



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

PillWatcher - Gerenciamento da Medicação para Lar de Idosos

Professores: Alex Reis, José Felício da Silva, Paolo Gessini,
Ricardo Matos Chaim e Rhander Viana

Brasília, DF
2020



Amanda Pires, Diogo Pontes de Sousa, Fabrício De Almeida Oliveira, Filipe Dias Soares Lima, Gabriel Genari Carmona, Gabriela Chaves de Moraes, Geovanne Santos Saraiva, Kamilla Costa Souza, Luiza Carolina Caetano Gonçalves, Luso De Jesus Torres, Marcos Paulo Ribeiro Garcia, Rebeka Passos Gomes, Sofia Consolmagno Fontes e Tiago Rodrigues Pereira

PillWatcher - Gerenciamento da Medicação para Lar de Idosos

Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA

Orientador: Alex Reis, José Felício da Silva, Paolo Gessini, Ricardo Matos Chaim e Rhander Viana

Brasília, DF
2020

Amanda Pires, Diogo Pontes de Sousa, Fabrício De Almeida Oliveira, Filipe Dias Soares Lima, Gabriel Genari Carmona, Gabriela Chaves de Moraes, Geovanne Santos Saraiva, Kamilla Costa Souza, Luiza Carolina Caetano Gonçalves, Luso De Jesus Torres, Marcos Paulo Ribeiro Garcia, Rebeka Passos Gomes, Sofia Consolmagno Fontes e Tiago Rodrigues Pereira

PillWatcher - Gerenciamento da Medicação para Lar de Idosos / Amanda Pires, Diogo Pontes de Sousa, Fabrício De Almeida Oliveira, Filipe Dias Soares Lima, Gabriel Genari Carmona, Gabriela Chaves de Moraes, Geovanne Santos Saraiva, Kamilla Costa Souza, Luiza Carolina Caetano Gonçalves, Luso De Jesus Torres, Marcos Paulo Ribeiro Garcia, Rebeka Passos Gomes, Sofia Consolmagno Fontes e Tiago Rodrigues Pereira. – Brasília, DF, 2020 -

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

Orientador: Alex Reis, José Felício da Silva, Paolo Gessini, Ricardo Matos Chaim e Rhander Viana

– Universidade de Brasília - UnB

Faculdade UnB Gama - FGA

, 2020.

1. . 1. . I. Alex Reis, José Felício da Silva, Paolo Gessini, Ricardo Matos Chaim e Rhander Viana. II. Universidade de Brasília. III. Faculdade UnB Gama. IV. PillWatcher - Gerenciamento da Medicação para Lar de Idosos

Listas de ilustrações

Figura 1 – Comunicação entre componentes de software e eletrônicos	30
Figura 2 – Comunicação entre Entidades e Solução de Software	31
Figura 3 – Descrição dos componentes da estrutura global	32
Figura 4 – Fluxograma de operação do Sistema Mecânico	41
Figura 5 – Porção Inferior do contêiner com um exemplo de engrenagem.	50
Figura 6 – Métricas-padrão para análise de Qualidade de Malhas. Fonte: Adaptado de (LUIZ, 2015)	56
(a) <i>Aspect Ratio</i>	56
(b) <i>Smoothness</i>	56
(c) <i>Orthogonality</i>	56
Figura 7 – Qualidade da malha do Fuso com Engrenagem	57
Figura 8 – Qualidade Malha da Estrutura tubular	57
Figura 9 – Qualidade da Malha do volume de controle	58
Figura 10 – Qualidade da Malha dos subgrupos	58
Figura 11 – Condições de contorno da interação engrenagem fuso	60
Figura 13 – Tensões equivalentes von Mises na engrenagem	60
Figura 12 – Tensões equivalentes von Mises no fuso	61
Figura 14 – Tensões equivalentes von Mises no subgrupo	62
Figura 15 – Representação das cargas aplicadas à estrutura tubular	63
Figura 16 – Análise da deformação total da estrutura	64
Figura 17 – Análise da Tensão Equivalente von Mises	65
Figura 18 – Representação das formas modais 1 e 2	66
(a) Modo 1	66
(b) Modo 2	66
Figura 19 – Representação das formas modais 3 e 4	66
(a) Modo 3	66
(b) Modo 4	66
Figura 20 – Representação das formas modais 5 e 6	67
(a) Modo 5	67
(b) Modo 6	67
Figura 21 – Representação das formas modais 7 e 8	67
(a) Modo 7	67
(b) Modo 8	67

Figura 22 – Representação das formas modais 9 e 10	67
(a) Modo 9	67
(b) Modo 10	67
Figura 23 – Geometria simplificada para estudo da transferência de calor	69
Figura 24 – Transferência de calor normal ao volume de controle	72
Figura 25 – Transferência de calor dentro do volume de controle	72
Figura 26 – Temperatura máxima alcançada ao longo do tempo	73
Figura 27 – Erros gerados pelas dimensões finitas do método computacional	74
Figura 28 – Módulo de Medição e Identificação	76
Figura 29 – Sensor de Temperatura e Umidade	77
Figura 30 – Sensores de Barreira	78
Figura 31 – Esquemático do circuito do sensor fotoelétrico de barreira	79
Figura 32 – Simulação do Sensor Fotoelétrico de barreira	80
Figura 33 – Sensor Biometria DY50	81
Figura 34 – Diagrama de blocos da parte RF	82
Figura 35 – Módulo PN532	83
Figura 36 – Tag etiqueta RFID 13,56 MHz	83
Figura 37 – Câmera OV5647 - 5MP	84
Figura 38 – Módulo de visualização	85
Figura 39 – Visor tipo LCD TFT 240x320	85
Figura 40 – <i>AdKeypad</i> com 5 botões	86
Figura 41 – Esquemático <i>AdKeypad</i>	86
Figura 42 – Módulo de Controle	87
Figura 43 – Chave tipo <i>Micro Switch</i>	93
Figura 44 – Diagrama Lógico Eletrônico	96
Figura 45 – Comunicação I ² C	97
Figura 46 – Comunicação SPI	97
Figura 47 – Comunicação UART	98
Figura 48 – Comunicação CSI	98
Figura 49 – Rede de Petri do Controle eletrônico	101
Figura 50 – Processo de separação	108
Figura 51 – Extração de texto	110
Figura 52 – Foto do teclado.	120
Figura 53 – Esquema do sistema de alimentação proposto.	125
Figura 54 – Motor de Passo 42HS40-0404.	127
Figura 55 – Motor DC <i>Bringsmart</i> 12 V	128
Figura 56 – Mini-Atuador Elétrico Selecionado	128

Figura 57 – Solenoides selecionadas para o projeto.	129
Figura 58 – Configuração com indicação do fluxo de corrente (setas vermelhas) e formas de onda típicas do retificador de onda completa. Fonte: Blaab-jerg Frede (2018), com modificações do autor.	133
Figura 59 – Configuração do conversor <i>Forward</i> com indicação do fluxo de corrente (setas vermelhas). Adaptado de: (ERICKSON, 1999)	136
Figura 60 – Gráficos dos CI's utilizados.	138
Figura 61 – Conversor CC/CC <i>Step-Down</i> utilizado para transformar a tensão de 12 V para 5 V.	139
Figura 62 – Bateria de Íon-Lítio, 12 V 15 Ah selecionada para o projeto.	140
Figura 63 – Conversor Step Up 12/13,8V.	142
Figura 64 – PCI carregamento da bateria e intertravamento entre bateria e fonte. .	143
Figura 65 – Identificação dos circuitos para dimensionamento das distâncias dos condutores.	147
Figura 66 – Bloco terminal de fio.	148
Figura 67 – Identificação dos Circuitos nos Blocos Terminais de Fio.	149
Figura 68 – Canaleta recorte aberto.	150
Figura 69 – Solução de Software	154
Figura 70 – Software <i>Deploy</i>	157
Figura 71 – NFR de confiabilidade	158
Figura 72 – NFR de segurança	159
Figura 73 – NFR de desempenho	159
Figura 74 – NFR de usabilidade	160
Figura 75 – MER	161
Figura 76 – Diagrama de Caso de Uso - Mantenedor	162
Figura 77 – Diagrama de Caso de Uso - Sistema	163
Figura 78 – Caso de Uso - Enfermeiro	163
Figura 79 – Caso de Uso - Administrador	164
Figura 80 – Diagrama de Pacotes do <i>Back-end</i>	165
Figura 81 – Login	166
Figura 82 – Administrador - Menu Inicial	167
Figura 83 – Administrador - Fluxo de alteração de dados	168
Figura 84 – Administrador - Fluxo de cadastro de um enfermeiro	169
Figura 85 – Administrador - Tela inicial de gerenciar enfermeiros e fluxo para deletar um enfermeiro	170
Figura 86 – Administrador - Fluxo para alterar dados	170
Figura 87 – Enfermeiro - Menu inicial e <i>sidebar</i>	171

Figura 88 – Enfermeiro - Fluxo de alterar dados	172
Figura 89 – Enfermeiro - Tela inicial, busca e fluxo de deletar paciente	173
Figura 90 – Enfermeiro - Parte 1 do fluxo de alterar dados de um paciente	173
Figura 91 – Enfermeiro - Parte 2 do fluxo de alterar dados de um paciente	174
Figura 92 – Enfermeiro - Parte 1 do fluxo para cadastrar um paciente	174
Figura 93 – Enfermeiro - Parte 2 do fluxo para cadastrar um paciente	175
Figura 94 – Enfermeiro - Tela inicial de gerenciar receita, busca filtrada pelo paciente e visualização da receita	176
Figura 95 – Enfermeiro - Fluxo de alteração de dados de uma receita	176
Figura 96 – Enfermeiro - Fluxo para deletar receita e fluxo de cadastro de receita .	177
Figura 97 – Enfermeiro - Fluxo de cadastro de receita	177
Figura 98 – Enfermeiro - Menu inicial e fluxo para deletar medicação do estoque da máquina	178
Figura 99 – Enfermeiro - Fluxo para alterar dados do estoque da máquina	179
Figura 100 – Enfermeiro - Fluxo para cadastrar uma medicação no estoque da máquina .	179
Figura 101 – Enfermeiro - Menu inicial, visualização e cadastro de estoque individual	180
Figura 102 – Enfermeiro - Fluxo de alteração de dados de um estoque individual .	181
Figura 103 – Enfermeiro - Parte 1 do fluxo de abastecimento de uma medicação .	181
Figura 104 – Enfermeiro - Parte 2 do fluxo de abastecimento de uma medicação .	182
Figura 105 – Enfermeiro - Fluxo para deletar uma medicação do estoque individual .	182
Figura 106 – Enfermeiro - Fluxo de notificação do enfermeiro	184
Figura 107 – Paciente - Menu inicial, <i>sidebar</i> e Parte 1 do fluxo para alterar dados cadastrados	185
Figura 108 – Paciente - Conclusão do fluxo para alterar dados cadastrados	185
Figura 109 – Paciente - Fluxo para visualizar o estoque de medicação	186
Figura 110 – Paciente - Fluxo para visualizar o relatório de medicação	187
Figura 111 – Diagrama de Integração de Sistemas	191
Figura 112 – Posicionamento dos Componentes Eletrônicos Externos	192
Figura 113 – Posicionamento dos componentes Eletrônicos na Porta Frontal	193
Figura 114 – Disposição interna dos componentes Eletro-eletrônicos	194
Figura 115 – Disposição espacial do sistema de identificação do copo	195
Figura 116 – Disposição espacial dos componentes eletrônicos no contêiner	196
Figura 117 – Diagrama de Alimentação dos Componentes e Circuitos eletrônicos .	197
Figura 118 – Logomarca	222
Figura 119 – Estrutura Analítica do Projeto PillWatcher - Ponto de Controle 1 . . .	227
Figura 120 – Estrutura Analítica do Projeto PillWatcher - Ponto de Controle 2 . . .	228
Figura 121 – Estrutura Analítica do Projeto PillWatcher - Ponto de Controle 3 . . .	229

Figura 122 – Estrutura Analítica do Projeto PillWatcher	230
Figura 123 – Planejamento Ponto de Controle 1	232
Figura 124 – Planejamento Ponto de Controle 2	233
Figura 125 – Planejamento Ponto de Controle 2	234
Figura 126 – Planejamento Ponto de Controle 3	235
Figura 127 – Desenho técnico da Estrutura Tubular, com indicações de solda (5.1)	236
Figura 128 – Desenho técnico das Chapas da Carcaça (5.1)	237
Figura 129 – Desenho técnico do Compartimento Inferior do Contêiner (5.1)	237
Figura 130 – Desenho técnico do cilindro do contêiner (5.1)	238
Figura 131 – Desenho técnico da arruela do contêiner (5.1)	238
Figura 132 – Desenho técnico das rampa seletora do contêiner (5.1)	239
Figura 133 – Desenho técnico da engrenagem do contêiner (5.1)	239
Figura 134 – Desenho técnico da plataforma de seleção(5.1)	240
Figura 135 – Desenho técnico do rolamento da engrenagem (5.1)	240
Figura 136 – Desenho técnico do suporte da engrenagem no contêiner (5.1)	241
Figura 137 – Desenho técnico da tampa do contêiner (5.1)	241
Figura 138 – Desenho técnico da comporta do contêiner (5.1)	242
Figura 139 – Desenho técnico do conector do contêiner à base (5.1)	242
Figura 140 – Desenho técnico da base dos contêineres (5.1)	243
Figura 141 – Desenho técnico do Canal de Guia (5.1)	243
Figura 142 – Desenho técnico do suporte dos canais de guia (5.1)	244
Figura 143 – Desenho técnico do fuso de atuação nas engrenagens (5.1)	244
Figura 144 – Desenho técnico do suporte dos motores de passo (5.1)	245
Figura 145 – Desenho técnico do mancal de apoio do fuso (5.1)	245
Figura 146 – Desenho técnico da Canaleta do Subgrupo 1 (5.1)	246
Figura 147 – Desenho técnico da Canaleta do Subgrupo 2 (5.1)	246
Figura 148 – Desenho técnico da Canaleta do Subgrupo 3 (5.1)	247
Figura 149 – Desenho técnico da Canaleta do Subgrupo 4 (5.1)	247
Figura 150 – Desenho técnico da Canaleta do Subgrupo 5 (5.1)	248
Figura 151 – Desenho técnico da mangueira do subgrupo 1 (5.1)	248
Figura 152 – Desenho técnico da mangueira do subgrupo 2 (5.1)	249
Figura 153 – Desenho técnico da mangueira do subgrupo 3 (5.1)	249
Figura 154 – Desenho técnico da mangueira do subgrupo 4 (5.1)	250
Figura 155 – Desenho técnico da mangueira do subgrupo 5 (5.1)	250
Figura 156 – Desenho técnico do funil de saída das mangueiras (5.1)	251
Figura 157 – Desenho técnico da esteira dos copos (5.1)	251
Figura 158 – Desenho técnico da engrenagem da esteira (5.1)	252

Figura 159 – Desenho técnico do suporte do motor DC da esteira (5.1)	252
Figura 160 – Desenho técnico do repositório de copos (5.1)	253
Figura 161 – Desenho técnico do copo de medicamentos (5.1)	253
Figura 162 – Desenho técnico da porta de saída, que se apresenta tanto na saída verdadeira quanto na saída de retorno (5.1)	254
Figura 163 – Desenho técnico da área de espera dos copos, na face frontal da estrutura (5.1)	254
Figura 164 – Desenho técnico da zona de retorno, na face anterior da estrutura (5.1)	255
Figura 165 – Desenho técnico do centro de comunicação das PCBs (5.1)	255
Figura 166 – Desenho técnico dos eixos de suporte das engrenagens da esteira (5.1) .	256
Figura 167 – Desenho técnico do suporte dos componentes energéticos, chamado Centro de Alimentação (5.1)	256
Figura 168 – Desenho técnico do suporte das chaves interruptoras (5.1)	257
Figura 169 – Desenho técnico do rolamento do mancal do fuso (5.1)	257
Figura 170 – Indicações de solda da base de contêineres na estrutura tubular(5.5) .	258
Figura 171 – Indicações de solda do suporte dos motores de passo na estrutura tubular(5.5)	258
Figura 172 – Indicações de solda do suporte do motor DC na estrutura tubular(5.5)	259
Figura 173 – Indicações de solda dos suportes dos sensores fotoelétricos em toda a estrutura(9.1)	259
Figura 174 – Estrutural Global em formato CAD	260
Figura 175 – Carcaça da estrutura formato CAD	260
Figura 176 – Porta de saída	261
Figura 177 – Ilustração do Copo	261
Figura 178 – Motor de passo com fuso	262
Figura 179 – Reservatório de copos com esteira	262
Figura 180 – Detalhes do fuso com engrenagens	263
Figura 181 – Contêiner dos medicamentos	263
Figura 182 – Descrição detalhada do contêiner	264
Figura 183 – Telas de Iniciação	265
Figura 184 – Tela Inicial e Tela da Agenda	265
Figura 185 – Telas de Configuração - Parte 1	266
Figura 186 – Telas de Configuração - Parte 2	266
Figura 187 – Telas de Dispensação do Medicamento	267
Figura 188 – Telas de Aviso - Parte 1	267
Figura 189 – Telas de Aviso - Parte 2	268
Figura 190 – Telas de Aviso - Parte 3	268

Figura 191 – Telas de Biometria	268
Figura 192 – Telas de Reabastecimento e desligamento	269
Figura 193 – Diagrama esquemático da conexão das Raspberry Pi 4 com sensores e microcontroladores	271
Figura 194 – Diagrama esquemático da conexão do microcontrolador 1 com os sensores de barreira	273
Figura 195 – Diagrama esquemático da conexão do microcontrolador 2 com os interruptores e teclado	274
Figura 196 – Diagrama esquemático da conexão do microcontrolador 3 com os drivers das solenoides e atuador linear	276
Figura 197 – Diagrama esquemático da conexão do microcontrolador 4 com os drivers dos motores de passo	277
Figura 198 – PCI do sensor fotoelétrico de barreira	278
Figura 199 – PCI do sistema central	278
Figura 200 – PCI microcontrolador modelo 1	279
Figura 201 – PCI microcontrolador modelo 2	279
Figura 202 – PCI microcontrolador modelo 3	280
Figura 203 – PCI microcontrolador modelo 4	280
Figura 204 – Diagrama unifilar do circuito do <i>Pill Watcher</i>	287
Figura 205 – Diagrama esquemático da fonte chaveada do tipo <i>Forward</i>	288
Figura 206 – Diagrama esquemático do carregamento da bateria e do sistema de intertravamento fonte/bateria.	289
Figura 207 – Login - Link para o código: Código	293
Figura 208 – Recuperar Senha - Link para o código: Código	294
Figura 209 – <i>E-mail</i> enviado - Link para o código: Código	294
Figura 210 – Menu de administrador - Link para o código: Código	295
Figura 211 – Gerenciamento de enfermeiros - Link para o código: Código	295
Figura 212 – Alterar dados de um(a) enfermeiro(a) - Link para o código: Código	296
Figura 213 – Deletar um(a) enfermeiro(a) do sistema - Link para o código: Código	296
Figura 214 – Confirmação de retirada do(a) enfermeiro(a) do sistema - Link para o código: Código	297
Figura 215 – Tópicos da Fila MQTT	299
Figura 216 – Criação de Paciente no Tópico "create-patient"	300
Figura 217 – Arquitetura de Solução de Software	307
Figura 218 – Diagrama Lógico	309
Figura 219 – RDC 185/01 - Página 10	371
Figura 220 – RDC 185/01 - Página 11	372

Lista de tabelas

Tabela 1 – Requisitos Gerais	24
Tabela 2 – Requisitos Estruturais	25
Tabela 3 – Requisitos Eletrônicos	25
Tabela 4 – Requisitos Energéticos	27
Tabela 5 – Requisitos de Software	27
Tabela 6 – Propriedades do Aço Inox 304 (ASKELAND; WRIGHT, 2019)	43
Tabela 7 – Propriedades do Aço 1020 (ASKELAND; WRIGHT, 2019).	44
Tabela 8 – Propriedades do Polipropileno (PP) (CALLISTER, 2016).	45
Tabela 9 – Propriedades do <i>Nylon 6.6</i> (PA 6,6) (SWALLOWE, 1999).	45
Tabela 10 – Ângulos de pressão recomendados e profundidades de dentes para engrenagens sem-fim. Retirado de: (SHIGLEY; MISCHKE; BUDYNAS, 2005)	53
Tabela 11 – Resumo dos parâmetros geométricos da engrenagem e do seu par sem-fim (fuso).	55
Tabela 12 – Número de nós e elementos de malha por simulação	59
Tabela 13 – Tabela de Frequências Naturais do sistema	68
Tabela 14 – Propriedades térmicas dos materiais utilizados na simulação. Adaptado de: (CALLISTER, 2016)	69
Tabela 15 – Comportamento temporal das potências do Sistema	71
Tabela 16 – Resultado para tensão V_{out}	87
Tabela 17 – Levantamento da quantidade de pinos	89
Tabela 18 – Levantamento da carga do projeto.	131
Tabela 19 – Cenários considerados para o dimensionamento dos sistemas de alimentação.	131
Tabela 20 – Parâmetros de projeto do retificador monofásico com ponte de onda completa.	134
Tabela 21 – Componentes selecionados.	134
Tabela 22 – Parâmetros de projeto do conversor <i>Forward</i>	137
Tabela 23 – Componentes selecionados para o conversor <i>Forward</i>	138
Tabela 24 – Componentes selecionados para o circuito de controle e do circuito do <i>feedback</i> isolado do conversor <i>Forward</i>	139
Tabela 25 – Especificações da bateria selecionada.	141
Tabela 26 – Itens do circuito de carregamento da bateria.	142

Tabela 27 – Determinação da seção dos condutores.	145
Tabela 28 – Distância, em metros, dos condutores tendo como referência a Fig. 65.	147
Tabela 29 – Tabela de Interações das Telas Iniciais do Aplicativo	167
Tabela 30 – Tabela de Interações das Telas Principais de Administrador	168
Tabela 31 – Tabela de Interações das Telas de Cadastro de Enfermeiro	169
Tabela 32 – Tabela de Interações das Telas de Gerenciamento de Cadastro de Enfermeiro	171
Tabela 33 – Tabela de Interações das Telas Principais de Administrador	172
Tabela 34 – Tabela de Interações das Telas de Gerenciamento de Cadastro de Paciente	175
Tabela 35 – Tabela de Interações das Telas de Gerenciamento de Receita	178
Tabela 36 – Tabela de interações das telas de gerenciamento de estoque da máquina	180
Tabela 37 – Tabela de interações das telas de abastecimento do <i>Pillwatcher</i>	183
Tabela 38 – Tabela de interações das telas de notificação de entrega de medicação .	184
Tabela 39 – Tabela de interações das telas de Menu inicial e <i>sidebar</i>	186
Tabela 40 – Tabela de interações das telas de estoque de medicação	187
Tabela 41 – Tabela de interações das telas de relatório de medicação	188
Tabela 42 – Custos Totais	202
Tabela 43 – Probabilidade do Risco	205
Tabela 44 – Impacto do Risco	206
Tabela 45 – Prioridade do Risco	206
Tabela 46 – Risco de Projeto	207
Tabela 47 – Riscos Externos	207
Tabela 48 – Riscos de Produto	207
Tabela 49 – Riscos e Ações	208
Tabela 50 – Riscos Técnicos Estruturais	208
Tabela 51 – Análise dos Riscos e Ações Estruturais	209
Tabela 52 – Riscos Técnicos Eletrônicos	210
Tabela 53 – Análise dos Riscos e Ações Eletrônicos	211
Tabela 54 – Riscos Técnicos Energéticos	211
Tabela 55 – Riscos e Ações Energéticos	212
Tabela 56 – Riscos Técnicos de Software	212
Tabela 57 – Análise dos Riscos e Ações de Software	213
Tabela 58 – Riscos e Restrições Organizacionais	224
Tabela 59 – Marcos do Projeto	225
Tabela 61 – Lista É/Não é	231
Tabela 63 – Resultados para o projeto do retificador com ponte de onda completa.	283

Tabela 64 – Características dos enrolamentos do transformador e do enrolamento de desmagnetização.	285
Tabela 65 – Principais decisões de Software	290
Tabela 66 – Tabela das ferramentas utilizadas no desenvolvimento	301
Tabela 68 – Tabela de Instrução de Posição do Problema	304
Tabela 70 – Tabela Resumo das Capacidades	306

Sumário

1	INTRODUÇÃO	19
2	PROBLEMÁTICA	21
2.1	Justificativa	22
2.2	Objetivos	22
2.2.1	Objetivos Gerais	22
2.2.2	Objetivos Específicos	22
3	REQUISITOS	24
3.1	Requisitos Gerais do Sistema	24
3.2	Requisitos dos Subsistemas	25
3.2.1	Requisitos Estruturais	25
3.2.2	Requisitos Eletrônicos	25
3.2.3	Requisitos Energéticos	27
3.2.4	Requisitos de Software	27
4	SOLUÇÃO GERAL	29
4.1	Escopo	29
4.2	Lista É/ Não É	29
4.3	Rich Picture	30
4.3.1	Comunicação Entre Componentes	30
4.3.2	Comunicação Entre Entidades e Solução de Software	31
5	SOLUÇÃO ESTRUTURAL	32
5.1	Descrição dos componentes da Estrutura	32
5.2	Desenhos técnicos	40
5.3	Dinâmica de operação	40
5.4	Escolha de Materiais	43
5.5	Processos de Fabricação	46
5.6	Dimensionamento de fuso e engrenagem dos contêineres	49
5.6.1	Dimensionamento da engrenagem	50
5.6.2	Dimensionamento do fuso	52
5.7	Análises Numéricas	54
5.7.1	Elementos da malha	55

5.7.2	Interação Engrenagem com o fuso	59
5.7.3	Análise Estrutural	61
5.7.4	Análise de Vibrações	64
5.7.5	Análise Térmica	68
6	SOLUÇÃO ELETRÔNICA	75
6.1	Módulo de Medição e Identificação	75
6.1.1	Medição	76
6.1.2	Identificação	78
6.2	Módulo de Visualização	85
6.3	Módulo de Controle	87
6.3.1	Sistema Embarcado	87
6.3.2	Chave	92
6.3.3	<i>Drivers</i> de Atuadores	93
6.4	Arquitetura de integração entre os módulos	95
6.4.1	Conexão entre os Módulos	95
6.4.2	Protocolos de Comunicação	95
6.4.3	Controle do Dispositivo	98
6.4.4	Código-Fonte do Sistema Eletrônico	102
6.5	Processamento de Imagens	107
6.5.1	Separação dos comprimidos	107
6.5.2	Extração de características	109
6.5.3	Máquina de Vetores de Suporte (SVM)	110
6.6	Plano de Construção	111
6.7	Plano de Testes	112
6.7.1	Teste do módulo de controle	112
6.7.2	Teste do Módulo de Medição e Identificação	120
7	SOLUÇÃO DE ENERGIA	125
7.1	Sistema eletromecânico	126
7.1.1	Motor de passo	126
7.1.2	Motor DC	127
7.1.3	Mini Atuador elétrico linear	128
7.1.4	Solenóide	129
7.2	Fonte de Alimentação Principal	129
7.2.1	Retificador CA/CC	133
7.2.2	Conversor CC/CC	135
7.3	Sistema Autônomo de Emergência	140

7.4	Sistema de Intertravamento entre a Fonte e a Bateria	142
7.4.1	Dimensionamento da PCI	143
7.5	Dimensionamento dos Condutores	144
7.5.1	Plugue e Conectores	145
7.6	Elementos de Organização	146
7.6.1	Barramento de Distribuição	147
7.6.2	Proteção e Acabamento	148
7.7	Sistema de proteção	150
7.8	Plano de Testes	151
7.8.1	Teste da Fonte	151
7.8.2	Teste da Bateria	151
7.8.3	Teste do Sistema de Carregamento	152
7.8.4	Teste do Intertravamento	152
8	SOLUÇÃO DE SOFTWARE	154
8.1	Arquitetura da Solução	154
8.1.1	Banco de Dados	155
8.1.2	Back-end	155
8.1.3	Front-end	156
8.1.4	Broker	156
8.2	Plano de Construção e Entrega de Software	156
8.3	Nonfunctional Requirements (NFRs)	157
8.4	Modelo Entidade Relacionamento - MER	160
8.5	Diagramas UML	162
8.5.1	Diagramas de Caso de Uso	162
8.5.2	Diagrama de Pacotes	164
8.6	Arquitetura da Informação	166
8.6.1	Identidade Visual	166
8.6.2	Protótipo de Alta Fidelidade	166
8.7	Inovação no Software	188
8.7.1	<i>IoT - Internet of Things</i>	188
8.7.2	Arquitetura de Microsserviços	188
8.7.3	<i>Reactive Programming</i>	189
9	ARQUITETURA DE INTEGRAÇÃO	190
9.1	Posicionamento dos Componentes dos Sistemas Elétricos e Eletrônicos	192
9.2	Alimentação dos Componentes Eletrônicos	196

9.3	Comunicação entre o Aplicativo e o Dispositivo	197
9.3.1	Protocolo MQTT	197
9.3.2	Protocolo HTTP	201
10	CUSTOS	202
11	RISCOS	205
11.1	Análise Quantitativa de Riscos	205
11.2	Descrição dos Riscos	207
11.2.1	Riscos do Projeto, Externos e do Produto	207
11.2.2	Riscos Técnicos	208
12	LEGISLAÇÃO	214
12.1	Registro do Equipamento na ANVISA	214
12.2	Segurança no SDMDU	215
13	CONSIDERAÇÕES FINAIS	216
	REFERÊNCIAS	217
	APÊNDICES	221
	APÊNDICE A – TERMO DE ABERTURA DO PROJETO (TAP) .	222
A.1	Descrição do Projeto	222
A.2	Propósito e Justificativa	223
A.3	Objetivos	223
A.4	Requisitos	223
A.5	Riscos do Projeto	224
A.6	Marcos do Projeto	224
A.7	Premissas e Restrições	225
A.8	Stakeholders	225
	APÊNDICE B – ESTRUTURA ANALÍTICA DO PROJETO . . .	227
B.1	Estrutura Analítica por Ponto de Controle	227
B.2	Estrutura Analítica Geral	230
	APÊNDICE C – LISTA É/ NÃO É	231
	APÊNDICE D – CRONOGRAMA	232

APÊNDICE E – DESENHOS TÉCNICOS	236
APÊNDICE F – MOCKUP DAS TELAS DO VISOR	265
APÊNDICE G – ESQUEMÁTICOS ELETRÔNICOS	270
APÊNDICE H – PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO (PCI)	278
APÊNDICE I – MEMORIAL DE CÁLCULOS DA SOLUÇÃO ENERGÉTICA	281
I.1 Dimensionamento do retificador com ponte de onda completa	281
I.2 Dimensionamento do conversor do tipo <i>Forward</i>	284
I.3 Diagramas Unifilares	287
APÊNDICE J – PRINCIPAIS DECISÕES DE SOFTWARE	290
APÊNDICE K – PRINCIPAIS FUNCIONALIDADES DO SOFTWARE	293
K.1 <i>Front-end</i>	293
K.2 <i>Back-end</i>	297
APÊNDICE L – PLANO DE GERENCIAMENTO E CONFIGURAÇÃO DE SOFTWARE	301
L.1 <i>Introdução</i>	301
L.2 <i>Ferramentas</i>	301
L.3 <i>Políticas de Contribuição</i>	301
APÊNDICE M – DOCUMENTO DE VISÃO	303
M.1 <i>Introdução</i>	303
M.2 <i>Posicionamento</i>	304
M.3 <i>Partes Interessadas</i>	304
M.4 <i>Visão geral do Produto</i>	305
APÊNDICE N – DOCUMENTO DE ARQUITETURA	307
N.1 Visão Lógica	308
N.2 Visão de Implantação	308
N.3 Visão de Dados	309
APÊNDICE O – OPENAPI	311
O.1 Swagger	311
APÊNDICE P – MANUAL DE USUÁRIO	314

APÊNDICE Q – MANUAL DE MONTAGEM	334
APÊNDICE R – ENTREVISTA COM O FARMACÊUTICO	359
APÊNDICE S – QUESTIONÁRIO PARA INSTITUIÇÕES DE LONGA PERMANÊNCIA PARA IDOSOS	364
APÊNDICE T – AUTO AVALIAÇÃO	366
APÊNDICE U – AVALIAÇÃO GERAL	369
ANEXOS	370
ANEXO A – RDC Nº 185, DE 22 DE OUTUBRO DE 2001	371

1 Introdução

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), tecnologia em saúde é um conjunto de conhecimentos e habilidades sistematizados por meio de equipamentos, medicamentos, vacinas, procedimentos e sistemas organizacionais e de suporte, os quais têm como objetivo promover a saúde, melhorar a qualidade de vida, prevenir e tratar doenças e reabilitar pessoas (OMS, 2010).

Dessa forma, medicamentos são produtos farmacêuticos tecnicamente obtidos ou elaborados, com finalidade profilática, paliativa, para tratamento de doenças infecciosas e para redução dos sintomas de doenças crônicas. Entretanto, medicamentos também apresentam riscos, especialmente quando são utilizados da maneira inadequada (GIMENES, 2016). Consequentemente, o recurso terapêutico farmacológico ainda é o mais utilizado para o tratamento de doenças, uma vez que, oferecem uma chance de sobrevida maior comparado a outros tratamentos (PIZZOL et al., 2012).

Além do mais, a população idosa apresenta níveis de morbidade maiores que os da população em geral e, desse modo, tem um maior consumo de medicamentos e uma demanda superior por serviços de saúde (PIZZOL et al., 2012). O envelhecimento é um processo comum, gradual e inelutável para todos os seres humanos, e, com o aumento da expectativa de vida ao longo dos anos, a população idosa teve um acréscimo significante. Conforme a projeção da população de 2020 feita pelo IBGE, no Brasil existem mais de 30 milhões de pessoas acima de 60 anos, o que representa 14% da população do país e esse percentual tende a dobrar nas próximas três décadas (IBGE, 2020).

De modo consequente, com o envelhecimento populacional e o aumento da sobrevida de indivíduos com capacidade física, cognitiva e mental debilitadas, natural do processo de envelhecimento, muitas vezes leva ao extravio da independência e autonomia dos idosos (FREITAS et al., 2006). Isto implica em um aumento da demanda por cuidados, apoio e supervisão de familiares. Porém, devido a muitas famílias não possuírem disponibilidade ou habilidades necessárias para tomar conta de seus idosos de maneira a atender às suas necessidades específicas, muitos idosos são inseridos em instituições de longa permanência (ILPI) ou clínicas geriátricas, as quais poderão ser as alternativas mais adequadas para atender a essa etapa da vida (CAMARANO et al., 2011; FREITAS; NORONHA, 2013).

Sendo assim, o presente estudo busca realizar a gerência de medicamentos em residenciais sênior a partir da construção de um dispensador coletivo de medicamentos sólidos,

nomeado de *PillWatcher*, o qual realiza de maneira otimizada e automatizada o armazenamento e facilita o trabalho dos profissionais qualificados e responsáveis por ministrar a rotina de medicamentos da instituição por meio da separação das doses medicamentosas individuais. Outrossim, o dispositivo visa assegurar a qualidade dos medicamentos por meio de condições adequadas de armazenamento e de um controle de estoque eficaz.

2 Problemática

Conforme a Resolução nº 304, de 17 de setembro de 2019, todas as partes envolvidas na produção, armazenamento, distribuição e transporte devem se responsabilizar pela qualidade e segurança dos medicamentos ([BRASIL, 2019](#)). Entretanto, muitas instituições de longa permanência improvisam as instalações de seus locais de armazenamento de medicamentos, e muitas vezes se esquecem da Política de Boas Práticas de Distribuição e Armazenamento (BPDA), uma vez que este espaço deve garantir a qualidade, a segurança e o controle dos produtos estocados.

A estabilidade do medicamento depende tanto de alguns fatores intrínsecos, relacionados aos processos produtivos e características específicas do produto, quanto a fatores extrínsecos, associados às condições ambientais, as quais estão diretamente relacionados com o armazenamento, como por exemplo, luminosidade, temperatura e umidade ([SOUZA; MAGALHÃES, 2018](#)). À vista disso, sabe-se que alterações na estocagem podem levar a perda total ou parcial das propriedades medicamentosas, podendo chegar até o estágio de toxicidade maior que a do produto original.

Por outro lado, há adversidades em clínicas de repouso, onde muitas vezes um cuidador é responsável por vários idosos, com tratamentos e medicações diferentes, o que dificulta ministrar medicamentos, principalmente quando o paciente necessita ingeri-los em diferentes horários do dia, situação essa bastante comum à boa parte da população idosa, o que consequentemente propicia o aumento de erros.

Assim, pela análise dos erros ocorridos nos Estados Unidos pela FDA (*MedWatch Program*) e pela USP-ISMP (*Medication Errors Reporting Errors*), mostra-se que as causas dos erros são multifatoriais. Os erros mais frequentes estão relacionados à dose, horário e frequência errados, omissão, falhas na interação com outros serviços, violação de regras e medicamento errado, o que pode causar prejuízos à saúde do idoso e provocar efeitos colaterais diversos, além de não ocasionar os resultados esperados do tratamento ([FREIRE, 2009](#)). Além do mais, o ato de administrar medicamentos é a última oportunidade de intervir para evitar a ocorrência de erros, os quais podem ter sido iniciados no processo de fabricação ([FILHO et al., 2011](#)).

2.1 Justificativa

O projeto tem como base implementar mecanismos que reduzam ou impeçam o número crescente de erros de armazenamento e administração de medicamentos em instituições de longa permanência. Sendo assim, o grande diferencial desse dispositivo em relação aos já existentes no mercado é a opção de realizar o gerenciamento no controle da medicação para mais de um paciente. Consequentemente, a partir dessa iniciativa é possível assegurar os denominados “nove certos”: paciente certo, medicamento certo, dose certa, via certa, hora certa, tempo certo, validade certa, abordagem certa e registro certo.

2.2 Objetivos

2.2.1 Objetivos Gerais

O projeto PillWatcher consiste na concepção de um dispensador automático de comprimidos, cápsulas e drágeas, o qual irá armazenar, separar dosagens de medicações e disponibilizar para pacientes nos horários previamente prescritos pelo médico e cadastrados no aplicativo, além de reduzir probabilidade de falhas e aumentar a chance de interceptá-las antes de resultar em prejuízo ao paciente.

2.2.2 Objetivos Específicos

- Garantir que o projeto tenha integração entre todas as engenharias;
- Certificar a usabilidade do dispositivo e aplicativo pelo corpo técnico de médicos, enfermeiros e cuidadores;
- Facilitar a comunicação entre Homem - Máquina, utilizando *IoT* para comunicação entre aplicação em *software* e eletrônica;
- Integrar os dados cadastrados presentes no aplicativo com o dispensador de comprimidos;
- Assegurar que os remédios e as doses sejam entregues corretamente para cada paciente nos horários indicados;
- Confirmar que os medicamentos no estoque do dispensador sejam conservados com temperatura controlada entre 15 °C e 30 °C, e umidade relativa de 40% a 70%;
- Automatizar o processo de rotina de distribuição de medicação através de alertas e notificações. Dessa forma, deve-se alertar o corpo técnico de saúde da residência sê-

nior sobre o horário para ministração de medicamentos que não sejam medicamentos sólidos (injetáveis, pomadas, etc) e indicar a disponibilidade da dose medicamentosa de comprimidos, drágeas e capsulas no dispensador;

- Facilitar a criação de relatórios de verificação de consumo de medicação;
- Realizar o controle de estoque dos medicamentos sólidos inseridos no dispensador.

3 Requisitos

Foi conduzido um teste piloto através de um questionário para médicos geriatras, cuidadores e enfermeiros de instituições de longa permanência para idosos disponível no apêndice S e uma entrevista com um farmacêutico no apêndice R. Sendo assim, os questionários foram encaminhados via Internet com o objetivo de selecionar as necessidades do cliente.

3.1 Requisitos Gerais do Sistema

Com o disposto nos questionários, elaboraram-se os requisitos gerais constantes na Tab. 1.

Tabela 1 – Requisitos Gerais

ID	Requisito	Prioridade
RG001	Armazenar comprimidos de diferentes formatos, tamanhos e textura	<i>Must have</i>
RG002	Facilitar o abastecimento do estoque de medicamentos	<i>Must have</i>
RG003	Garantir um ambiente de armazenamento seguro (temperatura, umidade e sem microorganismos)	<i>Must have</i>
RG004	Armazenar comprimidos de no mínimo 5 pacientes	<i>Should have</i>
RG005	Emitir sinais de alerta	<i>Should have</i>
RG006	Assegurar que a dose medicamentosa esteja correta para um paciente específico	<i>Must have</i>
RG007	Notificar os usuários em relação a doses não tomadas	<i>Must have</i>
RG008	Regular o horário de ministração medicamentos	<i>Must have</i>
RG009	Identificação e comprovar o paciente	<i>Should have</i>
RG010	Ter interface de fácil uso no dispositivo e no aplicativo	<i>Must have</i>
RG011	Visualização do histórico de medicamentos dos pacientes	<i>Must have</i>

3.2 Requisitos dos Subsistemas

3.2.1 Requisitos Estruturais

Os requisitos referentes a parte estrutural do projeto são deliberados na Tab. 2.

Tabela 2 – Requisitos Estruturais

ID	Requisito	Prioridade	Ambiente
RE001	Armazenar medicamentos sólidos com isolamento admissível para temperatura, umidade e luminosidade	<i>Must have</i>	Contêiner
RE002	Cobrir grande variedade de dimensões dos medicamentos comerciais no sistema de seleção	<i>Should have</i>	Contêiner
RE003	Ter armazenamento removível para limpeza	<i>Must have</i>	Mesa de apoio
RE004	Verificar materiais adequados para alocação de medicamentos na máquina	<i>Must have</i>	Estrutura geral
RE005	Garantir estrutura de proteção para componentes internos	<i>Must have</i>	Carcaça
RE006	Confirmar a saída de um único medicamento sólido do contêiner com alta acurácia	<i>Must have</i>	Comporta
RE007	Ter estoque de recipientes que receberão a dose selecionada de medicamentos	<i>Must have</i>	Reservatório de copos
RE008	Garantir que os medicamentos selecionados irão cair no recipiente do paciente	<i>Must have</i>	Funil de Saída
RE009	Posicionar os copos dos pacientes no local de deposição da medicação	<i>Must have</i>	Atuador linear
RE010	Deslocar o recipiente com dose selecionada de medicamentos até o local de retirada	<i>Must have</i>	Esteira
RE011	Designar local de retenção do recipiente com medicamentos selecionados com falha	<i>Must have</i>	Zona de retorno
RE012	Disponibilizar local de retirada dos recipientes com dosagem correta	<i>Must have</i>	Área de espera
RE013	Dispôr um sistema estrutural adequado para manutenções preventivas	<i>Should have</i>	Estrutura geral

3.2.2 Requisitos Eletrônicos

Os requisitos referentes a parte eletrônica do projeto são deliberados na Tab. 3.

