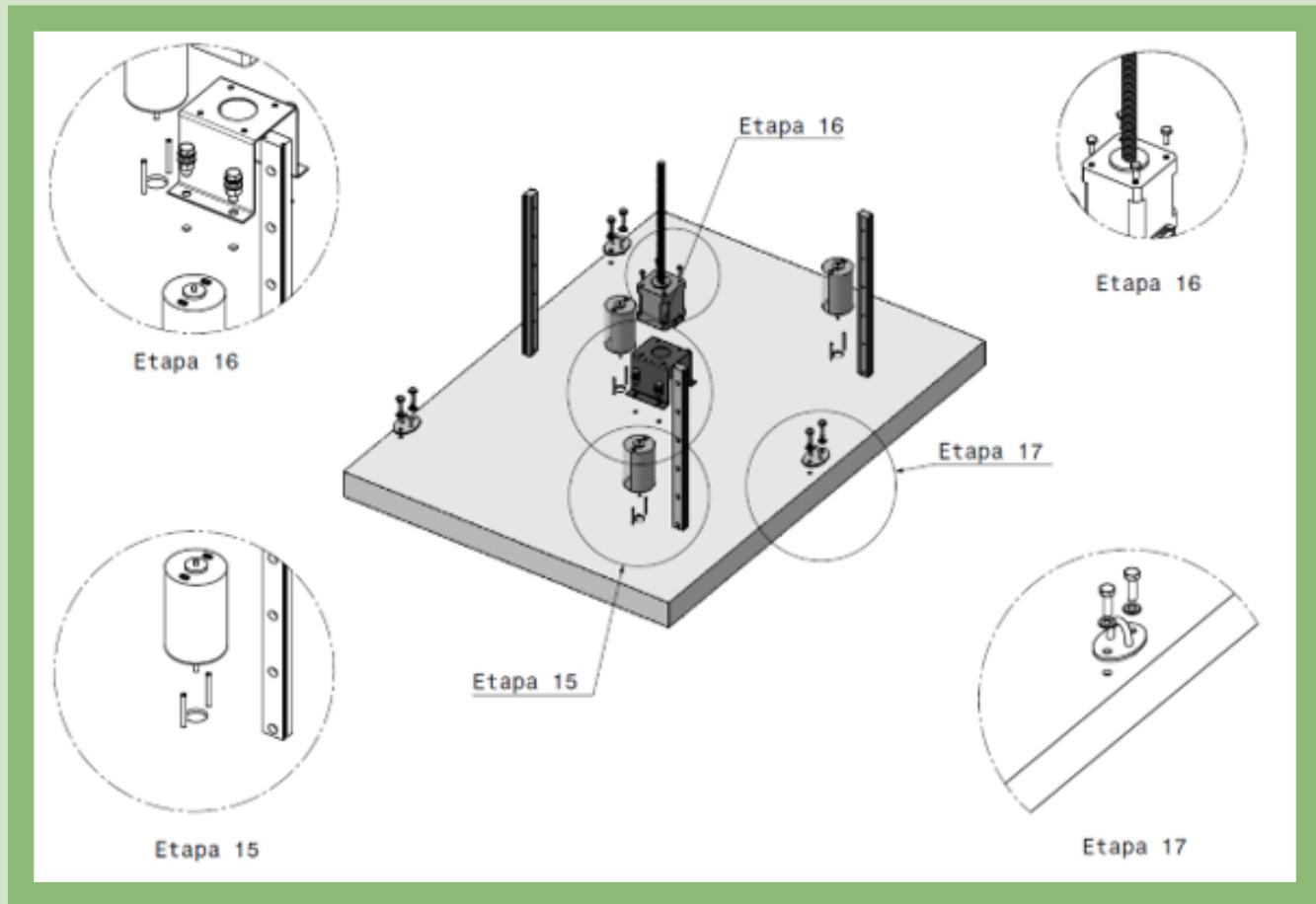
- Aparafusar os ganchos das molas no chassi com os parafusos sextavados M5x40 e porcas M5;
- Prender as extremidades das molas nos ganchos do chassi.

ETAPA 15 - MONTAGEM DAS LÂMINAS E MOTORES DAS LÂMINAS NO DECK



- Aparafusar o motor de cada lâmina no deck com os parafusos Philips M3x6;
- Aparafusar o acoplamento no adaptador com os parafusos Allen M4x10 do acoplamento;
- Posicionar o eixo do motor no acoplamento e apertar o parafuso Allen M4 lateral no acoplamento;
- Alinhar os furos laterais do adaptador com os da lâmina;
- Posicionar os furos laterais do flange com os da lâmina;
- Utilizar os parafusos passantes do tipo Allen, de acordo com a direção mostrada, nos furos laterais alinhados do adaptador, lâmina e flange e apertar a porca com uma chave sextavada. Para a lâmina frontal de 30 cm, o parafuso é de tamanho M6x20 e para a lâmina de 18 cm, o tamanho é M6x16.

ETAPA 16 - ENCAIXE DO MOTOR DE PASSO NO DECK

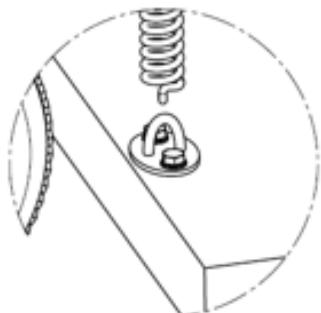


- Encaixar o suporte do motor de passo no motor de passo e parafusar o componente de fixação do motor de passo no deck com os parafusos Allen M5x8 e porcas M5;
- Aparafusar o suporte no motor de passo com os parafusos Philips M3x0,5.

ETAPA 17 - FIXAÇÃO DOS GANCHOS DAS MOLAS NO DECK

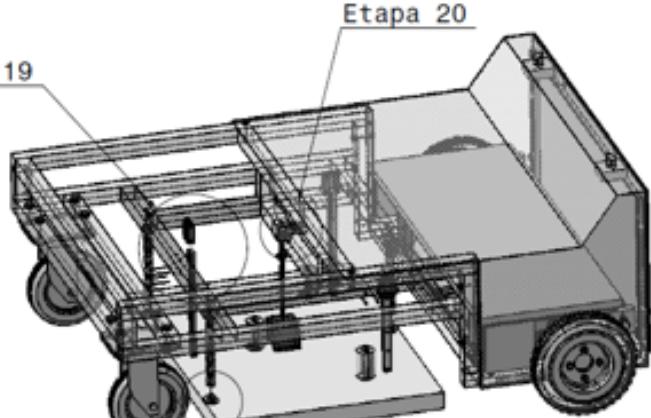
- Aparafusar os ganchos das molas no deck com os parafusos sextavados M5x8 e porcas M5.

ETAPA 18 - ENCAIXE DO DECK NAS MOLAS DE TRAÇÃO



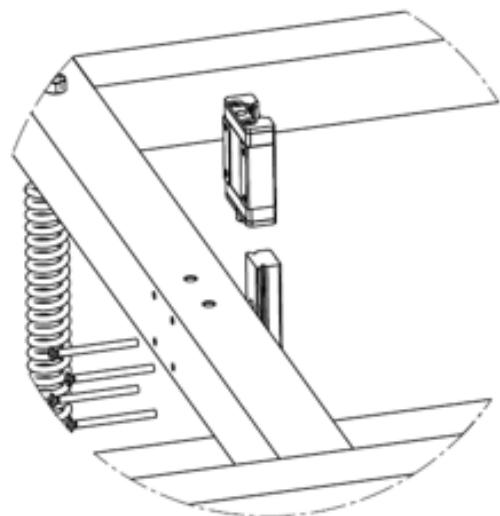
Etapa 18

Etapa 19

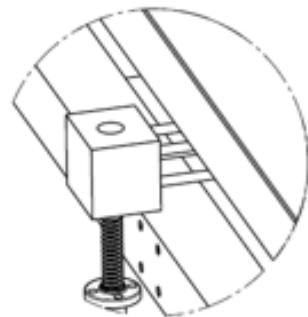


Etapa 20

Etapa 18



Etapa 19



Etapa 20

- Encaixar nas 3 molas de tração o conjunto do Deck com os componentes previamente montados.