Tabela 3 – Requisitos Eletrônicos

ID	Requisitos	Prioridade	Ambiente
RC001	Avisar do trancamento da porta com acesso ao estoque	<i>Must have</i>	Sensoriamento
RC002	Avisar a acoplagem dos compartimentos de medicamentos	<i>Must have</i>	Sensoriamento

ID	Requisitos	Prioridade	Ambiente
RC003	Detectar temperaturas fora da faixa de conservação	<i>Must have</i>	Sensoriamento
RC004	Detectar umidade relativa do ar fora da faixa de conservação	<i>Must have</i>	Sensoriamento
RC005	Detectar a passagem de medicamento após sair do contêiner individual	<i>Must have</i>	Sensoriamento
RC006	Assegurar a presença do copo no local de despejo do medicamento	<i>Must have</i>	Sensoriamento
RC007	Detectar a passagem de medicamento no local de despejo do medicamento	<i>Must have</i>	Sensoriamento
RC008	Assegurar quantidade de comprimidos no copo	<i>Should have</i>	Sensoriamento
RC009	Assegurar o transporte do recipiente para a área de espera do dispensador	<i>Must have</i>	Sensoriamento
RC010	Assegurar que o copo não aprovado irá para a zona de retorno de medicamentos	<i>Should have</i>	Sensoriamento
RC011	Assegurar a retirada do recipiente por funcionário autorizado	<i>Should have</i>	Sensoriamento
RC012	Detectar a saída do copo do dispensador	<i>Must have</i>	Sensoriamento
RC013	Detectar falhas de sensores no módulo de medição	<i>Should have</i>	Sensoriamento
RC014	Assegurar o abastecimento dos estoques por funcionário autorizado	<i>Must have</i>	Sensoriamento
RC015	Detecção de funcionário autorizado por autenticação física	<i>Must have</i>	Sensoriamento
RC016	Armazenar dados locais na central de dados	<i>Must have</i>	Comunicação
RC017	Haver um sistema embarcado na central de controle	<i>Must have</i>	Comunicação
RC018	Processar dados dos módulos de medição pela central	<i>Must have</i>	Comunicação
RC019	A central de controle deve funcionar de forma desconectada da internet	<i>Must have</i>	Comunicação
RC020	Comunicar a central de controle com o módulo de visualização	<i>Must have</i>	Comunicação
RC021	Comunicar a central de controle com os módulos de medição	<i>Must have</i>	Comunicação
RC022	Comunicar a central de controle com os atuadores	<i>Must have</i>	Comunicação
RC023	Comunicar a central de controle com a central de dados (<i>back-end</i>)	<i>Must have</i>	Comunicação
RC024	Assegurar a seleção correta do medicamento no estoque a partir dos dados cadastrados no <i>back-end</i>	<i>Must have</i>	Comunicação
RC025	Detectar falhas de comunicação no módulo de medição	<i>Should have</i>	Comunicação
RC026	Controlar o transporte do recipiente	<i>Must have</i>	Controle
RC027	Controlar os atuadores	<i>Must have</i>	Controle
RC028	Controlar o trancamento da porta com acesso ao estoque	<i>Must have</i>	Controle
RC029	Controlar o trancamento da porta de saída do copo no dispensador	<i>Must have</i>	Controle
RC030	Controlar a temperatura interna	<i>Should have</i>	Controle

3.2.3 Requisitos Energéticos

Os requisitos referentes a parte energética do projeto são deliberados na Tab. 4.

Tabela 4 – Requisitos Energéticos

ID	Requisito	Prioridade	Ambiente
RA001	Fornecer a energia necessária para os componentes eletrônicos e para os atuadores	<i>Must have</i>	Fonte de alimentação principal
RA002	Atender os critérios de eficiência energética e segurança do produto	<i>Must have</i>	Fonte de alimentação principal
RA003	Ser provido de um sistema de backup quando houver a interrupção do fluxo de energia da fonte principal	<i>Must have</i>	Fonte de alimentação secundária
RA004	Garantir uma operação versátil e eficaz do movimento mecânico da estrutura dos compartimentos dos medicamentos sólidos	<i>Must have</i>	Sistema eletromecânico
RA005	Garantir uma operação eficaz para a abertura e fechamento das comportas	<i>Must have</i>	Sistema eletromecânico
RA006	Garantir a alimentação adequada para o funcionamento do atuador elétrico linear	<i>Must have</i>	Fonte de alimentação principal
RA007	Acionar o mecanismo de locomoção do recipiente com a dose medicamentosa	<i>Must have</i>	Sistema eletromecânico

3.2.4 Requisitos de Software

Os requisitos referentes à solução em software são deliberados na Tab. 5.

Tabela 5 – Requisitos de Software

ID	Requisito	Prioridade	Ambiente
RS001	Cadastrar o administrador do sistema	<i>Must have</i>	<i>Front-end/Spring</i>
RS002	Cadastrar um enfermeiro e suas respectivas informações como nome completo, sexo, idade, etc.	<i>Must have</i>	<i>Front-end/Spring</i>
RS003	Cadastrar um paciente e suas respectivas informações como nome completo, sexo, idade, etc.	<i>Must have</i>	<i>Front-end/Spring</i>
RS004	Cadastrar receita médica e suas respectivas especificações	<i>Must have</i>	<i>Front-end/Spring</i>
RS005	Cadastrar medicamento e suas respectivas informações, como nome, <i>tag</i> , lote, validade, etc.	<i>Must have</i>	<i>Front-end/Spring</i>
RS006	Capturar informações do banco de dados para criação do histórico de medicação do paciente	<i>Must have</i>	<i>Spring</i>
RS007	Exibir histórico de medicação do paciente	<i>Must have</i>	<i>Front-end/Spring</i>

ID	Requisito	Prioridade	Ambiente
RS008	Alertar o enfermeiro em relação a medicação de um paciente	<i>Must have</i>	<i>Front-end/Back-end</i>
RS09	Alertar o enfermeiro quando a medicação de algum dos pacientes assistidos por ele estiver próxima de esgotar	<i>Must have</i>	<i>Front-end/Spring</i>
RS010	Comunicar com o dispensador com protocolos MQTT e/ou HTTP	<i>Must have</i>	<i>Spring</i>
RS011	Autenticar login entre perfis separados (administrador, enfermeiro(a))	<i>Should have</i>	<i>Front-end/Back-end</i>
RS012	Exibir tela para que o enfermeiro confirme se o paciente recebeu a medicação ou não	<i>Must have</i>	<i>Front-end/Back-end</i>
RS013	Exibir dados cadastrais dos perfis existentes	<i>Must-have</i>	<i>Front-end/Back-end</i>
RS014	Atualizar dados cadastrais do perfis existentes	<i>Must have</i>	<i>Front-end/Back-end</i>
RS015	Remover logicamente usuários existentes quando for necessário	<i>Must-have</i>	<i>Front-end/Back-end</i>

4 Solução Geral

4.1 Escopo

O projeto *PillWatcher* consiste na construção de um dispensador automático de medicamentos sólidos, o qual terá a função de armazenar e realizar a separação da dose medicamentosa individual nos horários pré-estabelecidos pelo médico. Além do mais, o projeto possuirá uma aplicação *mobile* e um conjunto de microsserviços únicos com o servidor de gerenciamento da interface com o usuário e o gerenciamento da coleta de dados.

Existirá a comunicação entre o dispositivo e o aplicativo, uma vez que este será elaborado para realizar o cadastro de enfermeiros, pacientes e medicamentos, além de enviar avisos quando se aproxima do horário da medicação. O aplicativo informará a quantidade de todos os medicamentos, avisando a reposição quando necessária.

Assim, para realizar a adição dos remédios no dispositivo, é necessário retirar os medicamentos sólidos da embalagem, blister ou frasco, seguindo um protocolo rígido de higiene com a utilização de equipamentos de proteção individual (EPIs), e despejá-los separadamente por lote e validade em cada contêiner correspondente.

O compartimento superior do dispositivo contará com entradas para realizar o abastecimento de medicamentos no estoque de contêineres. Enquanto que, no compartimento frontal, existirá uma saída para a retirada dos recipientes com a medicação correta para cada paciente. Entretanto, é necessária uma autenticação do corpo técnico de médicos, enfermeiros e cuidadores das clínicas geriátricas para permitir o acesso a esses compartimentos.

Visando uma melhor compreensão do projeto, foram elaboradas soluções particulares de cada área do projeto, a fim de garantir a elaboração correta do produto final.

4.2 Lista É/ Não É

A Lista É/ Não É que define o projeto *PillWatcher* encontra-se no apêndice [C](#).

4.3 Rich Picture

Os *Rich Pictures* são modelos que permitem a análise de problemas e a expressão de ideias. O *Rich Picture* auxilia na compreensão da complexidade do ambiente no qual a aplicação de desenvolvimento está operando, e consequentemente fornece uma visão geral do problema a ser resolvido.

4.3.1 Comunicação Entre Componentes

Na Fig. 1 é apresentado o fluxo de interação entre os componentes de software e os componentes eletrônicos que serão inseridos no desenvolvimento do dispensador, bem como a especificação da interação entre os módulos de *Front-end* e *Back-end* na aplicação e sua comunicação com o banco de dados.

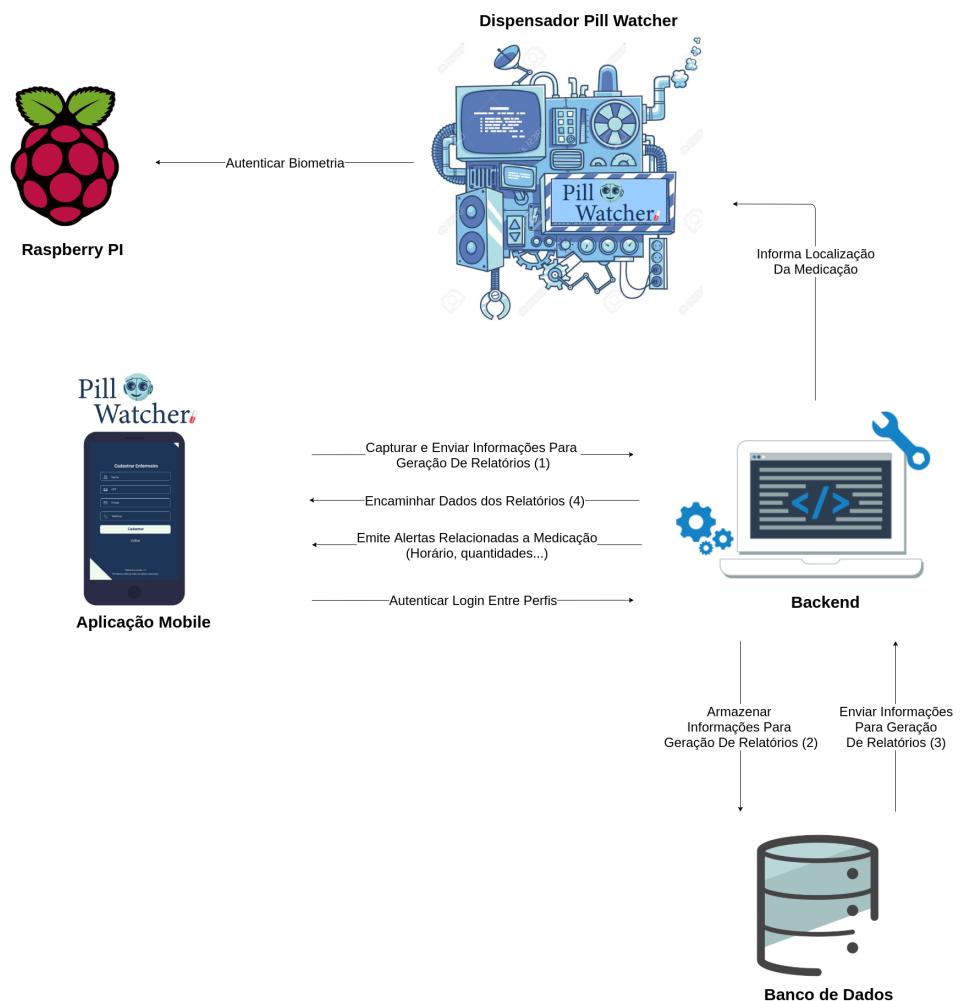


Figura 1 – Comunicação entre componentes de software e eletrônicos

4.3.2 Comunicação Entre Entidades e Solução de Software

No esquema seguinte, apresentado na Fig. 2, é demonstrado os relacionamentos entre os usuários envolvidos e a aplicação, bem como suas principais funcionalidades implementadas.

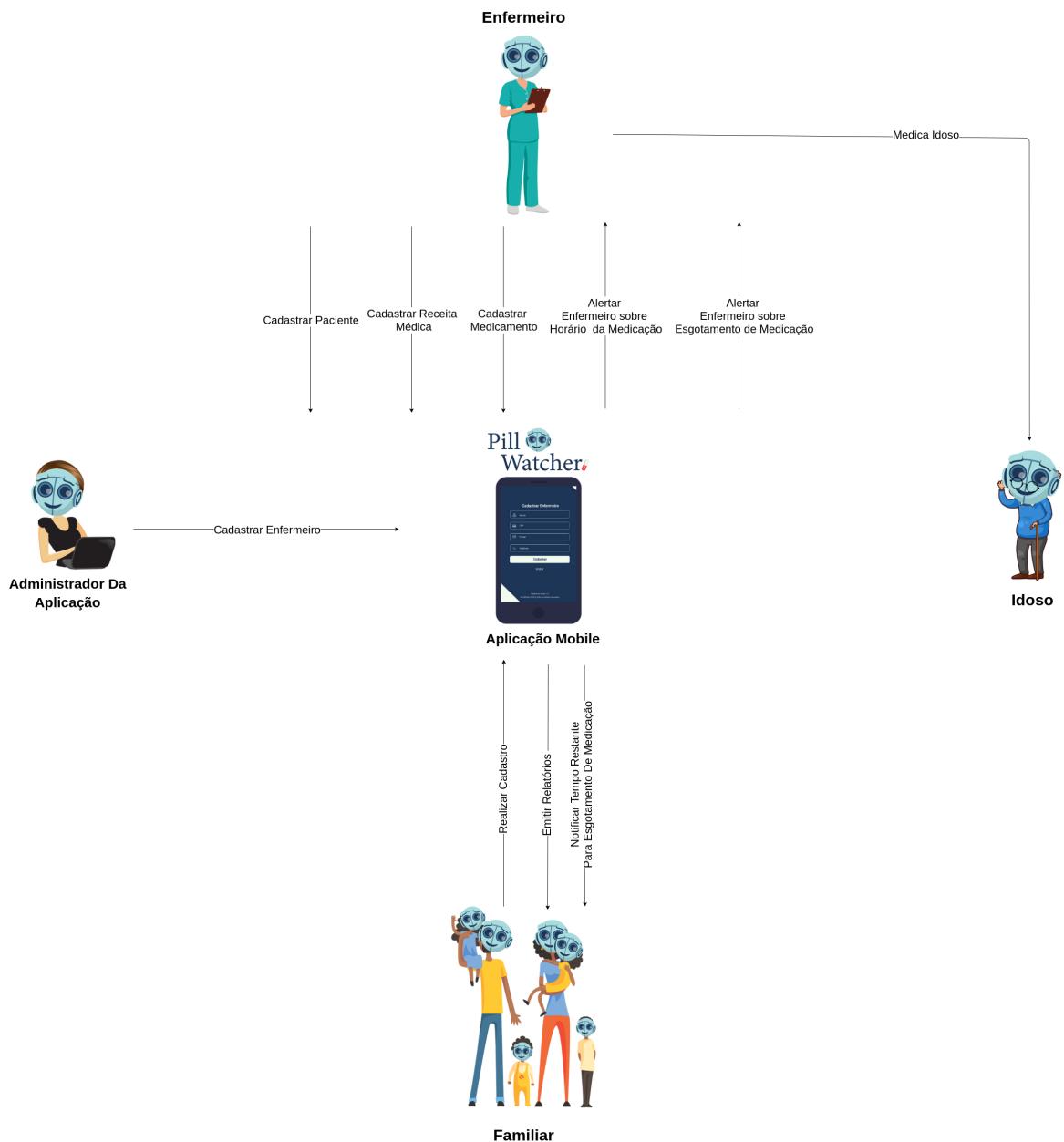


Figura 2 – Comunicação entre Entidades e Solução de Software

5 Solução Estrutural

A proposta de solução estrutural compreende uma estrutura tubular que serve como âncora para os outros subsistemas, sejam eles estruturais ou de outras áreas. Além disso, a estrutura deve inibir a entrada de agentes externos indesejados no interior do projeto e o perfeito acoplamento de subsistemas de motorização e controle, proporcionando um ótimo manuseio por parte do usuário, boa conformidade dos componentes internos e linearidade da entrega dos comprimidos, desde o início do processo até a chegada ao usuário, além de fácil manutenção, quando necessária.

5.1 Descrição dos componentes da Estrutura

A seguir, estão descritos os componentes estruturais enumerados na Fig. 3. Alguns componentes serão ocultados para melhor representação dos demais.

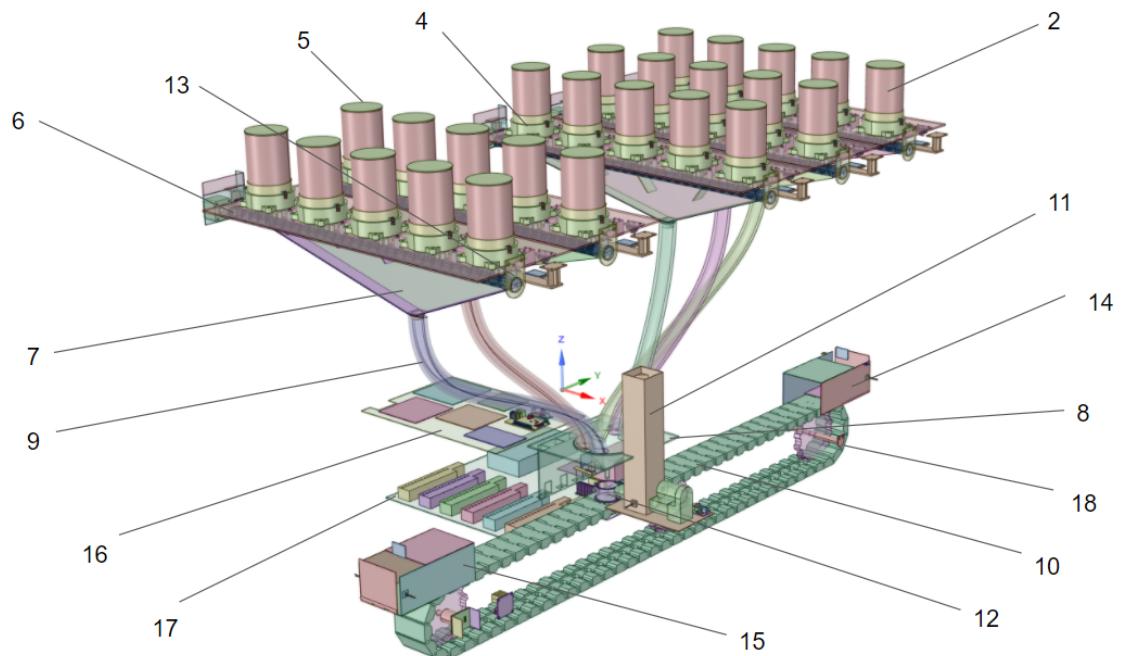


Figura 3 – Descrição dos componentes da estrutura global

1. Estrutura principal: responsável pela proteção dos demais subsistemas, pelo suporte a esforços físicos e condições adversas de temperatura, pressão e umidade, além de impedir que o usuário entre em contato com os medicamentos, sem autorização. A estrutura será constituída de:

a. Tubos de perfil quadrado: Conjunto de tubos perfil quadrado, em formato de gaiola estrutural, o qual proporciona resistência estática e sustentação global das estruturas e de seus sistemas, assim como pontos de ancoragem e referência no projeto. Todos as dimensões, localização e disposições, assim como o perfil utilizado, são apresentadas em seu desenho técnico na Fig. 127.

- Material: Aço carbono SAE 1020.

b. Chapas da Carcaça: Estrutura composta de chapas de alumínio, que envelopam a estrutura tubular, inibindo a entrada de agentes externos indesejáveis e auxiliando na resistência da estrutura, além de ancorar as dobradiças e componentes eletrônicos. As dimensões dessa estrutura estão apresentadas em seu desenho técnico na Fig. 128.

- Material das Chapas: Alumínio.

c. Mancais de suporte dos fusos: Os mancais serão utilizados para ancorar os rolamentos dos fusos, na medida que é necessário o uso de rolamentos para apoio e liberdade de rotação dos fusos. Para tanto, um rolamento rígido de esferas é ideal, na medida que a rotação do fuso é de baixa intensidade e a carga de apoio não é muito elevada. O rolamento escolhido foi o **SKF W 61705**, por apresentar dimensões satisfatórias para o projeto. Suas dimensões são apresentadas em seus desenhos técnicos nas Fig. 145 e Fig. 169.

- Material: Aço carbono SAE 1020.
- Diâmetro interno do rolamento: 25 mm.
- Diâmetro externo do rolamento: 32 mm.
- Largura do rolamento: 4 mm.
- Tipo de rolamento: **SKF W 61705**.

d. Suporte do atuador linear: Chapas de aço utilizadas para suporte estrutural tanto do atuador linear quanto do repositório de copos, ancoradas à estrutura tubular no plano perpendicular à esteira. Suas dimensões estão explicitadas no desenho técnico da Fig. 160.

- Material: Aço Carbono SAE 1020.

e. Engrenagens da esteira: Utilizadas para suportar e atribuir a dinamicidade de locomoção da esteira. As dimensões das engrenagens são comerciais pelo próprio fabricante da esteira, e estão apresentadas no desenho técnico na Fig. 158.

– Material: *Nylon 6.6*.

f. Estrutura de suporte para os motores de passo: Estrutura em formato de chapa, que serve de ancoragem dos motores de passo na estrutura, assim como dos *Drivers* dos motores. Suas dimensões estão especificadas no desenho técnico na Fig. 144.

– Material: Aço carbono SAE 1020.

g. Estrutura de suporte para o motor DC: Estrutura em formato de chapa, utilizada para ancoragem do motor DC no plano paralelo às engrenagens da esteira. As dimensões desse suporte são apresentadas em seu desenho técnico na Fig. 159.

– Material: Aço carbono SAE 1020.

2. Contêiner de medicamentos: Estrutura responsável pelo abrigo e preservação dos remédios inseridos na máquina. A especificação de cada componente é apresentada abaixo, e os desenhos técnicos de cada um estão apresentados no apêndice E.

a. Rampa seletora: Estrutura em formato circular com centro coincidente com o do contêiner, com um domo em formato de calota esférica no topo para que os remédios sejam direcionados às extremidades do contêiner. A rampa tem formato de cunha e é solidária ao domo. Com o movimento rotativo transmitido da engrenagem por meio de um eixo cilíndrico de extremidade hexagonal que se liga à porção inferior do domo, a estrutura de cunha com função de rampa rotaciona e empurra o comprimido para a plataforma de seleção. Seu desenho técnico está apresentado na Fig. 132.

– Material: Polipropileno Homopolímero.

b. Plataforma de seleção: Peça cilíndrica posicionada abaixo da rampa seletora e fixada ao compartimento inferior por meio de parafusos. Na sua extremidade está localizado o furo retangular responsável pela seleção dos remédios do contêiner para transporte. As extremidades do furo são chanfradas e atuam como facilitadores para a descida dos remédios. No seu centro, há um furo com um rolamento inserido e pelo qual passa a

porção cilíndrica do eixo que movimenta a rampa seletora. A plataforma de seleção não apresenta movimento rotativo. O rolamento do centro é um rolamento de rolos de agulhas com anéis usinados e um anel interno. Optou-se pelo uso de um rolamento porque as superfícies da plataforma e do eixo estariam sempre em contato e seu desgaste poderia liberar partículas dentro do contêiner, da mesma maneira, o uso de lubrificantes poderia contaminar os medicamentos. Os rolos de agulhas foram escolhidos por sua montagem compacta e considerando que este rolamento não servirá de apoio, portanto o único fator limitante é a rotação à qual ele será submetido. Um rolamento aplicável é o modelo **NKI 20/16 com diâmetro** (d) interno de 20 mm, espessura (B) de 16 mm e diâmetro externo (D) de 32 mm. As dimensões dessa estrutura são explicitadas em seu desenho técnico na Fig. 134.

– Material: Polipropileno Homopolímero.

c. Engrenagem com eixo: Engrenagem helicoidal fabricada em peça única com um eixo escalonado em uma porção cilíndrica e uma extremidade com formato de prisma hexagonal que se encaixa à porção inferior do domo da rampa seletora. Na sua parte inferior, há um furo para o seu suporte. A porção cilíndrica tem diâmetro maior que a porção hexagonal, desta maneira, ela é inserida pelo fundo da montagem, através da base do compartimento inferior e da plataforma de seleção (cujo rolamento permite que a plataforma permaneça estática enquanto a rampa seletora se movimenta) e encaixada à rampa seletora. O movimento radial da engrenagem provém de um fuso, cujo eixo é perpendicular ao eixo da engrenagem, instalado solidário a um motor de passo. O desenho técnico da engrenagem se apresenta na Fig. 133.

Além da engrenagem, seu conjunto possui ainda uma arruela e um rolamento interno, explicitados em seus desenhos técnicos: a arruela de proteção está na Fig. 131 e o rolamento interno na Fig. 135.

– Material: *Nylon 6.6*.

d. Compartimento inferior: Compartimento que funciona de base para a montagem do contêiner. Nele é fixada a plataforma de seleção e a parede cilíndrica do contêiner. Sua porção inferior possui dois furos, um central pelo qual o eixo da engrenagem passa e um na extremidade radial para a seleção do medicamento armazenado. Ele apresenta um pequeno macho de rosca na sua lateral para que ele se encaixe com um pequeno giro à base que sustenta cada fileira de contêineres, de forma semelhante ao que ocorre com

o copo de um liquidificador. As dimensões desse componente são apresentadas em seu desenho técnico na Fig. 129.

– Material: Polipropileno Homopolímero.

e. Suporte da Engrenagem: Pequena chapa retangular com extremidades arredondadas. Em seu centro há um pino que recebe uma arruela e se encaixa à porção inferior da engrenagem. Em cada uma das extremidades projeta-se um tubo pelos quais são passados os parafusos de fixação do suporte, estes se prendem à mesa de apoio utilizando uma porca. As dimensões deste suporte são apresentadas no desenho técnico da Fig. 136.

– Material: Polipropileno Homopolímero.

f. Parede cilíndrica: Chapa de pequena espessura feita de aço inoxidável curvada e soldada ou conformada mecanicamente até formar um cilindro. Encaixa-se no compartimento inferior em uma porção vazada da sua região superior. Em cima dessa estrutura, é encaixada uma tampa para garantir o melhor isolamento possível do contêiner. As dimensões do cilindro são apresentadas no desenho técnico da Fig. 130.

– Material da parede cilíndrica: Aço inoxidável SAE 304.

3. Comporta do solenoide: Pequena chapa de material polimérico e formato semelhante a um trapézio com as bases arredondadas e uma estrutura triangular de suporte. Posiciona-se na extremidade inferior do contêiner, abaixo do compartimento inferior e encontra-se normalmente fechada. Está fixada por parafuso a um solenoide com retorno por mola e recua quando necessária a liberação de um medicamento. O solenoide é apafusado à mesa de apoio. As dimensões desse componente estão explicitadas em seu desenho técnico da Fig. 138.

– Material: Polipropileno Homopolímero.

4. Base conectora do contêiner: Unida mecanicamente por quatro parafusos à mesa de apoio, possui um furo com rosca fêmea para o encaixe do compartimento inferior do contêiner, impedindo tanto seu movimento axial quanto radial. As dimensões dessa estrutura são apresentadas no desenho técnico da Fig. 139.

– Material: Polipropileno Homopolímero.

5. Tampa de vedação: Componente cujo objetivo é de vedação da parte superior do cilindro dos contêineres, evitando a entrada de ar e outros agentes externos em contato direto com os comprimidos. As dimensões desse componente estão apresentados em seu desenho técnico na Fig. 137.

- Material: Polipropileno Homopolímero.

6. Mesa de apoio: Local responsável por estabelecer a sustentação do suporte e promover local de encaixe para os 25 contêineres, assim como para fixação dos solenoides e de seus *Drivers*. As dimensões dessa estrutura estão apresentadas em seu desenho técnico da Fig. 140.

- Material: Aço carbono SAE 1020.

7. Zona de transição: Região composta por estrutura tubular que se deriva em canaletas, uma por cada subgrupo de 5 contêineres, onde o medicamento será direcionado para a mangueira de silicone, possibilitando seu movimento até o copo especificado. Os desenhos técnicos desses componentes, que compreendem as canaletas, canal de guia e suporte do canal de guia, são apresentados abaixo:

- Canaleta do subgrupo 1 - Fig. 146.
- Canaleta do subgrupo 2 - Fig. 147.
- Canaleta do subgrupo 3 - Fig. 148.
- Canaleta do subgrupo 4 - Fig. 149.
- Canaleta do subgrupo 5 - Fig. 150.
- Canal de guia - Fig. 141.
- Suporte do canal de guia - Fig. 142.
- Material do suporte do canal de guia: Alumínio.
- Material dos demais componentes: Polipropileno Homopolímero.

8. Funil de saída: Objeto afunilado que será o ponto de término dos comprimidos após a saída das mangueiras de silicone, depositando-os dentro do copo, na posição inicial. Suas dimensões são apresentadas em seu desenho técnico da Fig. 156.

- Material do Funil: Alumínio.

9. Mangueiras de Silicone: Mangueiras que funcionam como dutos de orientação dos medicamentos até seu destino final, o funil de despejo nos copos. As dimensões dessas estruturas são explicitadas em seus desenhos técnicos:

- Mangueira do Subgrupo 1 - Fig. 151.
- Mangueira do Subgrupo 2 - Fig. 152.
- Mangueira do Subgrupo 3 - Fig. 153.
- Mangueira do Subgrupo 4 - Fig. 154.
- Mangueira do Subgrupo 5 - Fig. 155.
- Material das mangueiras: Silicone.

10. Esteira: Objeto utilizado para fazer o transporte do recipiente com os medicamentos selecionados para o compartimento frontal ou traseiro da estrutura. Essa estrutura é formada por pequenas plataformas de acetal, interligadas por pinos de aço inoxidável, com suas dimensões especificadas em seu desenho técnico, disposto na Fig. 157

- Material dos módulos da esteira: Acetal.
- Material dos pinos: Aço Inox AISI 304.
- Peso linear da plataforma com pinos: Aproximadamente 1 kg/m.

11. Reservatório de copos: Local responsável por armazenar os copos responsáveis para deposição dos medicamentos. Essa estrutura está localizada em um plano adjacente a esteira, e há uma limitação por cantoneiras circulares internamente, para que não haja movimento dos copos dentro da estrutura. As dimensões dessa estrutura são especificadas em seu desenho técnico na Fig. 160.

- Material: Aço carbono SAE 1020.

12. Copo dos medicamentos: Recipiente responsável por resguardar os medicamentos selecionados pela Central de Comando, que passaram pela Zona de Transição e são depositados sobre o mesmo, na posição inicial de despejo. Suas dimensões são explicitadas no desenho técnico, compreendido na Fig. 161.

- Material: Polipropileno Homopolímero.

13. Fuso de acoplamento: Estrutura em formato de parafuso sem-fim com coincidência central no eixo dos motores de passo de cada subgrupo, e suportado por meio de um rolamento rígido de esferas, dentro de um mancal de suporte, oposto ao motor de passo. As dimensões do fuso são especificadas no desenho técnico da Fig. 143.

- Material: *Nylon 6.6*.

14. Compartimento traseiro: Área onde será efetuada a retirada dos recipientes com medicação extra (com falhas), ou em falta, pelo usuário. Ela é composta tanto pela Zona de retorno quanto pela porta de saída de retorno. As dimensões desses elementos são apresentadas em seus desenhos técnicos nas Fig. 162 e Fig. 164.

- Material: Aço carbono SAE 1020.

15. Compartimento frontal: Área onde será efetuada a retirada dos recipientes com medicação correta pelo usuário. Essa região é composta pela área de espera e pela porta de saída correta. As dimensões desses elementos são apresentadas nas Fig. 162 e Fig. 163.

- Material: Aço carbono SAE 1020.

16. Centro de comunicação das PCBs: Chapa utilizada para ancoragem e organização das PCBs, assim como da *Raspberry*. Seu desenho técnico, possuindo a fixação de cada componente, está explicitado na Fig. 165.

- Material: Polipropileno Homopolímero.

17. Centro de alimentação: Chapa utilizada para ancoragem e disposição dos componentes energéticos, compreendendo bateria, fonte chaveada, PCBs e *bornes*. O desenho técnico dessa estrutura se encontra na Fig. 167.

- Material: Polipropileno Homopolímero.

18. Eixos de suporte da esteira: Eixos solidários às engrenagens de sustentação da esteira, ancorados por mancais nos tubos paralelos à esteira. O desenho técnico dessa estrutura está apresentado na Fig. 166.

- Material: *Nylon 6.6*.

19. Suporte dos interruptores: Estrutura composta por chapas que funcionam como *housing* dos interruptores na estrutura. O desenho técnico é disposto na Fig. 168

- Material: Aço carbono SAE 1020.

5.2 Desenhos técnicos

Os desenhos técnicos da estrutura e seus componentes estão disponíveis no apêndice E.

5.3 Dinâmica de operação

Após identificados os componentes do sistema, temos a exemplificação de seu funcionamento, feita preliminarmente via o fluxograma da Fig. 4.

O processo é iniciado:

1. Inserção de dados feita pelo enfermeiro do usuário e a respectiva entrada dos medicamentos no contêiner.
2. Determinação da posição dos contêineres dos medicamentos pela central de controle.
3. Envio do sinal para liberar a medicação por demanda.

O conjunto abaixo entraria em ação após execução da etapa 3:

4. Acionamento do micro atuador linear por demanda da central de comando.
5. Posicionamento do copo no local de deposição dos medicamentos e o recipiente adjacente (próximo copo) assume a posição inicial após o retorno do atuador linear para a posição de repouso.
6. Pausa até a verificação de funcionamento dos motores de passo ser concluída.

Enquanto a movimentação do copo pela esteira se conclui, a ação do sistema de seleção tem início:

7. Verificação da presença de medicamentos na região intermediária do sistema (anterior à comporta).

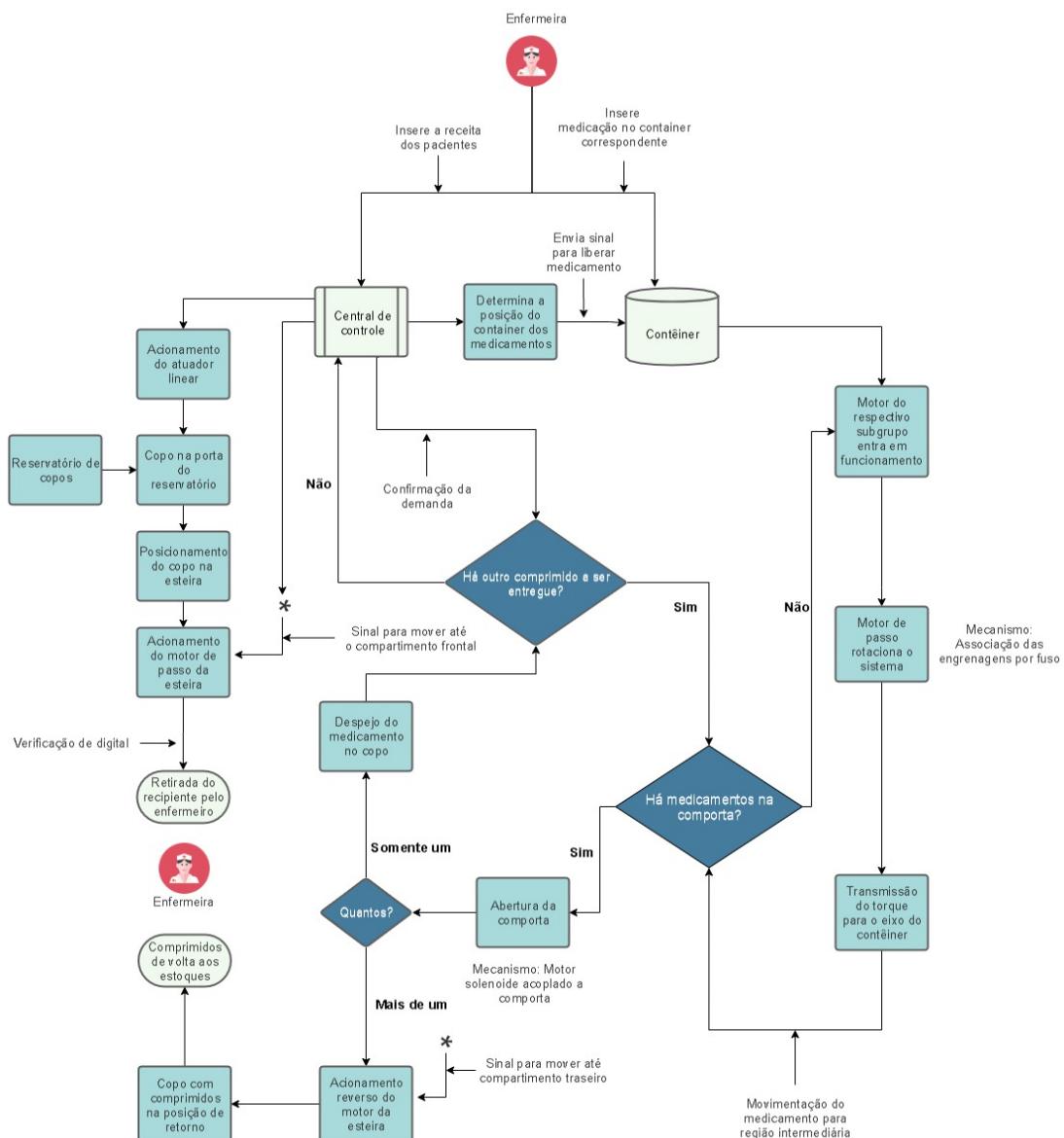


Figura 4 – Fluxograma de operação do Sistema Mecânico

8. Abertura da comporta do contêiner por motor solenoide.
9. Verificação da quantidade de comprimidos despejados pelo sistema no recipiente do usuário (copo).

Caso não seja detectada a presença do medicamento na região intermediária (parte anterior à comporta), a sequência ocorre:

10. Início da operação do motor do subgrupo do contêiner selecionado.

11. Motor de passo rotaciona o fuso.

12. Transmissão do torque para os eixos dos contêineres por meio de engrenagens helicoidais.
13. Posicionamento do remédio na plataforma de seleção do contêiner.
14. Abertura da comporta do contêiner por motor solenoide.
15. Checagem de sensores da queda dos medicamentos para repetição ou fim do ciclo de rotação.
16. Verificação da quantidade de comprimidos despejados pelo sistema no recipiente do usuário (copo).
17. Repetição do ciclo a partir da etapa 7 até que todos os comprimidos selecionados sejam entregues.

Durante o processo de escolha dos medicamentos do paciente, a verificação irá traduzir na atuação da esteira como segue:

- 18a. A medicação é verificada e não há erros detectados pelos sensores.
- 19a. Acionamento do motor de passo da esteira no sentido usual.
- 20a. Operação da esteira até local de retirada do enfermeiro.
- 21a. Verificação de digital e abertura do compartimento frontal.

Caso seja identificada alguma falha:

- 18b. A medicação é verificada e erros são encontrados pelos sensores.
- 19b. Acionamento reverso do motor da esteira.
- 20b. Operação da esteira até o compartimento traseiro.
- 21b. Despejo do copo no compartimento traseiro.
- 22b. Medicação extra preparada para remoção pelo enfermeiro.

5.4 Escolha de Materiais

No desenvolvimento de tecnologias médicas, a escolha dos materiais assume um papel de suma importância pois, nestes casos, os materiais deverão atender não somente requisitos de engenharia estrutural, mas também aos protocolos de segurança da saúde ([GROUP, 2019](#)).

Com o aumento das restrições de projeto, há uma diminuição da quantidade de materiais disponíveis para atender a solução de forma coesa e responsável. Os materiais apresentados a seguir tiveram sua escolha baseada em três segmentos gerais: segurança sanitária, propriedades de engenharia e custos.

• Aço Inoxidável 304

O tipo de aço inox escolhido pertence a família dos austeníticos, o que significa que ele é composto basicamente por: ferro; cromo e níquel. Temos assim, a garantia de uma alta resistência à oxidação, corrosão, boa conformabilidade e boa soldabilidade ([ASKELAND; WRIGHT, 2019](#)). Além das vantagens já apresentadas, o aço Inox 304 possui características essenciais para o setor da saúde:

- Superfície não porosa, o que proporciona uma diminuição do risco de contaminação por bactérias e vírus;
- Resistente a produtos químicos;
- Fácil higienização;
- Material não magnético;
- Resistente ao Calor;
- Reciclável.

Tabela 6 – Propriedades do Aço Inox 304 ([ASKELAND; WRIGHT, 2019](#))

Aço	%C	%Cr	%Ni	Limite de Resistência à Tração[MPa]	Limite de Escoamento [MPa]	Alongamento [%]	Massa Específica [kg/m ³]
Inox 304	0,08	0,19	0,10	517	207	30	8030

• Aço-carbono 1020

O material em questão foi escolhido por apresentar características técnicas e orçamentárias que contribuem para o sucesso do projeto. Segundo ([SEIDEL, 2016](#)), a quantidade de cementita apresentada na metalografia do aço 1020 proporciona ótima resistência

à tração e propriedades mecânicas para as mais diversas aplicações industriais. Serão utilizados tanto aço de classificação SAE como da classificação AISI, não por requisitos estruturais, mas pela disponibilidade no mercado e pelo escopo de custos do projeto. Seguem os fatores responsáveis pela escolha do aço-carbono 1020:

- Boa conformabilidade;
- Boa soldabilidade;
- Custo-benefício.

Tabela 7 – Propriedades do Aço 1020 ([ASKELAND; WRIGHT, 2019](#)).

Aço	%C	%Mn	Limite de Resistência à Tração [MPa]	Limite de Escoamento [MPa]	Alongamento [%]	Massa Específica [kg/m³]
Carbono 1020	0,18-0,23	0,30-0,60	450	330	36	7850

• Polipropileno (PP)

A transmissão dos gases, vapores, ou líquidos através dos materiais de embalagem primária, conhecidos como blisters, pode ter um efeito adverso sobre o prazo de validade do medicamento. A permeabilidade do vapor de água ou do oxigênio através do material de embalagem pode constituir um problema se a forma farmacêutica for sensível à hidrólise ou oxidação ([RODRIGUES L. N. C.; FERRAZ, 2007](#)). Ao retirar o remédio da fonte de proteção primária, deve-se atentar aos efeitos físico-químicos consequentes da exposição do mesmo a condições adversas.

Com o intuito de promover uma armazenagem segura da dose medicamentosa, o aspecto de permeabilidade e absorção do material, os quais quantificam o movimento de difusão de pequenas moléculas externas (O_2 , H_2O , CO_2 , CH_4) no material, representam um papel fundamental na escolha do polímero ([CALLISTER, 2016](#)).

Para tanto, pelas características limitantes do presente projeto, foi se escolhido o polipropileno devido aos critérios de:

- Baixo custo;
- Reciclável;
- Comportamento mecânico;
- Comportamento plástico;
- Comportamento dúctil;

- Atoxidade;
- Baixa absorção de umidade (baixa permeabilidade);
- Resistência química;
- Resinas com baixo potencial de contaminação;
- Ótima resistência dielétrica.

Se tratando de um material que será utilizado como componente estrutural da solução, o estudo do comportamento mecânico e suas propriedades devem ser analisados de forma criteriosa. As principais propriedades do polipropileno são apresentadas na Tab. 8.

Tabela 8 – Propriedades do Polipropileno (PP) ([CALLISTER, 2016](#)).

Polímero	Limite de Resistência à Tração [MPa]	Alongamento [%]	Módulo de Elasticidade [GPa]	Massa Específica [kg/m ³]
Polipropileno (PP)	25-40	150-600	0,90-1,60	900

Disponível comercialmente em diversas formas, o PP ideal para aplicação neste projeto é na forma de homopolímero (PP-HOMO), pois além de todas as características desejadas, também permite limpeza com detergentes e possibilidade de esterilização a vapor. Uma alternativa é a utilização de copolímeros de polipropileno de aplicação médica como o *Purell* ([HMC POLYMERS, 2020](#)).

• Nylon 6.6 (Poliamida PA 6,6)

A escolha do *Nylon* para o projeto se deu pela sua facilidade de manipulação e custo operacional. Segundo ([BESKO; BILYK; SIEBEN, 2017](#)), o *Nylon* é um plástico de baixo custo, forte, leve e flexível, que possui propriedades como estabilidade dimensional, boa resistência ao impacto sem entalhe e excelente resistência química. Ele é muito utilizado tanto para Impressão 3D de componentes, como para extrusão, injeção e até mesmo usinagem de peças.

Tabela 9 – Propriedades do *Nylon* 6.6 (PA 6,6) ([SWALLOWE, 1999](#)).

Polímero	Limite de Resistência à Tração [MPa]	Alongamento [%]	Módulo de Elasticidade [GPa]	Massa Específica [kg/m ³]
<i>Nylon</i> 6.6	80-84	60-300	1,80-3,30	1140

- **Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS)**

O ABS é um copolímero utilizado na impressão 3D que traz um alto grau de detalhamento para as peças. Segundo (BESKO; BILYK; SIEBEN, 2017), o ABS é superior ao PLA em relação à propriedades mecânicas, é durável, forte e é considerado leve. Suporta altas temperaturas e é um dos termoplásticos mais baratos no mercado de filamentos.

Ele foi utilizado para a cotação dos valores de impressão 3D de um protótipo do produto final, uma vez que suas condições de processamento em impressão são mais próximas do Polipropileno e do *Nylon* que outros materiais usuais, como PLA e PETG.

- **Silicone**

O silicone também possui papel fundamental neste projeto, pela sua alta maleabilidade de uso. Segundo (ISENMANN, 2018), o silicone é utilizado para resistir a altas temperaturas, resistência às intempéries, biocompatibilidade, além de alta estabilidade, baixa tensão superficial e falta de toxicidade, o que permite sua utilização com medicamentos.

5.5 Processos de Fabricação

- **Estrutura principal tubular**

O aço carbono SAE 1020 apresenta boa soldabilidade e faz com que a estrutura tubular possa ser fabricada por processos simples de corte, desbaste e soldagem MIG, que apresenta boa relação entre resistência, facilidade de execução, acabamento e custo, quando comparada aos processos de eletrodo revestido e TIG.

A base tem seus tubos cortados em ângulos de 45°, unidos por solda, desbastada até que as faces fiquem homogêneas. Os tubos verticais recebem cortes em ângulos retos nas suas extremidades e unidos à base por soldagem em volta do seu perímetro. Os tubos horizontais da região central seriam unidos pelo seu perímetro às laterais dos tubos verticais. Os tubos do topo seriam unidos de forma análoga ao processo da base. As indicações de solda da estrutura tubular estão dispostas em seu desenho técnico, apresentado na Fig.127.

Ainda por soldagem, serão unidas as abas de fixação dos demais componentes estruturais, eletrônicos e de acabamento externo. Após a inspeção do resultado, a estrutura tubular, e seus apêndices, passaria por um processo de lixamento, aplicação de fundo anti-corrosão e pintura.

- **Mancais de suporte dos fusos**

Necessitam ter a espessura do rolamento que vai ser montado neles somada à espessura de um batente. Assim, é preciso realizar o corte de uma placa de espessura adequada, provavelmente a plasma, laser ou jato d'água. A placa cortada então teria seu centro usinado em um torno de bancada com as medidas corretas para a montagem por interferência do rolamento. Por fim, seria realizada a furação para a fixação na estrutura principal.

- **Suporte do atuador linear do recipiente de copos**

Produzido em chapas de aço carbono SAE 1020 cortadas e soldadas por solda MIG na geometria apresentada com furações para a fixação do atuador.

- **Suporte da esteira**

Usinagem de um tarugo de *Nylon* 6.6 com chaveta para encaixe na engrenagem da esteira fabricada comercialmente.

- **Suporte dos motores de passo**

Chapa de aço carbono SAE 1020 cortada e furada para permitir a fixação por parafusos do motor de passo. Esse suporte é uma aba soldada por solda MIG na estrutura principal. A indicação de solda desse componente está apresentada na Fig. 171, em acordo com a norma NBR 7165.

- **Suporte do motor DC da esteira**

Produzido em chapas de aço carbono SAE 1020 cortadas e soldadas em solda MIG na geometria apresentada com furações para a fixação do atuador. A indicação da solda desse componente se encontra na Fig. 172, em acordo com a norma NBR 7165.

- **Componentes poliméricos do contêiner**

Os seguintes componentes seriam produzidos por impressão 3D com filamento de Polipropileno Homopolímero (PP-HOMO) para a manufatura do protótipo, uma vez que entram em contato direto com os medicamentos. Para uma produção em escala, o ideal é que sejam produzidos por injeção em molde fechado.

- Rampa seletora;
- Plataforma de seleção;

- Compartimento inferior;
- Comporta do solenoide;
- Tampa;
- Base para fixação do contêiner.

• Parede cilíndrica do contêiner

Encaixada no compartimento inferior do contêiner, é produzida em uma chapa cortada de aço inox 304 de baixa espessura. A baixa espessura permite que o processo de curvatura seja feito manualmente ou sobre um molde com as dimensões finais, sem a necessidade do processo de calandragem.

A união das extremidades da chapa seria feita por soldagem TIG, considerado um processo ótimo, uma vez que a composição química do aço inoxidável dificulta a aplicação de outros processos.

• Fuso e Engrenagem com eixo

Produzidos em *Nylon*, muito aplicado em componentes poliméricos de transmissão como engrenagens e parafusos de potência, o fuso e a engrenagem tem diversas opções para a escolha do seus processos produtivos.

A impressão 3D é uma opção, mas enfrenta problemas como o *Nylon* não ser largamente utilizado neste processo, e as grandes dimensões do fuso.

Assim, a usinagem apresenta-se como uma alternativa viável para a manufatura do protótipo. O fuso pode ser usinado em um torno de bancada. A engrenagem pode ser confeccionada com a utilização de um fresadora universal com fresa caracol ou módulo para a confecção dos dentes da engrenagem, um torno para usinagem do eixo cilíndrico, uma fresa topo para o eixo hexagonal e uma furadeira de bancada para abrir o furo do suporte da extremidade oposta.

Em grande escala, o processo de usinagem pode ser substituído por injeção em molde fechado a fim de reduzir custos e aumentar a produtividade.

• Mesa de apoio dos contêineres

Confeccionada em uma chapa de aço carbono SAE 1020, seu formato é obtido por processo de corte. Os furos para fixação podem ser feitos apenas com o uso de uma furadeira, enquanto os furos maiores para os contêineres necessitam da aplicação de uma serra copo.

Depois de finalizada, recebe lixamento, fundo anti-corrosão e pintura. Por fim, as mesas de apoio são soldadas na estrutura tubular, por solda MIG, com suas indicações apresentadas na Fig. 170, em acordo com a norma NBR 7165.

- **Zona de transição dos medicamentos**

Produzida também em impressão 3D em polipropileno, uma vez que estará em contato com os medicamentos. Apesar de suas grandes dimensões, ela pode ser seccionada em partes menores e unida mecânica ou quimicamente após a impressão. Ao contrário do fuso, isso é possível sem maiores prejuízos porque o componente permanece estático.

- **Canaletas**

As cinco canaletas apresentadas serão produzidas de polipropileno, e sua fabricação é feita a partir da utilização de placas de polipropileno, de espessura 1 mm, cortadas nas medidas apresentadas no desenho técnico dessa estrutura (Fig. 146), sendo fixadas por cantoneiras parafusadas.

- **Reservatório de copos**

Confeccionado em uma chapa de aço carbono SAE 1020 de baixa espessura, é submetido aos processos de corte, soldagem MIG e furação para atingir a geometria específica. Depois de pronto, recebe lixamento, fundo anti-corrosão e pintura. As indicações de solda dessa estrutura estão apresentadas na Fig. 179.

- **Copos de medicamentos**

Impressos em 3D, em polipropileno, mas em 10 cores distintas para a diferenciação. Sua produção em grande escala também pode ser substituída pelo processo de injeção em molde fechado.

- **Compartimentos traseiro e frontal**

Chapas de aço carbono SAE 1020 cortadas, dobradas e aparafusadas na estrutura principal para receber os copos com medicamentos para descarte ou entrega.

5.6 Dimensionamento de fuso e engrenagem dos contêineres

Para os dois principais componentes do sistema dinâmico do projeto estrutural, se faz necessário seu dimensionamento, que inclui etapas de decisão de projeto e modelagem teórica. Os tópicos em sequência justificam as escolhas feitas.

5.6.1 Dimensionamento da engrenagem

O dimensionamento da engrenagem se inicia, em primeira instância, pelos requisitos dimensionais da estrutura do contêiner. O diâmetro externo da engrenagem (diâmetro primitivo somado ao adendo) deveria ter uma distância suficiente para não atrapalhar o funcionamento do mecanismo de liberação dos medicamentos, conforme exibido na Fig. 5. O material inicialmente escolhido foi Poliamida PA 6,6 (*Nylon 6.6*), uma vez que estes elementos não entram em contato direto com os medicamentos e suas propriedades mecânicas são de maior interesse.

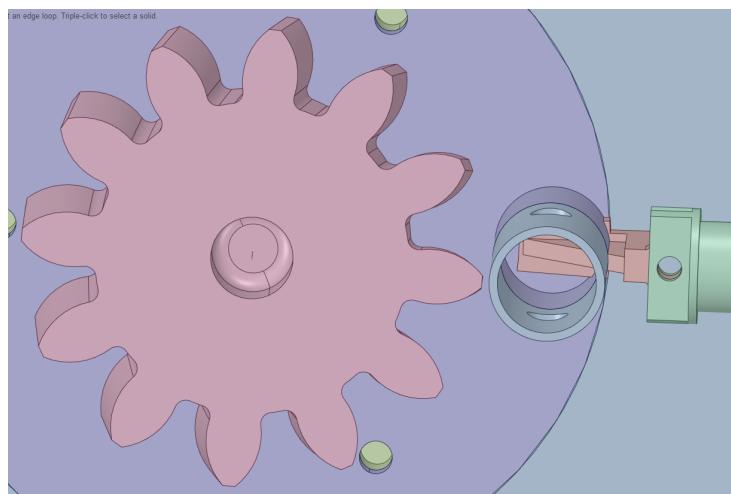


Figura 5 – Porção Inferior do contêiner com um exemplo de engrenagem.

Na engrenagem modelada foi utilizado um ângulo de hélice (ψ) de 20° e um ângulo de pressão (ϕ) também de 20° , além de uma quantidade de dentes (N_G) de 21 dentes e um módulo (M) de 2. A escolha do ângulo de hélice foi baseada nos valores padrão utilizados na indústria. A escolha do ângulo de pressão, além de baseado em valores usuais, foi considerado também seu rendimento de transmissão (η_T) estimado em 85,9% para um coeficiente de atrito $f = 0,05$ entre o par sem-fim. O número de dentes adotado foi de 21 dentes, que seria o mínimo para uma coroa do par sem-fim, para evitar interferência, considerando o ângulo de pressão escolhido. A escolha do módulo (também chamado de módulo aparente ou módulo frontal) foi feita considerando os valores para tamanho de fresa, caso sua manufatura fosse feita por usinagem, e também o diâmetro da engrenagem com base no número de dentes (SHIGLEY; MISCHKE; BUDYNAS, 2005).

As Eq. 5.1 a 5.8 representam as relações dimensionais para engrenagens helicoidais (SHIGLEY; MISCHKE; BUDYNAS, 2005) e foram utilizadas para determinar os outros parâmetros necessários supracitados, afim de determinar a geometria das engrenagens.

$$D_p = N_G \cdot M \quad [\text{mm}] \quad (5.1)$$

$$D_e = D_p + 2 \cdot M \quad [\text{mm}] \quad (5.2)$$

$$p_t = \frac{D_p \cdot \pi}{N_G} \quad [\text{mm}] \quad (5.3)$$

$$p_n = p_t \cdot \cos \psi \quad [\text{mm}] \quad (5.4)$$

$$p_x = \frac{p_t}{\tan \psi} \quad [\text{mm}] \quad (5.5)$$

$$\phi_t = \tan^{-1} \left(\frac{\tan \phi}{\cos \psi} \right) \quad [\text{graus}] \quad (5.6)$$

$$P_t = \frac{N_G}{D_p} \quad [\text{dentes/mm}] \quad (5.7)$$

$$P_n = \frac{P_t}{\cos \psi} \quad [\text{mm}] \quad (5.8)$$

Onde D_p é o diâmetro primitivo, D_e é o diâmetro externo, p_t é o passo circular transversal, p_n é o passo circular normal, é p_x o passo axial além de P_t e P_n serem os passos diametral transversal e normal, respectivamente. ϕ_t é o ângulo de pressão transversal.

Os valores dimensionais calculados para a engrenagem do contêiner, com base nos valores inicialmente estabelecidos, foram:

- $D_p = 42 \text{ mm};$
- $D_e = 46 \text{ mm};$
- $p_t = 5,998 \text{ mm};$
- $p_n = 5,636 \text{ mm};$
- $p_x = 2,183 \text{ mm};$
- $\phi_t = 21,17^\circ;$
- $P_t = 0,5 \text{ dentes/mm};$
- $P_n = 0,532 \text{ mm}.$

É importante salientar que os valores acima com resolução da ordem de três casas decimais não são parâmetros de construção e, por isso, apresentam esta resolução. São parâmetros geométricos decorrentes de escolhas dimensionais e parâmetros de construção, estes sim com resolução menor e menos algarismos significativos.

5.6.2 Dimensionamento do fuso

A definição da geometria da engrenagem foi determinante para o dimensionamento do fuso como um parafuso sem-fim. Sua rosca é esquerda, assim como a da engrenagem e seu passo axial (p_x) é igual ao passo circular da engrenagem (p_t), uma vez que o ângulo entre os eixos de rotação do fuso e da engrenagem é de 90° .

O diâmetro primitivo do fuso (d_W) pode ser escolhido livremente, desde seja o mesmo diâmetro primitivo da fresa caracol usada para cortar os dentes da engrenagem, caindo no intervalo dado pela Eq. 5.9, para evitar interferência durante a operação. Este intervalo foi apontado na literatura e determinado experimentalmente como uma boa prática, onde C é a distância entre o eixo de rotação do sem-fim e da engrenagem. (SHIGLEY; MISCHKE; BUDYNAS, 2005)

$$\frac{C^{0,875}}{3,0} \leq d_W \leq \frac{C^{0,875}}{1,7} \quad [\text{mm}] \quad (5.9)$$

Ou seja, o passo axial do sem-fim deve ser 5,998 mm ou, para fins de construção, aproximadamente 6 mm. E, para o diâmetro primitivo do sem-fim (d_W) neste caso, tomaremos o valor de 19 mm, dentro do intervalo estabelecido por 5.9.

$$L = p_x \cdot N_W \quad [\text{mm}] \quad (5.10)$$

$$\lambda = \tan^{-1} \left(\frac{L}{\pi \cdot d_W} \right) \quad [\text{graus}] \quad (5.11)$$

Assim, utilizando as Eq. 5.10 e 5.11 e considerando um fuso com 4 entradas ($N_W = 4$), ou seja, cada volta do parafuso move 4 dentes da engrenagem, resultando em uma relação 5,25:1 entre fuso e engrenagem. Os parâmetros geométricos de avanço (L) e ângulo de avanço (λ) para o fuso são apresentados a seguir.

- $L = 24 \text{ mm}$
- $\lambda = 21,90^\circ$

Para este valor de λ , o ângulo de pressão (ϕ_n) ideal é de 20° e o adendo e dedendo ideais são de 2,210 mm e 2,210 mm, respectivamente, de acordo com a Tab. 10.

Por fim, podemos realizar a análise de forças no sem-fim, para simular as cargas de operação e obter as tensões por análises de elementos finitos, a fim de que o material se mantenha no regime elástico e evite também a falha por fadiga, considerando a tensão na qual o par de engrenagens será submetido.

Tabela 10 – Ângulos de pressão recomendados e profundidades de dentes para engrenagens sem-fim. Retirado de: (SHIGLEY; MISCHKE; BUDYNAS, 2005)

Ângulo de avanço λ [graus]	Ângulo de pressão ϕ_n [graus]	Adendo a	Dedendo b_G
0-15	14,5	0,3683 p_x	0,3683 p_x
15-30	20	0,3683 p_x	0,3683 p_x
30-35	25	0,2865 p_x	0,3314 p_x
35-40	25	0,2546 p_x	0,2947 p_x
40-45	30	0,2228 p_x	0,2578 p_x

Vamos considerar que o motor de passo opere a uma velocidade de 158 rpm, suficiente para girar o fuso a aproximadamente 30 rpm, considerando a razão de redução de 5,25:1. A potência máxima do motor em questão é de 4,80 W (ou $6,43 \times 10^{-3}$ hp, valor utilizado na Eq. 5.13). Vamos chamar também um eixo paralelo ao eixo de rotação da engrenagem de “z”, um eixo paralelo ao eixo de rotação do sem-fim de “x” e o eixo perpendicular a ambos de “y”.

Começando pela determinação da velocidade no círculo primitivo do par sem-fim (V_W) a partir da Eq. 5.12, onde as medidas são expressas em polegadas e n_W é a velocidade (em rpm) do fuso:

$$V_W = \frac{\pi \cdot d_W \cdot n_W}{12} \quad [\text{in/min}] \quad (5.12)$$

Assim, a velocidade encontrada no círculo primitivo do fuso, convertida para o SI, é 0,157 m/s. Aplicando a equação de potência (Eq. 5.13), onde H é a potência transmitida pelo fuso em hp e cujo resultado é dado em lbf.

$$W^z = \frac{33000 \cdot H}{V_W} \quad [\text{lbf}] \quad (5.13)$$

Temos que a força no eixo “z” (W^z) adotado anteriormente é, após conversão das unidades, 30,5 N. As demais componentes dependem do coeficiente de atrito entre o par sem-fim. Para tanto, consideramos o torque máximo do motor de passo (0,40 N·m) depois da multiplicação pela relação (2,1 N·m). O coeficiente máximo de atrito (f) entre um par sem-fim de poliamida (*Nylon*), submetido a este torque, de acordo com (STARZHINSKY, 2013), seria de 0,12.

As equações 5.14, 5.15 e 5.16 são utilizadas para determinar as componentes da força atuante no contato do par sem-fim.

$$W = \frac{W^z}{\cos \phi_n \cdot \sin \lambda + f \cdot \cos \lambda} \quad [N] \quad (5.14)$$

$$W^y = W \cdot \sin \phi_t \quad [N] \quad (5.15)$$

$$W^x = W(\cos \phi_n \cdot \cos \lambda - f \cdot \sin \lambda) \quad [N] \quad (5.16)$$

Assim, as magnitudes das componentes da força que atua no contato são:

- $W^z = 30,50 \text{ N}$
- $W^y = 23,80 \text{ N}$
- $W^x = 54,60 \text{ N}$

Aplicando estas condições a ambos os sólidos, feitos de poliamida, e utilizando as propriedades mecânicas mínimas descritas na Tab. 9, chegou-se aos resultados apresentados nas Fig. 12 e 13 da Análise numérica.

A máquina irá operar numa temperatura ambiente entre 20-30 °C, a maior velocidade linear à qual o par sem-fim será submetido é de aproximadamente 0,16 m/s no círculo primitivo do fuso e a tensão equivalente von Mises nos dentes da Engrenagem está em uma faixa entre 20 MPa e 30 MPa. Com esses dados, podemos inferir que a engrenagem está projetada para uma faixa de operação de vida infinita sem necessidade de lubrificação e seu desgaste após 10^7 ciclos está em uma faixa de apenas 20-23 μm de acordo com (STARZHINSKY, 2013).

De maneira resumida, os parâmetros geométricos da engrenagem do eixo de rotação da rampa seletora, assim como os parâmetros do seu par sem-fim (fuso), estão apresentados na Tab. 11. Os parâmetros apresentados na Tab. 11, em conjunto com as equações descritas nesta seção, são suficientes para calcular quaisquer outros parâmetros. A omissão destes outros parâmetros, além da simplificação na apresentação dos dados, ocorre porque eles não são necessários à seleção de ferramentas e processos de fabricação dos componentes (Fresagem Renânia por fresa caracol).

5.7 Análises Numéricas

Foi escolhido o software *ANSYS R19.2* para fazer a análise dos desenhos gerados no *CATIA V5R21* e nas plataformas auxiliares do *ANSYS* no *DesignModeler* e *SpaceClaim*. As análises numéricas compreendem quatro vertentes, sendo a primeira a modelagem da interação fuso-engrenagem, a segunda como a simulação estática do conjunto do subgrupo

Tabela 11 – Resumo dos parâmetros geométricos da engrenagem e do seu par sem-fim (fuso).

Parâmetro	Unidade	Fuso	Engrenagem
Ângulo de hélice (Ψ)	[graus]	20	20
Ângulo de Pressão (ϕ)	[graus]	N/A	20
Ângulo de Pressão normal (ϕ_n)	[graus]	20	N/A
Ângulo de Avanço (λ)	[graus]	21,9	N/A
Diâmetro Primitivo (D_P)	[mm]	N/A	42
Diâmetro Primitivo (d_W)	[mm]	19	N/A
Avanço (L)	[mm]	24	N/A
Módulo (M)	N/A	2	2
Rosca	N/A	Esquerda	Esquerda
Número de Dentes (N_G)	N/A	N/A	21
Número de Entradas (N_W)	N/A	4	N/A

estrutural e da estrutura tubular de sustentação do sistema, a terceira sendo uma análise dos modos de vibração do subgrupo simplificado e a quarta será uma análise térmica do subgrupo estrutural com um volume de controle.

5.7.1 Elementos da malha

Representação por malhas é o método de transformação de um problema contínuo descrito por equações diferenciais para um conjunto de volumes finitos representados por nós e elementos numéricos.

Como forma de validação dessas malhas, temos os parâmetros conhecidos como métricas, os quais são responsáveis por caracterizar a qualidade da malha, e para exemplificação para abordagem realizada nesse estudo, serão consideradas as métricas de *Aspect Ratio*, *Smoothness* e *Orthogonality* (LUIZ, 2015) para a construção do *Element Quality* do ANSYS.

Aspect Ratio ou razão de aspecto caracteriza a razão entre a maior e a menor aresta do elemento de malha. Idealmente, o valor da razão de aspecto deveria ser 1 para garantir os melhores resultados, ou em outras palavras, uma maior simetria de arestas.

Smoothness ou suavização é uma métrica que está relacionada com a transição no tamanho dos volumes adjacentes na malha. Esta transição deve ser suave para evitar erros de truncamento nas aproximações numéricas para cálculo de fluxos e gradientes.

Por fim, *Orthogonality* ou ortogonalidade qualifica o desvio do ângulo entre o vetor que conecta o centro dos volumes adjacentes e o vetor normal à superfície entre eles. É a métrica responsável por melhor caracterizar a penalização do operador gradiente em uma

malha. A Fig. 6 ilustra a relação entre volumes e nós para tais parâmetros.

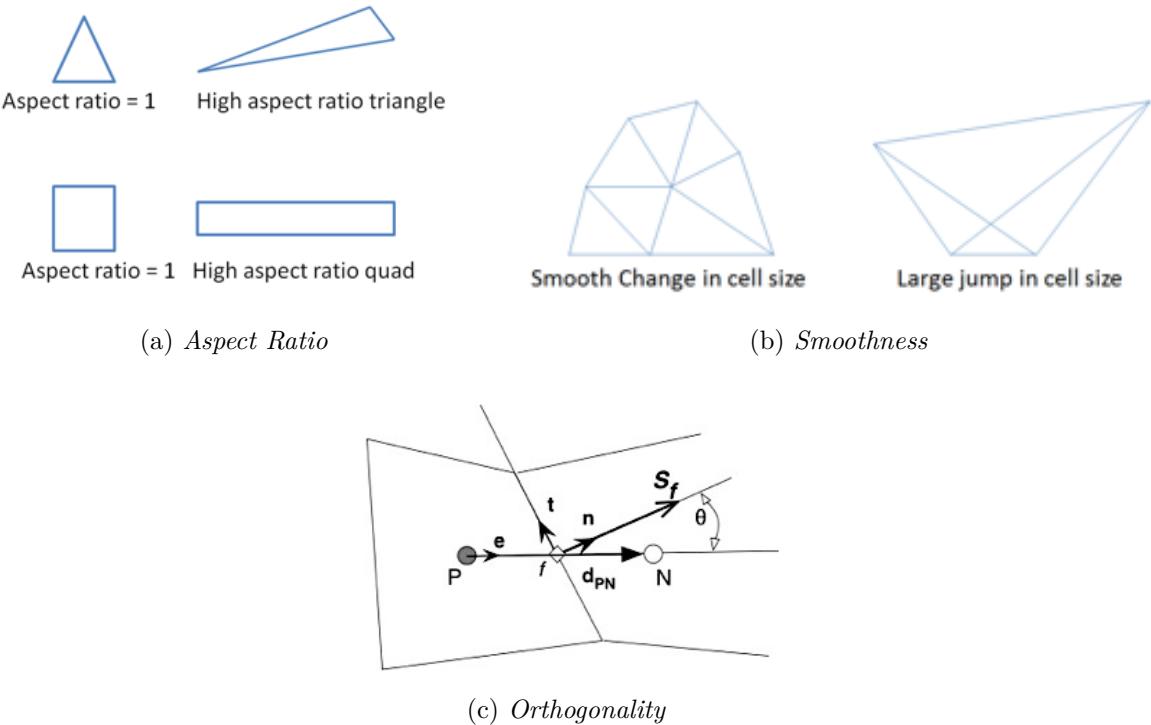


Figura 6 – Métricas-padrão para análise de Qualidade de Malhas. Fonte: Adaptado de ([LUIZ, 2015](#))

Na Fig. 6a, exemplifica-se duas razões de aspecto distintas (malha tetraédrica acima, hexaédrica abaixo para o caso de modelos em três dimensões), na qual a figura com maior simetria apresenta melhor resultado. Para a Fig. 6b, observa-se uma variação de comprimento útil entre volumes adjacentes localizados na representação à esquerda e na direita uma transição mais brusca (todos os elementos têm formas tetraédricas para modelagem 3D). E, concluindo, a Fig. 6c ilustra uma malha com baixa não-ortogonalidade, mas que irá sofrer com a difusão numérica de erros (elementos hexaédricos em 3D). Para critério de avaliação das malhas, optou-se por utilizar o misto dos resultados dessas e outras métricas presentes na plataforma ANSYS, uniformizados com a funcionalidade *Mesh Quality* da mesma, onde os elementos terão uma avaliação final de 0 a 1 de acordo com os resultados das métricas.

Para simulações com baixo numero de nós, será adotado o modelo de alta densidade de elementos uniformes ou malhas estruturadas (elementos hexaédricos). Entretanto, para geometrias com alta complexidade, iremos fazer a escolha de densidade dos elementos de malhas variada, conhecidas como malhas não-estruturadas, onde regiões críticas terão mais nós e regiões complementares terão menos elementos (todos tetraédricos) ([GON-](#)

ÇALVES., 2007). Temos o resultado nas Fig. 7, 8, 9 e 10.

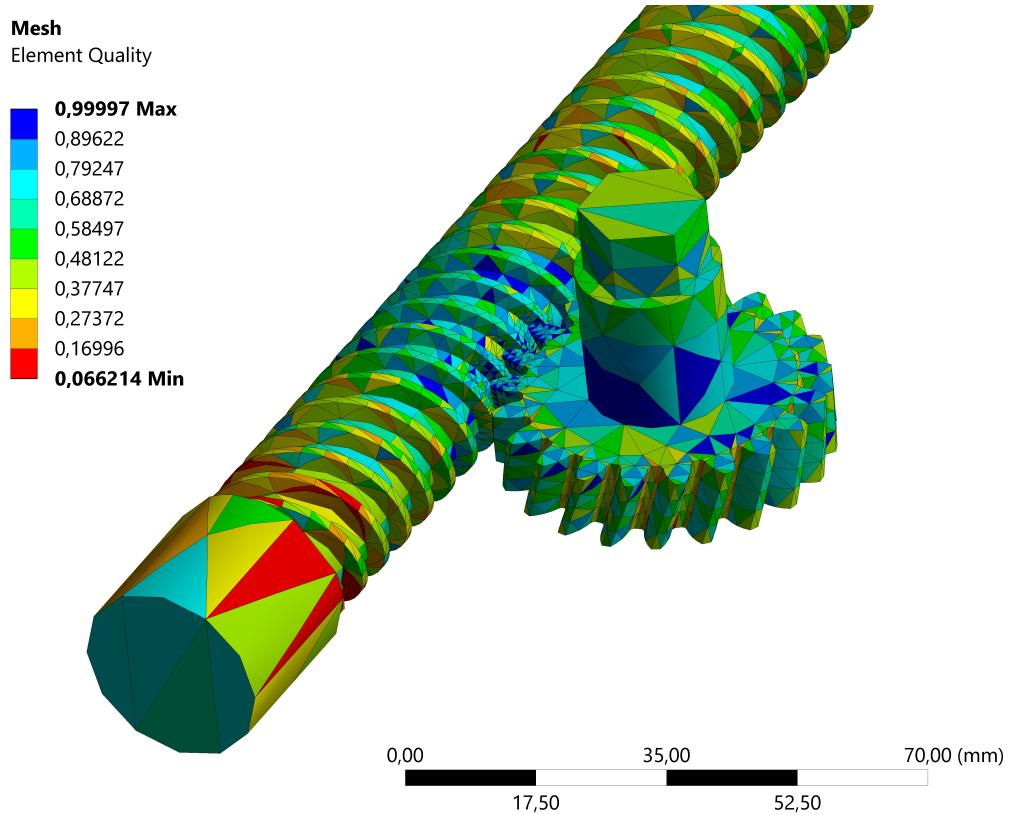


Figura 7 – Qualidade da malha do Fuso com Engrenagem

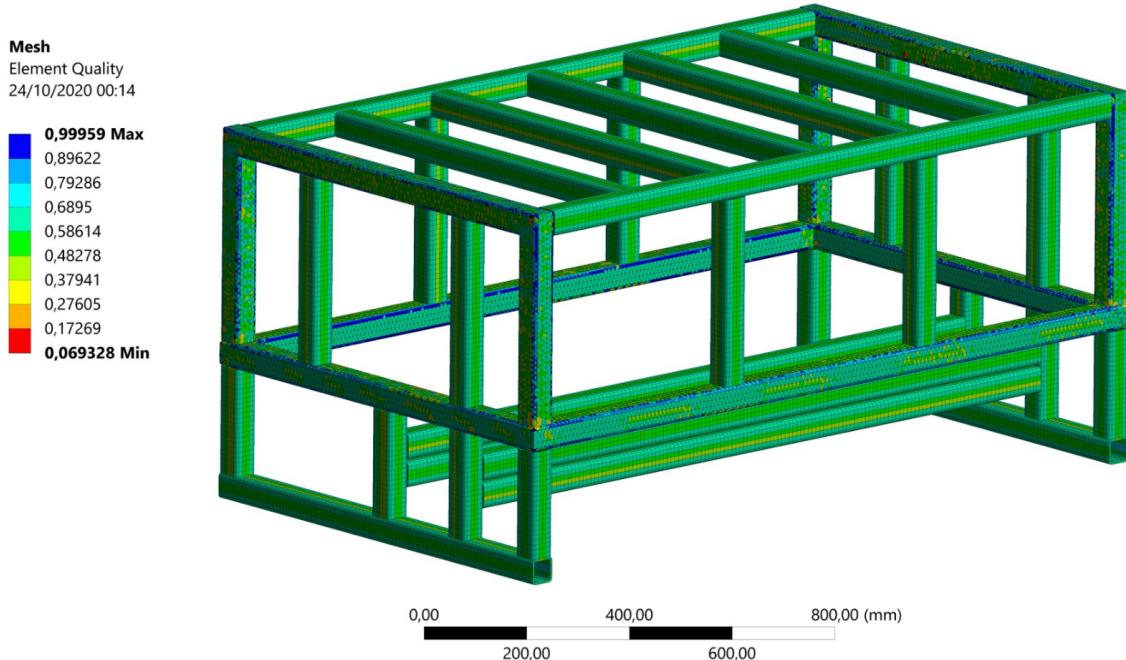


Figura 8 – Qualidade Malha da Estrutura tubular

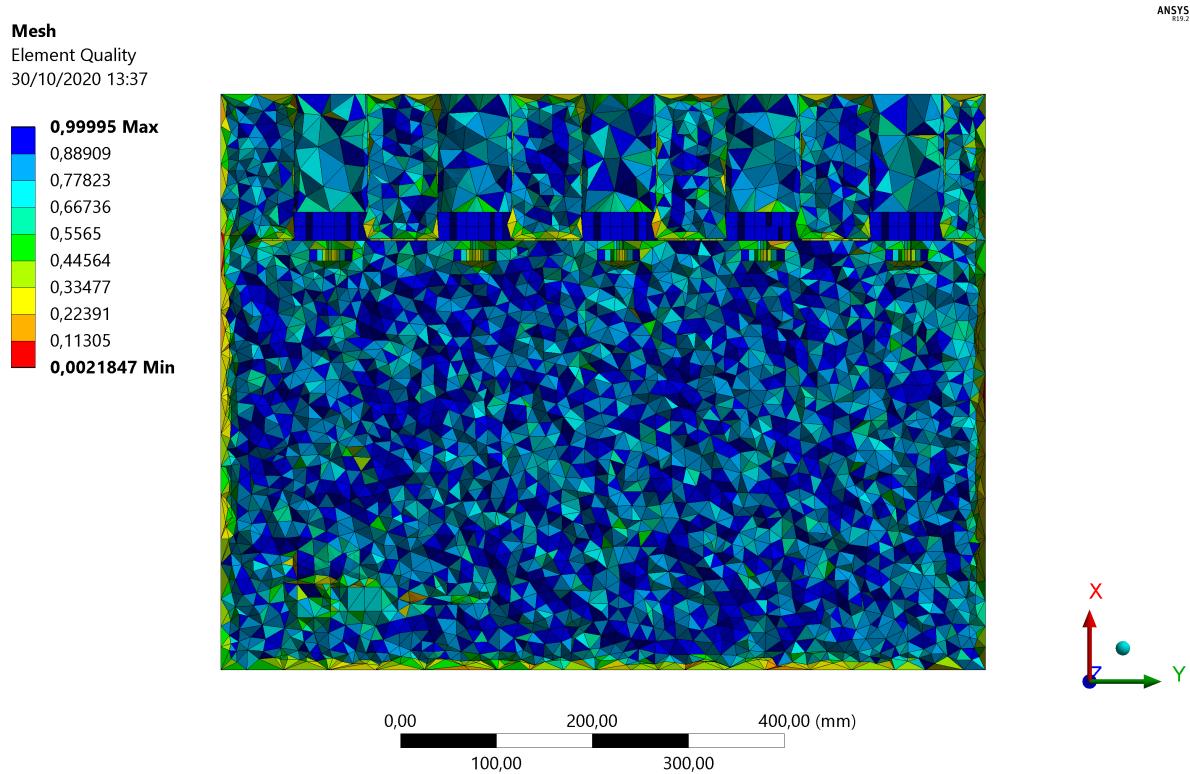


Figura 9 – Qualidade da Malha do volume de controle

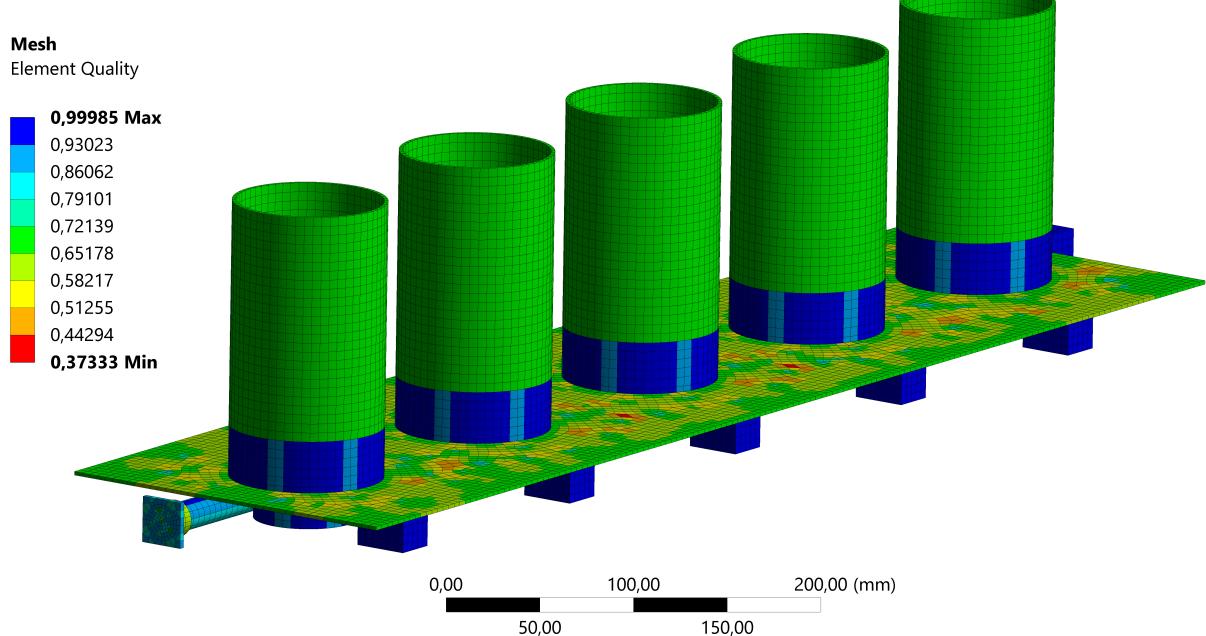


Figura 10 – Qualidade da Malha dos subgrupos

Com relação a quantidade de nós e malhas para cada simulação, a Tab. 12 ilustra a quantidade de nós e elementos por simulação. Temos que, para geometrias onde existem

áreas com grande número de regiões de contato, como por exemplo na geometria do volume de controle, os nós serão melhor aproveitados e, por consequência, as malhas têm uma qualidade maior para aquele objeto de estudo, de acordo com a análise da qualidade de elemento apresentada.

Tabela 12 – Número de nós e elementos de malha por simulação

Malha	Engrenagem e Fuso	Estrutura Tubular	Volume de controle térmico	Subgrupo Estrutural
Nós	163681	607876	379604	157632
Elementos	27248	164822	255686	25433

Ao mesmo tempo, é perceptível que a qualidade dos elementos encontrada na estrutura tubular e também no o subgrupo estrutural são suficientes para a análise estática e dinâmica estrutural. Com relação ao conjunto fuso-engrenagem, pela complexidade dos objetos em CAD, optou-se por utilizar elementos de qualidade não tão boas quanto os anteriores, pelo alto custo operacional que a análise iria resultar. Conforme já mencionado, para as regiões com contato de interesse, optou-se por uma densidade superior de nós, que é visivelmente clara na Fig. 7 e será discutida mais a fundo no estudo da interação do fuso com a engrenagem.

5.7.2 Interação Engrenagem com o fuso

A análise da interação da engrenagem com o fuso se faz complementar ao estudo do tópico 5.6, e aqui será abordado o problema estático de reação da engrenagem à rotação do fuso. A primeira etapa seria a determinação das condições de contorno do problema.

Na Fig. 11, observamos duas forças aplicadas em sentidos opostos, com a magnitude das componentes determinadas no dimensionamento, representando as forças de reação no contato entre o dente da engrenagem e o fuso, o contato de ambos foi definido como com atrito, e respectivo coeficiente de atrito sendo 0,12.

Nos resultados apresentados nas Fig. 12 e 13, observa-se que as tensões equivalentes von Mises no dente da engrenagem estão em uma faixa entre 20 MPa e 30 MPa. Todavia, no contato com seu par sem-fim, nota-se um único elemento do fuso, localizado na aresta, com uma tensão concentrada de 55 MPa, ainda dentro do limite elástico do material. Consideramos este valor discordante com a região a sua volta como resultado de uma anomalia pontual da malha.