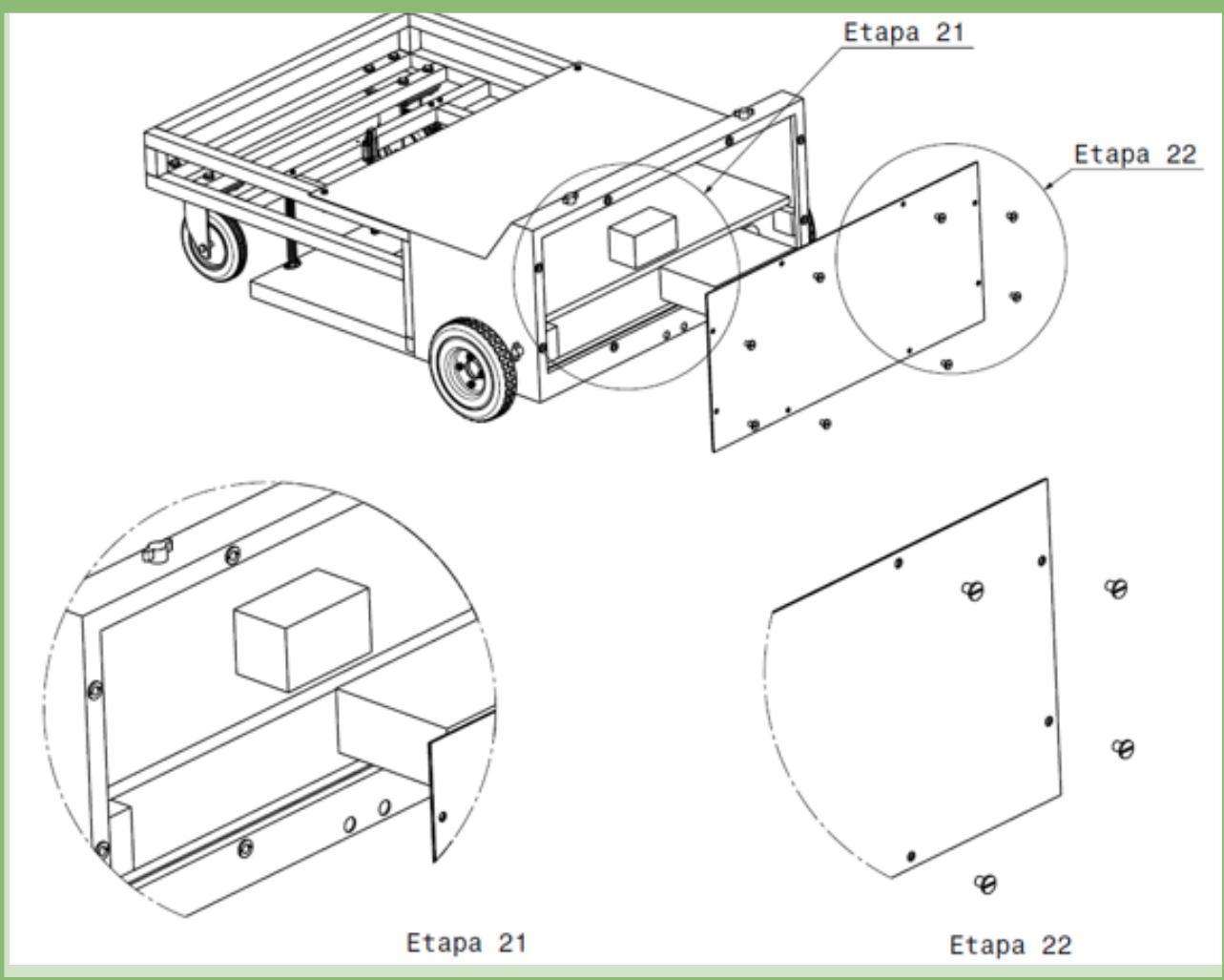
ETAPA 19 - FIXAÇÃO DOS PATINS NO CHASSI

- Passar os patins pelos trilhos;
- Aparafusar os patins no chassi com os parafusos Philips M3x35, deixando a borracha entre o patim e o chassi.

ETAPA 20 - FIXAÇÃO DO SUPORTE DA CASTANHA DO FUSO NO CHASSI

- Encaixar a castanha no fuso;
- Aparafusar o suporte da castanha na castanha com os parafusos Philips M3x10;
- Aparafusar o suporte da castanha no chassi com os parafusos Philips M4x35 com a borracha entre o suporte e o chassi.

ETAPA 21 - POSICIONAMENTO DAS BATERIAS NA CAIXA TRASEIRA

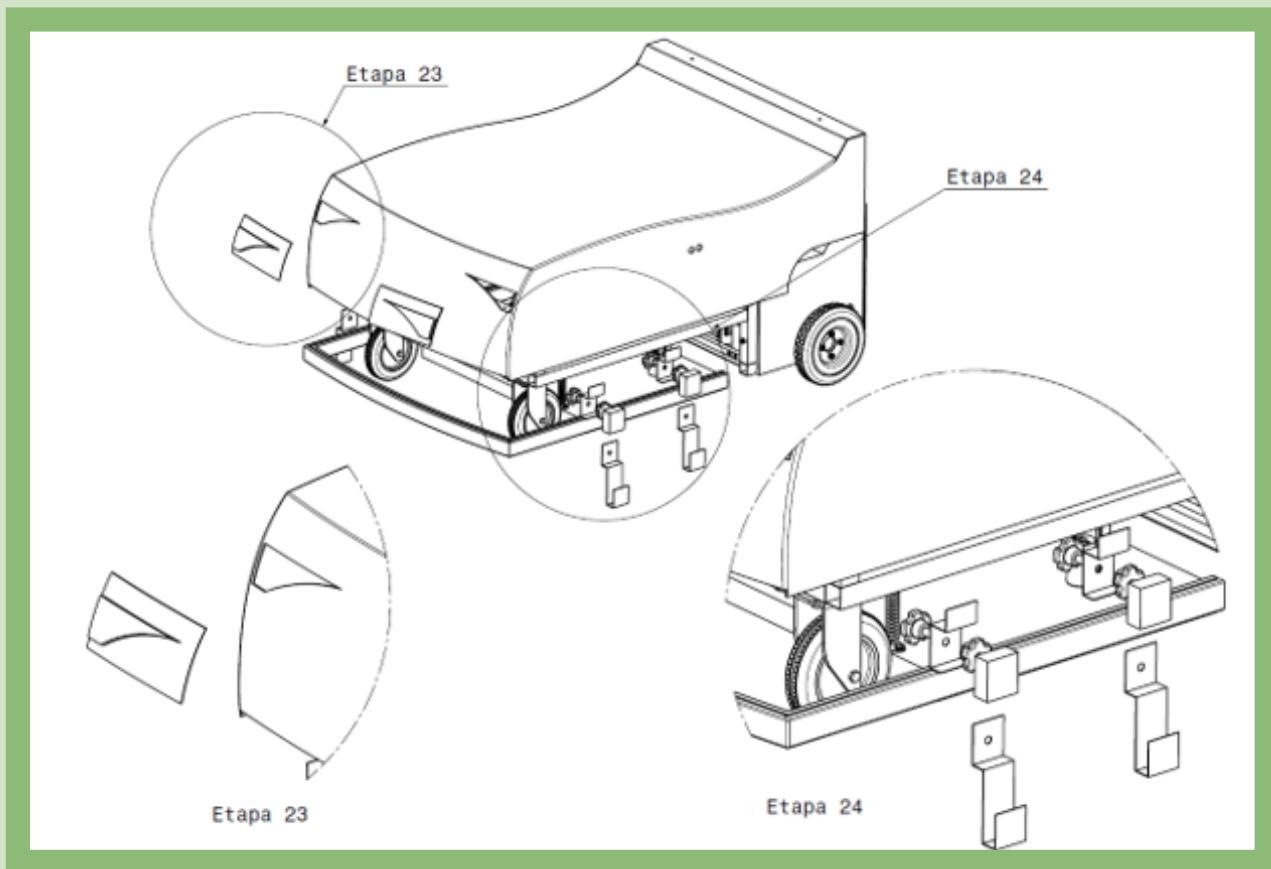


- Posicionar a bateria 12 V e 15 Ah conforme ilustrado na imagem;
- Posicionar a bateria 24 V e 30 Ah conforme ilustrado na imagem.

ETAPA 22 - FIXAÇÃO DA TAMPA NA CAIXA TRASEIRA

- Parafusar na Caixa Traseira a tampa previamente montada na Etapa 9.

ETAPA 23 - COLAGEM DO FAROL NA CARROCERIA



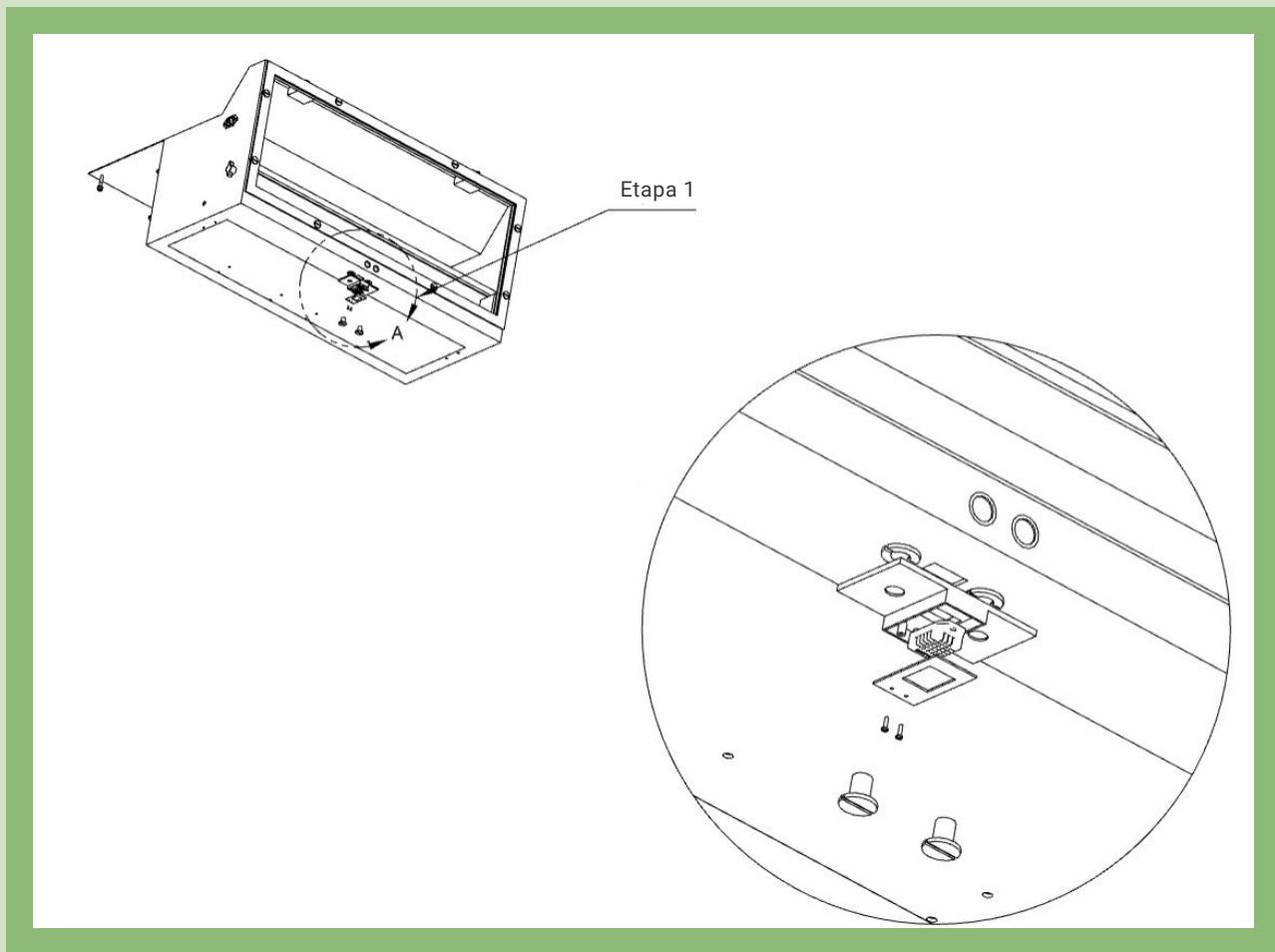
- Colar os faróis na parte interna da carroceria, encaixando a parte sobressalente de cada farol no encaixe aberto na parte frontal da carroceria, de modo que as partes sobressalentes saltem para fora da carroceria.