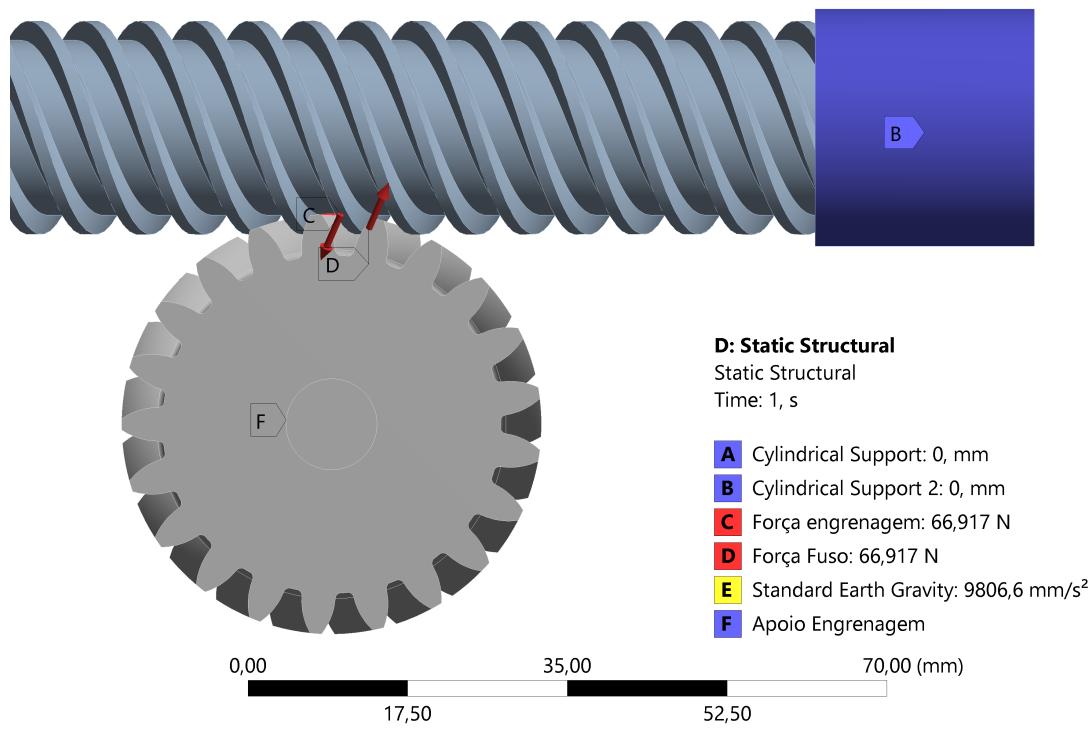


Figura 11 – Condições de contorno da interação engrenagem fuso

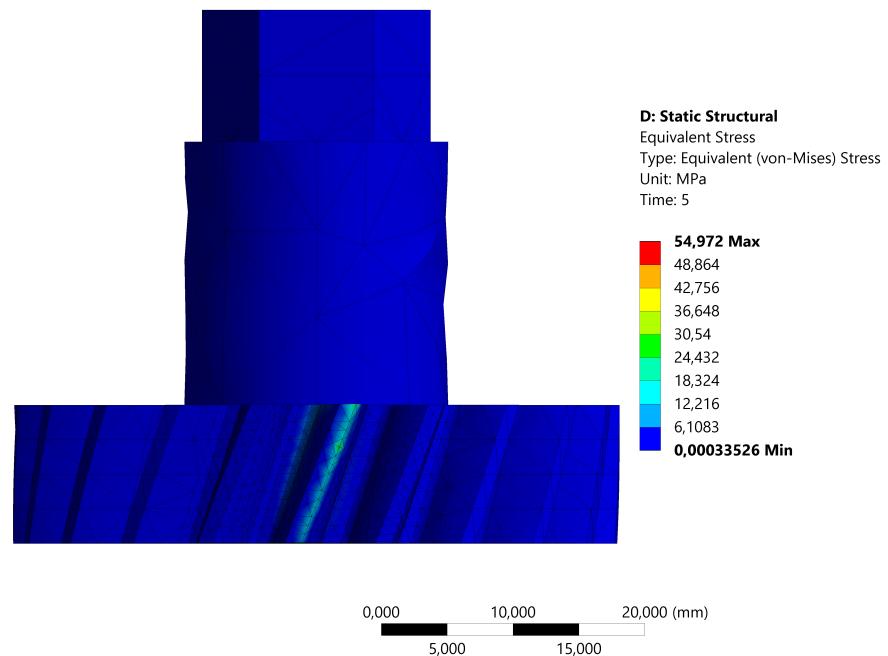


Figura 13 – Tensões equivalentes von Mises na engrenagem

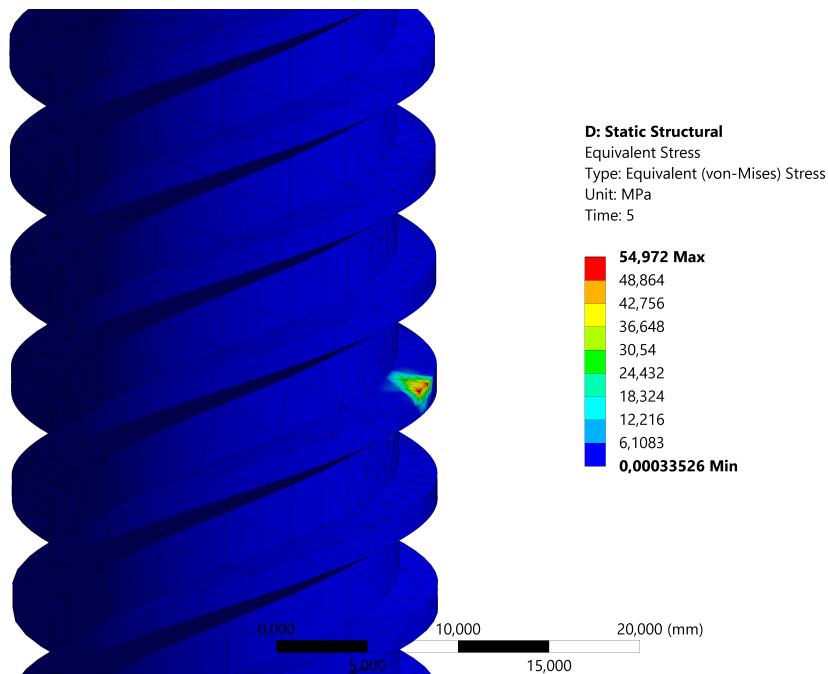


Figura 12 – Tensões equivalentes von Mises no fuso

5.7.3 Análise Estrutural

Para análise das cargas geradas por cada subgrupo, foi feita a escolha da simplificação do sistema para o conjunto, onde as estruturas mais complexas foram substituídas por peças de geometria mais simples, como no caso dos motores, caixas quadradas e para o fuso e engrenagens, temos um cilindro do mesmo comprimento do fuso e cinco cilindros com mesma altura e diâmetro das engrenagens (veja a análise térmica em 5.7.5 para maiores detalhes da geometria simplificada).

Para o subgrupo de contêineres, foi considerado os efeitos de rotação do fuso (velocidade de 158 rpm) e efeito gravitacional nas peças. As condições de contorno foram apoios nas extremidades do fuso, no mancal e nas laterais do subsistema, apoios estes que se refletem em conexões com a estrutura tubular (vide Texto 5.1), e contatos definidos como *bonded* nas junções da estrutura.

As considerações sobre pesos extras no subgrupo estrutural compreenderam um lote com 50 comprimidos de Metformina 850 mg para cada contêiner, totalizando uma força de aproximadamente 0,5 N ou 50g em cada componente cilíndrico. Como se imaginava, a carga aplicada é consideravelmente baixa em relação ao peso próprio da estrutura, que correspondeu a 6,60 kg ou 66 N para cada subgrupo.

Para os materiais poliméricos, utilizou-se os materiais equivalentes disponíveis na biblioteca *default* do ANSYS, com o incremento de dados externos do aço 1020.

No caso da deformação e tensão máximas, observamos um valor total do deslocamento que foi mínimo na estrutura, com magnitude aproximadamente igual a 0,5 mm para os subgrupos. Em relação as tensões, o valor máximo encontrado foi da ordem de 3 MPa na mesa dos contêineres próximo aos apoios com a estrutura tubular, um valor bem abaixo do valor da tensão de escoamento do material da mesa (Tab. 7). Os resultados podem ser conferidos pela Fig.14.

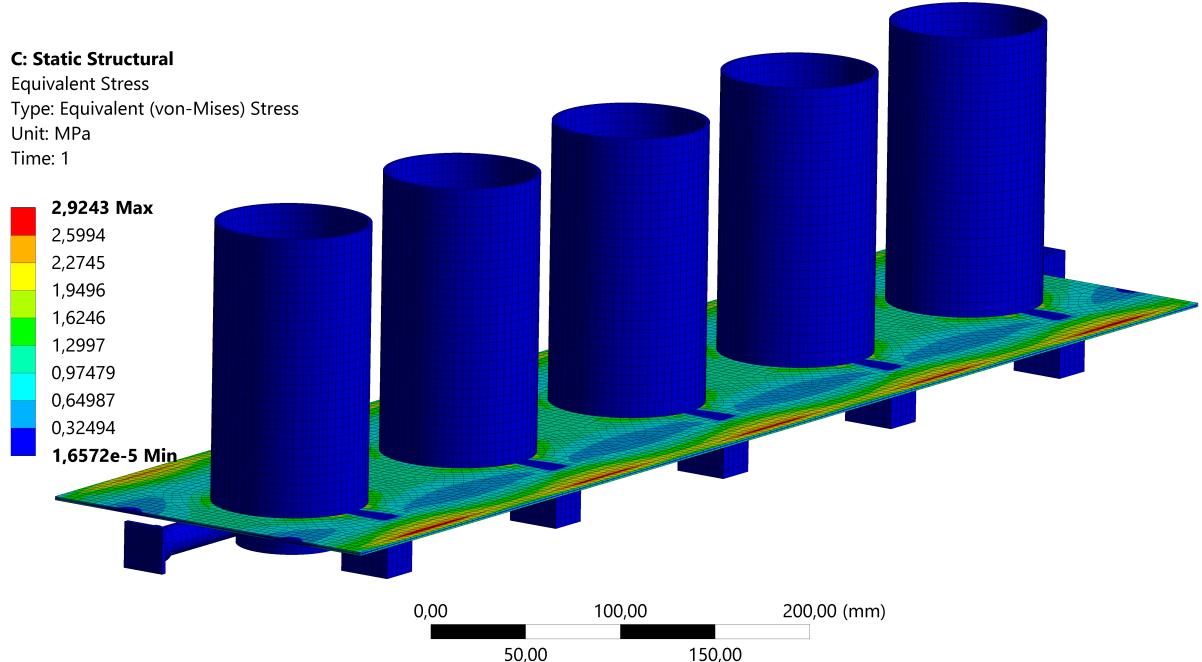


Figura 14 – Tensões equivalentes von Mises no subgrupo

Com relação à análise estática estrutural do conjunto, foram utilizados os parâmetros levantados anteriormente pela simplificação dos subgrupos e das cargas advindas dos momentos do fuso-engrenagem. Esses parâmetros foram aplicados à estrutura tubular global, em conjunto com forças resultantes da massa dos outros componentes, como canaletas, suporte das canaletas, mangueiras de silicone, funil, esteira e suas engrenagens, repositório de copos, e chapas da carcaça, com referência da gravidade sendo 10 m/s^2 .

Em seguida, após a aplicação das cargas apresentadas anteriormente em seus devidos pontos de apoio na estrutura tubular, foi feita a análise da força-peso proveniente dos outros quatro subgrupos, em conjunto com a carga de subgrupo calculado anteriormente, na medida que representa um cenário realista de funcionamento da estrutura, onde, enquanto um subgrupo apresenta a reação fuso-engrenagem em funcionamento, os outros quatro restantes se encontram em posição estática, e condições de junção *bonded* para as regiões de solda. As forças aplicadas na estrutura são representadas na Fig. 15.

A explicitação de cada uma das cargas pode ser observada como:

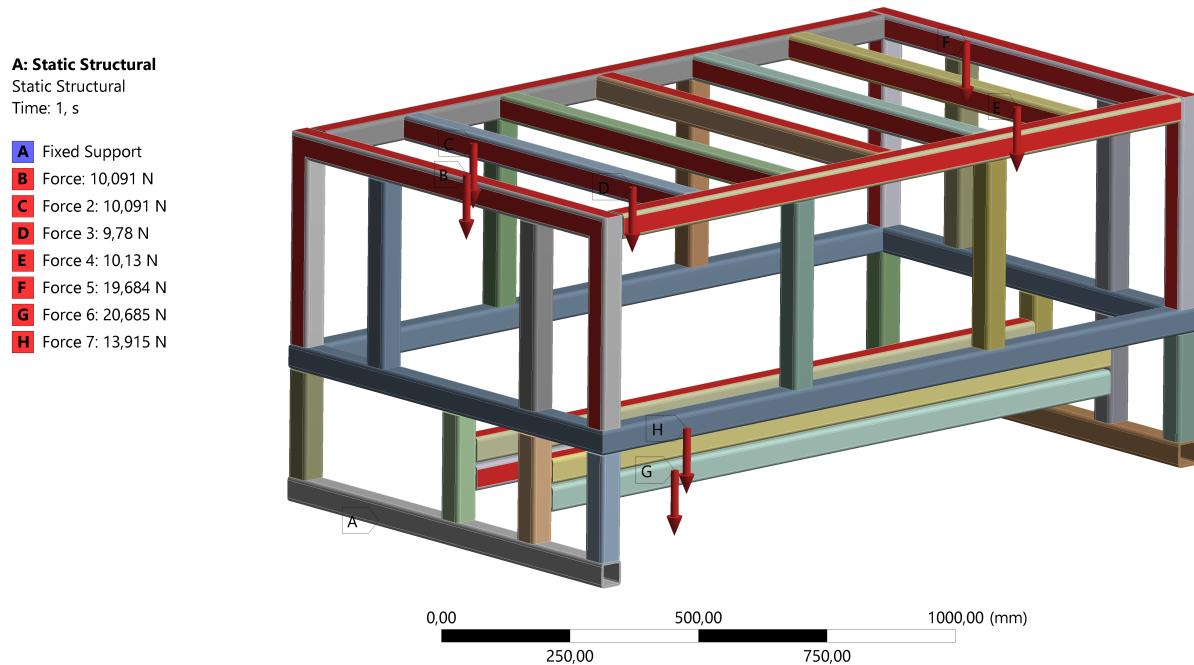


Figura 15 – Representação das cargas aplicadas à estrutura tubular

- Forças 1 e 2: 10,09 N, provenientes do resultante do cálculo do subgrupo com fuso em funcionamento, aplicados nas paredes laterais dos tubos que sustentam este subgrupo, no sentido Z.
- Força 3: 9,78 N, correspondente à forças-peso de cada subgrupo, aplicados nas paredes laterais dos tubos que os sustentam, no sentido Z.
- Força 4: 10,13 N, correspondente às cargas de força-peso das canaletas, aplicadas em seus devidos subgrupos pelo apoio do suporte das canaletas à estrutura tubular, no sentido Z.
- Força 5: 19,68 N, provenientes da força-peso das chapas da carcaça externa, aplicadas em todas as superfícies que apoiam essa estrutura. A força foi aplicada no sentido Z.
- Força 6: 20,68 N, proveniente da força-peso derivada do conjunto esteira-engrenagens de suporte-eixos de suporte, aplicados nas paredes de fixação da estrutura tubular desse mesmo conjunto, com a força aplicada no sentido Z.
- Força 7: 13,92 N, proveniente do peso do recipiente de copos, do atuador linear e do funil com seu suporte, aplicados na face superior dos tubos que ancoram esse conjunto, com carga aplicada no sentido Z.

Após a representação das sete forças na estrutura, foram ancoradas as faces dos quatro tubos verticais na porção mais inferior da estrutura, que seriam considerados os

apoios fixos para simulação. Após a simulação, foram avaliadas duas considerações a respeito do desempenho da estrutura tubular às cargas aplicadas nela, sendo elas a representação de deformação total e Tensão Equivalente de Von Mises, onde os valores máximos destas análises são da ordem $2,5 \mu\text{m}$ e 0,5 MPa, respectivamente. Estes resultados estão ilustrados nas Fig. 16 e 17.

Pode-se concluir, pelas figuras supracitadas e valores máximos apresentados, que a estrutura comporta facilmente todas as cargas aplicadas e, devido aos baixos valores apresentados, viu-se a oportunidade de trazer aspectos ergonômicos para o produto, alterando-se a altura da estrutura por meio de tubos de apoio, que por conta de serem estrategicamente posicionados, não se esperam mudanças significativas a ponto de se fazer necessárias outras avaliações por simulação.

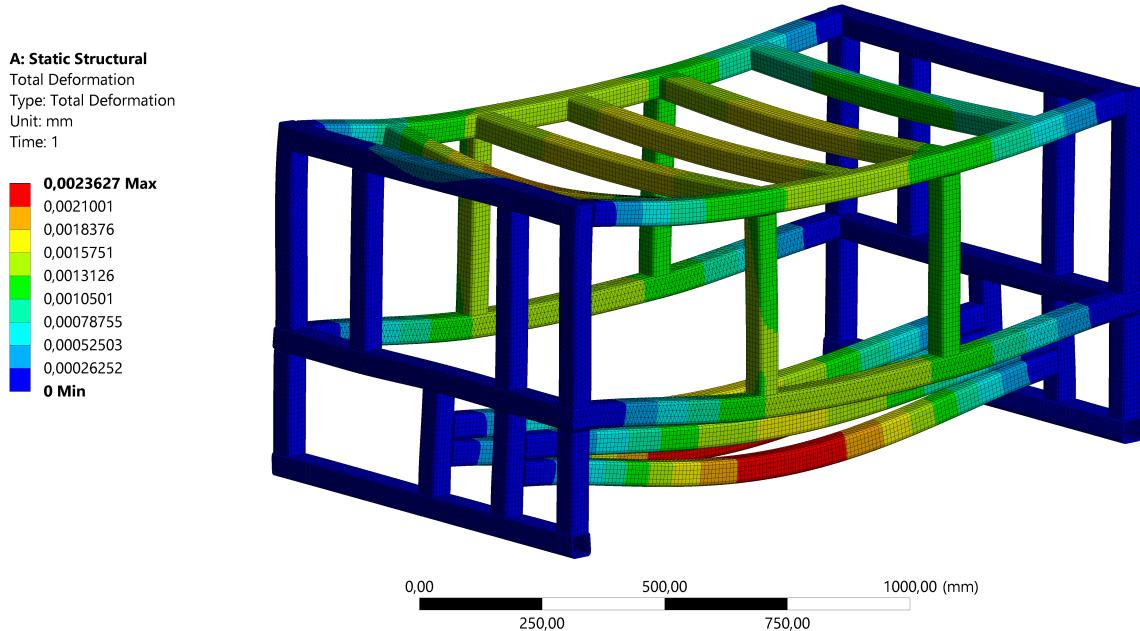


Figura 16 – Análise da deformação total da estrutura

5.7.4 Análise de Vibrações

A proposta apresentada para vibrações comprehende um estudo limitado ao conhecimento das frequências naturais do objeto em estudo e validações somente para aspecto estacionário de operação do motor, o qual é bem estabelecido teoricamente e se dará principalmente ao fato da ausência de mecanismos para análise experimental do protótipo, a fim de caracterizar efeitos transientes, coeficientes de amortecimento e elástico do componente estrutural, e, portanto, conhecimento apenas dos graus de liberdade de vibração da estrutura.

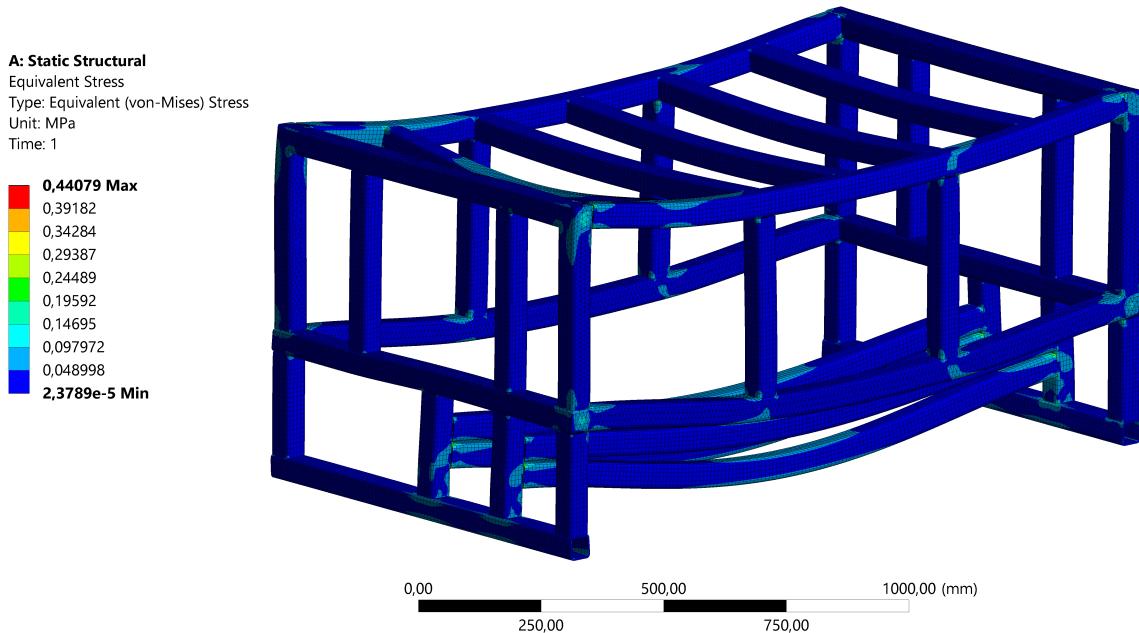


Figura 17 – Análise da Tensão Equivalente von Mises

Logo, a atual abordagem faz uso do método teórico conhecido como análise modal, o qual representa o comportamento físico de vibração de componentes estruturais acoplados para uma transformação na qual esse fenômeno é convertido em um sistema de múltiplos graus de liberdade desacoplados (INMANN, 2014), fornecidos através de frequências naturais, formas modais e, adicionalmente, fatores de participação modal em uma estrutura.

Na abordagem realizada pela análise modal, a vibração máxima ocorre nas frequências naturais ou harmônicas, e geralmente se deve evitar. Em outras palavras, o estudo dos graus de liberdade da estrutura nos diz em quais frequências o sistema é vulnerável à vibrações com amplitude acentuadamente maior em consequência de um estímulo externo ou, em outras palavras, quando o sistema está exposto à ressonância (INMANN, 2014). Justifica-se o tópico em razão de que, caso fossem descobertas frequências naturais dentro da faixa de excitação aplicada no equipamento, o projeto da estrutura teria que passar por mudanças para transladar as frequências naturais para fora da zona de excitação em que o produto iria operar.

Portanto, a forma dos modos produzidos pela análise modal nos diz como a estrutura tende a se deformar em razão de frequências naturais específicas e quais regiões sofreriam por concentradores de tensão e, com isso, pode-se traçar estratégias para evitar principalmente possíveis consequências às juntas soldadas, com o desgaste gerado (BHATTACHARYA, 1997) ou ao impacto oriundo de tensões residuais na estrutura e seu efeito na resistência à fadiga do componente (ZHANG, 2016). Além disso, os fatores de

participação de modo nos dizem quais modos seriam mais estimulados, o que tem valor significativo apenas para os 10 primeiros componentes modais (INMANN, 2014).

Para condições de contorno, foram adotadas as configurações de corpo livre, situação na qual pode-se fazer análise das freqüências naturais do subgrupos. Com relação aos contatos, devido à falta de fixação entre as engrenagens e o fuso no modelo simplificado, foi aderido a configuração *bonded* ao invés do *frictional* por se assemelhar mais ao comportamento real da estrutura. As formas modais naturais são apresentadas nas Fig. 18, 19, 20, 21 e 22.

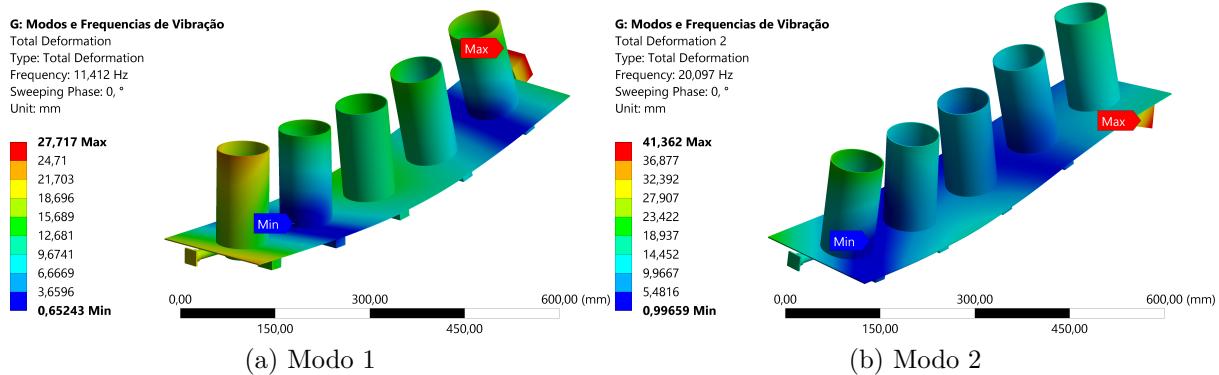


Figura 18 – Representação das formas modais 1 e 2

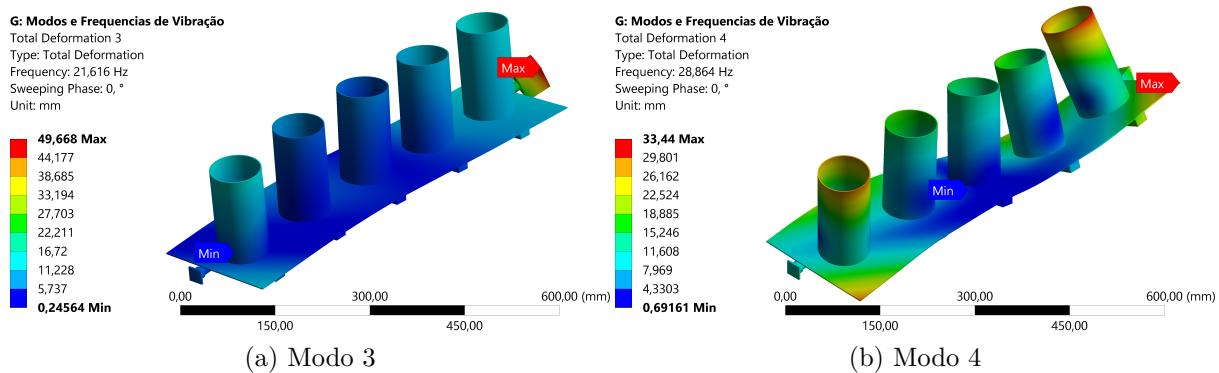


Figura 19 – Representação das formas modais 3 e 4

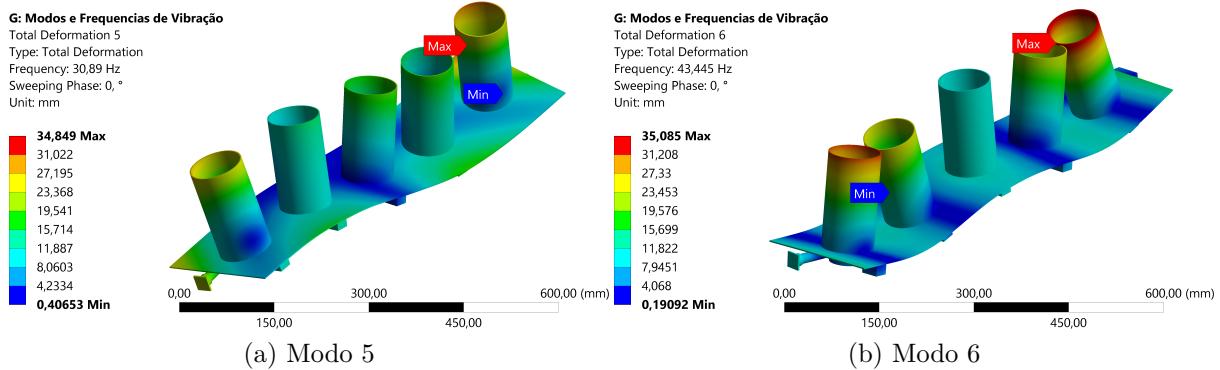


Figura 20 – Representação das formas modais 5 e 6

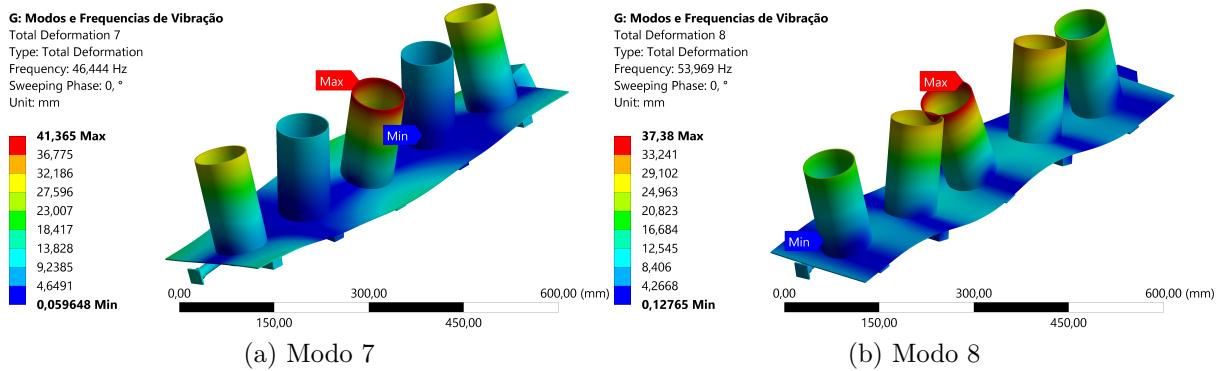


Figura 21 – Representação das formas modais 7 e 8

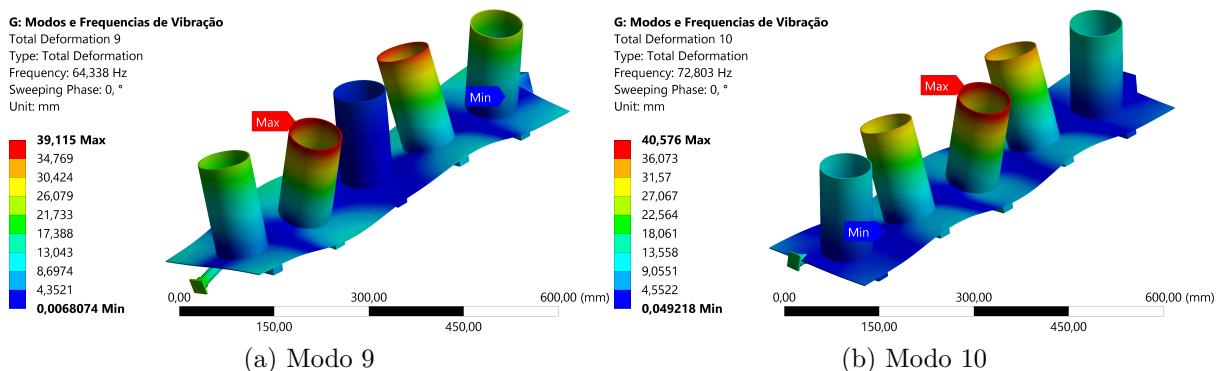


Figura 22 – Representação das formas modais 9 e 10

Pela análise dos resultados, observa-se nós (efeitos nulos de deformação ou aproximadamente nulos) em cima dos contêiners 2 e 5 para o modo 1 (Fig. 18a), alto deslocamento da parte traseira do motor para o modo 2 (Fig. 18b), efeito similar no modo 3 (Fig. 19a) e efeito simétrico de deformação nos modos 4 e 5 (Fig. 19b e 20a). Para os modos

6 e 8 (Fig. 20b e 21b), verificam-se novamente os nós oscilando entre os compartimentos. Finalmente, os modos 7, 9 e 10 (Fig. 21a, 22a e 22b, respectivamente) apresentam efeitos de deformação nula em formato de cruz, passando por dentro dos contêineres de uma extremidade à outra no eixo do fuso e de uma lateral à outra nos centros dos objetos. Um resumo das frequências naturais é disponibilizado na Tab. 13.

Como efeito conclusivo ao estudo, ressalta-se que a primeira frequência natural presente no modelo modal está contida na faixa de 11 Hz, enquanto a faixa de excitação do motor, conforme já citada no dimensionamento do fuso (seção 5.6), opera em 2,6 Hz (158 rpm) e, portanto, há uma ampla margem de oscilação para a operação do componente, sem preocupações com as junções ou a estrutura como um todo, no aspecto de vibrações.

Tabela 13 – Tabela de Frequências Naturais do sistema

Modo	Frequência [Hz]
1	11,4
2	20,1
3	21,6
4	28,9
5	30,9
6	43,4
7	46,4
8	54,0
9	64,3
10	72,8

5.7.5 Análise Térmica

Com as dimensões e materiais da estrutura definidos, podemos embasar um estudo acerca da transferência de calor dentro do dispositivo. O dimensionamento do problema térmico compreende garantir que a temperatura interna dos contêineres seja limitado superior e inferiormente por um valor que não comprometa as propriedades e integridade dos medicamentos.

Como já exposto anteriormente nos objetivos específicos (veja 2.2.2), as restrições seriam equivalentes a temperaturas acima de 15 °C e abaixo de 30 °C. Ressalta-se que a validação proposta aqui dita um comportamento do sistema com objetivo de garantir que o fluxo de calor advindo dos componentes eletrônicos não resulte em uma elevada temperatura interna por causa dos arranjos da geometria interna. A Fig. 23 exibe a configuração adotada para o problema térmico.

Para o caso da solução proposta, comprehende-se o subsistema simplificado já apresentado, com o incremento de um volume de controle e duas peças geradoras de potência (Atuador e *Raspberry*).

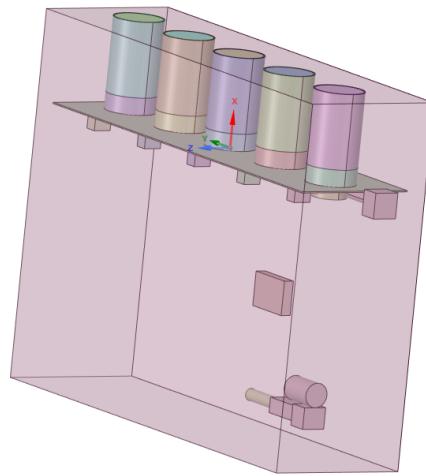


Figura 23 – Geometria simplificada para estudo da transferência de calor

Durante a análise, se apresenta um problema que é caracterizado por uma convecção natural com o ar como fluido, com fontes de calor oriundas apenas de componentes eletrônicos atuando com mecanismos de transmissão por condução do núcleo até a superfície e difusão com ar (SHAPIRO, 2005). Como meios de condução, além dos componentes eletrônicos, teremos as partes físicas do subgrupo. As propriedades térmicas consideradas na simulação para cada material estão apresentadas na Tab. 14.

Tabela 14 – Propriedades térmicas dos materiais utilizados na simulação. Adaptado de: (CALLISTER, 2016)

Material	Coeficiente de Expansão Térmica (K^{-1})	Calor específico ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)	Condutividade térmica isotrópica ($\text{J} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)
Nylon 6.6	$1,28 \cdot 10^{-4}$	1520	0,24
Polipropileno	$1,03 \cdot 10^{-4}$	1680	0,21
Aço Estrutural	$1,20 \cdot 10^{-5}$	434	60,50
Aço Inox 304	$1,70 \cdot 10^{-5}$	510	15
Aço SAE 1020	$1,19 \cdot 10^{-5}$	486	51,90
Cobre	$1,80 \cdot 10^{-5}$	385	401

As primeiras aproximações feitas no problema incluem a análise do problema de calor que inclui um subgrupo composto por:

- Cinco cilindros com parede finita com dimensões idênticas as paredes cilíndricas nos contêineres (veja a cotagem 130) e de mesmo material (Aço Inoxidável 304);

- Cinco cilindros sólidos substituindo as partes da rampa, plataforma de seleção, engrenagens e compartimentos inferiores, sendo do material Polipropileno Homopolímero e mesmas dimensões da base do contêiner (veja cotagem 181);
- Mesa de sustentação dos cilindros, com dimensões idênticas as do *design* inicial (veja cotagem 140) e de mesmo material (Aço carbono SAE 1020);
- Cinco caixas menores em formato quadricular, representando os motores solenoides acoplados à base de sustentação do cilindros, o material seria genérico (Aço estrutural);
- Uma caixa maior em formato quadricular, representando o motor de passo do subsistema, um pouco à frente dos cilindros, com material genérico (Aço estrutural);
- Estrutura cilíndrica de mesmo comprimento e diâmetro do fuso do *design* inicial (veja cotagem 133) e de mesmo material (Nylon 6.6);
- Uma caixa em formato retangular, representando a *Raspberry* em modelo de temperatura uniforme, presente abaixo do subgrupo de contêineres, material (liga de cobre presente no ANSYS);
- Uma versão simplificada do atuador linear presente desde a escolha preliminar do projeto, de material genérico (Aço estrutural);
- Caixa de ar formulando o volume de controle da simulação, de comprimento suficientemente grande para cobrir toda a estrutura a ser simulada (800x600x230 mm³).

Para cargo de informação ao leitor, a Tab. 18, presente na solução energética, descreve a carga global e potências geradas pelo componentes elétricos e eletrônicos escondidos para o sistema, e com o auxílio da análise feita pelo projeto da fonte (veja tópico 7.2), observamos que o cenário 4 representa o estado da máquina que consumiria a maior quantidade de energia e os componentes responsáveis pelo consumo. Com ambas as informações, conseguimos caracterizar a análise transiente da temperatura global do sistema, onde iremos preliminarmente agrupar os componentes em funcionamento no cenário ao longo do tempo. Para critério de simplificação, adotará-se um modelo onde:

- As potências dos sensores fotoelétricos, por proximidade física, serão posicionadas nas faces de baixo dos solenoides;
- As potências da *Raspberry*, dos microcontroladores, do visor e dos *drivers* L298 e do motor de passo serão inseridas como fontes de calor internas à *Raspberry*;

- As potências do atuador linear, da câmera e do sensor RFID, por proximidade física, serão acopladas no interior da fonte de calor do Atuador.
- O motor de passo terá uma potência interna gerada em conjunto com a potência do sensor de temperatura.

A próxima etapa descreve o funcionamento temporal do sistema, e caracteriza-se com funcionamento permanente dos sensores, câmeras, microcontroladores e visor (100% da potência a todo instante), *Raspberry* com operação de 50 a 100% da potência máxima presente na tabela supracitada, motor de passo ativo durante a rotação do fuso do subgrupo, além do funcionamento do atuador linear e *drivers* por 5 segundos com escala linear de aumento e declínio de potência. A Tab. 15 ilustra o funcionamento do sistema simplificado:

Tabela 15 – Comportamento temporal das potências do Sistema

Tempo (s)	Raspberry (W)	Atuador Linear (W)	Motor de Passo (W)	Solenoides (W)	Total (W)
0	8,00	0,75	0	2,50	11,25
5	45,90	24,75	4,80	2,50	78,00
10	12,15	0,75	4,80	2,50	20,20
30	12,15	0,75	4,80	2,50	20,20
32	15,90	0,75	2,90	2,50	22,10
37	41,10	24,75	0	2,50	68,40
42	12,15	0,75	0	2,50	15,40
62	12,15	0,75	0	2,50	15,40
64	15,90	0,75	0	2,50	19,20
69	41,10	24,75	0	2,50	68,40
74	12,15	0,75	0	2,50	15,40
94	12,15	0,75	0	2,50	15,40
96	15,90	0,75	0	2,50	19,20
101	41,10	24,75	0	2,50	68,40
106	12,15	0,75	0	2,50	15,40
126	12,15	0,75	0	2,50	15,40
128	15,90	0,75	0	2,50	19,20
133	35,10	24,75	0	2,50	68,40
138	12,50	0,75	0	2,50	15,40
158	12,50	0,75	0	2,50	15,40
163	8,40	0,8	0	2,50	11,70
7200	8,40	0,8	0	2,50	11,70

Para as condições de contorno do problema, foram estabelecidas curvas de potência com os dados inscritos na Tab. 15 fornecidas através das fontes internas para o caso do atuador, da *Raspberry* e do motor de passo, e da representação de fontes de calor nas faces dos solenoides para representar os sensores fotoelétricos.

Foi escolhido a temperatura ambiente local como 22 °C, meio de convecção como ar com respectivo coeficiente de convecção igual a 5 W/m². As paredes superiores e laterais teriam temperatura inicial de 22 °C e tempo de simulação com duração de 2 horas (7200 segundos), sendo os 2 minutos e 43 segundos iniciais a etapa do funcionamento de um ciclo completo da máquina.

Dos resultados obtidos das Fig. 24 e 25, observamos um comportamento praticamente idêntico a condição inicial, com variação da temperatura local próxima as fontes de calor mais acentuada porém com baixa intensidade, sendo levemente dissipada ao longo das duas horas.

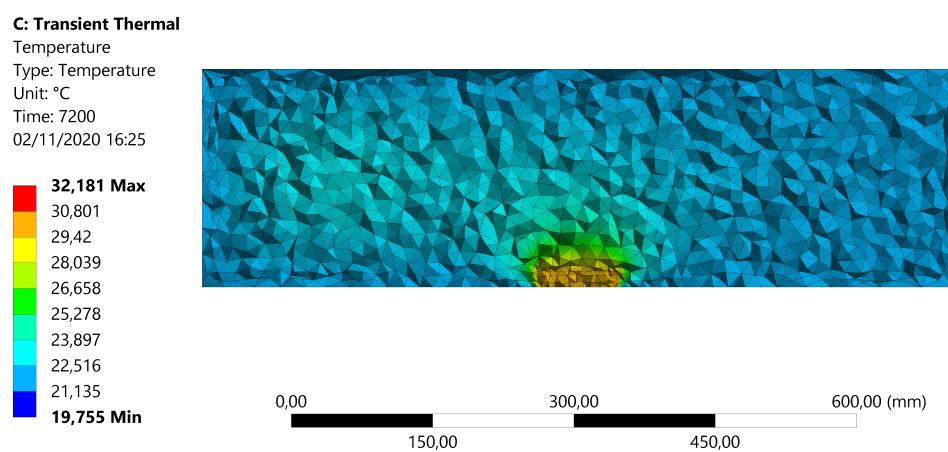


Figura 24 – Transferência de calor normal ao volume de controle

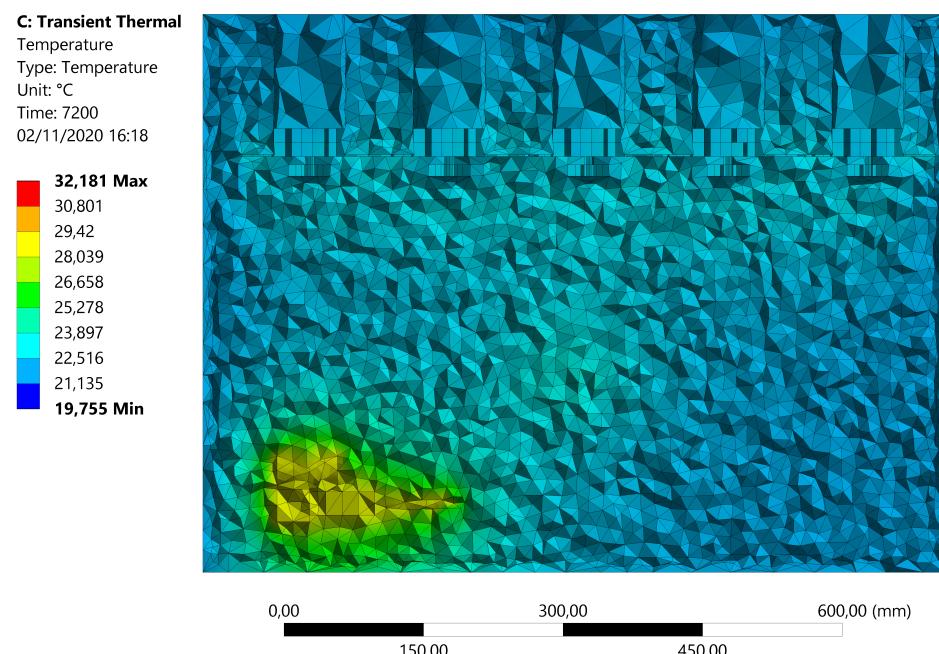


Figura 25 – Transferência de calor dentro do volume de controle

Com relação às temperaturas máxima e mínima, iremos fazer o uso do gráfico de convergência da temperatura máxima, apresentado na Fig. 26.

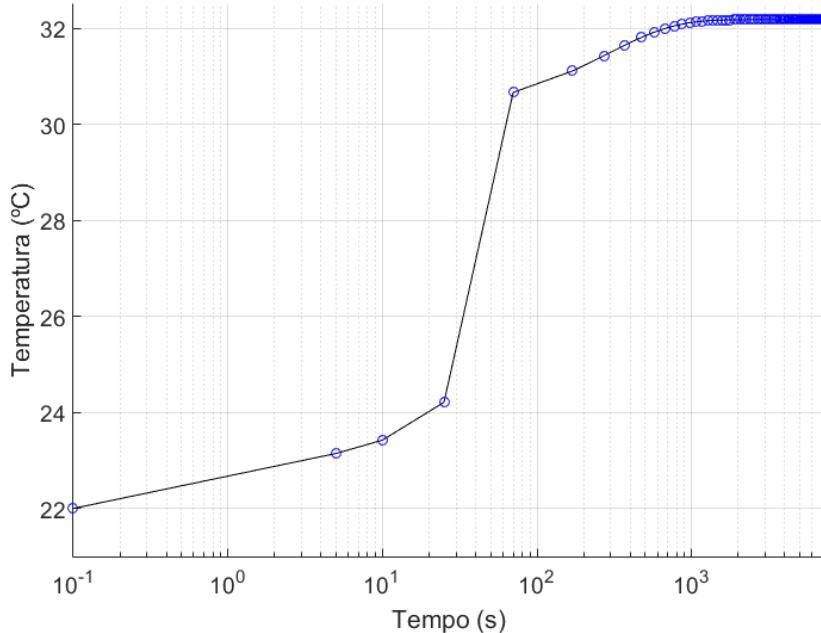


Figura 26 – Temperatura máxima alcançada ao longo do tempo

Observamos que o modelo atinge para o valor limite de temperatura de 32,2 °C em torno de 23 minutos dentro da placa retangular durante o processo de resfriamento do sistema pelo ambiente. Logo após o período de alta taxa de transferência de calor, a temperatura global sobe um pouco, e a temperatura da fonte principal de calor (*Raspberry*) começa a baixar sua temperatura e normaliza em torno de 30,8 °C. Apesar da alta temperatura, por conta das propriedades isolantes do meio (ar), as temperaturas elevadas são isoladas e levemente são dissipadas sem uma propagação intensa da onda de calor. Por conta disso, as temperaturas dos contêineres puderam ser controladas sem a necessidade de um mecanismo ativo de controle de temperatura.

Com relação à temperatura mínima, observamos uma discordância em razão da aproximação numérica onde, por conta do passo finito dos nós da malha, obtivemos resultados de absorção de calor nas proximidades da placa emissora. As consequências do resultado não têm impacto na análise, visto que são pontos com temperaturas dentro da faixa do modelo, e não são suficientemente altas para causar uma divergência do resultado final da simulação. Resultados podem ser conferidos na Fig. 27.

Com o auxílio da simulação, pudemos verificar um aumento mínimo de temperatura na região de interesse, ou seja, na zona dos contêineres, correspondente a 1,5 °C de

acrúscimo temperatura global, e consequentemente, aprova a construção de um dispositivo para começar o planejamento de utilização do sistema para armazenagem de medicamentos em casos gerais de temperatura ambiente, com faixa equivalente de 13,5 °C a 28,5 °C, possivelmente expansíveis por fontes externas de refrigeração/aquecimento, mas vale destacar a necessidade de isolamento adequado do sistema à fontes de calor exteriores (como o Sol, por exemplo).

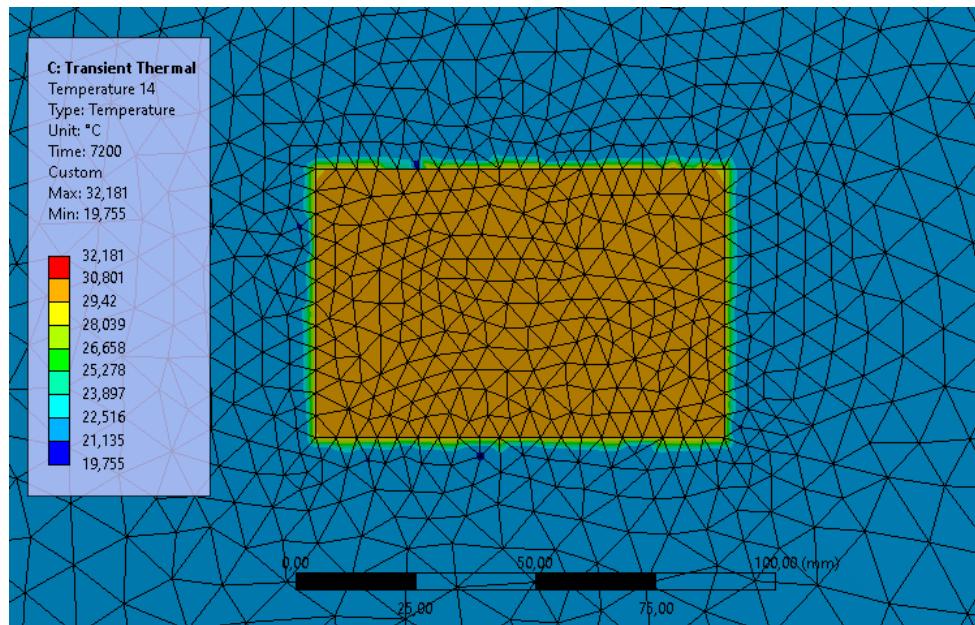


Figura 27 – Erros gerados pelas dimensões finitas do método computacional

Como efeito conclusivo, também foi possível aferir que há uma margem significativamente alta para se realizar uma redistribuição espacial dos componentes fornecedores de calor, desde que não sejam posicionados suficientemente próximos dos contêiners, de modo que poderiam alterar significativamente a temperatura local dos comprimidos, como pudemos observar com os resultados obtidos para as vizinhanças das fontes de calor.

6 Solução Eletrônica

Este capítulo é voltado para o desenvolvimento do sistema eletrônico, apresentando as escolhas de projeto a partir dos requisitos técnicos. Assim, esse sistema foi dividido em 3 módulos: Módulo de Medição e Identificação, Módulo de Controle e Módulo de Visualização. Pela forma que o sistema eletrônico foi dividido os 3 módulos possuem grande dependência entre si.

6.1 Módulo de Medição e Identificação

O módulo de medição e identificação tem a funcionalidade de realizar a aquisição dos seguintes dados para uso no controle do dispositivo:

- Medição:
 - Temperatura;
 - Umidade.
- Identificação:
 - Passagem de objetos (medicamentos e copos);
 - Usuário por biometria;
 - Informações do copo que está sendo depositado os medicamentos;
 - Imagens dos medicamentos no copo para validar a entrega.

Sendo assim, trata-se de um módulo micro-controlado conectado a vários componentes de identificação e medição, representação por diagrama na Fig. 28. Dessa forma, os componentes foram selecionados a partir dos requisitos levantados, disponibilidade no Brasil, custos acessíveis e escala de medição compatível com a aplicação.

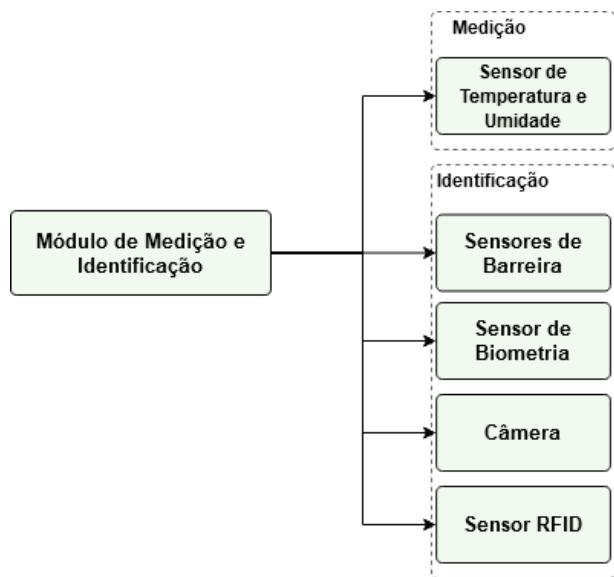


Figura 28 – Módulo de Medição e Identificação

6.1.1 Medição

- **Sensor de Temperatura e Umidade**

O uso do sensor de temperatura e de umidade foi baseado na necessidade do monitoramento constante das variáveis de temperatura e umidade relativa dentro do dispositivo. A maioria dos medicamentos sólidos precisa estar armazenada em uma faixa de temperatura e umidade relativa determinada pelo fabricante para não alterar as propriedades químicas e a integridade dos medicamentos.

Para seleção do componente, foram priorizados sensores com mais de uma funcionalidade, isto é, sensores de temperatura e umidade relativa integrados. Sendo assim, a faixa de valores para a conservação de medicamentos sólidos está entre 15 °C e 30 °C e a escala de umidade relativa de 40% a 70% ([PINTO, 2016](#)). Adicionalmente, deve ser levado em consideração, para escolha de um sensor em determinada aplicação, os parâmetros de acurácia, precisão, sensibilidade e resolução ([WEBSTER; EREN, 2018](#)).

Como os parâmetros medidos de temperatura e umidade não são unidades de mudança rápida em pequenos intervalos de tempo (sendo o menor de 1 segundo) no ambiente onde o sensor está inserido, o modelo escolhido não precisa ter uma taxa de atualização maior que 1 Hz ([WEBSTER; EREN, 2018](#)). Entretanto, se tornou preferível escolher aqueles com maior resolução, operantes na faixa de conservação do medicamento e com precisão menor que 1 °C para temperatura e 5% UR para umidade relativa, a fim de diminuir a faixa de dúvida do sensor utilizado. Por fim, foi-se priorizado os sensores em um módulo comercial que entregavam os dados de forma digital em um protocolo compatível com o

módulo de controle. Ou seja, saída compatível com os protocolos *Inter-Integrated Circuit* (I²C), *Serial Peripheral Interface* (SPI), *Universal Asynchronous Receiver/Transmitter* (UART), *Display Serial Interface* (DSI) ou *Camera Serial Interface* (CSI).

Sendo assim, o sensor selecionado foi o **HTU21D**, embarcado em um módulo comercial, pelo fato de ser um sensor compatível com as faixas de captura, resolução e precisão dos dados, com preço de compra menor que R\$ 50,00, além do sinal de saída digital no protocolo interface I²C, compatível com o módulo de controle.

Para este sensor, nenhum condicionamento é necessário para o sinal, por ser realizado internamente no módulo. A conexão do sensor com o módulo de controle consiste em 4 pinos: VDD, GND e duas linhas de dados para comunicação I²C (SDA/SCL). Além do mais, possui resolução configurável por *software*, sendo 8/12 bits para umidade e 12/14 bits para temperatura. O módulo **HTU21D** está representado na Fig. 29, e possui as seguintes especificações:

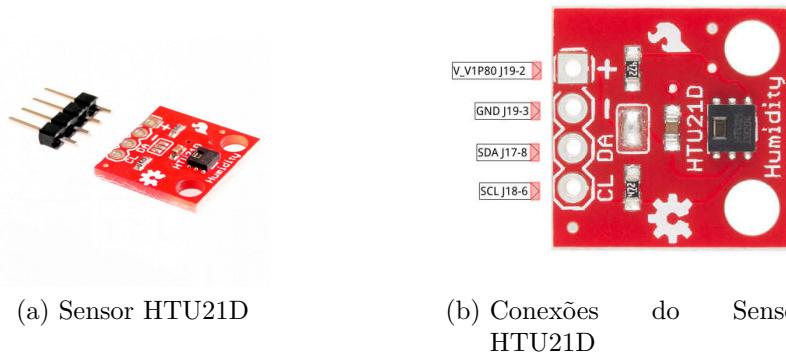


Figura 29 – Sensor de Temperatura e Umidade

- **Alimentação:** 1,5 V a 3,6 V;
- **Consumo de corrente em medição:** 500 μ A;
- **Faixa de medição da umidade:** 0-100% UR;
- **Faixa de temperatura de medição:** -40 a 105 °C;
- **Precisão da umidade (10% a 95% UR):** \pm 2% UR;
- **Precisão da temperatura:** \pm 0,3 °C;
- **Interfaces de Comunicação:** I²C;
- **Dimensões:** 15,8 x 15,6 x 2 mm;
- **Preço:** R\$ 18,90.

6.1.2 Identificação

- **Sensor Fotoelétrico**

Os sensores fotoelétricos foram utilizados para detectar a passagem do medicamento sólido, tanto na saída das comportas quanto no final da zona de transição. Além disso, utilizou-se esse sensor para as seguintes detecções: presença do copo no reservatórios de copos; identificação da presença do copo em local predeterminado para o processamento de imagem; passagem do copo com medicamentos errados para o compartimento traseiro; e passagem do copo para o compartimento frontal.

Assim, optou-se pela utilização do sensor de barreira, o qual o emissor e o receptor são instalados frente a frente para permitir que a luz do emissor entre no receptor. Logo, quando um objeto passa entre o emissor e o receptor, a luz que entra no receptor é interrompida ou reduzida, e assim é possível detectar a presença de um objeto, conforme as Fig. 30 e (AMRON, 2018).

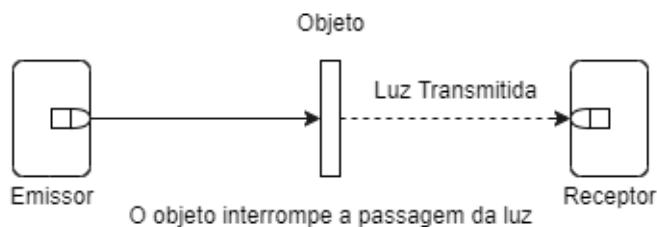


Figura 30 – Sensores de Barreira

Por se tratar de um sensor de simples implementação, optou-se por fazer a implementação utilizando: um *LED* emissor de infravermelho (**IR333C**), um fototransistor receptor de infravermelho (**PT333-3B**) e circuito comparador.

Dessa forma, para construção do circuito do sensor fotoelétrico de barreira, deve-se determinar a resistência de polarização do *LED* **IR333C** e determinar a potência do resistor conforme as Eq. 6.1 e 6.2:

$$R_{LED} = \frac{(V_{Fonte} - V_{LED})}{I_{LED}} = \frac{(5 - 1,5) [V]}{20 [mA]} = 175 \quad [\Omega] \quad (6.1)$$

$$P_{R_{LED}} = V_{RES} \cdot I_{LED} = 3,5 [V] \cdot 20 [mA] = 0,07 \quad [W] \quad (6.2)$$

Consequentemente, foi selecionado o resistor de 180Ω , por se tratar de um resistor comercial. A Fig. 31 mostra o esquemático do circuito, enquanto a lista subsequente

descreve os itens a serem utilizados na construção.

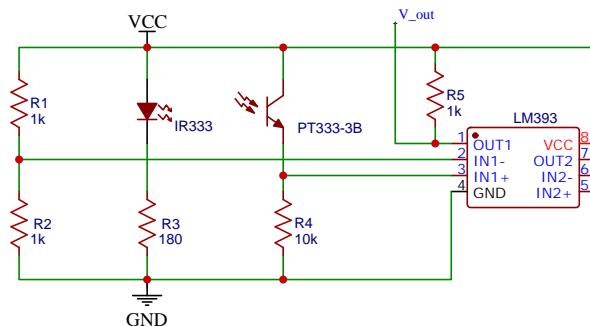


Figura 31 – Esquemático do circuito do sensor fotoelétrico de barreira

- 1 LED IR333;
- 1 Fototransistor PT333-3B;
- 1 CI LM393;
- 1 Resistor de 180 Ω;
- 1 Resistor de 10 kΩ;
- 3 Resistores de 1 kΩ.

Para realizar as simulações, foi utilizado o Opto-acoplador **4N25**, o qual consiste em um CI que contém um LED emissor de infravermelho e um fototransistor NPN. Optou-se pela utilização desse componente na simulação uma vez que os valores de tensão e corrente de entrada e saída são os mesmos para os componentes selecionados **IR333** e **PT333-3B**. Entretanto, a única variação do **4N25** em relação ao LED emissor **IR333** é a corrente de entrada de 50 mA para o circuito integrado (C.I.) e 20 mA para o LED, o que pode ser corrigido na simulação pela alteração do resistor do LED.

Outrossim, na simulação de acordo com a Fig. 32, foi adicionada uma sequência de pulsos na entrada do LED emissor para representar a passagem do objeto entre o emissor e o receptor. Uma vez que, com a passagem do objeto, tem-se a ausência de luz, as junções inversamente polarizadas do fototransistor não conduzem corrente elétrica, e se tem como resultado uma resistência “infinita”. Após a passagem do objeto, ocorrerá a entrada de luz nestas junções e sua resistência diminuirá, havendo assim a condução de corrente elétrica.

Decorrida essa variação de corrente, tem-se uma consequente alteração na tensão e, dessa forma, é possível utilizar o C.I. **LM393**, que contém dois amplificadores operacionais comparadores de tensão. Por conseguinte, liga-se a entrada inversora do comparador a um par de resistores cujos valores determinam a tensão de referência. Quando o valor na

entrada não-inversora for maior que o valor de referência na entrada inversora, a saída do comparador tende a 5 V. Enquanto que, quando o valor na entrada não-inversora for menor que o valor de referência na entrada inversora, a saída do comparador converge a 0 V.

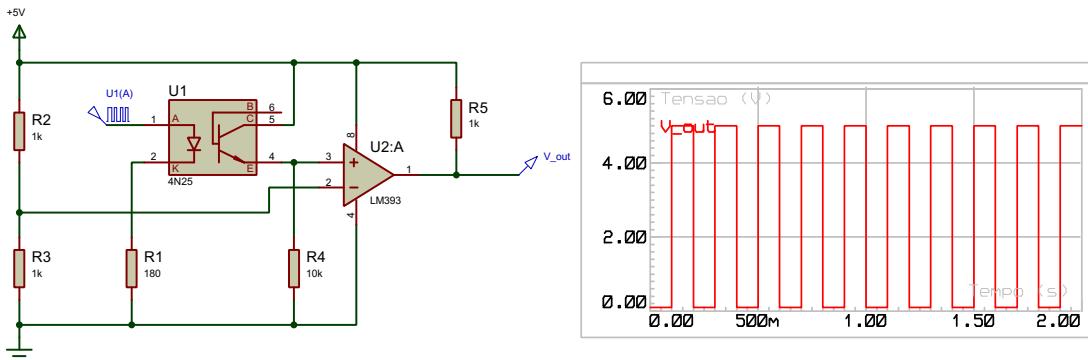


Figura 32 – Simulação do Sensor Fotoelétrico de barreira

Portanto, a partir dessa variação de tensão na saída, pode-se detectar a passagem do objeto, traduzindo a oscilação de 5 V e 0 V para uma representação digital ao ser conectado com o módulo de controle. Essa conexão utiliza 3 pinos: Terminal 1 é a alimentação do circuito em 5 V, Terminal 2 é o terra (em inglês *Ground* - GND) e o Terminal 3 é a saída do comparador **LM393**, representado como V_{out} no esquemático da Fig. 32. Como a saída V_{out} é uma saída digital, ou seja, quando for 0 V, temos bit 0 e em 5 V temos bit 1, não sendo necessário o uso de um condicionamento de sinal como de conversores analógico-digital para conexão entre o sensor desenvolvido e o módulo de controle.

Para levantamento da corrente total consumida pelo sensor de barreira é levada em consideração a corrente típica de operação para o *LED* emissor (I_{LED}) e a corrente da fonte de alimentação para simulação na Fig. 32 excluindo o IN25 ($I_{CIRCUITO}$). Como $I_{LED} = 20 \text{ mA}$ e $I_{CIRCUITO} = 5 \text{ mA}$ obtemos a corrente total somando-as. Ou seja, $I_{total} = I_{LED} + I_{CIRCUITO} = 25 \text{ mA}$.

Por último, a partir da simulação, foi realizada a placa de circuito impresso conforme a Fig. 198 no apêndice H.

• Sensor de Biometria

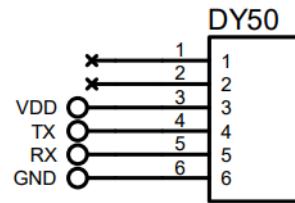
O funcionamento deste sensor se baseia na aquisição da impressão digital do usuário por meio de uma imagem que, posteriormente, terá suas características únicas extraídas e comparadas com um banco de dados de impressões digitais cadastradas.

Dessa forma, foi escolhido o sensor óptico de digitais **DY50**, Fig. 33, por ser o mais comum no mercado e possuir uma metodologia validada para obtenção de digitais. Esse sensor tem a funcionalidade de legitimar o funcionário da clínica geriátrica e permitir a realização de funções que necessitam de autenticação. Assim, esse sensor é empregado para liberar o compartimento frontal para a retirada da dose medicamentosa do dispensador e também para realizar o abastecimento do estoque de medicamentos.

A conexão do sensor com o módulo de controle consiste em 4 pinos, e seu esquemático consta na Fig. 33b: VCC e GND para alimentação, TX e RX para a comunicação UART. O sensor de biometria **DY50** está representado na Fig. 33a, e possui as seguintes especificações:



(a) Sensor DY50



(b) Conexões do Sensor DY50

Figura 33 – Sensor Biometria DY50

- **Alimentação:** 3,6 V a 6 V;
- **Consumo de corrente máximo:** 120 mA;
- **Taxa de transmissão:** 9600, 19200, 28800, 38400, 57600 bits por segundo (bps);
- **Comunicação:** Transistor Transistor Logic serial (TTL serial);
- **Preço:** R\$ 69,00.

• Sensor de Leitura RFID

Para realizar a identificação e logística de distribuição de medicamentos para os pacientes, cada copo tem cores únicas para evitar ministração errada de doses medicamentosas entre pacientes, conforme mencionado na seção 5.5 da solução estrutural. Desse modo, sua identificação é necessária para determinar o copo que está recebendo a medicação.

Dado essa problemática, o sensor RFID foi escolhido para identificar o copo utilizado na separação das doses de medicamentos. Ele realiza a leitura de uma tag RFID pré-instalada e com informações de identificação (ID) exclusivas para cada cor de copo.

O sensor RFID escolhido foi o com C.I. controlador **PN532**, Fig. 35a. Devido a distância máxima para leitura e escrita chegar à 70 mm e sua antena poder ser modificada e direcionada para atender as necessidades de dimensionamento do dispositivo. Este C.I. contempla um projeto de circuito com os componentes necessários para conectar uma antena, fornecido pelo fabricante. O circuito RF consiste em 8 capacitores, 2 indutores, 2 resistores e a bobina de antena simétrica, como mostrado na Fig. 34

O filtro EMC reduz harmônicos de 13,56 MHz e executa uma impedância de transformação. Em seguida, o circuito para casamento de impedâncias atua como um bloco de transformação de impedância. Por último, a própria bobina da antena gera o campo magnético, e assim recebe ou envia um sinal correspondente processado pelo PN532.

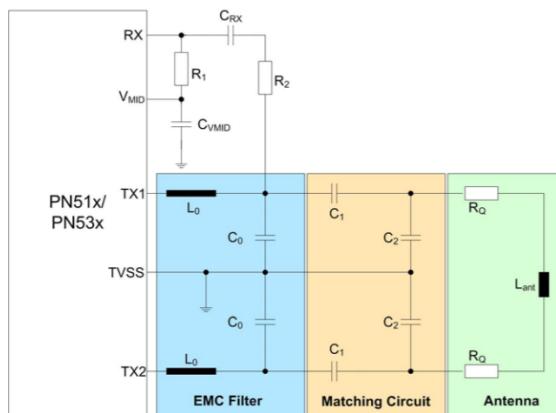


Figura 34 – Diagrama de blocos da parte RF

Para simplificar o desenvolvimento foi escolhido uma solução comercial para sensor de leitura RFID com o PN532 integrado, nele acompanha uma antena seguindo o projeto do fabricante. Essa antena suporta a distância de até 70 mm para leitura e escrita em TAGs RFID compatíveis com a frequência de 13,56 MHz. Essa distância é suficiente para aplicação, por ser superior ao dobro espessura do módulo da esteira utilizada, 19,9 mm, indicada na Fig. 157 do apêndice E.

O sensor foi posicionado entre os módulos da esteira e poderá identificar tags RFID com uma distância de 50-55mm. Temos também que os módulos da esteira são feitos de plástico, não ocorrendo problemas em relação a interferência na posição onde foi definido. A tag RFID fica localizada na parte inferior do copo. Sendo possível ler a informação de identificação (ID) do copo independentemente da face virada para o sensor.

A conexão do sensor de leitura RFID com o módulo de controle consiste em 4 pinos, esquemático na Fig. 35b: VCC, GND, SDA e SCL, que são duas linhas de dados para comunicação I²C. O componente, possui as seguintes especificações:

- **Alimentação:** 5 V;
- **Interfaces de Comunicação:** I²C, SPI e *High Speed UART* (HSU);
- **Distância máxima de leitura/gravação:** 70 mm;
- **Preço:** R\$ 33,99.

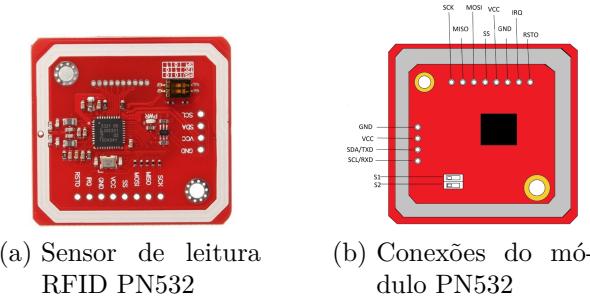


Figura 35 – Módulo PN532

Para escolha da *tag* RFID, primeiro deve ser observado se ela é compatível para o tipo de frequência do sensor RFID utilizado, neste caso 13,56 MHz. Em seguida, deve-se ter atenção para atender as dimensões e formato do copo utilizado. Pelas cotagens descritas na Fig. 161 do apêndice E, copo tem base com 55 mm de diâmetro e 1,5 mm de espessura. Por fim, é necessário ser compatível para uma distância mínima de 50 mm de leitura e escrita.

Seguindo a metodologia descrita, foi escolhido a *Tag* etiqueta RFID 13,56 MHz, representado na Fig. 36. Ela tem diâmetro de 25 mm, menor que a base do copo, e suporta uma distância de comunicação de 50 mm, suficiente para aplicação.



Figura 36 – Tag etiqueta RFID 13,56 MHz

• Câmera para Processamento de Imagens

A câmera foi escolhida para realizar a captação visual dos comprimidos. A imagem captada é processada pelo módulo de controle para identificar a quantidade e classificar o tipo de medicamento no copo, detalhado na Sec. 6.5. Essa informação é usada como medida de segurança onde a doses identificadas com as quantidades erradas do esperado são descartadas. Sendo as identificadas com erro direcionadas para porta traseira do equipamento e emitido um alerta na interface do dispositivo.

A câmera escolhida foi a **OV5647**, Fig. 37a, por apresentar sensor com capacidade de gerar imagens de até 2592x1944 pixeis e preço acessível no Brasil. Ela utiliza o protocolo *Camera Serial Interface* (CSI) para transmitir dados, sendo um padrão compatível para integração com o módulo de controle. Para realizar a conexão entre a câmera e o módulo de controle, especificamente o microprocessador utilizado, emprega-se um cabo *flat* de 15 canais compatível com o soquete *Zero Insertion Force* (ZIF) presente tanto no microprocessador como no módulo com a câmera **OV5647**, representação esquemática na Fig. 37b. O componente apresenta as seguintes características:

- **Sensor:** OV5647
- **Resolução:** 5 MP (2592x1944 pixeis)
- **Abertura:** f1.8
- **Comprimento focal:** 3.6mm (ajustável)
- **Dimensões do visor:** 25 x 24 x 23,5 mm
- **Interfaces de Comunicação:** CSI
- **Preço:** R\$ 69,90.

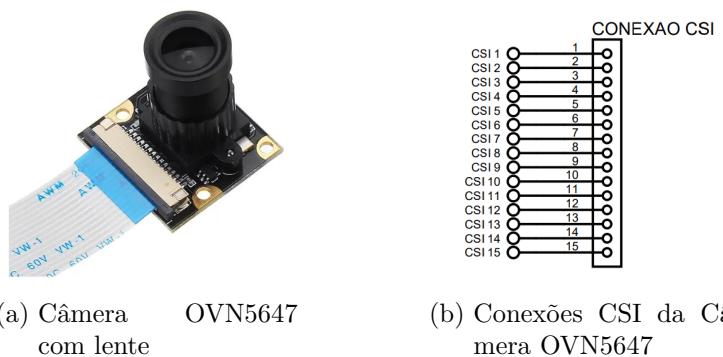


Figura 37 – Câmera OV5647 - 5MP

6.2 Módulo de Visualização

O módulo de visualização é onde o usuário poderá visualizar algumas informações úteis de funcionamento e gestão do dispositivo e interagir com essa interface usando as teclas de interação. Nele estão contidos um visor e um teclado para interface com o usuário conforme representado no diagrama da Fig. 38.

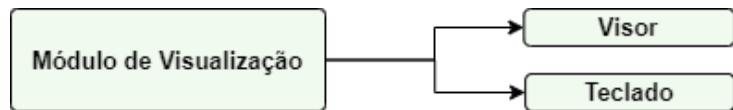


Figura 38 – Módulo de visualização

No apêndice F consta o *mockup* desenvolvido para as telas presentes na interface.

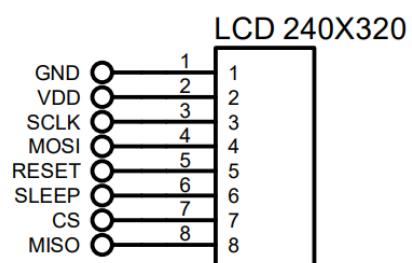
- **Visor**

Existem diversas tecnologias de visor disponíveis no mercado que podem ser utilizadas no projeto. Para delimitação do visor, foi levado em consideração compatibilidade do protocolo de comunicação com sistema embarcado escolhido, tamanho da visor, tecnologia de visor para visualização nas cores RGB e preço relativo. Sendo assim, foi escolhido o visor tipo LCD TFT de 3,2" com as seguintes características:

- **Visor:** Tipo LCD TFT 3,2"
- **Controlador:** ILI9341
- **Resolução:** 240x320 píxeis;
- **Dimensões do visor:** 48,60 x 64,80 mm
- **Interfaces de Comunicação:** SPI



(a) Visor tipo LCD TFT



(b) Conexões do visor LCD - Protocolo SPI

Figura 39 – Visor tipo LCD TFT 240x320

- Teclado

A utilização de uma matriz de botões é necessária para o usuário do dispositivo poder interagir com os menus de opções disponíveis no visor de visualização. Neste caso, foi preferível o uso de botões, uma vez que todos os cadastros de medicação, pacientes e enfermeiros serão realizados pelo aplicativo, e a interação no dispositivo é limitada a funções básicas, como configurações internas do dispositivo e quando há falta de internet.

Sendo assim, será usado uma configuração de arquitetura chamada de matriz de botões, especificamente uma solução comercial *AdKeypad* com 5 botões como na Fig. 40.

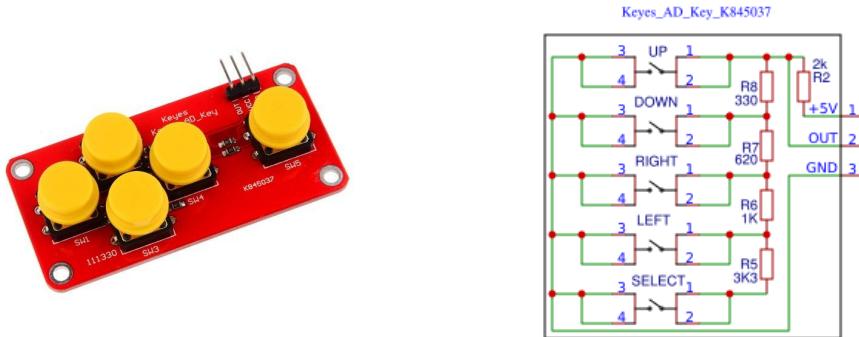


Figura 40 – *AdKeypad*
com 5 botões

Figura 41 – Esquemático
AdKeypad

Analizando o circuito esquematizado na Fig. 41, pode-se calcular a saída de tensão do circuito dependendo do tipo de tecla que é clicada. O circuito se comporta como vários divisores de tensão, onde a resistência varia de acordo com a tecla que é clicada. Assim, obtemos a Eq. 6.3, que representa o cálculo da tensão V_{out} seguindo as entradas e saídas da Fig. 41.

$$V_{out} = \frac{R_{EQ}}{R_2 + R_{EQ}} \cdot V_{in} \quad [V] \quad (6.3)$$

Onde V_{in} é a tensão de alimentação (5 V), R_2 é o resistor de 2 kΩ e R_{EQ} é a soma dos resistores R_8 , R_7 , R_6 e R_5 , dependendo da tecla que está sendo clicada. Sendo assim, temos o resultado de V_{out} na Tab. 16.

Sua comunicação com microcontrolador é do tipo analógica, fazendo com o que o microcontrolador necessite de uma entrada com conversor analógico digital, para que seja realizada a leitura dos dados provenientes do teclado. Conforme o esquemático na Fig. 41, pode-se observar que existe apenas um pino de dados (2) para esse teclado. O módulo de controle irá interpretar qual botão foi pressionado a partir do sinal digital resultante da

Tabela 16 – Resultado para tensão V_{out}

Tecla	R_2 [kΩ]	R_{EQ} [Ω]	V_{out} [V]
CIMA	2	x	0
BAIXO	2	330	0,708
DIREITA	2	950	1,610
ESQUERDA	2	1950	2,468
SELEÇÃO	2	5250	3,621

conversão analógica digital da tensão de saída, determinada na Tab. 16, no pino de dados (2).

6.3 Módulo de Controle

O módulo de controle realiza o processamento dos dados coletados pelo módulo de medição e identificação, o envio e recepção de comandos do módulo de visualização e controla os atuadores do dispositivo. Além disso, é por onde comandos são recebidos e enviados no *Back-end* - nome que representa a parte da arquitetura de software que interage com o módulo de controle.

O principal componente do módulo de controle é o computador de placa única (SBC), com outros para auxiliá-lo conforme representado no diagrama da Fig. 42.

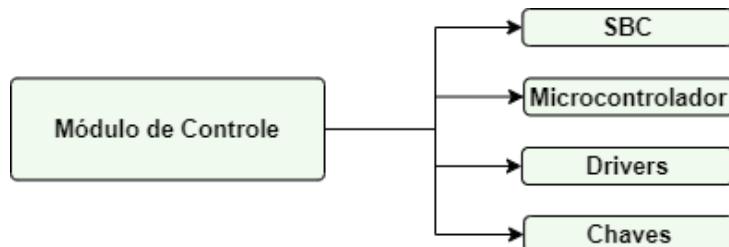


Figura 42 – Módulo de Controle

6.3.1 Sistema Embarcado

- **Computador de Placa Única**

A utilização de um computador de placa única (em inglês *Single Board Computers* - SBCs) se dá pela necessidade desse componente desempenhar várias funções que necessitam do suporte de um computador com sistema operacional, realizando operações para o sistema eletrônico como: Processamento de imagens dos medicamentos; Interface gráfica do módulo de visualização; Captura de dados de múltiplos sensores; Controle dos atuadores.

Também é necessário que a SBC utilizada tenha suporte a protocolos de comunicação I²C, *SPI*, *UART* e *CSI*, entre os módulos de medição e identificação, visualização e o módulo de controle. Principalmente, por conter pinos GPIO para realizar a conexão física desses protocolos. Além do mais, é necessário que o sistema operacional escolhido tenha suporte as ferramentas e algoritmos de comunicação com as arquiteturas usadas na área de Software.

Após uma análise de vários modelos, comparando principalmente os componentes integrados como processador central (CPU), processador gráfico (GPU), tipo de memória RAM, quantidade de memória RAM, periféricos embarcados (tipo USB, módulo Wi/Fi, internet) e o preço relativo praticado em fornecedores no Brasil, foi escolhido a **Raspberry Pi 4 B com 4 GB DDR4**.

A *Raspberry Pi* 4 tem suporte em *hardware* para os protocolos de comunicação suportados para comunicação entre os componentes do módulo de controle e sensores específicos do módulo de medição e identificação. Ou seja, em seu GPIO há conexão da comunicação I²C, *SPI*, *UART*, sendo que, para o protocolo *CSI*, é utilizado o soquete ZIF de 15 pinos na parte traseira da placa.

O armazenamento será suportado em hardware pela *Raspberry Pi*, sendo empregado o cartão de memória chamado em inglês de *Secure Digital Card* (SD Card). Para o tamanho do cartão de memória, foi selecionado o de 32 Gb, já que não serão armazenadas as imagens usadas no processamento de imagem e o banco de dados não armazena um grande volume de dados, apenas arquivos de Mbs e Kbs. Por fim, foi avaliado as especificações da velocidade de leitura e escrita do SD card em relação ao preço final.

Sendo assim, foi escolhido o SD Card **SanDisk Extreme com 32 GBs** de armazenamento e especificação de leitura em até 100 MB/s e escrita de 90 MB/s. Além de atender os requisitos, essa escolha foi baseada em um comparativo de velocidade realizado pela imprensa especializada aliada ao preço em fornecedores locais ([DRAMBLE, 2020](#)).

Para o sistema operacional, foi escolhido o *Ubuntu Server 18.04.05 LTS* por ser uma versão lançada em 2018 no mercado e pelo seu ciclo de vida terminar em Abril de 2023. Assim, o ciclo de vida representa a data final em que a versão do sistema operacional para de receber suporte oficial da comunidade *Ubuntu* para atualizações de segurança e novidades. Esse sistema operacional suporta todas as bibliotecas utilizadas para desenvolvimento da comunicação e controle dos módulos do sistema eletrônico e da solução de software.

• Microcontroladores

Segundo (MORTON, 2005), para escolha do microcontrolador, primeiro deve ser realizado um rascunho do projeto, observando o que será feito e o que o microcontrolador deve fazer. O próximo passo é elaborar um diagrama do circuito ou representação similar, vendo em particular todas as entradas e saídas necessárias para se conectar com o microcontrolador e atender aos requisitos do projeto, sendo um dos principais fatores de escolha devido a limitação de porta que cada microcontrolador possui. Como, por exemplo, PIC16F54 tem até 12 pinos entrada/saída (em inglês *input/output* - I/O) e a PIC16F57 até 20.

Com a metodologia escolhida temos que os microcontroladores serão utilizados para direcionar dados do módulo de medição e identificação para o SBC e o mesmo enviar dados de controle para os atuadores. Para direcionamento desses dados entre os microcontroladores e o SBC escolhido (*Raspberry Pi 4*), foi determinado o uso do protocolo I²C, sendo assim um requisito para escolha do microcontrolador.

Para determinação da quantidade de pinos, primeiro deve-se listar a quantidade de cada componente conectado aos microcontroladores e os pinos necessários para cada unidade, excluindo pinos de alimentação como +5 V e GND, e observando se os pinos utilizados atendem ao modo como o dado vem do sensor, ou seja, se é digital ou é necessário o uso de uma porta com conversão analógico-digital. Na Tab. 17 está a compilação da quantidade total de pinos necessários.

Tabela 17 – Levantamento da quantidade de pinos

Componente	Quantidade	Pinos (unid.)	Tipo	Pinos (Total)
Sensor de Barreira	30	1	I/O	30
Chave Micro Switch	33	1	I/O	33
Teclado	1	1	Analógico	1
Driver A4988	5	7	I/O	35
Driver IRF520N	33	1	I/O	33
Driver Ponte H L298	1	2	I/O	2
Total				133

Sendo levado em consideração que o visor LCD, o sensor de biometria DY50, o sensor RFID PN532, o sensor de temperatura e umidade HTU21D e a câmera não se conectam aos microcontroladores.

Analizando a Tab. 17, pode-se concluir que os componentes com maior quantidade são os sensores de barreira (30 un.), as chaves (33 un.) e os drivers IRF520N(33 un.), totalizando 95 componentes. Como o controle foi desenvolvido para que a medição ou

controle para os componentes de mesmo tipo não seja paralela, é possível simplificar como eles são conectados o módulo de controle. A descrição do controle se encontra na seção 6.4.3. Desse modo, pode-se utilizar multiplexadores e demultiplexadores (MUX/DEMUX) para diminuir a quantidade de portas de I/O conectadas de sensores de barreira, chaves e *drivers* IRF520N com o microcontrolador. Sendo assim, foi escolhido MUX/DEMUX 8x1, especificamente pelo uso do CI CD4051.

O CD4051 é um C.I. de multiplexação ou demultiplexação com 13 pinos, dos quais:

- 8 pinos de entradas/saídas;
- 1 pino de saída/entrada;
- 3 pinos para chaveamento de qual dos oito canais são as saídas;
- 1 pino *ENABLE* que desliga o funcionamento do C.I.

Levando em consideração os 13 pinos de um MUX/DEMUX, foi calculado a razão de redução de pinos. Foi levado em consideração que, para o mesmo tipo de componente, é utilizada a quantidade mais próxima de MUX/DEMUX com relação a quantidade total do componente, sem deixar sobrar portas entradas ou saídas no MUX/DEMUX. Em seguida, foi considerado que os 3 pinos de chaveamento são conectados aos mesmos 3 pinos no microcontrolador, independente da quantidade utilizada de C.I.s. E os pinos de saída/entrada do MUX/DEMUX e *ENABLE* tem conexão individual no multiplexador. Por fim, calculamos a razão de redução pela Eq. 6.4.

$$\text{Razão de Redução de Pinos (RRP)} = \frac{\text{Quantidade final}}{\text{Quantidade Inicial}} \quad (6.4)$$

Onde: Quantidade final é o total de pinos conectados ao microcontrolador após o uso dos MUX/DEMUX 8x1 e; Quantidade inicial é o total de pinos conectados determinado na Tab. 17. Seguindo a metodologia descrita, e aplicando a Eq. 6.4 para os 3 componentes com maior quantidade, obtemos:

- **Sensores de Barreira:** 30 unidades, sendo 24 conectadas a 3 multiplexadores (necessário $3 + 3 \cdot 2 = 9$ pinos) e 6 diretamente no microcontrolador.

$$RRP = \frac{(9+6)}{30} = 0.5$$

- **Chaves tipo Micro *Switch*:** 33 unidades, sendo 32 conectadas a 4 multiplexadores (necessário $3 + 4 \cdot 2 = 11$ pinos) e 1 diretamente no microcontrolador.

$$RRP = \frac{(11+1)}{33} = 0.36$$

- **Driver IRF520N:** 33 unidades, sendo 32 conectadas a 4 multiplexadores (necessário $3 + 4 \cdot 2 = 11$ pinos) e 1 diretamente no microcontrolador.

$$RRP = \frac{(11+1)}{33} = 0.36$$

Recalculando o total de pinos necessários nos microcontroladores, ocorreu uma redução de 96 para 39 para os 3 componentes de maior quantidade (sensores de barreira, chaves e *driver* IRF520N).

Analizando o *driver* A4988, usado para os motores de passo, é necessário um total de 35 pinos. Com a funcionalidade de cada conexão explicitada na seção 6.3.3, pode-se simplificar sua conexão aos microcontroladores, pois apenas um vai funcionar por vez e todos realizam o mesmo tipo de movimento. Assim, dos 7 pinos utilizados para cada *driver* A4988, 6 podem estar conectados na mesma porta lógica do microcontrolador para os 5 utilizados, onde a porta de *ENABLE* de cada *driver* tem conexão individual com o microcontrolador. Ou seja, para os 5 utilizados para controle dos motores de passo, são necessários 6 pinos (portas comuns entre os *drivers*) e 5 pinos *ENABLE* para cada um, proporcionando a diminuição do total de 35 para 11 pinos necessários para os *drivers* A4988.