ETAPA 24 - FIXAÇÃO DA CARROCERIA AO CHASSI

- Colar os suportes de fixação na face inferior da base da carroceria, conforme indicado no desenho acima, considerando as distâncias estabelecidas no desenho técnico;
- Colar as arestas e laterais da carroceria nas linhas de encaixe abertas no centro da base da carroceria, tomando cuidado para que todos os lados fiquem encaixados da mesma forma;
- Fixar a base da carroceria aos suportes da carroceria (soldados no chassi) por meio da porca borboleta.

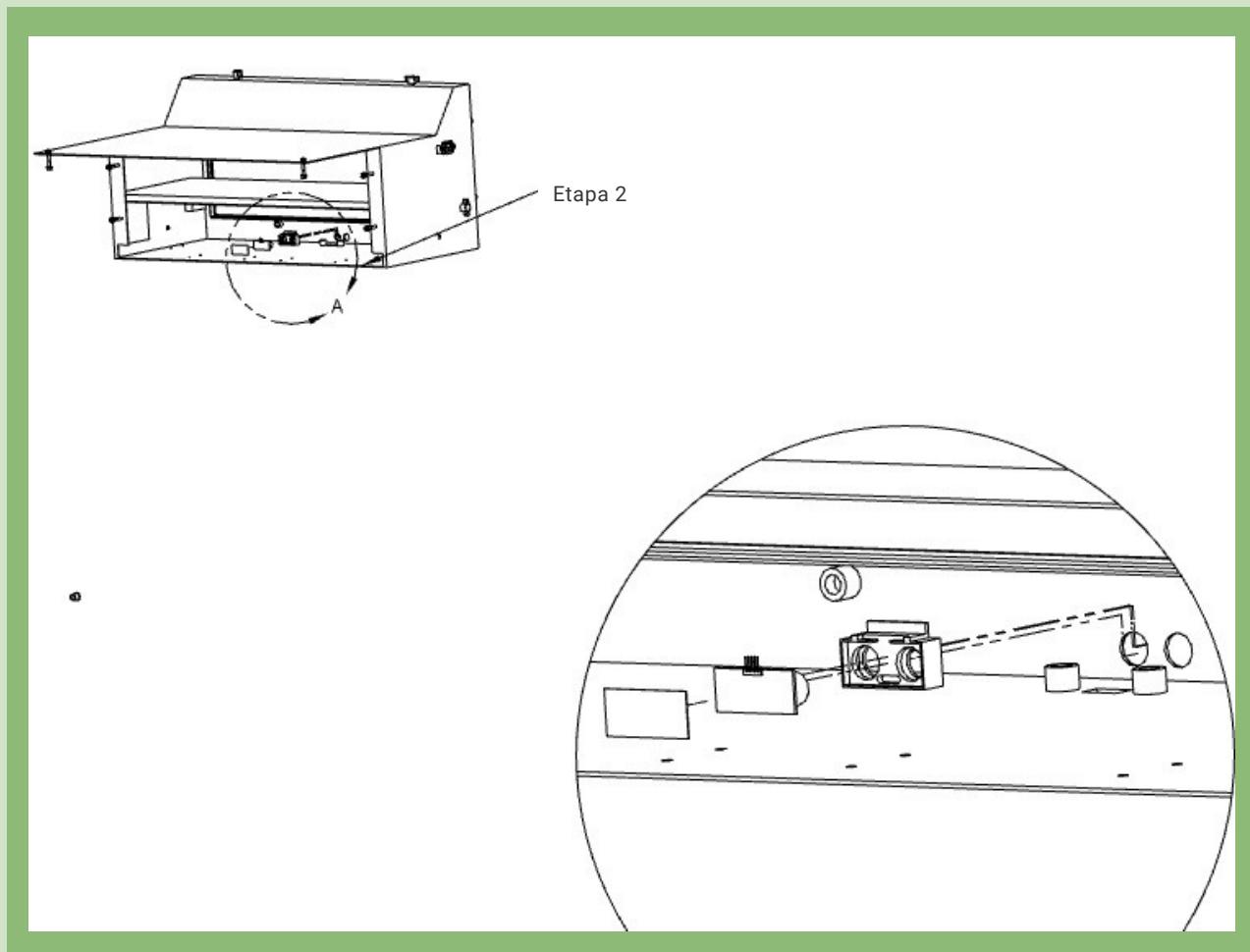
8. MONTAGEM DOS COMPONENTES ELETRÔNICOS

ETAPA 1 - MONTAGEM DO SENSOR DE UMIDADE



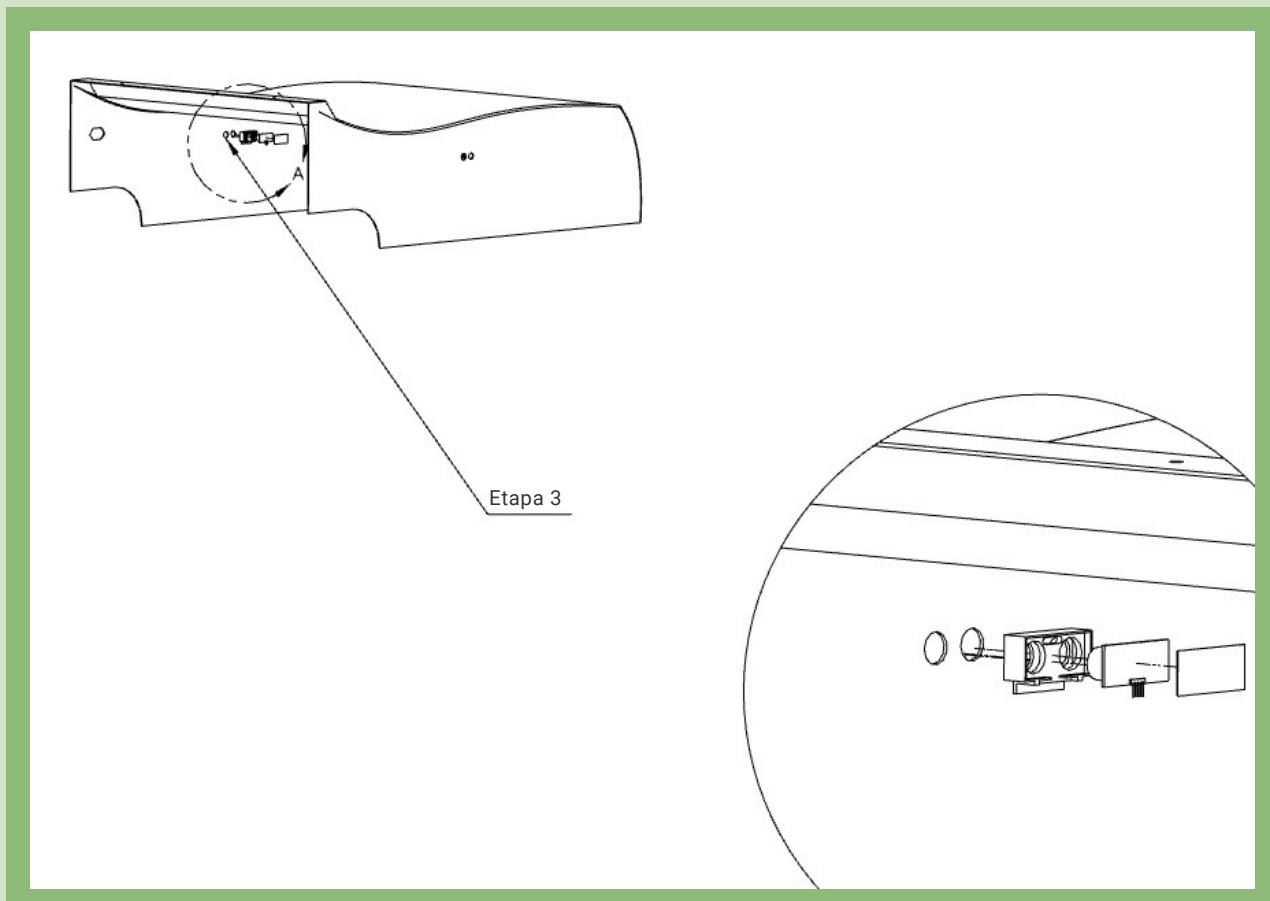
- Encaixar o sensor de umidade dentro da sua case de proteção;
- Fechar a tampa da case e fixar os parafusos internos da case;
- Fixar os parafusos da caixa na case do sensor e parafusar na caixa da carroceria.

ETAPA 2 - MONTAGEM DO SENSOR DE DISTÂNCIA - PARTE TRASEIRA DA CAIXA DA CARROCERIA

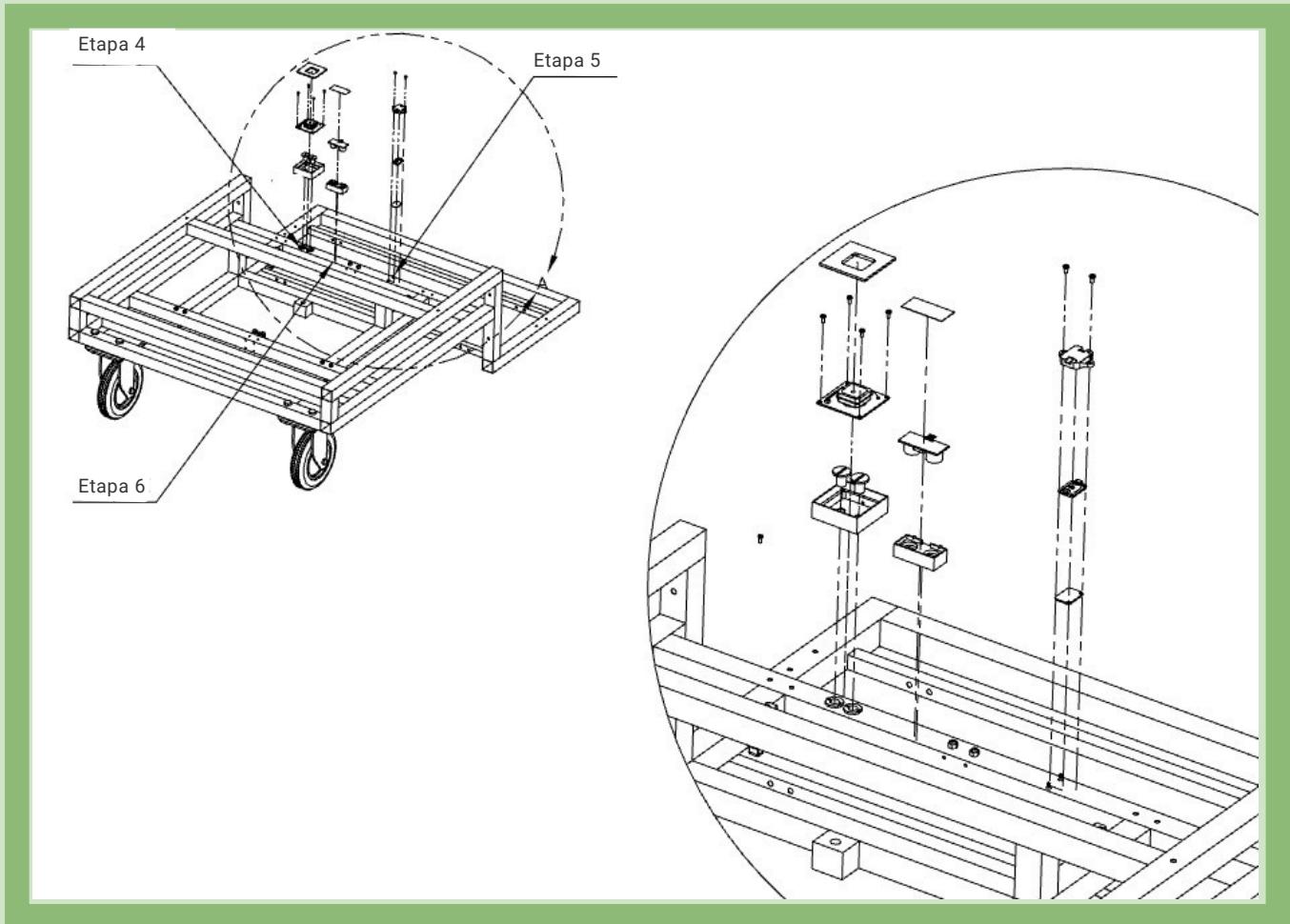


- Encaixar o sensor de distância em sua case, fechar a tampa da case.
- Rotacionar a case do sensor, deixando-a na orientação indicada na figura acima.
- Utilizar uma cola e aplicar-la na face da case do sensor em que terá contato com a caixa.
- Encaixar o sensor nos respectivos furos da caixa da carroceria.

ETAPA 3 - MONTAGEM DOS SENSORES DE DISTÂNCIA - LATERAIS DA CARROCERIA



- Encaixar o sensor de distância em sua case, fechar a tampa da case.
- Rotacionar a case do sensor, deixando-a na orientação indicada na figura acima.
- Utilizar uma cola e aplicar-la na face da case do sensor em que terá contato com a caixa.
- Encaixar o sensor nos respectivos furos da caixa da carroceria.
- Uma vez encaixada a case do sensor na lateral esquerda da carroceria, repita o mesmo processo para a lateral direita da carroceria.



ETAPA 4 - MONTAGEM DO GPS NO CHASSI

- Encaixar a caixa da case do GPS no chassi, na posição de encaixe dos furos do chassi.
- Parafusar a caixa da case no chassi.
- Encaixar o GPS na caixa da case.
- Parafusar o GPS na caixa da case.
- Finalmente, encaixar a tampa na case do GPS.

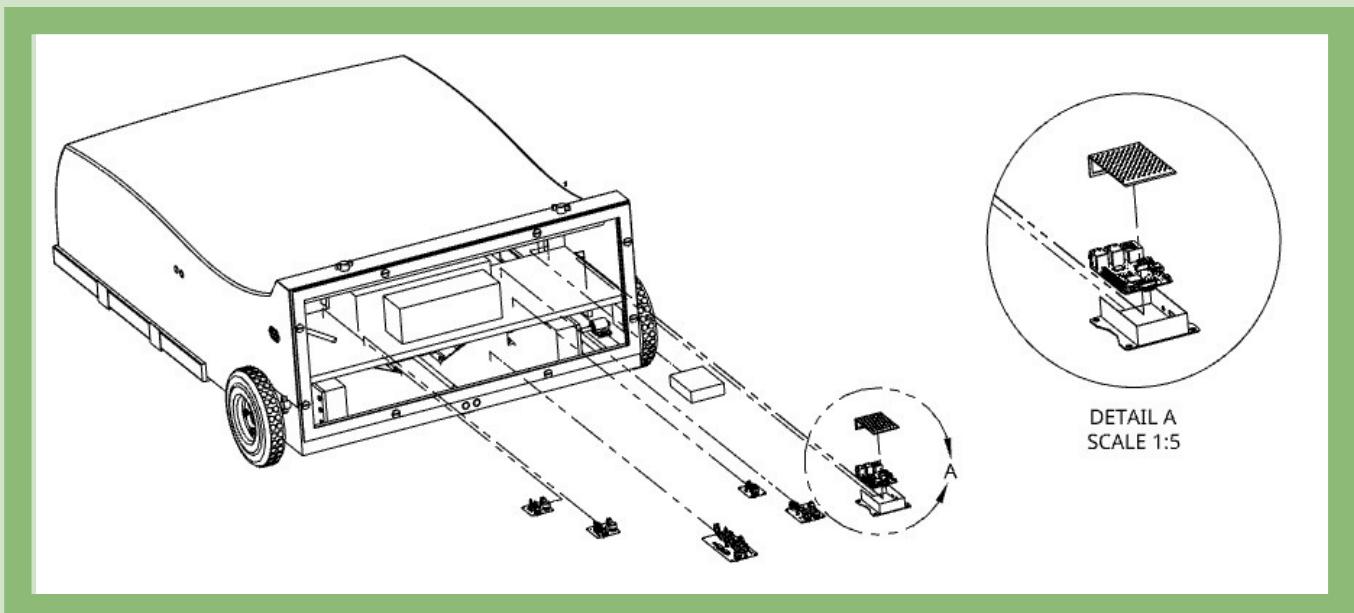
ETAPA 5 - MONTAGEM DO SENSOR DE DISTÂNCIA NO CHASSI

- Encaixar o sensor de distância na case;
- Encaixar a tampa na case;
- Utilizar uma cola e aplica-la na face da case que irá encaixar no chassi.

ETAPA 6 - MONTAGEM DO ACCELERÔMETRO NO CHASSI

- Encaixar o acelerômetro na case;
- Parafusar o acelerômetro na case;
- Parafusar a case no chassi.

ETAPA 7 - MONTAGEM DO CARREGADORES/FONTES/DRIVERS/LEITURA/RASPBERRY NA CAIXA TRASEIRA



- Na parte superior da caixa da traseira, deve-se:
 - Encaixar a Raspberry na sua case e fechá-la com a tampa.
 - Posicionar a Raspberry na parte indicada, seguindo o caminho das linhas pontilhadas da figura acima.
 - Posicionar também, seguindo as linhas indicadas:
 - Carregadores 12V e 24V, respectivamente ao lado das baterias 12V e 24V (já posicionadas previamente).
 - Fonte 5V, entre as baterias e a Raspberry.
 - Leitura nível
- Na parte inferior, deve-se somente posicionar, como indicado, o driver de locomoção entre os motores do sistema de tração e tampa da caixa da carroceria.

9. ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

ESPECIFICAÇÕES FÍSICAS

Dimensões do cortador	1,212 m x 0,904 m x 0,452 m
Peso do cortador	53,3 kg
Ruído	48 dB
Resistência Química	Álcool Isopropílico, alvejantes, sabão neutro e produtos a base de cloro

ESPECIFICAÇÕES DA FONTE DE ALIMENTAÇÃO

Frequência da linha AC	60 Hz
Tensão de entrada	220 V
Tensão de saída	38 V
Corrente de saída	10 A
Potência de saída	380 W

ESPECIFICAÇÕES DOS MOTORES PARA LOCOMOÇÃO

Velocidade máxima	1 m/s
Potência	80 W
Tensão	24 V
Torque máximo	10 kgf.cm

ESPECIFICAÇÕES DOS MOTORES DE CORTE

Velocidade máxima	8000 r/min
Potência na condição de maior eficiência	16,16 W
Tensão de alimentação	12 V
Corrente na condição de maior eficiência	1,79 A
Torque máximo	181,3 mN.m



SMART GRASS

X.3 Manual do Usuário



SMART GRASS



MANUAL DO USUÁRIO

SUMÁRIO

- 1 Descrição do Produto**
 - 2 Vista Geral do Produto**
 - 3 Símbolos no Produto**
 - 4 Símbolos na Bateria**
 - 5 Símbolos do Aplicativo**
 - 6 Instruções Gerais Sobre o Manual do Usuário**
 - 7 Especificações do Produto**
 - 7.1 Subsistema de Tração
 - 7.2 Subsistema de Corte
 - 7.3 Subsistema de Ajuste da Altura de Corte
 - 7.4 Subsistema de Energia
 - 7.5 Subsistema de Sensoriamento
 - 8 Aplicativo**
 - 8.1 Página de carregamento do aplicativo
 - 8.2 Login
 - 8.3 Menu Principal
 - 8.4 Cortador
 - 8.5 Dispositivos Conectados
 - 8.6 Notificações
 - 8.7 Mapeamento
 - 8.8 Configurações
 - 9 Indicações de Uso e Funcionalidades**
 - 9.1 Situações de Uso
 - 9.2 Funcionamento do Cortador
 - 9.3 Operação de Corte de Grama
 - 9.4 Inicialização e Desligamento
-

SUMÁRIO

10 Instalação do Equipamento

- 10.1 Condições de Instalação
- 10.2 Instalação Elétrica
- 10.3 Carregamento
- 10.4 Instalação do Aplicativo
- 10.5 Liberando o Aparelho pelo Aplicativo

11 Segurança

- 11.1 Informações de Segurança
- 11.2 Precauções
- 11.3 Restrições e Advertências

12 Manutenção

- 12.1 Manutenção Preventiva
- 12.2 Limpeza
- 12.3 Troca das Lâminas de Corte
- 12.4 Baterias

13 Resolução de Problemas

- 13.1 Informações Gerais
- 13.2 Mensagens de Erro de Mobilidade/Obstáculo
- 13.3 Mensagens de Manutenção das Lâminas de Corte
- 13.4 Mensagens de Troca das Lâminas de Corte
- 13.5 Mensagens de Informações

14 Especificações Técnicas

- 14.1 Dimensões Físicas
 - 14.2 Especificações da Fonte de Alimentação
 - 14.3 Especificações das Baterias
 - 14.4 Especificações do Sistema de Corte
 - 14.5 Especificações das Rodas e do Sistema de Tração
-

1. DESCRIÇÃO DO PRODUTO

O Smart Grass é um produto automatizado corta-grama. Seu objetivo é cortar grama de grandes áreas de forma automática.