Com todas as simplificações de conexão aos microcontroladores descritas, a quantidade total de pinos necessária diminuiu de 133, conforme Tab. 17, para 53 ($39+11+1+2 = 53$).

Para evitar qualquer ruído inerente dos atuadores, serão usados microcontroladores exclusivos, tanto para parte do módulo de controle conectada aos atuadores quanto para o módulo de medição e identificação. Desse modo, é garantida a integridade dos valores medidos dos sensores no módulo de medição e identificação.

Sendo assim, realiza-se a separação dos pinos por tipo de módulo em que está conectado (módulo de medição e identificação ou componentes do módulo de controle). Para os componentes em maior quantidade (sensores barreira, chaves e *driver* IRF520N), os pinos de conexão são adicionados para o protocolo de comunicação I²C (2 pinos - SDA e SCL). É necessário 4 microcontroladores com pelo menos 15 pinos, onde um deles precisa ter uma entrada com conversor A/D para a conexão analógica do teclado.

Com a funcionalidade do microcontrolador determinada, a quantidade e os tipo de pinos necessários e a quantidade de microcontroladores foi decidido usar os da família PIC, fabricados pela *Microchip Technology*. Sua arquitetura foi escolhida por ser compatível com bibliotecas de leitura, comunicação e controle dos *drivers* dos atuadores. Também existe a disponibilidade em fornecedores locais de uma variedade de C.I.s de microcon-

troladores com diferentes quantidade de pinos I/O, conversão A/D de várias resoluções e comunicação I²C, sendo possível a criação de circuitos customizados para aplicação sem a necessidade utilização de placas de desenvolvimento de microcontroladores, como Arduino UNO ou MSP430.

Sendo assim, o microcontrolador escolhido foi o **PIC16F677**, por conter 17 pinos I/O, onde 2 podem ser configurados para comunicação I²C, 12 podem ser configurados como conversor A/D de 10 bits, e pode ser alimentado com uma tensão de 5 V, compatível com as duas possibilidades disponíveis pela solução energética.

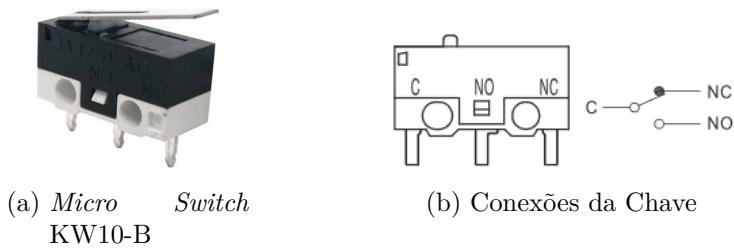
6.3.2 Chave

O uso de chaves se deu devido à necessidade de detectar o trancamento dos compartimentos do dispositivo e verificar se os cilindros dos contêineres individuais foram encaixados corretamente. Os compartimentos que são monitorados é o frontal, por onde ocorre a passagem dos copos com medicamento do dispositivo, o traseiro, por onde ocorre o acesso aos copos com medicação incorreta, e os superiores, que fornecem acesso aos contêineres e reservatório de copos. Os cilindros dos contêineres individuais, onde são colocados os medicamentos, são monitorados por terem sido desenvolvidos com intuito de serem removíveis para higienização.

Com base na aplicação levantada, foram selecionadas, de forma qualitativa, as chaves do tipo *micro switch* **KW10-B** com haste, uma vez que seu uso é ideal para as aplicações de detecção do trancamento de todas as portas do dispositivo, e também para a confirmação do correto encaixe dos cilindros dos contêineres. Alguns desses fatores são: a direção em que a chave é ativada; o mecanismo relacionado ao acoplamento e desacoplamento; a força mínima necessária para a ativação; a necessidade de um pequeno espaço de contato; possuir ação rápida; ter alta sensibilidade e; o pequeno deslocamento de operação.

A chave tipo *micro switch* **KW10-B** contém 3 pinos de conexão: o terminal 1 - comum, o terminal 2 - normalmente aberto (em inglês *normal open*) e o terminal 3 - normalmente fechado (em inglês *normal closed*). Como o uso da chave se baseia em realizar uma alteração na conexão I/O com o módulo de controle, quando ele é fechado, a conexão entre a chave e o módulo de controle é feita usando os terminais 1 e 2, ou seja, comum e normalmente aberto.

A chave **KW10-B** está representada na Fig. 43a e a lógica dos terminais podem ser visualizadas na representação esquemática da Fig. 43b. O componente possui as seguintes especificações para a aplicação em que é utilizado:

Figura 43 – Chave tipo *Micro Switch*

- **Alimentação:** 5 V;
- **Consumo de corrente máxima:** 1 A;
- **Quantidade de terminais:** 3;
- **Preço:** R\$ 0,76.

6.3.3 Drivers de Atuadores

Os *drivers* dos atuadores são módulos projetados para prover a potência de atuação e a interação com o controle de forma simplificada. Eles convertem comandos por meio de portas lógicas em potência controlada para os atuadores. Dessa forma, tornam possível o controle automático de ações de movimento.

Os atuadores que são controlados são: motor DC, atuador linear, motores de passo, solenóides para os contêineres e as mini-travas elétricas solenóides em cada compartimento de acesso no dispositivo.

- **Motores de Passo** O *driver* escolhido para os motores de passo é o módulo com C.I. **A4988**, pois atende as características de carga para funcionamento do motor de passo escolhido, a partir da explicação na seção 7.1.1 da solução energética. Além do mais, o *driver* inclui a possibilidade de resolução do passo do motor em até 1/16 do considerado passo completo, assim o passo completo é o angulo mínimo, em graus, que o motor de passo realiza e é diferente para cada motor. No caso do motor escolhido, o passo completo segundo o fabricante é de $1,8^\circ$. Por não ser uma aplicação que necessite de alta resolução para controle dos motores de passo, por apenas girar os fusos que rotacionam as engrenagens de um grupo de 5 contêineres até ser detectado a queda de um medicamento, a resolução de 1/16 do passo completo do motor é suficiente para controle.

Para conexão entre o módulo de controle, especificamente o microcontrolador, e o *driver* A4988 são utilizados 9 pinos, dos quais:

- **VCC e GND:** Alimentação da parte lógica.
 - **MS1, MS2 e MS3:** Portas lógicas que determinam a resolução do Passo: Passo Completo (estado lógico: “000”); Meio Passo (estado lógico: “100”); 1/4 Passo (estado lógico: “010”); 1/8 Passo (estado lógico: “001”); 1/16 Passo (estado lógico: “111”).
 - **ENABLE:** Ativa (estado lógico: ‘1’) ou desativa (estado lógico: ‘0’) as saídas de tensão e corrente para o motor de passo.
 - **DIR:** Determina a direção de rotação do motor.
 - **STEP:** Entrada de controle principal que cada transição de ‘0’ para ‘1’ realiza o movimento conforme a resolução determinada pelas portas MSx.
 - **RESET:** Quando vai para o estado lógico ‘0’ ele reinicia o tradutor (bloco interno do C.I. que traduz as entradas de controle em tensões na saída para movimento do motor de passo) para um estado inicial pré-determinado e desativa todas as portas de saída para os motores. O *driver* ignora todas as portas de entrada *STEP* até ele voltar para o estado lógico ‘1’ (desativado).
- **Motor DC** O *driver* escolhido para o motor DC é o **L298N**, e seu controle é baseado na ponte H. Ele atende as especificações elétricas para alimentação do motor DC escolhido, explicado na seção [7.1.2](#) da solução energética.

A estrutura de ponte H de eletrônica de potência permite a manipulação da tensão da fonte no motor por meio de chaveamento. Dessa forma, é possível controlar a velocidade do motor. Para o chaveamento, será utilizado o controle por modulação de pulso (*PWM*), implementado na rotina do *firmware* do microcontrolador. Essa tecnologia varia o tempo de permanência do sinal lógico em baixo e alto, acarretando em uma resposta que simula uma variação de intensidade de tensão, porém variando apenas o tempo que o sinal está ligado.

Para conexão entre o módulo de controle, especificamente o microcontrolador, e a ponte H L298 são utilizados 3 pinos:

- **IN1 e IN2** (Entrada 1 e Entrada 2) são as entradas de controle do motor na ponte H. São 4 possibilidades lógicas para esses pinos: “00” motor gira no sentido direto, “01” motor gira no sentido reverso, “10” freio do sentido direto e “01” freio do sentido reverso.
- **GND** para conectar as referências lógicas do microcontrolador e da ponte H.

- **Solenoides e Atuador Linear** O *driver* escolhido para os solenoides e atuador linear foi o módulo com C.I. **IRF520N**, uma vez que atende as características elétricas requisitadas, explicado nas seções 7.1.4 e 7.1.3 da solução energética. Suas configurações possibilitam a utilização de sinais lógicos pelo microcontrolador para controle.

Para conexão entre o módulo de controle, especificamente o microcontrolador, e o *driver* IRF520N são utilizados 2 pinos:

- **SIGNAL** para o sinal lógico de controle por nível lógico.
- **GND** para referência da parte lógica.

6.4 Arquitetura de integração entre os módulos

Nesta seção será apresentado a integração entre os módulos do sistema eletrônico. Dessa forma, são apresentados os seguintes tópicos: Conexão entre os módulos, o detalhamento dos protocolos de comunicação utilizados, a lógica de controle usando a Rede de Petri e a implementação do código-fonte para o sistema embarcado (baixo e alto nível).

6.4.1 Conexão entre os Módulos

A integração entre os módulos de medição e identificação, o de controle e o de visualização segue o diagrama de blocos da Fig. 44. Nesse diagrama é também apresentada a alimentação necessária para cada componente, explicação técnica na solução de energia no capítulo 7.

Os diagramas esquemáticos que apresentam em detalhes as conexões entre os módulos do sistema eletrônico e respectivos componentes se encontram no apêndice G.

6.4.2 Protocolos de Comunicação

Os protocolos de comunicação utilizados são divididos em duas categorias:

- **Protocolos Internos:** Utilizados para comunicação entre os módulos e respectivos componentes. São esses: I²C, SPI, UART e CSI.
- **Protocolos Externos:** Utilizados para comunicação entre o sistema eletrônico com o *back-end* da solução de software. São esses: HTTP e MQTT. Esses protocolos são explicados na seção 9.3, dentro do capítulo de integração geral do dispositivo.

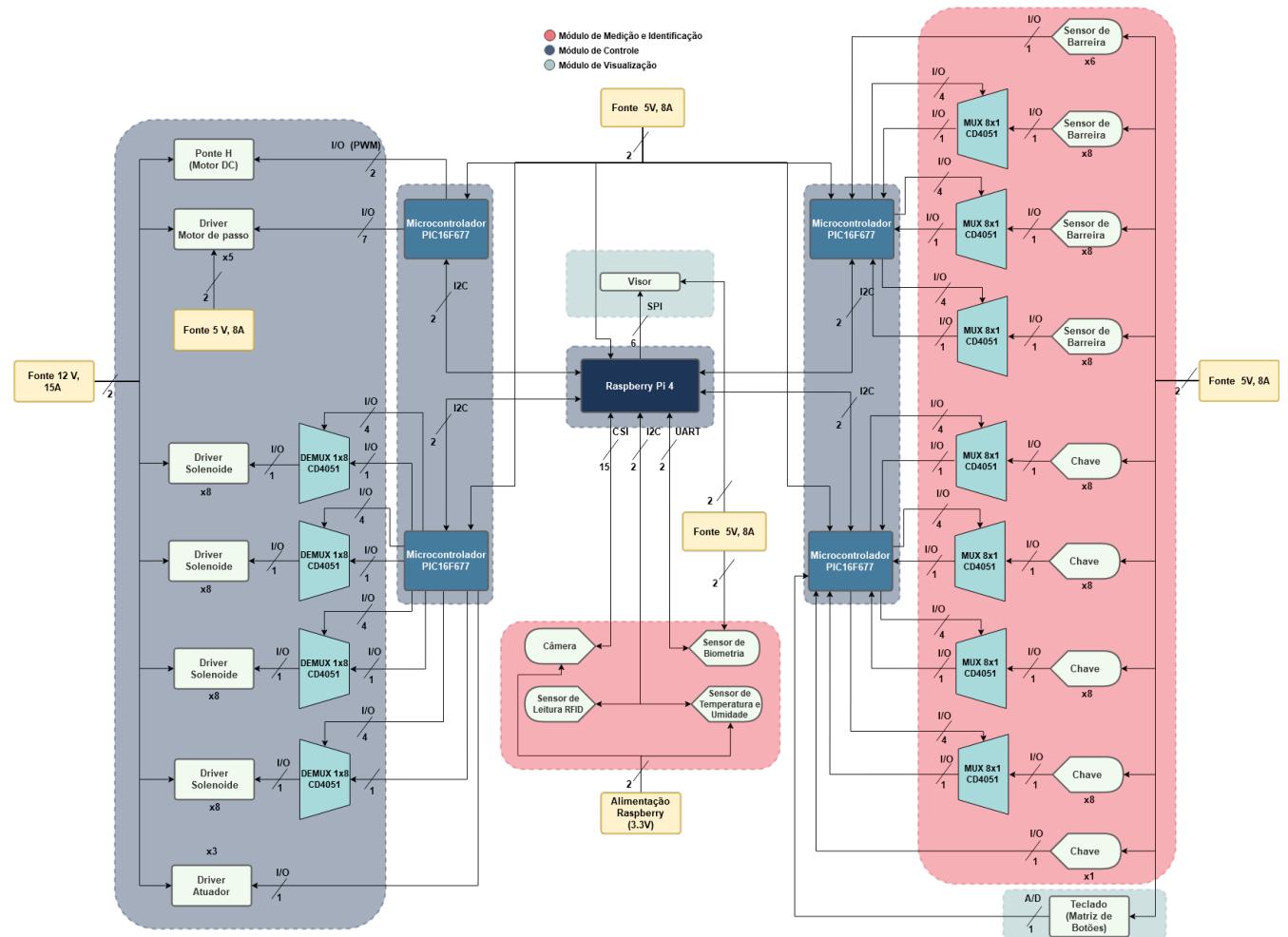


Figura 44 – Diagrama Lógico Eletrônico

• Protocols internos

- I²C

O protocolo I²C descreve o funcionamento de um barramento serial que opera com dois fios: o SCL, que é responsável por levar o *clock* do dispositivo mestre para os dispositivos escravos, e o SDA, para a transferência de dados. Assim, para iniciar uma comunicação com escravos, o mestre coloca o valor lógico da linha SDA em baixo e logo em seguida é enviado o endereço do escravo que será utilizado.

Se o dispositivo escravo existir naquele endereço, um sinal de nível baixo é enviado pelo canal SCL após o oitavo pulso de *clock*. Após isso, o mestre lê ou escreve nos registradores selecionados do escravo. Logo, é uma comunicação bidirecional.

Na aplicação proposta, este protocolo é usado para comunicação do dispositivo mestre, *Raspberry Pi 4*, com dispositivos escravos. Os escravos são os quatro microcon-

troladores PIC16F677, o sensor de temperatura/umidade e o sensor RFID.

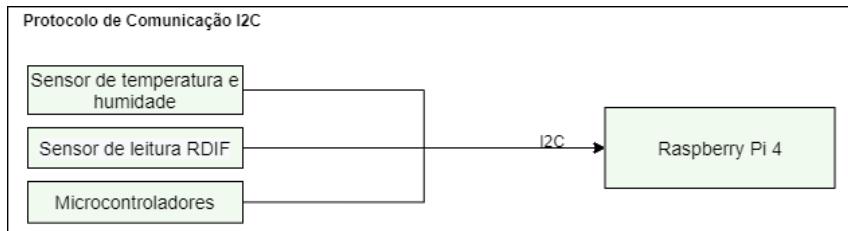


Figura 45 – Comunicação I²C

- SPI

O protocolo SPI possui três fios fixos e um adicional para cada escravo no sistema. Sua comunicação é unidirecional em cada fio de comunicação, sendo o MOSI (*Master Output Slave Input*) partindo do mestre para o escravo, o MISO (*Master Input Slave Output*) partindo do escravo para o mestre, e o SCLK que é o *clock* serial do mestre. Pa

ra controlar qual escravo está sendo usado, é empregado o pino de seleção de escravo SS, que precisa de um nível baixo para operar. Por mais que este protocolo precise de mais canais para seu funcionamento, as velocidades alcançadas superam as do I²C, pois a deformação do sinal é menor pelo uso de transistores, definindo o estado do pino (Push-Pull) ao invés de dreno aberto (Pull-Up).

O protocolo SPI é utilizado para comunicar o dispositivo mestre, *Raspberry Pi 4*, com o visor LCD TFT 240x320, devido a ser o protocolo compatível com o controlador do visor escolhido.

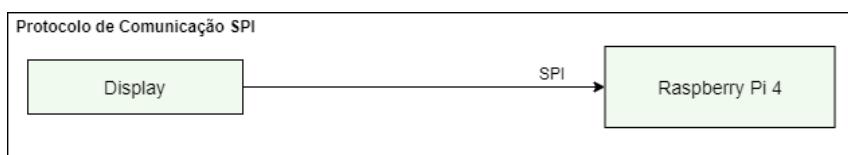


Figura 46 – Comunicação SPI

- UART

O protocolo UART utiliza dois canais de comunicação, o RX para receber os dados e o TX para enviar. Esse protocolo trabalha de forma assíncrona, necessitando que o transmissor e o receptor estejam numa mesma taxa de transmissão (em inglês *baudrate*).

As conexões são feitas invertendo-se os canais em dois dispositivos distintos, ou seja, o canal TX é conectado no RX e vice-versa. Para iniciar uma transmissão, é enviado

um bit de início, seguido de cinco a nove bits de informação, um bit de paridade e um a dois bits de finalização de transmissão.

Este protocolo é usado para comunicar o dispositivo mestre, o *Raspberry Pi 4*, com o sensor de biometria DY50.

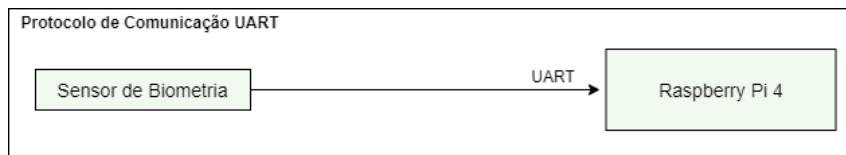


Figura 47 – Comunicação UART

- **CSI**

O protocolo CSI (*Camera Serial Interface*) é caracterizado por uma fusão entre os protocolos I²C e SPI. Ele utiliza duas interfaces: a primeira com os canais SCL e SDA para controle da câmera; e a segunda com um canal de transmissão unidirecional da câmera para o processador e um canal de *clock* da câmera para o processador.

Este protocolo é o utilizado para comunicação entre a *Raspberry Pi 4* e o módulo com câmera OV5647.

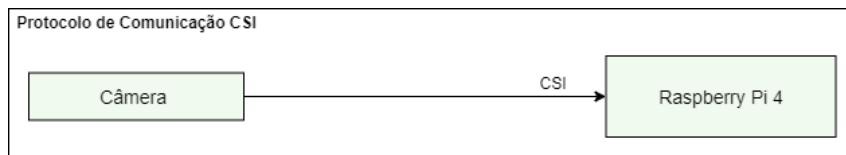


Figura 48 – Comunicação CSI

6.4.3 Controle do Dispositivo

A Rede de Petri é uma técnica de modelagem, a qual permite a representação de sistemas com embasamento matemático, e assim relacionar causa e efeito entre os eventos e as condições. Os elementos básicos que formam a topologia da redes de Petri são:

- **Estados:** são usados para modelar os componentes passivos dos sistemas, correspondendo às variáveis de estado. No diagrama, são representadas por círculos.
- **Ações:** são usadas para modelar os componentes ativos dos sistemas, os eventos de transição de um estado para outro. No diagrama, são representadas por retângulos.
- **Fluxo:** através das ações do sistema, é especificado como a transformação de um estado para outro. No diagrama, são representados por setas.

A partir do fluxograma de operação do sistema mecânico na Fig. 4, representado na solução de estrutura na seção 5.3, elabora-se a Rede de Petri para representar e modelar o controle do dispositivo.

Antes de iniciar o processo de controle, os medicamentos são retirados das embalagens e posicionados nos contêineres. Além do mais, os copos esterilizados também são dispostos no local de armazenamento dentro do dispositivo. A partir da Rede de Petri, na Fig. 49, percebe-se que ocorrem dois processos em paralelo, a separação do medicamento e o posicionamento do copo na esteira.

O primeiro processo tem início com o medicamento sólido no contêiner, o qual cai na comporta com a ativação do *driver* do motor de passo. O medicamento é detectado pelo sensor fotoelétrico de barreira e, em seguida, deve-se desativar o *drive* do motor de passo quando ocorrer a detecção, para que não caia mais de um medicamento na comporta. Posteriormente, o solenoide é ativado para abrir a comporta. Quando a comporta é aberta, o medicamento se desloca pelo canal de distribuição e, consequentemente, o solenoide é desativado. Em seguida, logo no final do funil do canal de distribuição, existe um sensor fotoelétrico de barreira para detectar a passagem do medicamento. Entretanto, quando o medicamento não é detectado pelo sensor, tem-se um aviso no visor do dispositivo que o medicamento está preso no dispositivo.

Enquanto isso, o outro processo em paralelo tem início com o copo no local de armazenamento. Sendo assim, está posicionado, no final do reservatório de copos, um sensor de barreira, para verificar e detectar a passagem do copo. Logo, quando o copo é detectado, deve-se ativar o *driver* do atuador. Com a ativação do atuador, o copo é empurrado para a esteira e o *driver* do atuador é desativado. Quando o copo está na esteira, é realizada a leitura da etiqueta RFID e os medicamentos são dispostos no copo a partir do posicionamento do copo abaixo do funil. Dessa forma, em uma dose medicamentosa que envolva mais de um comprimido, o copo fica esperando até atingir o final do processo de separação dos medicamentos.

Posteriormente, quando ocorre a queda de todos os medicamentos da dose individual do paciente, o *driver* do motor DC na esteira é ativado e ele a rotaciona para o sentido horário. Sendo assim, quando o copo com os medicamentos é detectado por outro sensor fotoelétrico de barreira, o qual é posicionado logo abaixo da câmera, o *driver* do motor DC da esteira é desativado e a esteira para, com a finalidade de realizar o captura das imagens para o processamento de imagem.

Quando o processamento de imagens da dose individual conclui que existem erros de quantidade ou seleção, a esteira é ativada com o movimento anti-horário, até chegar

em outro sensor de barreira. Esse sensor detecta que o copo com medicamento caiu no compartimento de doses medicamentosas erradas, a Zona de Retorno. Caso contrário, quando a quantidade e a seleção de medicamentos estão corretas, a esteira é ativada com o movimento horário até chegar sensor de barreira que detecta que o copo está na Área de Espera, e que o medicamento foi retirado do dispositivo.

Portanto, quando existe um horário que mais de um paciente necessita da administração da medicação, a dose de medicamentos individuais é realizada sequencialmente para cada paciente. Quando é detectado que o copo está na zona de entrega, o dispositivo retorna para a posição inicial para a nova sequência de dose individual.

No processo de reabastecimento, em que é necessário abrir a comporta superior para adição de medicamentos e retirar os contêineres para limpeza, utiliza-se uma chave. Com ela, é possível detectar se a porta está fechada e se os contêineres estão corretamente encaixados. Caso contrário, deve-se enviar um aviso no visor para que o enfermeiro possa corrigir essas anomalias.

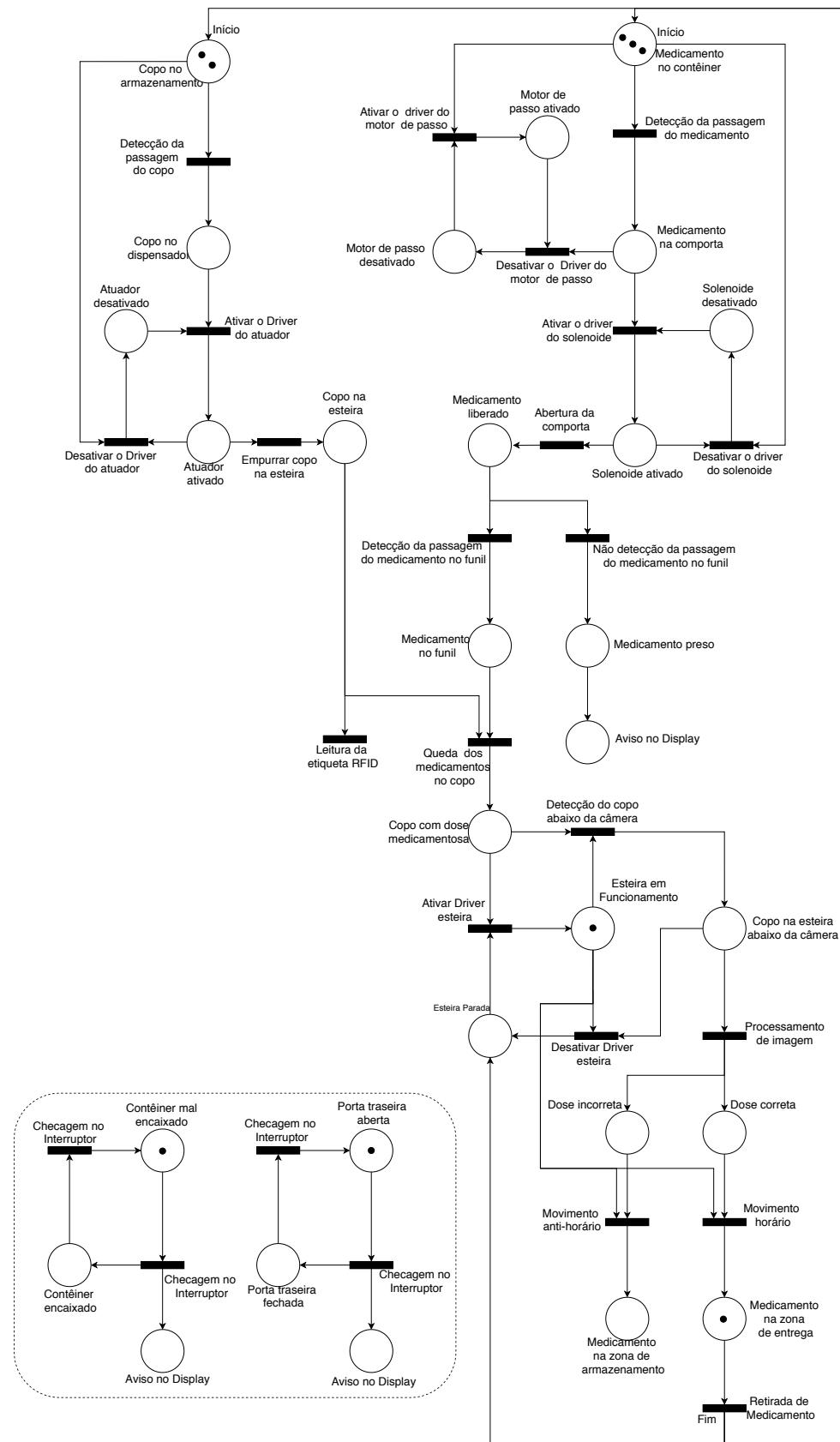


Figura 49 – Rede de Petri do Controle eletrônico

6.4.4 Código-Fonte do Sistema Eletrônico

O código-fonte para um sistema eletrônico se refere se refere a programação de alto e baixo nível implementado para o sistema eletrônico. Sua implementação é dividida em duas partes:

A primeira se refere aos microcontroladores da família PIC, que serão programados em baixo nível usando linguagem C por meio do compilador **CCS C**.

A segunda se relaciona a programação em alto nível da *Raspberry Pi 4* para funcionamento do sistema eletrônico, tanto entre os módulos (medição e identificação, controle e visualização) quanto com o *back-end* da solução de software. Nesse caso, a linguagem de programação utilizada é o *Python 3*.

Todos os códigos desenvolvidos podem ser acessados por meio do repositório do link: [PillWatcher-Embarcado](#).

• Microcontroladores - **PIC16F677**

O desenvolvimento de uma lógica de leitura e escrita do protocolo é necessária nos microcontroladores. O primeiro passo é ajustar o microcontrolador para o modo escravo por meio da diretiva `#use i2c(SLAVE)`. A próxima etapa é ler o estado de comunicação por meio da função `int8 2c_isr_state()`. O estado retornado representa a operação que será realizada. Os estados com valores menores que **0x80** representam endereços e dados. Enquanto estados com valores iguais ou superiores a **0x80** representam a requisição de dados para o microcontrolador.

Para ler os bytes recebidos, é utilizada a função `int8 i2c_read()`, que retorna o byte presente no *buffer*. Para enviar um byte de resposta, é utilizada a função `int1 i2c_write(unsigned int8 data)`, que escreve no barramento I²C.

• Computador de Placa Única - **Raspberry Pi 4**

A *Raspberry Pi 4* será programada em *Python 3* por meio da utilização de bibliotecas de comunicação entre módulos do sistema eletrônico e a integração com o *back-end* do software. Será descrito a comunicação e as rotinas de funcionamento do sistema eletrônico.

O processamento de imagens é implementado usando a mesma plataforma porém sua explicação é feita na seção [6.5](#).

– Comunicação:

Para comunicação são determinados tanto o endereçamento específico dependendo do tipo de comunicação como os tipos de dados que são capturados ou transmitidos.

- **Sensor de Temperatura e Umidade - HTU21D**

Será utilizada a biblioteca **Adafruit_HTU21D** para a comunicação com o sensor e o endereço I²C empregado é **0x40**. Para capturar a temperatura e umidade será usado os métodos **read_temperature** e **read_humidity** presentes na classe HTU21D.

- **Sensores de barreira**

O código-fonte responsável pelos sensores de barreira possui em sua memória uma tabela para a seleção do sensor que será lido. Nessa tabela, estão presentes seis valores lógicos para a seleção no multiplexador, sendo três deles para seleção da porta e outros três para seleção do multiplexador ativo. O último valor na tabela se refere ao pino de entrada no microcontrolador para leitura dos sinais. Dessa forma, estão posicionados 24 sensores de barreira nos multiplexadores e 6 diretamente ligados ao microcontrolador.

Para utilização do protocolo I²C, foi escolhido o endereço de comunicação **0xA0**. O valor recebido representa o endereço do sensor na tabela e, dessa forma, os pinos são condicionados e o estado do sensor é enviado em retorno.

- **Sensor de Biometria - DY50**

O sensor de biometria DY50 realiza todo o processamento de impressões digitais internamente em sua memória. Para enviar comandos, é utilizado o protocolo UART e, para isso, a biblioteca **python-fingerprint**. O primeiro passo é abrir comunicação serial por meio da classe **PyFingerprint**. Com ela, é possível cadastrar e identificar digitais armazenadas na memória do dispositivo.

- **Sensor RFID - PN532**

Para comunicação com o sensor RFID PN532 será utilizada a biblioteca py532lib. Por meio dela, é possível ler *tags* RFID utilizando os métodos na classe **Pn532_i2c** que se comunica pelo protocolo I²C. O endereço utilizado pelo sensor é o **0x24**.

- **Câmera - OV5647**

Para comunicação com a câmera, será utilizada a biblioteca **picamera**, que torna possível a aquisição de imagens por meio da classe **PiCamera** que possui o método de captura.

- **Chave e Teclado**

O código-fonte segue a mesma lógica dos sensores de barreira. Contudo, possui 32 chaves conectadas em 4 multiplexadores. Dessa forma, a tabela possui 7 valores lógicos de seleção do multiplexador, com dois sensores conectados diretamente ao microcontrolador, uma chave e o teclado.

Para ler os dados do teclado é utilizado o conversor A/D presente no microcontrolador, utilizando como referência a tensão de alimentação. Com isso, tem-se cinco faixas de tensão estipuladas para os parâmetros do teclado. O valor obtido da conversão é comparado com essas faixas e o botão pressionado é retornado por meio do protocolo I²C com bytes com valores de 1 a 5.

O endereço escolhido para comunicação I²C foi **0xA2**, e os valores enviados representam o sensor requerido, com o valor 0 representando os botões e valores de 1 a 33 representando as chaves.

- **Visor - ILI9341**

Para a comunicação por SPI com o visor ILI9341 será utilizada a biblioteca **Adafruit_ILI9341**. Por meio dela, é possível desenhar formas do display e apresentar imagens utilizando a classe ILI9341.

- **Solenoides**

Semelhante a como foi aplicado para os sensores de barreira, o código-fonte para as solenoides possui uma tabela com valores lógicos para seleção do requerido. Entretanto, é utilizado o modo demultiplexador, modificando o nível lógico da saída pra acionar o *driver* do solenoide requerido. Os 32 solenoides são posicionados em 4 demultiplexadores, enquanto o atuador linear é conectado diretamente ao microcontrolador.

Para a comunicação I²C, o endereço escolhido foi **0xA4**. Os valores recebidos para o acionamento são o número do solenoide na memória e o estado de atuação ligado ou desligado, sendo que o valor 0 do endereço se refere ao atuador linear e os valores 1 a 32 representam os solenoides. O estado de acionamento é estruturado em 0 para desligado e 1 para ligado.

- **Motores de passo e DC**

O código-fonte responsável pelos motores possui uma tabela com os pinos de ativação de cada motor de passo. Todos os pinos de controle dos *drivers*, tanto os motores de passo quanto o motor DC, são conectados ao microcontrolador.

Para a comunicação I²C, o endereço escolhido foi **0xA6**. Os valores recebidos são o atuador que será acionado, 0 para o motor DC, e 1 a 5 para motores de passo. Em seguida, é recebida a direção de rotação: 0 para anti-horário, 1 para horário. Então é recebido o número de passos que o motor dará ou a ativação do motor DC. O último valor recebido representa o período dos pulsos enviados ao *driver* dos motores de passo controlando a velocidade ou o *Duty cycle* do PWM para o motor DC, variando de 0 a 255.

– **Rotinas de funcionamento:**

As rotinas de funcionamento descrevem a etapas que o sistema eletrônico realiza para executar determinada ação. Foram implementadas rotinas relacionadas ao controle do dispositivo, descritos na seção 6.4.3, ao funcionamento da interface e o funcionamento de requisições vindas externamente do *back-end* do software. Uma descrição mais detalhada da estrutura das requisições são descritas na seção 9.3, relacionada a integração entre o sistema eletrônico com o *back-end* de software.

- **Rotina de seleção de medicamento**

Após receber o endereço do contêiner, a chave de encaixe correspondente é lida para checar a presença do contêiner selecionado; o motor de passo correspondente é acionado; aciona-se o solenoide correspondente e lê-se o sensor de barreira presente na saída do contêiner até a detecção da passagem do medicamento. O último passo é a detecção da passagem do medicamento pelo funil, por meio da leitura do sensor de barreira presente na saída do funil. A rotina só é acionada se houver um copo abaixo do seletor.

- **Rotina de posicionamento do copo no seletor de medicamentos**

O módulo de controle aciona o atuador linear para o dispensador de copos. Em seguida, o motor da esteira é acionado e o sensor de barreira presente na posição de repouso no repositório de copos é lido até que haja detecção do copo. Feita a detecção, o motor da esteira é desligado. Em seguida, é feita a tentativa de leitura da TAG RFID presente no copo. Se a leitura for adquirida, a posição do copo é confirmada.

- **Rotina de posicionamento do copo na espera ou retorno**

O módulo de controle aciona a esteira para a direção da área de espera ou da zona de retorno. O sensor de barreira respectivo é lido até a detecção da passagem do copo. Em seguida, o motor da esteira é desligado.

- **Rotina de detecção de fechamento de portas e encaixe de contêineres**

Uma varredura do estado de todas as chaves de encaixe e das portas é feita a cada 15 minutos, para detectar má conexão de contêineres e/ou mal fechamento de portas.

- **Rotina de preparação de dose medicamentosa**

O banco de dados de medicamentos é checado a cada 1 minuto em busca de horários de doses medicamentosas com 5 minutos adiantados. Quando há uma dose programada, as rotinas de posicionamento do copo e seleção de medicamento são feitas para cada medicamento, até completar a dose. Em seguida, é realizada a rotina de verificação dos medicamentos: Se a verificação for positiva, então o copo é posicionado na saída e a rotina de identificação digital é iniciada.

Também há a possibilidade de receber comandos para preparação dos medicamentos pelo protocolo MQTT, por meio do tópico ***apply-medication***, o que substitui a checagem do banco de dados local.

- **Rotina de biometria**

A rotina espera uma impressão digital ser identificada no sensor e aciona a trava elétrica da porta especificada para abri-la. Com isso, retorna o identificador do enfermeiro e aciona a rotina de fila de doses medicamentosas, caso a porta especificada for a da área de espera.

- **Rotina de fila de doses medicamentosas**

A rotina lê o sensor de barreira na porta de saída da área de espera. Quando uma dose medicamentosa é retirada e houverem mais doses preparadas na fila, a esteira é acionada até a detecção do próximo copo. Consequentemente, uma mensagem de retorno é enviada ao *broker* MQTT por meio do tópico ***medication-response***. O processo se repete até a fila se esgotar.

- **Rotina de atualização de dados de doses medicamentosas**

Diariamente, o módulo de controle realiza uma requisição de dados HTTP ao *back-end* para obtenção de dados atualizados. Após uma conferência da integridade dos dados recebidos, o banco de dados local é trocado pelo atualizado.

- **Rotina de cadastro de enfermeiro**

Por meio do protocolo MQTT, o módulo de controle escuta o tópico *create-nurse* presente no *broker* do *back-end*. Quando uma nova mensagem é recebida, a máquina aciona o visor com uma mensagem para cadastro do enfermeiro recebido.

Assim, o leitor de impressões digitais é acionado para cadastro. Quando a digital é cadastrada com sucesso, uma mensagem de sucesso é escrita na tela. Quando há erro no cadastro, uma mensagem de erro é escrita, e o sensor é acionado novamente para cadastro.

- **Rotina de abastecimento de medicamentos**

Por meio do protocolo MQTT, são escutados os tópicos *create-medication* e *create-supply*. Quando há uma nova entrada, ela é adicionada ao banco de dados de medicamentos, e aciona a rotina de biometria.

- **Rotina de abastecimento de copos**

Por meio do menu presente no visor, o reabastecimento de copos será requisitado e, com isso, a rotina de biometria é acionada.

- **Visor**

O visor possui diferentes estados, possuindo diferentes telas de interação e um menu. Porém, para o projeto, sua implementação não foi concluída, e um modelo de alta fidelidade foi desenvolvido e se encontra no Apêndice F. O princípio de funcionamento é por meio da detecção dos botões que navegarão pelos estados possíveis do visor e acionarão funções de configuração presentes no modelo.

6.5 Processamento de Imagens

A partir do processamento de imagens, é possível identificar a quantidade e classificar o tipo de medicamento no copo. Dessa forma, o processamento de imagens é um método para verificação se a dose medicamentosa, que vai ser entregue ao paciente, está correta, conforme a receita médica.

6.5.1 Separação dos comprimidos

A primeira etapa para extrair dados da imagem é isolar os comprimidos presentes. Para isso, é necessário a conversão da imagem para escala de cinza, facilitando assim na utilização de operações de filtragem na imagem em etapas subsequentes. Para exemplificar

a explicação, daqui em diante utiliza-se uma imagem do banco de dados, original na Fig. 50a, e, aplicando a conversão para escala de cinza, temos o resultado na Fig. 50b.

Em seguida, é necessária a detecção das bordas do comprimido. Como as imagens do banco de dados possuem um fundo padronizado, o uso da técnica de limiar é possível. Um resultado possível pode ser observado na Fig. 50c.

O próximo passo é eliminar resíduos da imagem, deixando apenas o contorno do comprimido. Para isso, são realizadas operações de abertura e fechamento, utilizando elementos estruturantes circulares maiores que o resíduo e menores que o comprimido. Com isso, obtemos uma máscara do exemplo utilizado, na Fig. 50d.

Por fim, uma técnica de detecção de objetos conectados é aplicada, a qual consegue separar objetos na imagem por meio de observação da vizinhança na imagem. Aplicando essa técnica nos exemplos, temos o resultado nas Fig. 50e e 50f.

Com a máscara segmentada, é possível separar os comprimidos por meio de uma multiplicação com a imagem original. Com isso, obtemos as Fig. 50g e 50h.

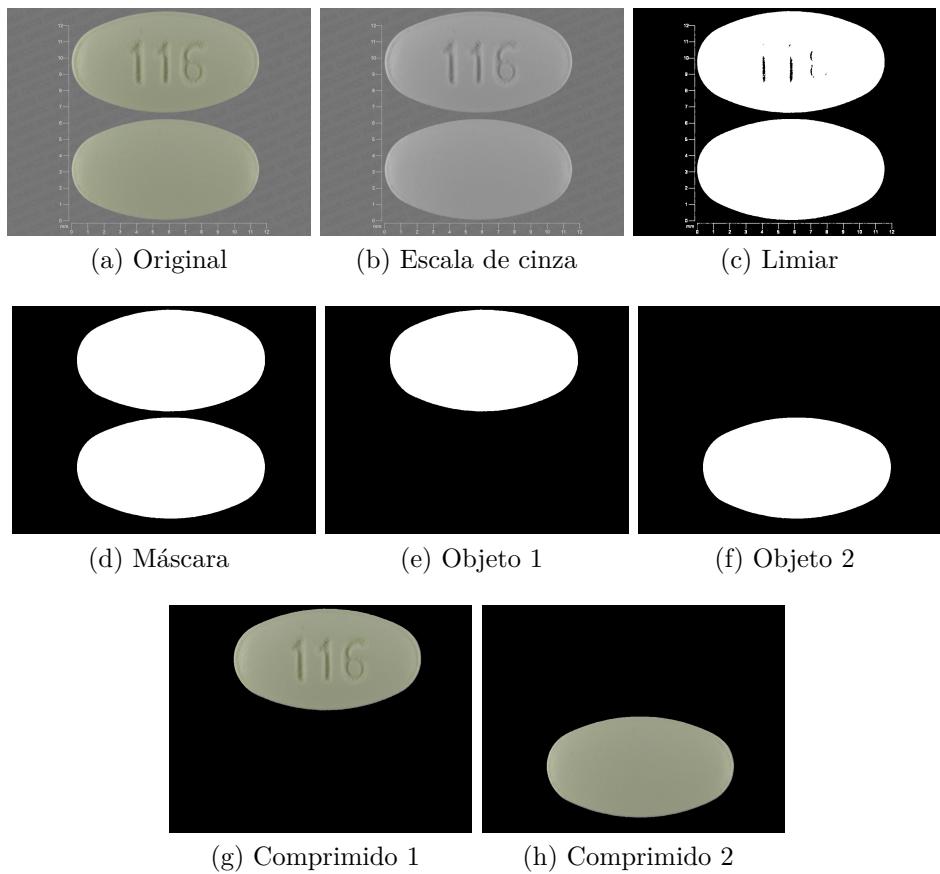


Figura 50 – Processo de separação

6.5.2 Extração de características

Com os comprimidos separados, é possível extrair informações que serão utilizadas para classificá-los.

- **Cor**

Para extrair a cor do comprimido, será utilizada uma média da cores de toda a região, eliminando possíveis efeitos de sombra presentes. Sendo assim, serão estabelecidos rótulos que corresponderão a uma faixa específica do espectro RGB das imagens.