O produto possui sistema de armazenamento de energia e pode movimentar-se durante operação sem a necessidade de permanecer conectado à tomada.

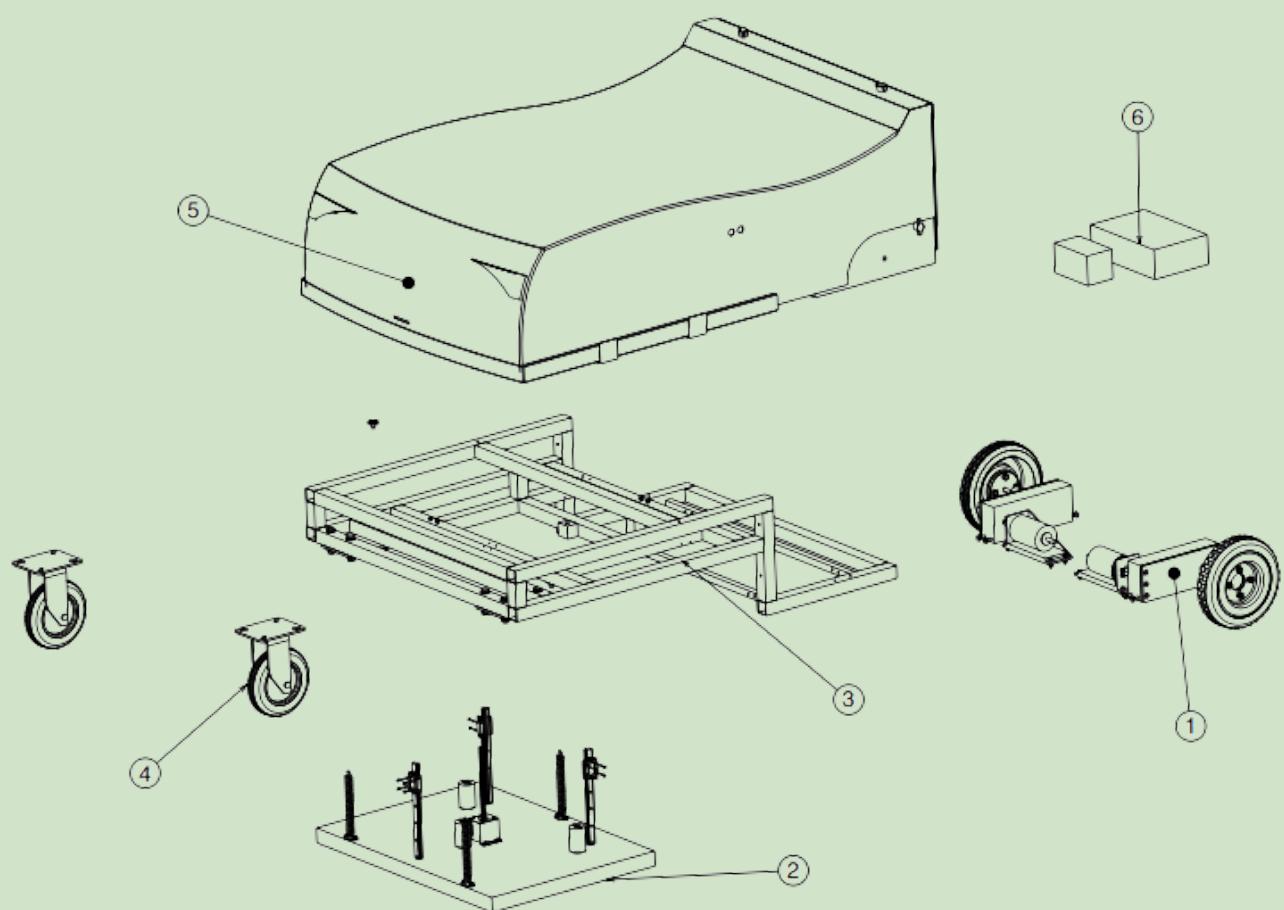
O produto corta a grama de forma aleatória, evitando criação de caminhos sobre o gramado. Uma vez que o produto já tenha operado no corte de grama de determinada área, na segunda vez em que ele for introduzido na mesma área gramada, ele é capaz de otimizar sua rota de corte, gastando menos tempo para aparar a grama no mesmo local.

Quando o produto se depara com um obstáculo ou com solo de área não gramada, ele retorna e escolhe uma nova direção.

O produto opera segundo funções selecionadas pelo operador no Aplicativo instalado em seu celular.

O produto possui sistema de segurança que exige sua liberação via Aplicativo, com a introdução de dados do usuário e leitura de código de QR-Code, evitando que ele possa ser utilizado por terceiros sem a permissão do seu proprietário.

2. VISTA GERAL DO PRODUTO



3. SÍMBOLOS NO PRODUTO



Símbolo colocado no sistema de corte de grama - representa risco de acidente com as lâminas de corte



Liga/Desliga o cortador

4. SÍMBOLOS NA BATERIA



Representação geral de baterias, onde o sinal (+) sinaliza o polo positivo onde se inicia o fluxo de elétrons, e o sinal (-) sinaliza o polo negativo, dando finalização ao fluxo de elétrons.



Bateria equipada com sistema BMS (Battery Management System), sistema de proteção e regulação das células da bateria.



Cuidado, risco de choque elétrico

5. SÍMBOLOS NO APLICATIVO

Esta é a tela de carregamento que mostra o nome e a logo da aplicação.



Liga/Desliga o cortador



Pausa o cortador



Ícone de notificação



Ícone de Mapeamento



Ícone de configuração



Ícone do perfil do usuário



Notificação visualizada



Notificação não visualizada



Carga da bateria do cortador

6. INSTRUÇÕES GERAIS SOBRE O MANUAL DO USUÁRIO

Para facilitar a leitura, esse manual foi desenvolvido utilizando o seguinte sistema:

1. Os símbolos presentes no produto são descritos antes da descrição dos subsistemas e suas funcionalidades.
2. O conteúdo mais aprofundado sobre o funcionamento dos subsistemas do produto foi colocado em capítulo anterior e separado do conteúdo com regras de utilização do produto, deixando em capítulo separado as indicações sobre como o usuário deve operar o produto, facilitando, assim, a leitura desse conteúdo e dando maior rapidez à sua leitura.
3. Os nomes em negrito indicam ícones, botões ou elementos que devem ser utilizados para operacionalizar o produto.

7. ESPECIFICAÇÕES DO PRODUTO

7.1 SUBSISTEMA DE TRAÇÃO

O subsistema de tração é responsável por transmitir a potência dos motores elétricos para as rodas.

- Motores de Tração
- Caixa de Redução
- Carroceria
- Rodas Frontais e Traseiras
- Quadro Superior

7.2 SUBSISTEMA DE CORTE

O subsistema de corte é responsável pelo corte adequado da grama por meio da rotação de três lâminas de forma que cada lâmina possui um motor. A lâmina frontal possui 30 cm de diâmetro e as lâminas laterais são de 18 cm.

- Motor
- Acoplamento
- Adaptador
- Lâmina
- Flange

7.3 SUBSISTEMA DE AJUSTE DA ALTURA DE CORTE

O subsistema de regulagem de altura de corte é responsável pelo controle de altura do corte de forma motorizada, com um intervalo de altura entre 2 e 8 cm.

- Deck
- Motor de fuso
- Castanha do fuso
- Suporte da castanha
- Suporte do motor de fuso
- Guias lineares
- Molas de tração
- Ganchos das molas

7.4 SUBSISTEMA DE ENERGIA

O subsistema de energia é responsável por fornecer a potência necessária ao funcionamento dos demais subsistemas.

- Fonte de alimentação
- Bateria 12 V 15 Ah
- Bateria 24 V 30 Ah

7.5 SUBSISTEMA DE SENSORIAMENTO

O subsistema de sensoriamento atua tanto no autodiagnóstico das condições de funcionamento do cortador, quanto na avaliação das condições externas ao sistema, possibilitando, por exemplo, o desvio de obstáculos e a detecção de temperatura e umidade. Esse subsistema é formado pelos seguintes sensores e equipamentos:

- Roteador celular;
- Sensor Ultra-sônico Hc-sr04;
- Módulo GPS NEO-6M Com Antena;
- Sensor de Umidade e Temperatura - DHT11;
- Sensor de detecção de cor padrão RGB;
- Sensor de distância por infravermelho VL53L0XV2;
- Unidade de medida inercial (IMU) GY-80 10 DOF;
- Amperímetro integrado;
- Circuito de detecção do nível de tensão da bateria.

8. APLICATIVO

8.1 PÁGINA DE CARREGAMENTO DO APP



Esta é a tela de carregamento que mostra o nome e a logo da aplicação.

8.2 LOGIN

Esta tela de Login solicita o usuário e senha que são necessários para o acesso do aplicativo. Caso já possua um usuário e senha cadastrado, basta preencher os campos **usuário** e **senha** e clicar em **Entrar**.

O campo de usuário deve ser de um usuário cadastrado, pois é para o usuário com um email cadastrado na base que será enviada a senha, caso o usuário esqueça qual senha cadastrou no aplicativo e deseje revê-la.

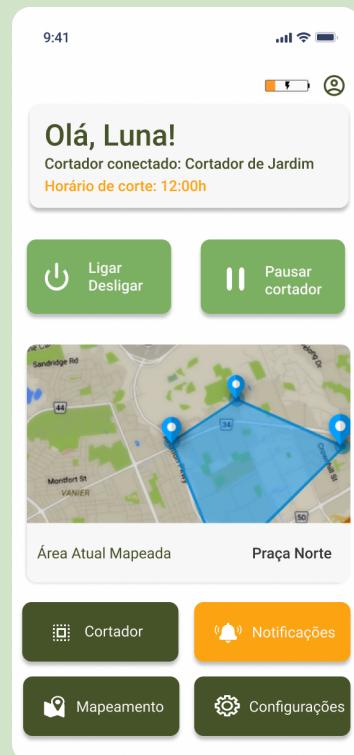
Após clicar no botão **Entrar**, aguarde a autenticação do usuário e então será exibido o menu principal.

Caso deseje cadastrar um novo usuário, clique no link **Cadastrar usuário**. Caso o tenha esquecido a senha, basta clicar em **Esqueceu a senha?** e então será redirecionado para a tela de reenvio de senha.



8.3 MENU PRINCIPAL

Esta é a tela de menu principal do aplicativo. Ela possui os atalhos das ferramentas disponíveis no aplicativo para utilizar o cortador Smart Grass. Abaixo uma descrição breve de cada item deste menu:



ÍTEM	DESCRÇÃO
Bateria	Nível de bateria do cortador.
Usuário	Ícone para a sessão do usuário.
Cartão de Dados	Contém o nome do usuário, o apelido do cortador conectado com o aplicativo e o horário definido para início do corte.
Ligar/Desligar	Botão de ligar e desligar o cortador.
Pausar Cortador	Botão para pausar o cortador.
Área atual mapeada	Sessão que identifica a área de corte mapeada pelo cortador.
Cortador	Menu para conexão do cortador ou identificação do cortador conectado.
Notificações	Notificações e avisos do aplicativo e do cortador.
Mapeamento	Menu para cadastro da área de corte já mapeada.
Configurações	Menu de configuração do horário e altura do corte do cortador de grama.

8.4 CORTADOR



Esta tela exibe um menu para o usuário escolher **Ler QRCode** para cadastrar um cortador.

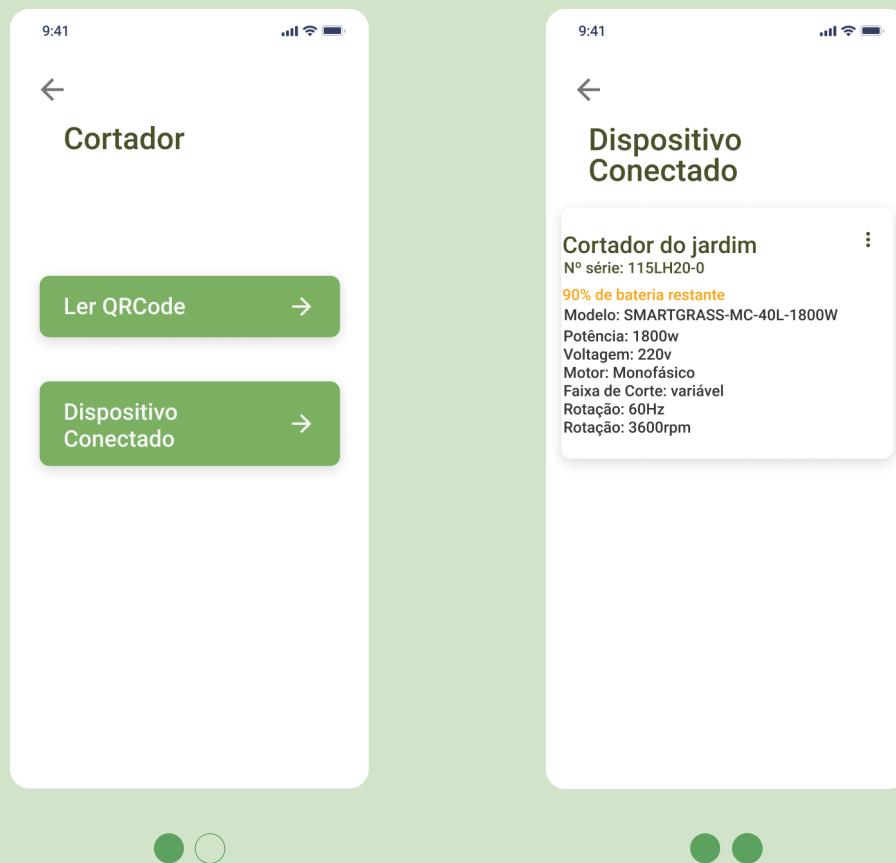


Ao **Ler QRCode** a câmera do celular do usuário é habilitada para leitura do QRCode do cortador. Posicione a câmera do celular na frente do QRCode para que a leitura seja feita.



Após a leitura do QRCode será necessário cadastrar um apelido para seu cortador. O usuário deverá entrar com o apelido no campo **Apelido do Cortador**. No campo logo abaixo existem as **Informações do seu cortador**.

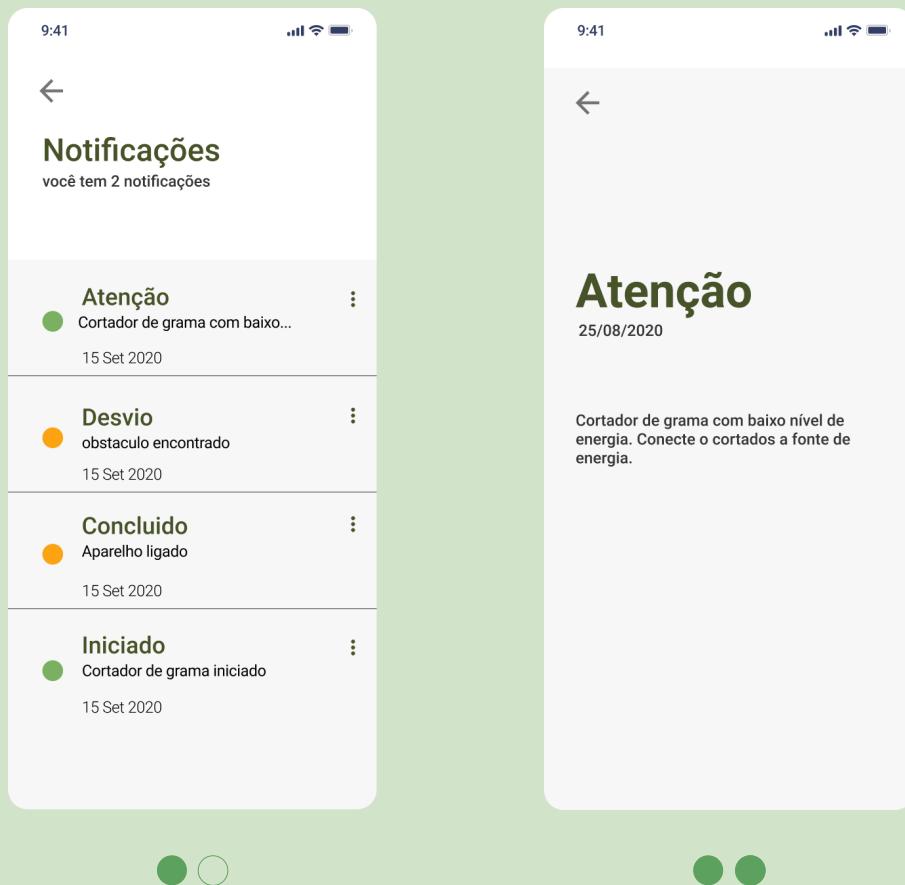
8.5 DISPOSITIVOS CONECTADOS



Esta tela exibe um menu para o usuário escolher visualizar os dados de um cortador já conectado em **Dispositivos Conectados**.

Está disponível na opção **Dispositivos Conectados** os dados do cortador conectado com o aplicativo.

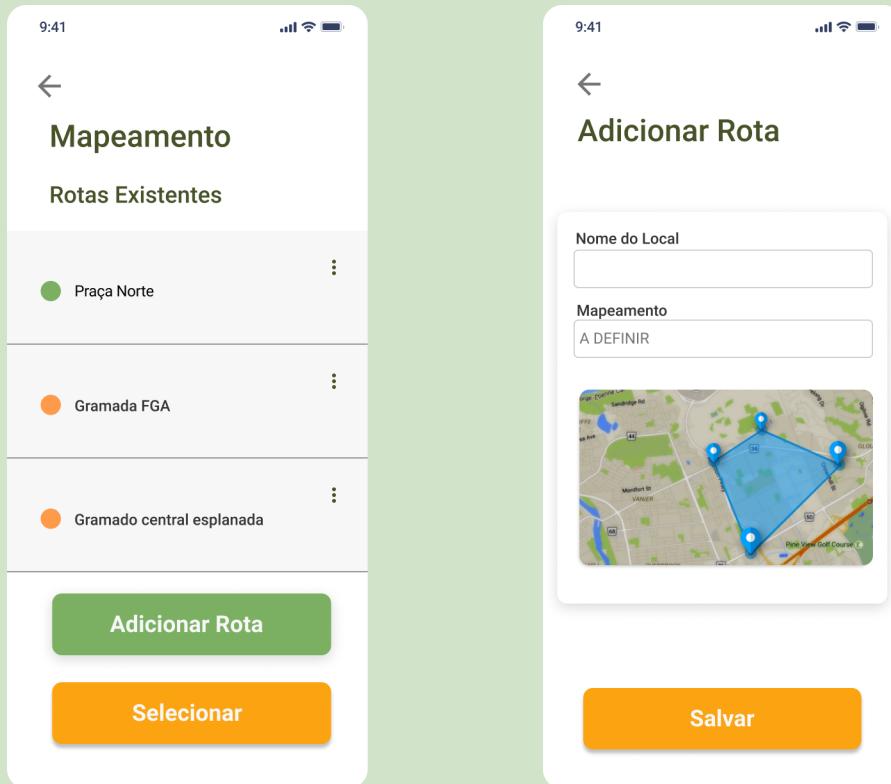
8.6 NOTificações



As **notificações** chamadas push são avisos que aparecem na tela do seu smartphone de vez em quando, e são importantes para manter você informado sobre tudo o que está acontecendo com seu cortador Smart Grass.