- **Formato**

Para extrair o formato do comprimido, será utilizada a técnica de *template matching*. Ela consiste em comparar a imagem com modelos pré-definidos, realizando a correlação da imagem com o *template*. Se a correlação for próxima de 1, significa que há uma alta probabilidade do formato estar correto. Consequentemente, é possível testar todos os formatos possíveis e identificar qual a maior correlação entre eles.

- **Texto estampado**

O tratamento da imagem é necessário para extrair o texto do comprimido, para que os contornos sejam destacados. Com isso, obteremos a Fig. 51a, apesar do objeto de texto ainda possuir áreas não conectadas. Para contornar esse problema, é utilizado uma abertura na imagem com um objeto estruturante circular pequeno com até 5 pixels de diâmetro. Assim, obtemos como resultado uma melhor definição das letras, mostrada na Fig. 51b.

Por fim, subtrai-se a máscara do comprimido do resultado anteriormente obtido e, consequentemente, no isolamento do texto a ser processado. O resultado da subtração da máscara pode ser visualizado na Fig. 51c.

Para interpretar o texto, será utilizado o **Tesseract**, um sistema de reconhecimento óptico de caracteres (OCR), o qual utiliza uma rede neural treinada para identificar linhas de texto. Para utilização desse sistema, é necessário identificar a região de interesse e isolá-la para melhores resultados. Assim, obtemos o resultado na Fig. 51d, onde é possível observar a região de interesse que possui texto e o valor reconhecido.

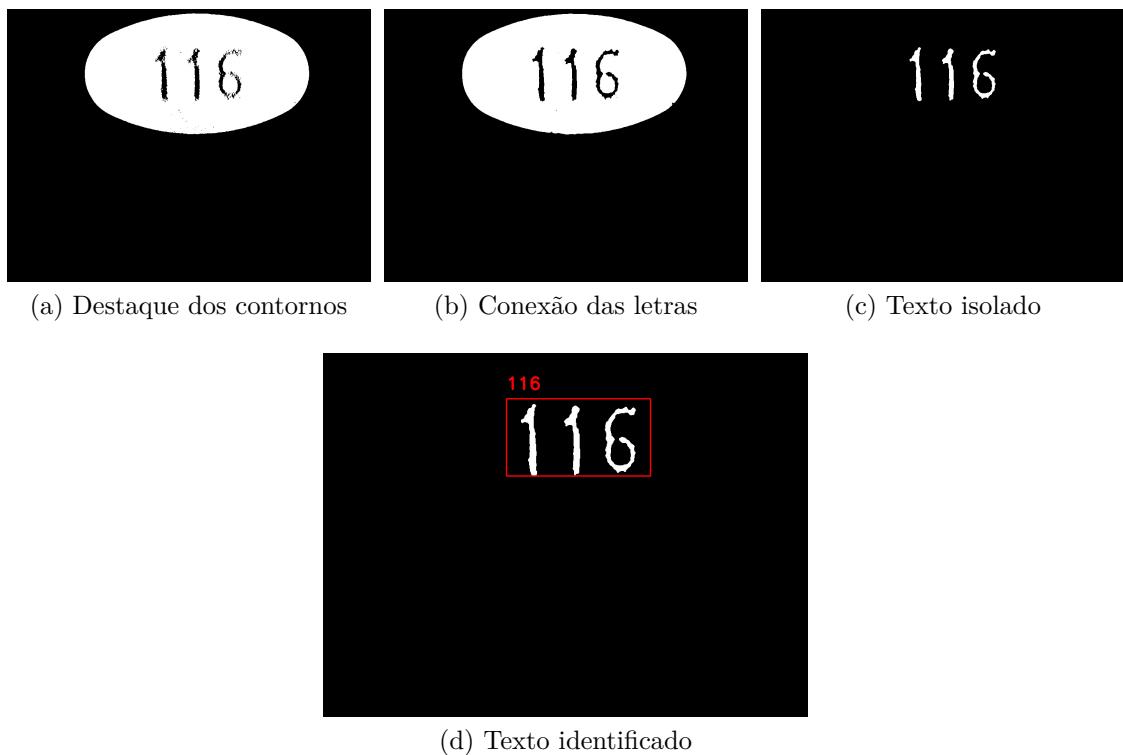


Figura 51 – Extração de texto

6.5.3 Máquina de Vetores de Suporte (SVM)

Para conseguir identificar diversos comprimidos nas imagens, é necessário o uso de um classificador. Existem diversos tipos de classificadores, e o escolhido foi a máquina de vetores de suporte (SVM).

Seu funcionamento se baseia na ideia de gerar uma superfície que separa as classificações por meio das características empregadas. Dessa forma, para realizar o treinamento da SVM, são criados vetores de suporte que separam a área entre classificações.

Assim, para o treinamento, será utilizado um banco de imagens de comprimidos feito pela *National Library of Medicine* que possui 4 mil imagens em ambiente controlado e 133 mil imagens amadoras. O banco de imagens está disponível no [link](#).

O tipo de classificação utilizada será a ‘*yes or no*’, na qual serão criadas SVMs para cada comprimido a ser identificado, e deve-se ensinar como identificar características individuais dos comprimidos.

6.6 Plano de Construção

A construção dos módulos do sistema eletrônico foi implementada a partir dos esquemáticos descritos na seção 6.4. Desses esquemáticos, podem ser geradas as placas de circuito impresso (PCI), que servem como base para conexão de todos os módulos e seus componentes do sistema eletrônico.

Para o projeto das PCIs, foi utilizado o software *Proteus* e tem-se o emprego de placas de fibra de vidro de camada dupla de 1,6 mm de espessura. Em algumas PCIs, a camada oposta possui vias passantes para realizar conexões. A largura mínima da trilha é determinada pela espessura do cobre da placa e a corrente máxima que percorre o circuito. Assim, a partir da seleção de uma placa com 3 onças (oz) de espessura de cobre da placa, aproximadamente 85 gramas, e uma corrente máxima de 3 A, é possível determinar a largura da trilha, utilizando as fórmulas IPC-2221. Primeiramente, deve-se calcular a área da seção transversal conforme a Eq. 6.5:

$$A = \frac{i \text{ [A]}}{\left[k \left[\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{°C}} \right] \cdot (dT \text{ [°C}]^{0,44}) \right]^{\frac{1}{0,725}}} \text{ [mils}^2\text{]} \quad (6.5)$$

Em que A é a área da seção transversal, i é a corrente máxima, dT é o aumento da temperatura acima da temperatura ambiente e k é a constante de condutividade térmica, a qual, para camadas internas, $k = 0,024$, enquanto que, para camadas externas, $k = 0,048$ (ANSI/IPC, 2003). Em seguida, a largura é calculada conforme a Eq. 6.6:

$$L = \frac{A \text{ [mils}^2\text{]}}{\left[(E \text{ [oz]} \cdot 1,378 \left[\frac{\text{mils}}{\text{oz}} \right]) \right]} \text{ [mils]} \quad (6.6)$$

Em que L é a largura da trilha e E é a espessura do cobre na placa. Assim, a partir das Eq., determinou-se que a trilha deve possuir 17,9 mils, aproximadamente 0,456 mm. Entretanto, para o projeto das PCIs, foi adicionado uma folga na largura da trilha. Logo, foi utilizado 25 mils, correspondente a 0,635 mm.

Além do mais, as angulações para todas as PCIs foram de 45° e 60° para as vias roteadas, a distância de uma trilha para outra foi de 15 mils (0,381 mm), já que o mínimo é 9 mils (0,229 mm), a distância de uma trilha para um furo é de no mínimo 8 mils (0,200 mm) e a distância entre as inscrições da serigrafia e os *pads* (*SMD*, *Through Hole* e *BGA*) seja, no mínimo, de 5 mil (0,127mm).

Ademais, foram utilizados conectores *Molex KK* e uma legenda em cada conector da PCI para evitar a conexão errada de algum componente, tanto em tipo quanto na

orientação do cabo. As figuras no apêndice H mostram os *layouts* para as placas fabricadas. Em todos os casos, foram utilizadas zonas preenchidas de *Ground* (GND) na camada de cobre.

A descrição da conexão das PCIs e os componentes eletrônicos está detalhada no manual de montagem (seção Conexão dos Componentes eletrônicos), apêndice Q.

6.7 Plano de Testes

Os procedimentos descritos nessa seção tem o objetivo de verificar a conformidade dos resultados entre o sistema construído e o que foi projetado, garantindo, assim, que cada componente funcione conforme foi projetado e, consequentemente, o sistema eletrônico ao integrá-los.

6.7.1 Teste do módulo de controle

- **Sistema Embarcado**

O teste do módulo de controle começa verificando se a cópia da imagem do software com o sistema operacional (OS) para *Raspberry Pi* 4 foi bem sucedida.

Com o OS funcionando corretamente, se da inicio ao processo de verificação da conexão entre a *Raspberry Pi* 4 e os componentes conectados ao protocolos I²C (quatro microcontroladores, um sensor de temperatura e umidade HTU21D e um sensor RFID PN532), UART (um sensor biometria - DY50) e CSI (uma câmera OV5647).

Para o protocolo I²C, o dispositivo mestre (*Raspberry Pi* 4) requisita dos dispositivos escravos seus endereços de identificação interno, sendo isso um valor fixo armazenado no registrador de identificação interno e descrito no *datasheet* para cada componente.

Os valores hexadecimais a serem lidos são:

- Quatro microcontroladores: 0xA0, 0xA2, 0xA4 e 0xA6;
- Sensor RFID - PN532: 0x24
- Sensor temperatura e umidade - HTU21D: 0x40

Para UART e CSI são utilizados os programas específicos desenvolvidos com base no manual fornecido pelo fabricantes. Eles verificam e validam a conexão apropriada com o módulo de controle e o funcionamento do sensor de biometria e câmera.

– Chave: Micro Switch KW10-B:

Para as chaves são realizados os seguintes testes:

1. Teste individual de continuidade e funcionamento mecânico:

- **Objetivo:** Verificar se a chave tem algum defeito de fabricação e está funcionando como esperado;
- **Itens necessários:** Multímetro;
- **Procedimento:**
 - a) Conectar as pontas de prova do multímetro com os terminais 1 e 2 da chave;
 - b) Pressionar de forma contínua para ver a continuidade e resistência entre os terminais;
 - c) Pressionar a haste de ativação da chave em várias velocidades diferentes (menor para maior), observando se aparece alguma ativação falso positiva;

2. Teste de detecção entre módulo de controle e chave:

- **Objetivo:** Verificar se o módulo de controle está conseguindo detectar a abertura e fechamento de cada chave;
- **Itens necessários:** *Raspberry Pi* 4 rodando programa específico para esse teste;
- **Procedimento:**
 - a) Conectar todas as chaves a respectiva PCI e ela na *Raspberry Pi*, conforme descrito no manual de montagem (apêndice Q);
 - b) Executar o programa de testes para as chaves. Objetivo é ver a resposta do respectivo microcontrolador associado as chaves;
 - c) Pressionar cada chave individualmente para verificar se estão sendo detectadas;
 - d) Pressionar todas as chaves ao mesmo tempo e solta-las. Verifica se é traduzido no módulo de controle verificar que todas estão fechadas e depois abertas.

– Teste dos Atuadores:

Os testes realizados para os atuadores tem o objetivo de verificar se o funcionamento dos componentes utilizados atendem a simulações de controle ou cálculos, observando por um ponto de vista da parte elétrica com enfase no controle. A explicação por um ponto de vista estritamente elétrico da alimentação dos motores, assim como de características elétricas, são descritas no plano de teste da solução de energia, seção 7.8.

Para cada atuador, são realizadas 3 fases de testes sendo: Teste Inicial, Teste Parcialmente Integrado e Teste Completamente Integrado, seguindo o seguinte procedimento:

* **Teste Inicial:**

Nessa fase, cada componente relacionado ao funcionamento dos atuadores é testado por um ponto de vista elétrico, como testes de comportamento elétrico ao interligar *driver* e atuador, e de operação do respectivo microcontrolador que realiza a distribuição do sinal de controle com os atuadores, sendo realizado para validar a correta funcionalidade dos componentes comparado ao que era esperado.

* **Teste Parcialmente Integrado:**

Nessa fase de teste, alguns componentes elétricos são interligados para mostrar que essa integração vai ter mínimo impacto no comportamento dos atuadores, sendo analisado principalmente o erro. Isso é realizado com uma integração simples do atuador e seu respectivo *driver* com o módulo de controle, onde é executado vários testes simples do controle, e são realizadas medições de várias tolerâncias que impactam o projeto. Essa etapa é crucial para realizar a calibração e implementar ajustes necessários antes de fixação dos atuadores no dispositivo protótipo.

* **Teste Completamente Integrado:**

Nessa fase, os componentes mecânicos do dispositivo são integrados com os componentes elétricos previamente testados. Os principais pontos testados e analisados são as tolerâncias e se o funcionamento correto dos atuadores sob condições normais de carga atendem e superam as especificações projetadas.

• ***Driver* Motor de Passo: A4988**

– Teste inicial:

O primeiro teste consiste em realizar medições da tensão elétrica de alimentação e sinal de controle entre motor de passo, *driver* e circuito integrado com microcontrolador. O

equipamento necessário para essa medição é um multímetro. Nesse teste, temos o seguinte critério a se satisfazer:

- $V_{\text{alimentação}} = 12 \text{ V}$
- $V_{\text{controle}} = 5 \text{ V}$

O procedimento consiste em testar cada terminal e GND para verificar se a tensão fornecida pela fonte de alimentação para o *driver* A4988 está correta, se repetindo para os 5 utilizados.

Completando o primeiro teste, é garantido que os componentes usados atendem as especificações técnicas elétricas e não estão com defeito, assim como as perdas no cabo não são bem especificadas.

O segundo teste é para testar a operação do circuito integrado com microcontrolador, sendo verificado a resposta dos vários sinais de controle do *driver* para uma rotina normal de operação. As especificações analisadas são as seguintes:

1. Geração do sinal lógico para entrada *STEP*
2. Nível lógico para as outras 6 entradas (MS1, MS2, MS3, DIR, ENABLE, RESET).
3. Modos de operação:
 - a) Modo de espera;
 - b) Operação na velocidade máxima;
 - c) Operação na metade da velocidade;
 - d) Operação de parada;
 - e) Modo de inicialização;
 - f) Cenário com falha na alimentação.

No procedimento de teste, é utilizado um programa básico rodando na Raspberry Pi 4, que simula o controle dos motores de passo. Para medição dos terminais, é utilizado o osciloscópio, para verificar se os sinais gerados estão condizentes com o desenvolvido para o projeto.

O critério para aprovação é verificar se os sinais enviados estão dentro dos parâmetros operacionais do controle e se podem ser interpretado pelo *driver* sem erros.

– Teste Parcialmente Integrado:

O primeiro teste verifica se os motores de passo estão sendo controlados corretamente ao conectar o *driver* A4988 com o módulo de controle. Para avaliação inicial do controle, não é aplicada nenhuma carga e é realizada a medição da corrente. Esse teste segue as seguintes especificações:

1. Habilitar e desabilitar cada motor
2. Rotação do motor
 - a) Girar na rotação horária (um passo)
 - b) Girar na rotação anti-horária (um passo)
 - c) *Reset* do *driver*
3. Operação normal do sinal lógico para terminal *STEP*

O procedimento consiste em conectar tanto *driver* (já ligado com o motor) na respectiva PCI PIC16 4 que contém o microcontrolador quanto a alimentação para iniciar os testes. Em seguida, é inicializado na Raspberry Pi 4 uma rotina de controle simples para realizar medições e verificar as especificações descritas acima. Os sinais são medidos usando um osciloscópio, verificando os sinais de entrada e saída do *driver* para mostrar o sinal de controle gerado pelo microcontrolador e respectiva resposta enviada para os motores de passo. Para validar quão robusto é essa integração, será variado o fator de ciclo (*duty cycle*) do sinal lógico de controle, observando se a velocidade de giro varia nas proporções corretas.

Os critérios de aprovação desse teste são:

- Rotação dos motores nas direções corretas;
- Operação correta na condição sem carga;
- Sinais recebidos pela conexão entre o *driver* e a controle estão corretos;
- Rotação do motor respondendo corretamente à variação do fator de ciclo.

– Teste Completamente Integrado:

Nesse teste, será avaliado a performance dos motores de passo quando conectados à estrutura do dispositivo, ou seja, montagem na posição correta e fixação do fuso. Sendo

assim, é avaliado se existe a necessidade de modificações adicionais nos parâmetros de controle para a condição de carga adicionada após integração.

O procedimento consiste em realizar a montagem dos 5 motores de passo, 5 *drivers* A4988 e conexão com a PCI do módulo de controle, especificada como PIC16 4. Em seguida, é executado um programa teste do controle na Raspberry Pi 4 para esse motores, sendo realizadas medições da velocidade de rotação para vários períodos de tempo diferentes. Também é avaliado se o tempo de resposta dos motores, após ser enviado um comando, está rápido o suficiente para o bom funcionamento do dispositivo.

Os critérios de aprovação são:

- Execução dos comandos de controle pelos motores dentro das tolerâncias para queda de um medicamento do contêiner;
- Carga elétrica consumida pelos motores durante rotação normal não afeta o funcionamento de outros dispositivos;
- Velocidade de operação adequada dos sinais recebidos do módulo de controle para o *driver*.

- ***Driver* Motor DC: L298**

- Teste inicial:

Para a fase de teste inicial do *driver* L298 e do motor DC, segue o mesmo procedimento e critérios de avaliação descritos para o motor de passo, descrito anteriormente em [6.7.1](#), sendo que a única alteração é que, para avaliação da operação do microcontrolador, a especificação analisada é a geração do sinal PWM, ao invés de pulsos elétricos.

- Teste Parcialmente Integrado:

Para a fase de teste parcialmente integrado para *driver* L298 do motor DC, conectado o módulo de controle, segue o mesmo procedimento descritos para o motor de passo, descrito anteriormente em [6.7.1](#). No caso do motor DC, serão avaliados as seguintes especificações:

- Rotação horária (Velocidade máxima);
- Rotação horária (Metade da Velocidade);
- Rotação anti-horária (Velocidade máxima);

- Rotação anti-horária (Metade da Velocidade);
- Freio (Curto do motor);
- Freio (Desabilitar o motor);
- Modo de operação correto para os sinais PWM.
 - Teste Completamente Integrado:

Para teste final, é seguido o mesmo procedimento de avaliação descrito para o motor de passo, em 6.7.1. No caso do motor DC, devemos integrá-lo à esteira do dispositivo. As especificações avaliadas para essa integração são as seguintes:

- Tempo de inicio para movimentação da esteira;
- Velocidade de rotação para vários períodos diferentes, avaliando consumo elétrico e performance;
- Tempo para parada total da esteira com o freio;
- Resposta ao controle condizente com a projetada.

Os critérios de aprovação serão se os tempos de resposta, velocidade e rotina de controle estão dentro das tolerâncias para funcionamento correto da esteira.

- ***Driver* Solenoides e Atuador linear: IRF520N**

- Teste inicial:

Para a fase de teste inicial do *driver* IRF520N, segue-se o mesmo procedimento e critérios de avaliação descritos para o motor de passo, descrito anteriormente em 6.7.1, sendo que a única alteração é que, para avaliação da operação do microcontrolador, é observado se o sinal lógico de ativação do solenoide ou atuador estão corretos.

- Teste Parcialmente Integrado:

Para a fase de teste parcialmente integrado do *driver* IRF520N, conectado o módulo de controle, segue o mesmo procedimento descritos para o motor de passo, descrito anteriormente em 6.7.1. No caso desse *driver*, serão avaliados as seguintes especificações:

- Sinal de controle enviado condiz com a resposta dos solenoides;

- Tempo para ativação dos solenoides;
- Tempo para desativação dos solenoides;
- Consumo de potência condizente sob condição sem carga.
 - Teste Completamente Integrado:

Para teste final, é seguido o mesmo procedimento de avaliação descrito para o motor de passo, em 6.7.1. No caso dos solenoides, são instalados 25 para os contêineres, e 7 para as portas (1 frontal e 6 superiores) e para o atuador linear temos a instalação na base do reservatório de copo. As especificações avaliadas para essa integração são as seguintes:

- Tempo de resposta para abertura e fechamento das solenoides dentro da tolerância;
- Tempo de resposta do atuador linear está dentro da tolerância;
- Velocidade de abertura e fechamento das solenoides dentro das tolerâncias;
- Velocidade de acionamento e fechamento do atuador linear dentro das tolerâncias;
- Rotina de controle condizente com a projetada.

O critério de aprovação será se os tempos de resposta, velocidade e rotina de controle estão dentro das tolerâncias para funcionamento correto dos solenoides quanto ao atuador linear.

- **Módulo de Visualização**

Para o módulo de visualização, é necessário a verificação da tela LCD e do teclado. Sendo assim, o teste se inicia com a inicialização do programa teste para interface do dispositivo.

O programa teste simula a interface, onde o *mockup* das telas foi mostrado no apêndice F, e ativa o teclado. Com o programa rodando, verifique a tela, identificando se ela ligou e se apresenta a interface com as cores e contraste esperado. Em relação aos botões, eles são testados para ver se funciona conforme projetado, onde cada um deve seguir a interação conforme identificado na Fig. 52.



Figura 52 – Foto do teclado.

O botão 1 tem que subir as telas da interface; o botão 2 descer as telas; o botão 3 muda em telas específicas para direita; o botão 4 para esquerda e; o botão 5 realiza a seleção/*enter* da interface, confirmando e selecionando alguma opção.

6.7.2 Teste do Módulo de Medição e Identificação

Para o teste deste módulo, é necessário, primeiro, fazer a checagem individual de cada sensor nele contido, onde será avaliado se o sensor não apresenta defeito ao atender os resultados esperados.

Concluída a validação individual de cada sensor, será realizado testes específicos de integração com componentes do módulo de controle em que são conectados, conforme descrito na arquitetura do sistema eletrônico na seção 6.4.

- **Sensor de Temperatura e Umidade - HTU21D**

A verificação da conexão entre o sensor e o módulo de controle foi explicado anteriormente, na seção de teste do módulo de controle. Para o sensor de temperatura e umidade é realizado o seguinte teste:

1. Teste de calibração para ambiente controlado:

- **Objetivo:** Calibrar os valores de temperatura e umidade medidos pelo sensor para um ambiente controlado. Obtendo valores com maior acurácia e precisão que a calibração vinda de fábrica;
- **Itens necessários:** *Raspberry Pi* 4 rodando programa específico para esse teste e ambiente com temperatura variando entre 5 °C e 55 °C;
- **Itens recomendados:** Equipamento externo calibrado que mede temperatura e umidade com precisão igual ou maior;

- **Procedimento:**

- a) Executar o programa de testes para o sensor de temperatura. Esse programa deve capturar os dados do sensor por 5 minutos e armazenar-los para calibração;
- b) Em paralelo a etapa anterior deve ser anotado ou armazenar os dados obtidos pelo equipamento externo de medição;
- c) Analisar os dados obtidos, comparando o sensor com o equipamento externo, e obter os parâmetros de calibração.
- d) Realizar uma segunda medição, seguindo a etapa A, para validar se o objetivo foi alcançado.

- **Sensor Fotoelétrico de Barreira**

Para os sensores fotoelétricos de barreira são realizados os seguintes testes:

1. Teste da saída de cada PCI Sensor Fotoelétrico:

- **Objetivo:** Validar a PCI para todas as distâncias entre fotosensores existentes dentro do dispositivo;
- **Itens necessários:** Osciloscópio e bancada de testes com uma plataforma que simula as 5 diferentes distâncias entre o emissor (**IR333C**) e receptor (**PT333-3B**) (10,45 mm para contêiner, 66,19 mm para o funil, 55,15 mm para reservatório de copos, 145,28 mm para local de detecção do copo abaixo da câmera e 103,9 mm para porta frontal ou traseira).

- **Procedimento:**

- a) Conexão da PCI com os sensores fotoelétricos para a distância a ser testada na bancada de teste;
- b) Conexão da alimentação e pontas de prova do osciloscópio no terra e saída do comparador da PCI;
- c) Colocar e remover um obstáculo que simula o volume de um comprimido e de um copo entre os sensores fotoelétrico testados na bancada. Realizado várias vezes até ter confiança que funciona para aquela distância;
- d) Repetir o processo para todas as distâncias.

2. Teste de funcionamento com o módulo de controle:

- **Objetivo:** Validar o funcionamento dos sensores de barreira instalados no dispositivo com o módulo de controle;

- **Itens necessários:** *Raspberry Pi 4* rodando programa específico para esse teste;
- **Procedimento:**
 - a) Instalar os sensores de barreira dentro do dispositivo, seguindo procedimento no manual de montagem no apêndice Q;
 - b) Executar o programa de teste para os sensores de barreira. Esse programa deve verificar a saída de cada sensor de barreira por um período de 10 segundos, trocando esse intervalo para o próximo até concluir os 30 sensores;
 - c) Durante os 10 segundos, que se alterna a colocação e retirada de um obstáculo, é analisado se o módulo de controle está recebendo a resposta apropriada.

- **Sensor de Biometria - DY50**

A verificação da conexão entre o sensor e o módulo de controle foi explicado anteriormente, na seção de teste do módulo de controle. Para o sensor de biometria é realizado os seguintes testes:

1. Teste de funcionamento básico do sensor:

- **Objetivo:** Verificar se as funcionalidades básicas de registro, detecção e remoção de impressões digitais estão funcionando.
- **Itens necessários:** *Raspberry Pi 4* rodando programa específico para esse teste que inclua as bibliotecas do fabricante, conforme descrito no *datasheet*;
- **Procedimento:**
 - a) Executar o programa de testes para o sensor de biometria;
 - b) Realizar o registro de 10 digitais para um único indivíduo, observando se a validação do programa mostrou que as digitais foram corretamente registradas;
 - c) Verificar 10 vezes para cada digital se o programa está reconhecendo-a para o usuário registrado;
 - d) Realizar a exclusão da metade das digitais (5), mantendo o restante;
 - e) Verificar se as digitais excluídas não são mais reconhecidos pelo programa, conforme esperado;
 - f) Verificar se as digitais ainda armazenadas funcionam como antes.

2. Verificação de confiabilidade do registro da digital

- **Objetivo:** Analisar o valor de confiança mínima para o sensor utilizado não considera situações falso-positivas;
- **Itens necessários:** *Raspberry Pi 4* rodando programa específico para esse teste que inclua as bibliotecas do fabricante, conforme descrito no *datasheet*;
- **Procedimento:**
 - a) Executar o programa de testes;
 - b) Realizar o registro das digitais de pelo menos 5 indivíduos diferentes;
 - c) Realizar o procedimento de reconhecimento da digital, coletando os dados de confiança para cada coleta;
 - d) Repetir a etapa C várias vezes até concluir um valor ótimo para aplicação no produto.

• Sensor RFID - PN532

A verificação da conexão entre o sensor e o módulo de controle foi explicado anteriormente, na seção de teste do módulo de controle. Para o sensor RFID é realizado o seguinte teste:

1. Teste de funcionamento da leitura e escrita para as etiquetas dos copos de medicamentos:

- **Objetivo:** Verificar sensor realiza a leitura e escrita da tag RFID na posição padrão dentro do dispositivo;
- **Itens necessários:** *Raspberry Pi 4* rodando programa específico para esse teste, copo com *tag* RFID instalada;
- **Itens recomendados:** Celular ou dispositivo compatível com a leitura e escrita RFID/NFC da *tag* utilizada;
- **Procedimento:**
 - a) Instalar o sensor RFID na posição correta dentro do dispositivo;
 - b) Colocar o copo com *tag* RFID na posição onde o sensor irá realizar a leitura;
 - c) Executar o programa de testes para o sensor RFID;
 - d) Verificar se foi possível realizar a escrita de um ID na etiqueta;

- e) Remover o copo e verificar, com o celular ou dispositivo, se o dado que foi escrito pelo módulo de controle é igual ao que o celular/dispositivo está registrando;
- f) Recolocar o copo na posição anterior e verificar se o sensor RFID consegue realizar a leitura do dado registrado;
- g) Repetir as etapas D, E e F para todos os copos com *tag* RFID.

- **Câmera - OV5647**

A verificação da conexão entre o sensor e o módulo de controle foi explicado anteriormente, na seção de teste do módulo de controle. Para a câmera OV56447 é realizado o seguinte teste:

1. Teste de funcionamento da detecção de comprimidos:

- **Objetivo:** Verificar se a qualidade e propriedades das imagens tiradas estão compatíveis com o esperado. Vendo se é possível detectar os comprimidos com o processamento de imagens.
- **Itens necessários:** *Raspberry Pi* 4 rodando programa específico para esse teste, copo, comprimidos registrados no banco de dados para processamento;
- **Procedimento:**
 - a) Instalar a câmera na posição correta, dentro do dispositivo;
 - b) Colocar o copo com os comprimidos na posição onde a câmera captura os itens no interior;
 - c) Executar o programa de testes;
 - d) Capturar uma foto com flash do conteúdo no copo;
 - e) Analisar aspectos qualitativos da foto, observando a necessidade de ajuste do zoom e intensidade do flash;
 - f) Recapturar a imagem e utiliza-la no processamento de imagens;
 - g) Verificar se a detecção foi bem sucedida. Caso negativo repetir a calibração até funcionamento correto.

7 Solução de Energia

O escopo da solução energética do projeto envolve a implementação de uma fonte de alimentação principal, uma fonte de alimentação alternativa e um sistema eletromecânico. Todos esses componentes serão ocultados do campo de visão do usuário. Os objetivos da solução envolvem alcançar um custo reduzido, alta eficiência, robustez e compactação da estrutura. A configuração da solução da alimentação do sistema está representada no diagrama de blocos simplificado da Fig. 53.

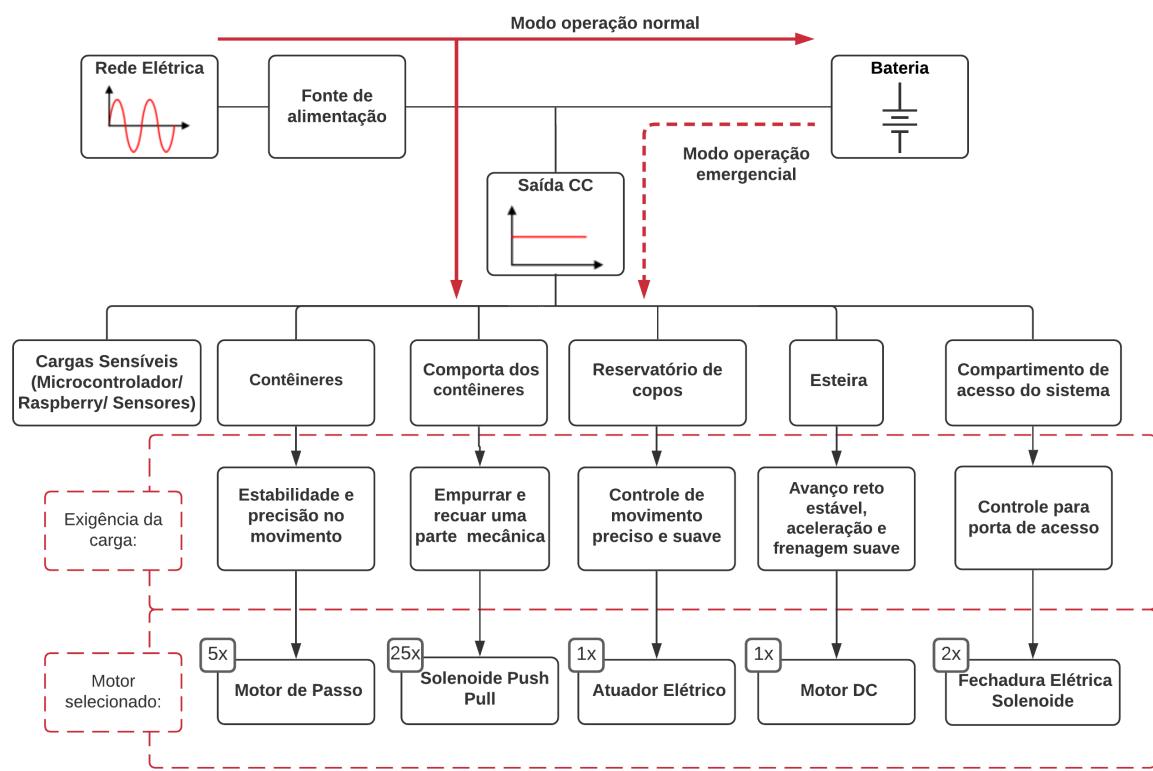


Figura 53 – Esquema do sistema de alimentação proposto.

A carga do projeto será atendida de duas maneiras, considerando dois modos de operação: pela fonte de alimentação, quando houver energia elétrica na rede, e por uma fonte de alimentação alternativa, cuja função será atuar como uma fonte auxiliar/secundária que assegurará a ininterruptibilidade no provimento de energia, em casos de falha da energia proveniente da rede primária.

7.1 Sistema eletromecânico

A escolha dos motores é baseada nas características técnicas das aplicações, nas exigências das cargas e na alimentação do sistema no que se refere ao ponto de vista mecânico para avaliar o conjugado de aceleração, de partida e o nominal (SANTOS, 2016). Essas características serão comparadas com as características dos motores, para a seleção adequada dos mesmos. Os seguintes itens foram considerados:

- Redução de custos;
- Conjugados solicitados;
- Dispensabilidade ou não de regulação de velocidade;
- Menor espaço ocupado (horizontal e vertical);
- Rendimento;
- Funcionalidade e viabilidade (benefício pelo ônus);
- Segurança;
- Versatilidade do controle dinâmico.

O dimensionamento e a seleção adequados de um motor para um equipamento são essenciais para garantir a confiabilidade, o desempenho e o custo do equipamento. Logo, os motores foram selecionados, com base nas especificações requeridas. Após essa seleção, foi feita uma determinação final do motor, confirmando que as especificações dos motores selecionados satisfazem todos os requisitos.

7.1.1 Motor de passo

O dispositivo eletromecânico responsável pelo deslocamento e disposição dos compartimentos que armazenam os medicamentos será um motor de passo de corrente contínua. Ele é capaz de suprir o torque requerido pelo fuso que irá rotacionar a base dos compartimentos, permitindo a orientação dos comprimidos à saída. A escolha desse motor se deu pela sua capacidade de produzir alto torque em baixa velocidade e, ao mesmo tempo, minimizar a vibração. Seu dimensionamento levou em consideração os seguintes itens:

- Torque dos contêineres: 0,16 N·m, calculado por meio da Eq. 7.1, onde a inércia (I), calculado no software *Catia* tem o valor de $1,857 \cdot 10^{-5} \text{ kg}\cdot\text{m}^2$, e o α um valor de $\pi \text{ rad}/\text{s}^2$, calculado por meio da Eq. 7.2.

$$\tau = I \cdot \alpha \quad (7.1)$$

$$\alpha = \theta_o + \frac{1}{2} \cdot (w_f + w_o) \cdot t \quad (7.2)$$

Onde, θ_o e w_o são iguais a zero, o tempo (t) é 1 segundo e w_f é 2π rad/s.

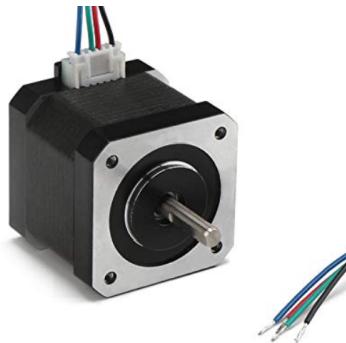


Figura 54 – Motor de Passo 42HS40-0404.

Com base nesses dados, optou-se pela escolha do motor de passo padrão Nema17 - KTC-42HS40-0404, da marca Kalatec Automação, representado na Fig. 54, pois suas especificações técnicas atendem aos requisitos do projeto. Este motor apresenta um torque nominal 0,40 N·m e potência de 4,8 W . O motor apresenta um controle preciso de posição, torque e velocidade, que são fatores necessários para fazer rotacionar o fuso, dando torque às engrenagens dos contêineres, que distribuirão os comprimidos.

7.1.2 Motor DC

No plano inferior do projeto, onde temos o repositório de copos, também há uma esteira de locomoção que tem, por objetivo, efetuar a locomoção dos copos com os medicamentos até a saída do produto. Esta será acionada por meio de um motor DC de eixo simples. A escolha desse dispositivo se deu ao considerar um menor custo, boa economia de energia e fácil operação. Seu dimensionamento levou em consideração os seguintes itens:

- Torque do motor DC: 1,8 N·m, calculado por meio da Eq. 7.3, onde o raio (r) é 61,05 mm, a força (F) tem o valor de 30 N e o ângulo theta entre ambos é de 90°.

$$\tau = r \cdot F \cdot \operatorname{seno}(\theta) \quad (7.3)$$

- Distância que o copo irá percorrer até a saída: 570 mm;



Figura 55 – Motor DC *Bringsmart* 12 V

Em pesquisa de mercado, optou-se pela escolha do motor *Bringsmart* 12 V, da marca *Hugwit Company*, representado na Fig. 55, por suas especificações técnicas atenderem os requisitos do projeto. Este apresenta um torque de 6,8 N·m com potência de 19,2 W.

7.1.3 Mini Atuador elétrico linear

O controle de atuação linear no reservatório de copos será por meio de um mini atuador elétrico linear. O atuador elétrico linear converte movimento rotativo em uma voltagem contínua em movimento linear. A escolha deste dispositivo de acionamento se deu pela facilidade de instalação, operação e velocidade constante. Seu dimensionamento levou em consideração os seguintes itens:

- Distância linear que o copo precisar percorrer até a esteira: 90 mm;
- O tempo requerido para movimentar o copo: 5 s;



Figura 56 – Mini-Atuador Elétrico Selecionado

Dessa forma, o atuador dimensionado foi o mini atuador elétrico linear, representado na Fig. 56. Este apresenta torque de 20 N, com haste de 100 mm e velocidade constante de 15 mm/s.

7.1.4 Solenoide

O dispositivo eletromecânico responsável pela abertura e fechamento das portas, que liberam os medicamentos para seus canais de guia, será um eletroímã solenoide elétrico - atuador *Push Pull*. Quando acionado, ele irá abrir uma pequena porta, onde só irá descer um comprimido por vez. A escolha desse dispositivo se deu pela facilidade de instalação, operação e movimento linear. Para a porta de saída do dispositivo, o acionamento se dará por meio de uma fechadura elétrica solenoide, que a sustentará na posição aberta, até que o copo com o medicamento seja entregue ao usuário. Além dessa, também serão utilizadas 6 solenoides na parte superior da carcaça do projeto, nas portas de manutenção dos contêineres, com funcionamento semelhante ao explicitado anteriormente.

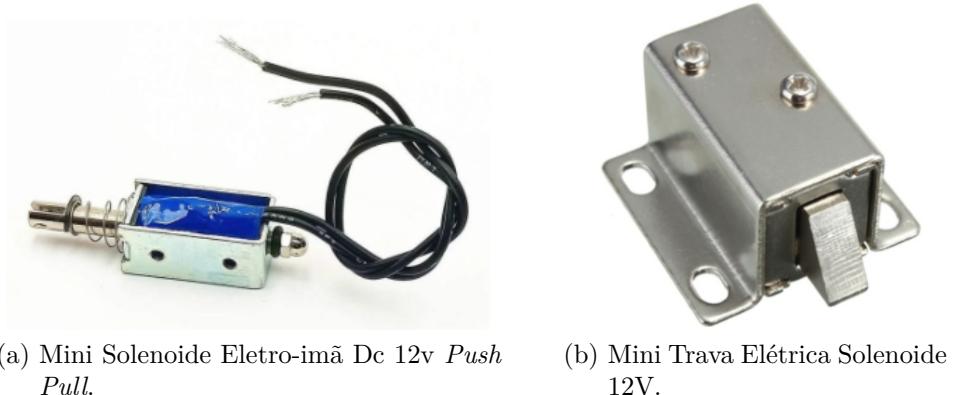


Figura 57 – Solenoides selecionadas para o projeto.

A solenoide selecionada para abertura da porta dos compartimentos é da marca ECSZINX, modelo *Push Pull* 12 V, representada na Fig. 57a e, para o controle da porta de acesso e das portas superiores de manutenção, foi selecionada uma Mini Trava Elétrica Solenoide 12 V, da marca AT, representada na Fig. 57b.

7.2 Fonte de Alimentação Principal

O dispositivo que converte a energia elétrica disponibilizada pela concessionária para uma tensão, corrente e frequência exigida por algum eletroeletrônico é a fonte de alimentação. Desse modo, a fim de atender as necessidades energéticas do projeto, o

dispensador *Pill Watcher* contará com uma fonte de alimentação comutada ou chaveada (*switched-mode power supply* - SMPS), que terá prioridade no sistema de energização do equipamento. Os fatos que motivaram a escolha de desenvolver uma fonte chaveada em relação a uma fonte linear são (BARBI, 2001):

- Menor tamanho;
- Menor peso;
- Maior eficiência;
- Menor geração de calor;
- Baixo consumo;
- Equipamento mais compacto.

O dimensionamento das duas fontes de alimentação será determinado principalmente pelo sistema embarcado e motores que atendam ao sistema de operação, e levará em conta sua distribuição espacial no equipamento. A Tab. 18 contém o levantamento da carga do sistema.

A potência instalada do equipamento é igual a 1157,14 W. A fonte de alimentação e a fonte auxiliar deverão ser dimensionadas com base na corrente total e no potencial de falha do pior caso. O diagrama unifilar do projeto encontra-se na Fig. 204. Portanto, serão considerados os seguintes cenários representados na Tab. 19.

Para o cenário 1, todas as cargas são acionadas ao mesmo tempo, o que é improvável de acontecer, pois a premissa do funcionamento do equipamento é que só um medicamento pode ser expelido por vez. No cenário 2, é considerado que seriam acionados ao mesmo tempo um motor de passo, uma solenoide, o atuador e as travas elétricas.

Tabela 18 – Levantamento da carga do projeto.

Equipamento	Quant. (unid.)	Tensão (unid.) [V]	Corrente (unid.) [A]	Potência (total) [W]
Sensor de Temperatura e Umidade	1	3,3	0,05x10E-2	0,15x10E-2
Sensor Fotoelétrico	30	5	0,25x10E-1	3,75
Sensor de Biometria	1	5	0,12	0,6
Sensor de Leitor RFID	1	5	0,25x10E-1	1,25x10E-1
<i>Raspberry Pi 4</i>	1	5	3	15
Microcontrolador	4	5	0,25x10E-1	0,5
Visor	1	5	0,02	0,1
Câmera	1	3,3	0,2	0,66
Fechadura Elétrica Solenóide	7	12	0,5	42
Motor de Passo	5	12	0,4	24
Eletroímã Solenoide elétrico - atuador <i>Push Pull</i>	25	5	1,12	140
Motor DC	1	12	1,6	19,2
Atuador Linear Elétrico	1	12	2	24
<i>Driver A4988</i>	5	12	0,5	30
<i>Driver IRF520N</i>	33	12	2	792
<i>Driver L298N</i>	1	12	1,6	19,2
Total				1157,14

Tabela 19 – Cenários considerados para o dimensionamento dos sistemas de alimentação.