Notificações podem ser do tipo:
Atenção: Avisa sobre o nível da bateria do cortador;
Desvio: Aviso sobre possíveis obstáculos encontrados no percurso do cortador;
Concluído: Corte concluído na área mapeada;
Iniciado: Corte iniciado na área mapeada;

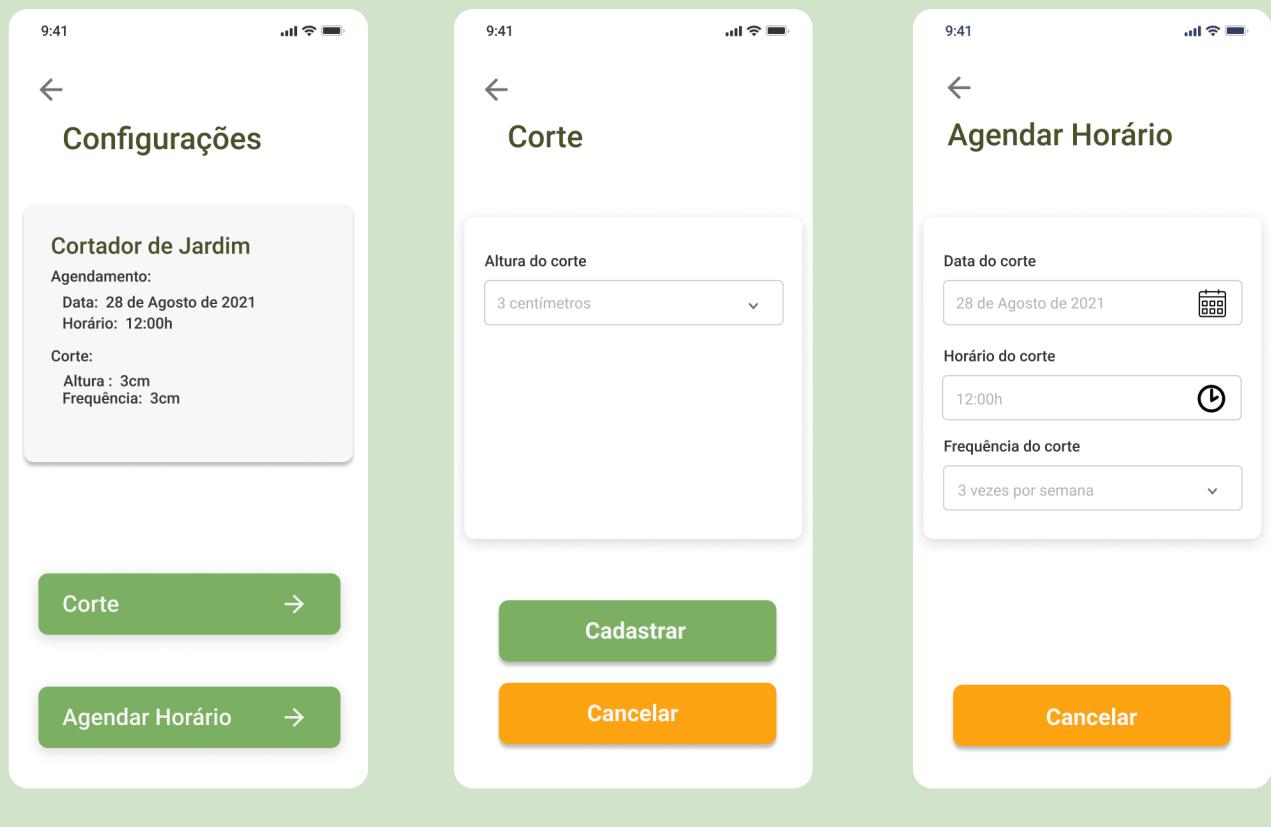
8.7 MAPEAMENTO



O menu de **Mapeamento** disponibiliza as rotas mapeadas já existentes e a opção de **Adicionar Rota**. Para selecionar uma **Rota Existente**, basta selecionar a rota.

Para adicionar uma nova rota ao seu histórico de rotas mapeadas navegue até **Adicionar Rota**. Entre com o **Nome do local** e o **Mapeamento**, ou seja, a área definida de corte. Para adicionar a rota aperte no botão **Salvar**.

8.8 CONFIGURAÇÕES



Na área de **Configurações** é possível visualizar as definições de **Corte** e Agendamento de horário de corte do seu cortador de grama **Smart Grass**.

Para adicionar uma nova altura de corte das lâminas do cortador, selecione a opção **Corte** e escolha entre as opções listadas. Aperte o botão **Cadastrar** para salvar a opção de corte ou em **Cancelar** para desfazer a ação.

Para **Agendar Horário** do corte, entre com os dados da **Data de corte** para selecionar a data em que o corte será realizado, **Horário de corte** para definir o melhor horário em que o corte pode ser realizado e a **Frequência de corte**. Aperte o botão **Cadastrar** para salvar a opção de corte ou em **Cancelar** para desfazer a ação.

9 INDICAÇÕES DE USO E FUNCIONALIDADES

9.1 SITUAÇÕES DE USO

O produto Smart Grass é indicado para aparar grama em gramados de instituições públicas e privadas com um mínimo de intervenção humana.

9.2 FUNCIONAMENTO DO CORTADOR

O produto é controlado por meio de um aplicativo e, conta com a utilização de um sistema de armazenamento de energia a ser utilizado durante o seu funcionamento, sistema para desvio de obstáculos e sistema de regulagem da altura de corte da grama em função das espécies inseridas no banco de dados. Atua em alguns terrenos íngremes e realiza manobras de forma automatizada além de não emitir gases tóxicos e ser capaz de cortar longas faixas de grama em um menor período de tempo.

9.3 OPERAÇÃO DE CORTE DE GRAMA

O produto conta um sistema de regulagem de corte de forma motorizada, assim sendo possível atender diversos tipos de gramados com a escolha da altura do corte é realizada pelo aplicativo, podendo escolher entre 2 e 8 cm. E um sistema de mapeamento da área e das rotas de corte de forma autônoma pelo produto.

10 INSTALAÇÃO DO EQUIPAMENTO

10.1 CONDIÇÕES DO AMBIENTE

O ambiente adequado para operação do equipamento deve possuir uma angulação de até 35° e deve estar livre de pedras, entulhos e outros obstáculos. Caso o ambiente possua pequenas plantas que não precise de corte, deve-se colocar proteção ao redor. Também é recomendado eliminar poças de água e buracos.

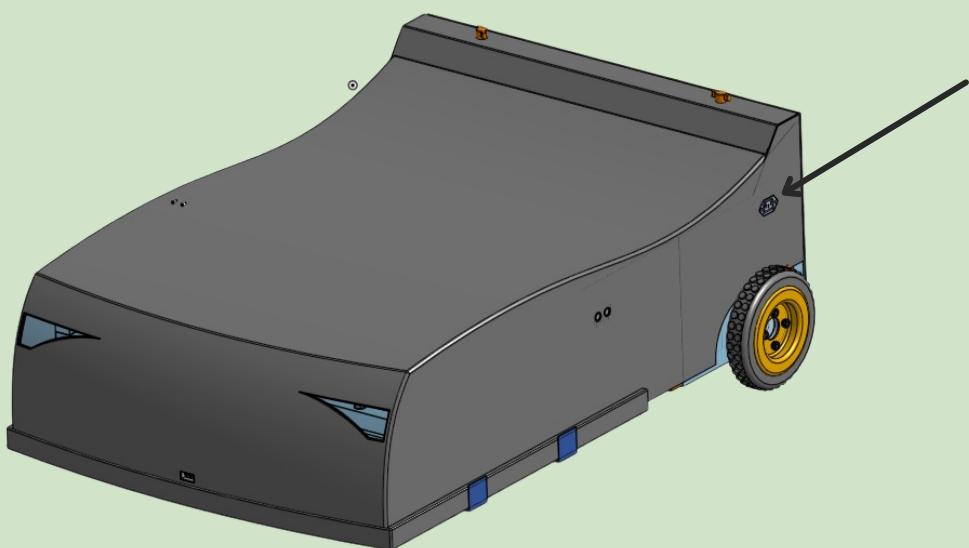
10.2 INSTALAÇÃO ELÉTRICA

Para o funcionamento do produto deve-se certificar a compatibilidade da tensão de saída da sua residência e da fonte do cortador de grama. Também deve-se certificar as condições da rede elétrica do local de carregamento do cortador, onde os fios da tomada onde irá ser conectado o carregador devem estar de acordo com a NBR5410.

Para conexão do cabo de alimentação do carregador será necessária a adequação ao padrão da norma NBR14136 que estabelece o padrão de plugues e tomadas. Caso o local de instalação possua o padrão antigo, é recomendado a substituição e adequação ao padrão da norma NBR14136.

10.3 CARREGAMENTO

Para carregar o dispositivo você deve conectar à tomada da sua residência. Logo após deve-se conectar a saída do carregador no local indicado a seguir:



Atenção: Antes do primeiro uso, certifique-se que as baterias estejam totalmente carregadas.

10.4 INSTALAÇÃO DO APLICATIVO

Para celulares com sistema operacional **Android**, deve-se instalar o aplicativo pela *Google Play Store*. Os passos a serem seguidos estão descritos abaixo.

Passo 1. No celular, abra o sistema de instalação Play Store e no barra de buscar procure pelo termo "Smart Grass".

Passo 2. Ao encontrar o aplicativo, toque sobre ele a selecione o botão "Instalar", e será iniciado o download da aplicação, após finalizado, aparecerá o botão 'Abrir' e estará disponível para uso.

Para celulares com sistema operacional **iOS**, deve-se instalar o aplicativo pela *App Store*. Os passos a serem seguidos estão descritos abaixo.

Passo 1. No celular, abra o sistema de instalação App Store e no ícone de busca no canto inferior direito e procure pelo termo "Smart Grass".

Passo 2. Ao encontrar o aplicativo, toque sobre ele a selecione o botão "Obter", e será iniciado o download da aplicação, após finalizado, aparecerá o botão 'Abrir' e estará disponível para uso.

11. SEGURANÇA

11.1 INFORMAÇÕES DE SEGURANÇA

BATERIAS

1. Não desmonte a bateria.
2. Não provoque curto-círcuito nos terminais positivo e negativo da bateria
3. Não use carregadores de chumbo-ácido, pois eles causarão danos ao hardware interno.
4. Não descarte na lixeira normal, recicle este produto apenas em instalações designadas.
5. Para armazenamento de longo prazo, carregue totalmente a bateria e descarregue até 50% da capacidade total.
6. Não deixe a bateria sem supervisão por mais de 6 meses ou na presença de crianças.
7. Não elimine a bateria com recurso a fogo e não a exponha a uma fonte de calor
8. Não submerja a bateria em água.
9. Leia as instruções do utilizador.



11.2 PRECAUÇÕES

1. As tarefas de limpeza e manutenção não devem ser efetuadas por crianças sem a devida supervisão;
2. Não deixe o cortador próximo a fontes de calor como fornos, aquecedores e etc;
3. Antes de ligar o cortador de grama verificar a compatibilidade da tensão de saída da sua residência e da fonte do cortador;
4. A utilização, manutenção e reparação do produto apenas podem ser realizadas por pessoas que estejam familiarizadas com o produto. Leia atentamente as instruções deste manual;
5. Nunca toque nas lâmina, antes de estarem completamente paradas.

11.3 RESTRIÇÕES E ADVERTÊNCIAS

1. Não é permitido modificar o design original do produto, em caso de alterações as consequências são por sua própria conta e risco;
2. Não mergulhe-o em água;
3. O produto pode ser perigoso se for utilizado de forma incorreta;
4. Não coloque nada em cima do produto;
5. Em caso de ferimentos ou acidente, procure assistência médica.

12. MANUTENÇÃO

12.1 MANUTENÇÃO PREVENTIVA

Para a segurança do usuário é recomendada a manutenção preventiva de acordo com a tabela abaixo:

MANUTENÇÃO	PERÍODO
Lâminas (afiação)	25hrs de trabalho
Rodas	25hrs de trabalho

12.2 LIMPEZA

Para melhorar o funcionamento e prolongar a vida útil, limpe o produto regularmente e, se necessário, substitua as peças desgastadas.

Para a limpeza do chassi e das lâminas, deve:

1. Levantar o produto e o colocar de lado;
2. Limpar as lâminas e o chassi utilizando, por exemplo, uma escova de cozinha.
Ao mesmo tempo, verifique se as lâminas rodam livremente em relação à proteção da base e se estão intactas.

Para a limpeza das rodas, deve ocorrer a limpeza ao redor das rodas, lembrando que a relva nas rodas pode afetar o desempenho do cortador em declives.

Para a limpeza da estrutura do produto, deve:

1. Utilizar uma esponja ou um pano suave úmido para limpar;
2. Caso a estrutura esteja suja, utilizar uma solução de detergente suave para a limpeza.

E para uma limpeza eficiente é essencial tomar alguns cuidados, como:

- Evitar limpar o produto com fluídos inflamáveis como álcool, querosene, tinner, solventes ou ácidos ou vinagres.



Atenção: Nunca utilize uma máquina de lavar à pressão para limpar o produto.
Nunca utilize solventes para a limpeza.

Cuidado: Lâminas afiadas, perigo de corte.

12.3 TROCA DAS LÂMINAS DE CORTE

A troca das lâminas é realizada de forma simples, sendo necessário desaparafusar apenas dois parafusos, seguindo os passos:

1. Com uma chave sextavada, soltar as porcas dos dois parafusos laterais de cada lâmina;
2. Utilizar o parafuso passante nos furos laterais do tipo Allen alinhados do adaptador, lâmina e flange e apertar a porca com uma chave sextavada. Para a lâmina frontal de 30 cm, o parafuso é de tamanho M6x20 e para as lâminas de 18 cm, o tamanho é M6x16;

12.4 BATERIAS

As duas baterias possuem vida útil de 1000 ciclos. Caso necessite trocar as baterias efetue o procedimento:

1. Escolha um local bem iluminado e a uma distância segura de faíscas ou de fogo.
2. Abra o compartimento e identifique a bateria a ser trocada.
3. Identifique os terminais positivo e negativo da bateria. O terminal positivo tem um sinal de operação mais (+) e o negativo, um de menos (-).
4. Desconecte primeiramente o terminal negativo e depois o positivo.
5. Limpe os terminais e o encaixe da bateria.
6. Remova a bateria e substitua pela nova.
7. Reconecte primeiramente o terminal positivo e depois o negativo.
8. Feche o compartimento.
9. Descarte a bateria usada em local apropriado.



Atenção: Não efetuar a troca com o equipamento em funcionamento.

13. RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS

13.1 INFORMAÇÕES GERAIS

Para a comunicação com o usuário, visando o envio de mensagens de erro e de informações que possibilitem ações corretivas por parte do usuário, foram desenvolvidas mensagens informativas conforme as tabelas nos próximos tópicos.

13.2 MENSAGENS DE ERRO DE MOBILIDADE/OBSTÁCULOS

A seguinte tabela representa as mensagens de erros enviadas ao usuário, detalhando o tipo de erro e ação corretiva a ser desempenhada.

MENSAGEM	CAUSA	AÇÃO
ERRO: Obstrução de percurso	Cortador de grama caiu/teve o percurso obstruído em um desnível.	Retirar manualmente o cortador do obstáculo.
	Cortador de grama teve alguma impossibilidade física de executar o giro das rodas	

13.3 MENSAGENS DE MANUTENÇÃO DAS LÂMINAS DE CORTE

A seguinte tabela representa a mensagem de aviso de manutenção das lâminas de corte, enviada a cada ciclo de 25 horas de corte com a mesma lâmina.

MENSAGEM	CAUSA	AÇÃO
AVISO: As Lâminas de Corte Precisam ser Amoladas	O Cortador atingiu 25 horas de trabalho com as lâminas de corte atuais.	Amolar as lâminas de corte atuais do cortador e sinalizar essa ação via aplicativo para atualização da referência de tempo de corte

13.4 MENSAGENS DE TROCA DAS LÂMINAS

A seguinte tabela especifica a mensagem a ser enviada para informar o usuário da necessidade da troca das lâminas.

MENSAGEM	CAUSA	AÇÃO
AVISO: As Lâminas de Corte Precisam ser Trocadas	O Cortador atingiu 200 horas de trabalho com as lâminas de corte atuais.	Realizar a troca das lâminas de corte e sinalizar essa ação via aplicativo para atualização da referência de tempo de corte

13.5 MENSAGENS DE INFORMAÇÕES

A seguinte tabela especifica as mensagens de aviso para informação ou ação padrão do usuário na manutenção do cortador.

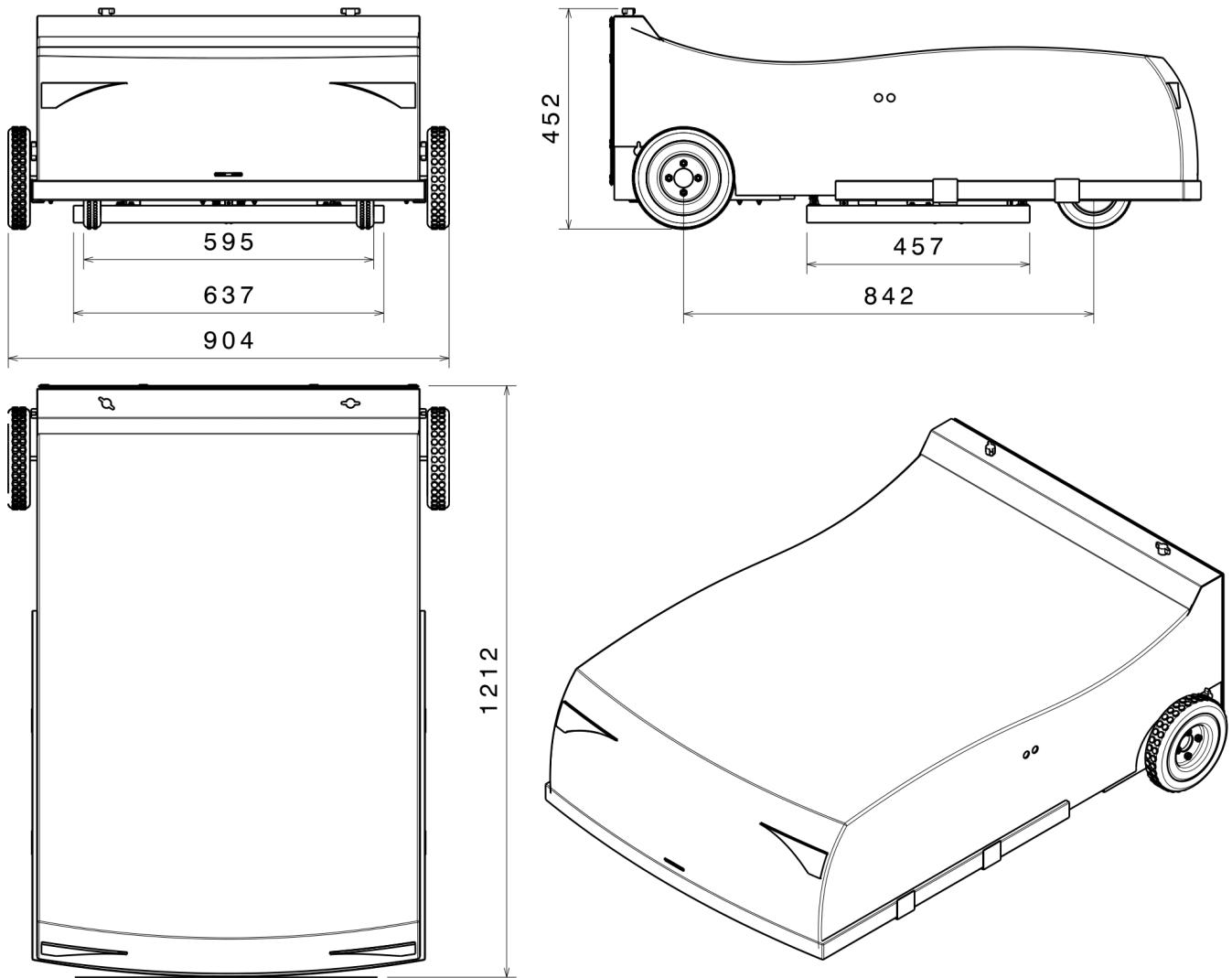
MENSAGEM	CAUSA	AÇÃO
Atenção: Nível de Bateria Baixo	Cortador de grama com baixo nível de energia.	Conecte o cortador a fonte de energia.
Concluído: Corte foi finalizado	O cortador cortou a grama da área da rota selecionada.	-
Desvio: Obstáculo Encontrado	O cortador de grama encontrou um obstáculo pelo caminho	O usuário não tem ação direta nesse contexto. O cortador de grama desvia do obstáculo e continua o caminho.
Iniciado: O cortador foi iniciado	O cortador de grama iniciou o processo de corte na área selecionada	-
	O cortador de grama iniciou o processo de corte no horário programado no app	-

14 ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

ESPECIFICAÇÕES FÍSICAS

Dimensões do cortador	1,212 m x 0,904 m x 0,452 m
Peso do cortador	53,3 kg
Ruído	48 dB
Resistência Química	Álcool Isopropílico, alvejantes, sabão neutro e produtos a base de cloro

DIMENSÕES DO CORTADOR



14 ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

ESPECIFICAÇÕES DA FONTE DE ALIMENTAÇÃO

Frequência da linha AC	60 Hz
Tensão de entrada	220 V
Tensão de saída	38 V
Corrente de saída	15 A
Potência de saída	570 W

ESPECIFICAÇÕES DAS BATERIAS

Química	íon-lítio	íon-lítio
Tensão	12 V	24 V
Capacidade Nominal	15 Ah	30 Ah
Vida útil	+ 1000 ciclos	+ 1000 ciclos



SMART GRASS