Equipamento	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Sensor de Temperatura e Umidade	x1	x1	x1	x1
Sensor Fotoelétrico	x30	x30	x30	x30
Sensor de Biometria	x1	x1	x1	x1
Sensor de Leitor RFID	x1	x1	x1	x1
<i>Raspberry Pi 4</i>	x1	x1	x1	x1
Microcontrolador	x4	x4	x3	x4
Visor	x1	x1	x1	x1
Câmera	x1	x1	x1	x1
Fechadura Elétrica	x2	x2	-	-
Motor de Passo	x5	x1	x1	x1
Atuador <i>Push Pull</i>	x25	x1	-	-
Motor DC	x1	x1	x1	-
Atuador Linear Elétrico	x1	x1	-	x1
<i>Driver para Motor de Passo</i>	x5	x1	x1	x1
<i>Driver IRF 520</i>	x33	x1	-	x1
<i>Driver Ponte H</i>	x1	x1	x1	-
Corrente Total (A)	x	13,82	8,29	9,12

Para os cenários 3 e 4 são considerados as seguintes premissas:

- O medicamento não pode ser liberado da comporta enquanto o contêiner estiver em movimento, ou seja, o motor de passo e a solenoide não podem ser acionados ao mesmo tempo;
- Não será possível colocar um copo na esteira em movimento, ou seja, o atuador elétrico e o motor DC não podem ser acionados ao mesmo tempo;
- Não será possível liberar um medicamento enquanto a esteira estiver em movimento, ou seja, a solenoide, o motor DC e o atuador elétrico não podem ser acionados ao mesmo tempo;
- O contêiner pode estar em movimento enquanto um copo com medicamento está sendo levado para a saída do equipamento, ou seja, o motor de passo e o motor DC podem ser acionados ao mesmo tempo;
- O contêiner pode estar em movimento enquanto um copo é colocado na esteira, ou seja, o motor de passo e o atuador elétrico podem ser acionados ao mesmo tempo;
- O contêiner pode estar em movimento enquanto a porta de saída do remédio é aberta, ou seja, o motor de passo e a trava elétrica podem ser acionados ao mesmo tempo;

Com base nas premissas apresentadas acima, considerou-se no cenário 3 onde um motor de passo e o motor DC estariam funcionando ao mesmo tempo. Já no cenário 4, é considerado que um motor de passo e o atuador elétrico funcionariam ao mesmo tempo.

Ao avaliar os cenários propostos percebe-se que, para o dimensionamento dos sistemas de alimentação, os cenários 3 e 4 são os mais apropriados, pois satisfazem às premissas levantadas para o bom funcionamento do equipamento. Portanto, a maior corrente entre os dois cenários será selecionada, e, por cima deste valor, será considerado um fator de segurança igual a 1,7, o que nos leva a uma corrente de projeto aproximadamente igual a 15 A.

Dessa forma, a fonte de alimentação proposta será interligada à rede e proverá uma saída CC regulada igual a 12 V e 15 A de saída, portanto, terá uma potência de 180 W. As cargas que exigirem uma tensão específica contarão com um regulador de tensão. Como os componentes eletrônicos não demandam corrente alternada, a solução não tem a necessidade de englobar um inversor de corrente. As conexões da fonte serão combinadas com o sistema de alimentação alternativo previsto pela bateria.

7.2.1 Retificador CA/CC

Conversores CA/CC, ou retificadores, convertem uma tensão alternada em uma tensão de saída contínua estável. Os retificadores são classificados de acordo com a capacidade de ajuste do valor da tensão de saída (controlados ou não-controlados), o número de fases da tensão de entrada (monofásico, trifásico, etc.) e com os elementos retificadores. Os retificadores não-controlados utilizam diodos como elementos de retificação. O retificador com ponte de onda completa (*full bridge*), topologia mais aplicada em equipamentos na prática, utiliza quatro diodos para converter os ciclos positivos e negativos para o lado CC, antes de estabilizar a tensão de saída com um capacitor (BLAABJERG FREDE, 2018; FEEC, 2002).

Portanto, a etapa de entrada da fonte é baseada em um conversor CC/CC com ponte de onda completa, com sua configuração representada na Fig. 58a, onde L_{ac} e R_{ac} são, respectivamente, a indutância e resistência da impedância da fonte alternada de entrada, D_1 , D_2 , D_3 e D_4 formam o retificador monofásico de onda completa, e C_o é o filtro capacitivo de saída. Seus benefícios e, portanto, a justificativa para a escolha da topologia, são (PETRY, 2013):

- Em relação aos retificadores de meia onda, possuem maior eficiência de retificação;
- Possuem baixa perda de energia, pois nenhum sinal de tensão é perdido no processo de conversão;
- Não necessita de transformador com derivação central;
- A corrente na carga flui em um único sentido.

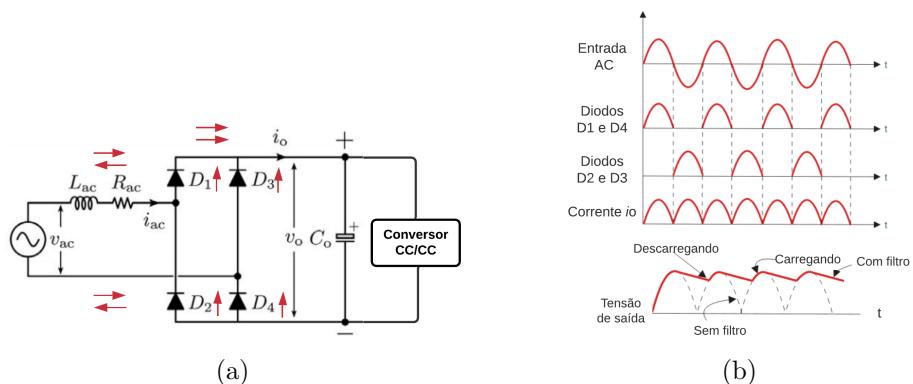


Figura 58 – Configuração com indicação do fluxo de corrente (setas vermelhas) e formas de onda típicas do retificador de onda completa. Fonte: Blaabjerg Frede (2018), com modificações do autor.

A cada meio período da tensão alternada de entrada, há um par de diodos conduzindo. Dessa forma, modelando a carga como sendo resistiva e observando as formas de onda típicas (Fig. 58b), podemos descrever a operação do retificador nas seguintes etapas (PETRY, 2013):

- No semiciclo positivo, os diodos D_1 e D_4 estão conduzindo, os diodos D_2 e D_3 estão bloqueados e o capacitor C_o é carregado até o valor máximo da tensão de entrada;
- A partir do momento que a tensão pulsante é reduzida, ficando menor que a tensão no capacitor, este começa a descarregar, fornecendo energia à carga. Nesta etapa, o capacitor não se descarrega completamente;
- No semiciclo negativo, os diodos D_2 e D_3 estão conduzindo, os diodos D_1 e D_4 estão bloqueados e o processo de carregamento do capacitor C_o começa novamente. Dessa forma, cerca de metade da energia do capacitor é descarregada e a corrente flui para a carga em uma única direção;

O objetivo da configuração é garantir uma tensão de saída CC constante. A configuração proposta garantirá uma alimentação bivolt, e sua saída é responsável por alimentar a etapa do conversor CC/CC da fonte proposta.

Tabela 20 – Parâmetros de projeto do retificador monofásico com ponte de onda completa.

Parâmetro	Simbologia	Valor
Tensão eficaz de Entrada	V_{CA}	127/220 [V _{cc}]
Potência de saída	P_o	200 [V]
Frequência da Rede	f_r	60 [Hz]
Ondulação da Tensão no Capacitor (<i>ripple</i> máximo)	ΔV_C	10%
Rendimento	η	0,9

NOTA: Este design é baseado em valores típicos.

A Tab. 21 contém os componentes selecionados para o projeto do retificador. O apêndice I contém o memorial de cálculo detalhado do projeto.

Tabela 21 – Componentes selecionados.

Componente	Variável do circuito	Modelo/ Valor Comercial
Capacitor	Capacitância	200uF
	Tensão de Trabalho	400V
Diodo	Modelo	1N5404
	Corrente média	3A
	Tensão reversa máxima	400V

7.2.2 Conversor CC/CC

Conversores CC/CC, ou *choppers*, convertem a corrente contínua para uma corrente contínua em um nível de tensão diferente. A entrada para este tipo de conversor é uma tensão não regulada, portanto, seu objetivo é produzir uma tensão de saída regulada que seja adequada à carga. Na prática, é possível alcançar uma eficiência de 70% a 95%. O controle e regulação da tensão de saída se dá por meio da modulação por largura de pulso (*Pulse-width modulation - PWM*). São utilizados dispositivos semicondutores como diodos, transistores de efeito de campo metal-óxido-semicondutor (MOSFET), transistores bipolares de porta isolada (IGBT), transistores bipolares de junção (TJB) ou tiristores. As frequências de comutação típicas estão na faixa de 1 kHz a 1 MHz, a depender da velocidade dos dispositivos semicondutores ([ERICKSON, 1999](#)).

Portanto, o conversor CC/CC produz uma tensão CC de saída cuja magnitude é controlada por meio do fator de ciclo (*duty cycle*), usando circuitos auxiliares.

Conversor *Forward*

Selecionar a topologia errada pode resultar em um projeto de design que não atende às suas metas de custo, metas de eficiência ou uma série de outros requisitos necessários ao projeto. Existem vários circuitos/topologias que podem aumentar ou diminuir a magnitude da tensão de saída CC e/ou inverter sua polaridade. Em muitas aplicações, é desejado incorporar um transformador no conversor de comutação, para obter uma isolamento entre os circuitos de entrada e de saída, evitando, assim, choques elétricos. O tamanho e o peso do transformador variam inversamente com a frequência do sistema, portanto, as altas frequências levam a grandes reduções no tamanho do transformador ([ERICKSON, 1999](#)).

Há várias maneiras de incorporar um transformador isolador em um conversor CC/CC. O conversor isolado tipo *Forward* (*Buck* isolado), com um único semicondutor, é usualmente usado em fontes *off-line*, na faixa de potência até 200 W e com uma alta corrente de saída. Sua configuração pode ser vista na Fig. 59, onde o primário do transformador é colocado em série com um transistor (Q_1) e o enrolamento n_2 é colocado em série com o diodo D_1 , a fim de desmagnetizar o núcleo do transformador ao final de cada período de comutação. O secundário do transformador é conectado a um filtro LC de saída e o diodo D_2 é inserido, de forma a prevenir uma corrente negativa no secundário do transformador ([BLAABJERG FREDE, 2018](#)).

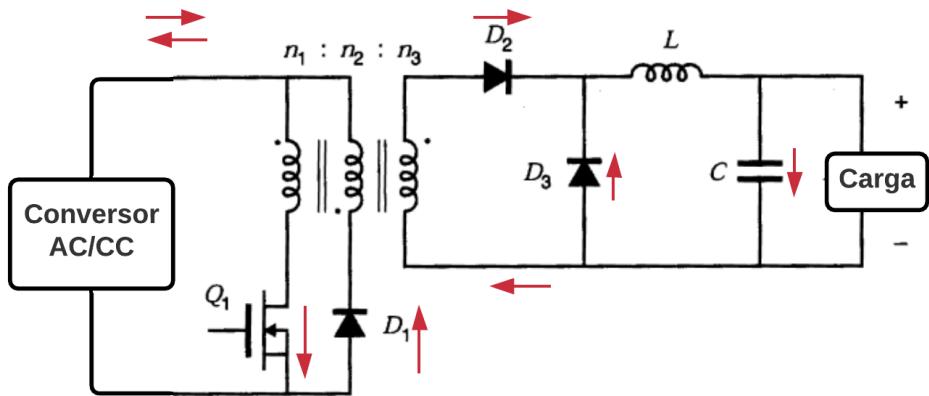


Figura 59 – Configuração do conversor *Forward* com indicação do fluxo de corrente (setas vermelhas). Adaptado de: ([ERICKSON, 1999](#))

Suas vantagens e, portanto, a justificativa para a escolha da topologia, são ([BLA-ABJERG FREDE, 2018](#)):

- Isolação galvânica entre a tensão de entrada e de saída, conferindo segurança ao sistema e evitando riscos de choques elétricos durante a limpeza do equipamento;
- Não depende de armazenamento de energia, pois a transferência de ocorre diretamente através do transformador;
- Corrente de saída de boa qualidade;

Dessa forma, podemos descrever a operação do retificador nas seguintes etapas:

- O transistor Q_1 conduz, junto ao diodo D_2 , enquanto os diodos D_1 e D_3 estão bloqueados, situação esta em que não há corrente no enrolamento de magnetização;
- O transistor Q_1 fica bloqueado, ao passo que o diodo D_3 conduz a corrente de carga e o diodo de desmagnetização D_1 conduz a energia de volta para a fonte;
- A corrente armazenada no indutor chega a zero, cessando a devolução de energia à fonte enquanto o diodo D_3 continua conduzindo.

Tabela 22 – Parâmetros de projeto do conversor *Forward*.

Parâmetro	Simbologia	Valor
Tensão de Entrada	V_i	127-220 [V _{cc}]
Tensão de saída	V_o	12 [V]
Corrente de saída	I_o	15 [A]
Potência de saída	P_o	200 [W]
Frequência de Chaveamento	f_s	50 [kHz]
Ondulação da Tensão de entrada (<i>ripple</i>)	$\Delta V_{i(ripple)}$	5%
Ondulação da Corrente de saída (<i>ripple</i>)	$\Delta I_{out(ripple)}$	5%
Rendimento	η	0,9
fator de ciclo (<i>duty cycle</i>)	D	0,45
Densidade de corrente	J	450 [A/cm ²]
Fator de ocupação do primário	k_p	0,5
Fator de ocupação da área do enrolamento	k_w	0,4
Indução magnética	ΔB	0,18
Queda de tensão no diodo	V_f	0,7

NOTA: Este design é baseado em valores típicos.

Circuitos integradores

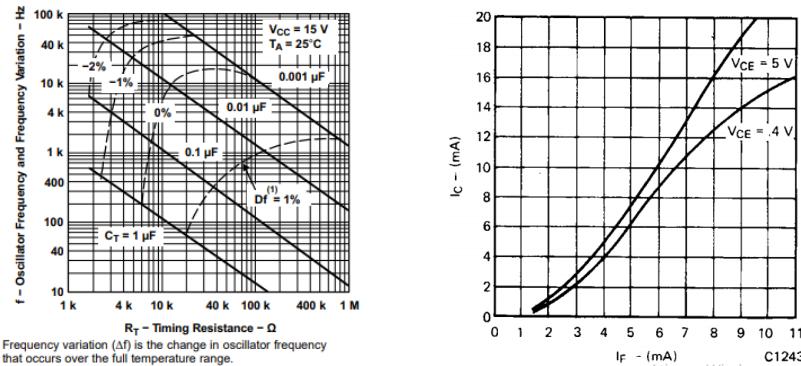
Como a tensão de saída $v(t)$ do conversor é uma função do *duty cycle*, um sistema de controle pode ser construído de forma que varie o *duty cycle* para fazer com que a tensão de saída siga uma determinada referência. A operação deste sistema se dá da seguinte maneira: a tensão de saída é detectada usando um divisor de tensão e, então, é comparada com uma tensão CC de referência. O sinal de erro resultante é passado por uma rede de compensação em um amplificador operacional (Amp-Op), resultando em uma tensão analógica que, em seguida, é alimentada por um modulador por largura de pulso (PWM) (ERICKSON, 1999).

O modulador produz uma forma de onda de tensão comutada que controla a porta do dispositivo semicondutor. Dessa forma, o *duty cycle* é proporcional à tensão analógica de controle. Essa abordagem é chamada de controle do modo de tensão. Se esse sistema de controle for bem projetado, o *duty cycle* é ajustado automaticamente, de modo que a tensão de saída do conversor siga a tensão de referência e seja independente das variações da tensão de entrada ou da corrente de carga (ERICKSON, 1999).

O circuito integrador de controle PWM provê o *Duty Cycle* e os elementos para implementar o controle do conversor CC/CC. O *Duty Cycle* é gerado a partir de uma comparação entre o sinal triangular e sinal contínuo. Optou-se por utilizar o circuito integrado TL494 da *Texas Instruments*, que é versátil e faz um ótimo trabalho ao englobar todas as etapas necessárias para o controle em um único circuito integrado.

A frequência de operação do TL494 será de 50 kHz. A frequência de trabalho do CI deve ser projetada para ser o dobro da desejada, portanto, $2 \cdot 50 \text{ kHz} = 100 \text{ kHz}$.

Observando o gráfico da Fig. 60a, utilizaremos uma capacitância de 1 nF e uma resistência de 12 k Ω . Dessa forma, tem-se 50 kHz.



- (a) Gráfico da frequência de oscilação *versus* resistência e capacidade do CI TL494. Fonte: *Datasheet* do CI TL494.
- (b) Gráfico da corrente no coletor *versus* corrente direta no diodo. Fonte: *Datasheet* do CI TIL111.

Figura 60 – Gráficos dos CI's utilizados.

A isolação da realimentação do circuito é feita por meio do CI TIL111. Para saber o resistor que vai em série com o diodo emissor, foi utilizado o gráfico presente na imagem 60b. A Tab. 23 contém os componentes selecionados para o projeto da fonte chaveada.

Tabela 23 – Componentes selecionados para o conversor *Forward*.

Parâmetro	Modelo/Valor Comercial
Diôdo de desmagnetização	MUR110EG
Diôdo Série Saída	MUR860G
Diôdo Paralelo Saída	MUR860G
MOSFET	IRFBG20
Capacitor	220 μF
Indutor	100 μH
Circuito de controle	CI TL494
<i>Feedback</i> Isolado	CI TIL111
Núcleo do transformador	E-42/21/15

Os componentes dos circuitos de controle e do circuito do *feedback* isolado foram selecionados com base em (AZEVEDO, 2016), e estão citados na Tab. 24.

Tabela 24 – Componentes selecionados para o circuito de controle e do circuito do *feedback* isolado do conversor *Forward*.

Parâmetro	Quant. (unid.)	Modelo/Valor Comercial
Resistor 1/4 [W]	1	680 [Ω]
Resistor 1/4 [W]	2	1k [Ω]
Resistor 1/4 [W]	1	1M [Ω]
Resistor 1/4 [W]	1	47k [Ω]
Resistor 1/4 [W]	2	5,6k [Ω]
Resistor 1/4 [W]	1	10k [Ω]
Resistor 1/4 [W]	1	1,5k [Ω]
Resistor 1/4 [W]	1	3,3k [Ω]
Potenciômetro	1	10k [Ω]
Capacitor (cerâmica)	1	1 nF [Ω]
Capacitor (cerâmica)	1	100 nF [Ω]

O apêndice I contém o memorial de cálculo detalhado para o projeto e o diagrama completo da fonte, Fig. 205.

Círculo abaixador de tensão

As cargas que exigem tensão específica no projeto são: microcontroladores, *Raspberry*, visor e sensores fotoelétricos e de biometria, todos em um nível de 5 V. Somada as correntes das cargas, obteve-se 4,015 A. Portanto, necessita-se de um conversor abaixador de tensão (*Step Down*). Optou-se pelo módulo regulador de tensão XL4016, com entrada de 4-40 V até 8 A e saída de 1,25 V A 36 V.



Figura 61 – Conversor CC/CC *Step-Down* utilizado para transformar a tensão de 12 V para 5 V.

7.3 Sistema Autônomo de Emergência

Nas situações em que ocorrer a interrupção na rede elétrica da concessionária, a carga do projeto será instantaneamente alimentada pelo sistema de emergência, de forma a evitar o desligamento brusco do equipamento e garantir seu funcionamento por um tempo determinado.

A fonte primária do sistema de emergência será provida por uma bateria (acumulador de energia) e seu funcionamento se dará de maneira que, no regime de operação normal, em que as cargas são alimentadas pela fonte, a bateria estará fora de serviço. Neste mesmo regime de operação, a bateria será carregada pela fonte principal, por meio de um carregador de bateria. Haverá a comutação instantânea para a operação normal, assim que a entrada de tensão alternada (CA) seja normalizada.

A tensão nominal da bateria será igual a tensão de alimentação da carga, que foi delimitada como sendo 12 V, e os seguintes itens foram considerados para o seu dimensionamento:

- Autonomia do sistema (o tempo mínimo que a bateria deverá prover para que o equipamento funcione nos cenários emergenciais) igual a 1 hora;
- Corrente de projeto igual a 15 A, conforme estabelecido na seção 7.2;

Considerando carga suficiente pela disponibilidade no mercado e autonomia desejada, será utilizada uma Bateria de Lítio Íon, modelo CRG-01203M, representada na Fig. 62. A escolha dessa bateria deu-se pela alta densidade de energia e elevado potencial, baixo índice de auto-descarga e elevadas correntes de descarga (STA, 2018). Optou-se pela opção de apenas uma bateria no dispensador, para não alterar as dimensões e melhor atender o projeto. As especificações para a bateria selecionada estão contidas na Tab. 25.

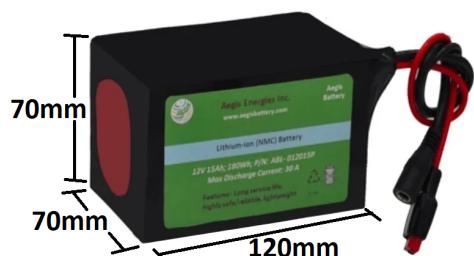


Figura 62 – Bateria de Íon-Lítio, 12 V 15 Ah selecionada para o projeto.

Tabela 25 – Especificações da bateria selecionada.

Parâmetro	Característica
Tipo	embalagem de PVC
Química	íon-lítio
Dimensões (C x L x A)	120 x 70 x 70 [mm]
Peso	1,05 [kg]
Tensão de saída	12 [Vcc]
Capacidade/Autonomia	15 [Ah]
Energia armazenada	180 [Wh]
Vida útil	média de 1000 a 2000 ciclos
Tempo para recarga total	até 1 hora
Tensão de carregamento	13,8 [V]
corrente de carga normal	2 [A]
Corrente de descarga Contínua normal	7,5 [A]

Por meio de uma verificação periódica, será possível observar o status da bateria no mostrador de cristal líquido (*Liquid Crystal Display - LCD*), localizado no painel frontal da máquina, através de um indicador de carga da bateria. Este indicador apresenta:

- Cor verde, quando o equipamento estiver totalmente carregado;
- Cor amarela, quando o equipamento alcançar 50% da carga total;
- Cor vermelha, quando o equipamento alcançar 25% da carga total;

Círculo Carregador da Bateria

O carregamento da bateria é feito automaticamente por meio de um circuito simples, que suporta uma corrente de carregamento de aproximadamente 4A. Este carregador automático realiza uma carga completa da bateria, sem danificá-la. É fundamental compreender que este circuito necessita de uma tensão superior à tensão da bateria. Para atender o projeto de carregador da bateria, foi projetado um conversor elevador de tensão CC/CC Step up 12/13,8V, representado na Fig. 63, de corrente máxima 6A, que irá promover uma tensão superior a 12V, para que o fluxo de corrente do conversor, cuja tensão é 13,8 V, flua para a bateria 12V. O diagrama do carregamento está representado no esquemático da Fig. 206.

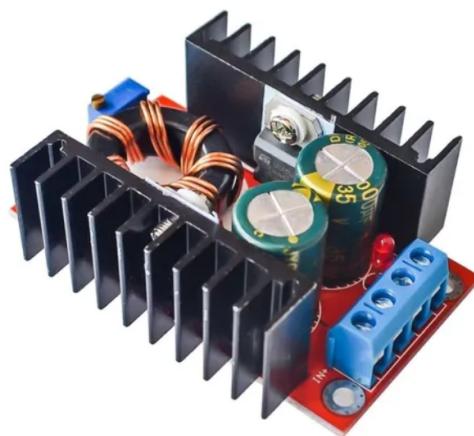


Figura 63 – Conversor Step Up 12/13,8V.

Tabela 26 – Itens do circuito de carregamento da bateria.

Parâmetro	Quantidade	Modelo/Valor comercial
Amplificador Operacional	1	UA741
Amplificador Operacional	1	TIP35C
Diodo	1	BZV85C55V1
Resistor	2	470 Ω
Resistor	1	10k Ω
Potenciômetro	1	10k Ω
Transistor	1	TIP35C
Conversor Elevador	1	12/13V
Bateria	1	CRG-01203M

7.4 Sistema de Intertravamento entre a Fonte e a Bateria

Para que a carga do projeto seja instantaneamente alimentada pelo sistema de emergência, de forma a evitar o desligamento brusco do equipamento e para que haja comutação instantânea para operação normal, assim que a entrada de tensão seja normalizada, necessita-se de um sistema de intertravamento entre a fonte principal e auxiliar. O acionamento do circuito de emergência se dá por meio de uma chave (relé), que tem a função de mudar a carga para o circuito alimentado pela bateria quando houver falha na fonte chaveada. O relé selecionado foi o relé reversor selado N.A/N.F – 15 A/12 V, de 5 Terminais.

Foi projetada uma placa de circuito impresso (PCI), onde a comutação para o circuito auxiliar nos casos emergenciais, carregamento da bateria e alimentação das cargas são feitas automaticamente. O diagrama do intertravamento está representado no esquemático da Fig. 206.

7.4.1 Dimensionamento da PCI

A placa de circuito impresso (PCI) do diagrama do carregamento e do intertravamento está representada na Fig. 64. Para a confecção da PCI, foi seguido o plano de construção descrito na seção 6.6 da solução eletrônica. Considerando uma placa com 3 onças de espessura de cobre e uma corrente máxima de 15 A, temos que a área da seção transversal é igual a $682,0 \text{ mils}^2$ e a largura da trilha é igual a 165,35 mils. Para o projeto da PCI, considerou-se uma folga na largura, portanto, selecionou-se 200 mils, o que corresponde a 5 mm. Foi utilizado uma zona preenchida de *Ground* (GND) na camada de cobre e conectores borne para as seguintes conexões na parte superior:

- Conversor *Step-Up* 12 V/13,8 V;
- Bateria íon-lítio;
- Fonte de alimentação 110-220 V/12 V;
- Três blocos terminais de fios que se conectam com as cargas.

Para as conexões, são utilizados cabos flexíveis de cobre com bitola de 2,5 [mm^2].

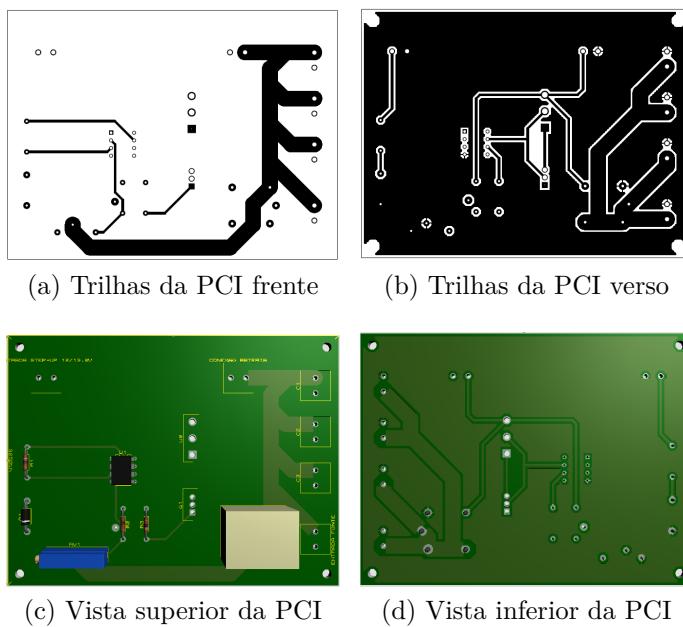


Figura 64 – PCI carregamento da bateria e intertravamento entre bateria e fonte.

7.5 Dimensionamento dos Condutores

O dimensionamento dos condutores foi realizado com base na norma NBR 5410/2004. O objetivo principal desta norma é estabelecer condições que instalações elétricas de baixa tensão devem satisfazer, a fim de garantir a segurança de pessoas e animais, assim como o funcionamento adequado da instalação e conservação dos bens presentes no local.

1. Método 1: Seção referente a uma análise das condições apresentadas pela norma, de acordo com o tipo de linha e utilização do circuito.
2. Método 2: Seção referente a escolha da corrente nominal do projeto, em que, para cada circuito, terá uma seção específica de condutor.

De acordo com a norma, os métodos de referências são os métodos de instalação para os quais a capacidade de condução de corrente foi determinada, por ensaio ou por cálculo. A referência utilizada no projeto foi o F: cabos unipolares justapostos ao ar livre. Para fins de dimensionamento dos condutores, são considerados os seguintes circuitos:

- Circuito A: entrada da rede;
- Circuito B: saída da fonte/bateria;
- Circuito C: motores de passo;
- Circuito D: atuador elétrico;
- Circuito E: atuador *push-pull*;
- Circuito F: motor DC (esteira);
- Circuito G: componentes eletrônicos.

De acordo com a Tab. 47 da NBR 5410/2004, para o método 1, os circuitos de tomadas de corrente são considerados circuitos de força, portanto, os circuitos A, B, C, D, E, F e G são considerados de força. O método 2 depende da corrente de projeto do circuito, de forma que a capacidade de condução de corrente dos condutores deve ser igual ou superior à corrente de projeto. A corrente de projeto ($I_{projeto}$) é calculada de acordo com a Eq. 7.4, onde é considerada um rendimento (η) de 100%, um fator de potência

(FP) unitário e queda de tensão inferior a 4%. A seção final dos condutores é dada pela maior seção entre os dois parâmetros encontrados, e o resultado está contido na Tab. 27.

$$I_{\text{projeto}} = \frac{P_{\text{círculo}} \cdot 1,2}{V \cdot FP \cdot \eta} \quad [\text{A}] \quad (7.4)$$

Tabela 27 – Determinação da seção dos condutores.

Círculo	Potência (W)	Corrente de projeto (A)	Método 1 (mm^2)	Método 2 (mm^2)	Seção escolhida (mm^2)
A	222	1,21	2,5	0,5	2,5
B	180	18	2,5	1,5	2,5
C	4,8	0,4	2,5	0,5	2,5
D	24	2	2,5	0,5	2,5
E	5,6	1,12	2,5	0,5	2,5
F	19,2	1,6	2,5	0,5	2,5
G	74,34	7,43	2,5	0,5	2,5

7.5.1 Plugue e Conectores

A norma IEC 61140 dispõe os tipos de conexão do equipamento eletrônico com a terra. A proteção contra choques elétricos nesses equipamentos se dá por meio da medida de segurança conhecida como classe de isolamento. O equipamento Pill Watcher está classificado como Classe I, onde sua carcaça é metálica e está conectada à terra através de um condutor de proteção (PE). Com isso, de acordo com o Padrão Brasileiro de Plugues e Tomadas, o modelo de plugue do equipamento é de três pinos e a tomada a que ele for conectado deve ser de três orifícios de 4,8 mm, pois a corrente do projeto é de 20A.

Com base na classificação estabelecida na norma IEC 61140 para o equipamento Pill Watcher, o plugue utilizado no projeto é o modelo 108-1MR, da marca Cabosata, com corrente máxima de 20 A e tensão de até 300/500 V. Este apresenta três fios internos de 2,50 mm e um plugue macho de pinos redondos de 4,8 mm.

Os conectores elétricos são dispositivos eletromecânicos que fazem ligações elétricas entre condutores, configurados para eliminar ou reduzir fugas de corrente provocadas por emendas ou outros tipos de conexões. Sua função é conectar duas ou mais partes de um mesmo fio. Evitam perda de energia elétrica e consumo desnecessário quando dimensionados e instalados corretamente para os fios.

Para o sistema de alimentação, ocorreram as seguintes conexões:

- Para a conexão com os cinco motores de passo, são utilizados 5 cabos com conexão Molex KK de 4 pinos macho/fêmea conectados no conector do drive A4988.

- Para a conexão com motor DC, é utilizado um cabo com conexão Molex KK de 2 pinos macho/fêmea conectado no conector do drive L298N.
- Para a conexão com o atuador elétrico, é utilizado um cabo com conexão Molex KK de 2 pinos macho/fêmea conectado no conector do drive IRF520N.
- Para a conexão com as 25 solenoides, são utilizados 25 cabos com conexão Molex KK de 2 pinos macho/fêmea conectado no conector do drive IRF520N.
- Para a conexão com as 7 fechaduras solenoides, são utilizados 7 cabos com conexão Molex KK de 2 pinos macho/fêmea conectado no conector do drive IRF520N.
- Para a conexão da PCI de intertravamento e carregamento da bateria, foram utilizados 6 conectores Borne KRE com 2 pinos conectados ao conector da bateria, conversor step, fonte e borne.

7.6 Elementos de Organização

O processo de organização dos cabos envolveu a definição de prioridades para que o ambiente do equipamento tenha um visual organizado. Portanto, seguiu-se os seguintes passos:

1. Determinação das posições fixas dos elementos na estrutura do equipamento;
2. Verificação das necessidades dos cabos para cada circuito;
3. Etiquetação dos cabos para identificação dos circuitos;
4. Diminuição dos cabos, sempre que possível;
5. Definição dos caminhos dos cabos na estrutura para facilitar a montagem e desmontagem do equipamento;

Por meio da Fig. 65, onde os círculos rosas representam as posições das solenoides e motores de passo, foi possível calcular as distâncias de cada circuito (A1, A2...), desde à posição inicial da fonte e da bateria. Com isso, obtemos os comprimentos necessários para os cabos de alimentação dos circuitos, que se encontram resumidos na Tab. 28.

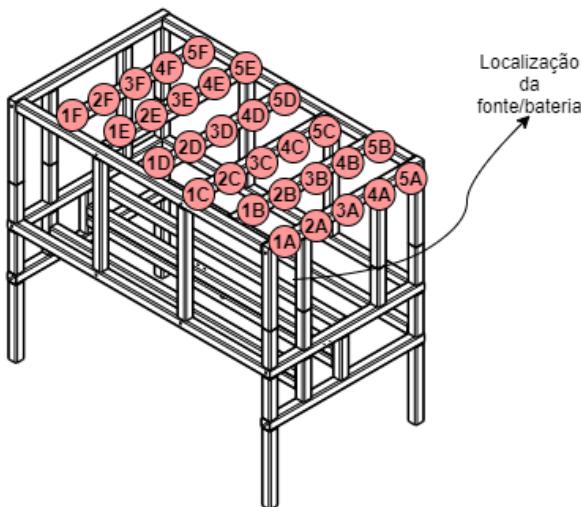


Figura 65 – Identificação dos circuitos para dimensionamento das distâncias dos condutores.

Tabela 28 – Distância, em metros, dos condutores tendo como referência a Fig. 65.

	A	B	C	D	E	F
1	1.8	1.6	1.4	1.6	1.8	2.0
2	1.6	1.4	1.2	1.4	1.6	1.8
3	1.4	1.2	1.0	1.2	1.4	1.6
4	1.2	1.0	0.8	1.0	1.2	1.4
5	1.0	0.8	0.6	0.8	1.2	1.2

Para o circuito do atuador elétrico, o caminho determinado para a passagem dos condutores, de forma segura, possui uma distância igual a 0,6 metros. Para o circuito do motor DC, o caminho determinado para passagem dos condutores, de forma segura e com disponibilidade de espaço, sua distância é igual a 0,9 metros.

7.6.1 Barramento de Distribuição

A alimentação do conjunto de cabos a serem distribuídos para cada dispositivo na estrutura do *Pill Watcher* é feita por meio de blocos terminais de fios, que são um conjunto de pontos de conexão aparafusados semelhantes que garantem uma maneira segura e conveniente para manter organizados a fiação dentro da estrutura. Dessa forma, uma tira de terminais combina muitos blocos semelhantes em um único dispositivo.

As principais funções de um bloco de terminais são conectar e isolar. O corpo do bloco principal é feito de um material resistente, neste caso plástico, que isola eletricamente os blocos adjacentes, e suas partes condutoras são feitas de cobre resistente à corrosão.

Em uma faixa, os blocos são isolados uns dos outros, como pode ser visto na Fig. 66 para o bloco terminal selecionado para a solução, este possui um ângulo entre a entrada e saída de fios igual a 90°.

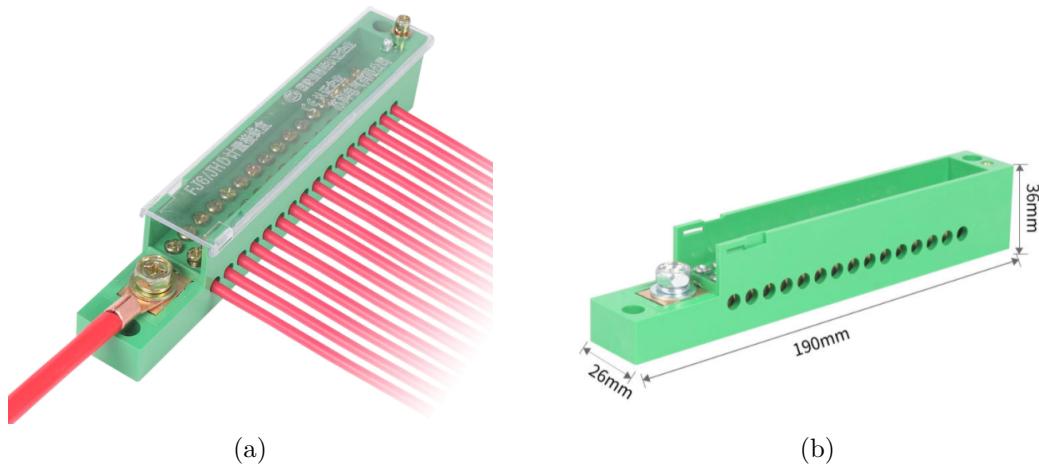


Figura 66 – Bloco terminal de fio.

Para a aplicação, foi considerado o número de fios necessários para o projeto para, então, obter o número de contatos necessários. Dessa forma, considerando os circuitos de A à G, definidos na seção 7.5, temos que o número de fios requeridos para a saída da fonte é igual a 42. Combinando 6 blocos, do bloco representado na Fig. 66, tem-se 48 contatos disponíveis. Dos 6 blocos, 3 são para o potencial positivo da corrente contínua de saída e 3 para o potencial negativo. O esquema de etiquetagem definido no processo de organização dos cabos, Fig. 67, se deu após a definição das posições fixas dos elementos na estrutura, e permite identificar como os fios são organizados. Os 6 blocos são fixados na chapa da estrutura em que estão dispostos a fonte e a bateria.

7.6.2 Proteção e Acabamento

Optou-se por utilizar canaletas de PVC (Cloreto de Polivinil) com recorte aberto para a organização dos fios e cabos da alimentação e da comunicação entre os dispositivos. Esta configuração evita que os fios fiquem amontoados e protege mecanicamente os cabos contra danos externos. A canaleta recorte é composta por duas partes: uma que tampa e outra que vai fixada na superfície desejável. Este tipo de canaleta possui uma abertura lateral, onde o rasgo vai até o encaixe da canaleta, possibilitando a derivação de fios em qualquer ponto.

Após a escolha das superfícies onde serão fixadas as canaletas, é necessário escolher uma largura da canaleta que caiba na superfície a ser fixada e que tenha espaço suficiente

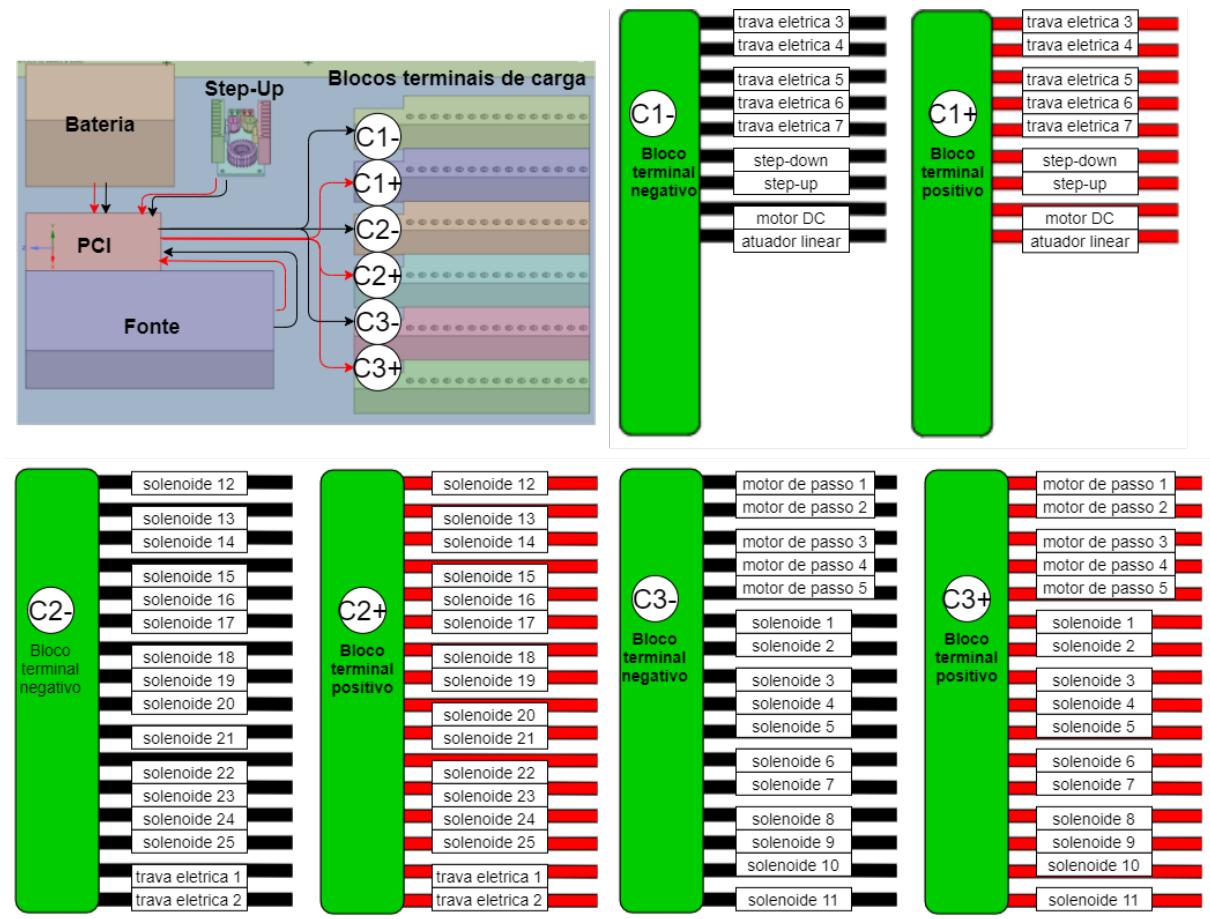


Figura 67 – Identificação dos Circuitos nos Blocos Terminais de Fio.

para abrigar os cabos. A superfície na estrutura em que será fixada as canaletas serão os tubos estruturais, que possuem uma largura de 50,8 mm. Para o dimensionamento e seleção da canaleta, levou-se em consideração a relação dos cabos do caminho na estrutura que levará a maior quantidade de cabos, a seção total dos condutores e a capacidade de suportar as solicitações mecânicas, químicas, elétricas e térmicas a que for submetida, nas condições da instalação.

De acordo com a NBR 5410/2004, as canaletas instaladas sobre superfícies devem ser escolhidas e dispostas de modo a não danificar os cabos nem comprometer seu desempenho. Tendo em vista que todos os condutores dos circuitos possuem uma seção nominal de 2,5 mm², considerou-se que a seção útil de um condutor e seu diâmetro máximo são, respectivamente, 13,9 mm² e 4,2 mm². A descrição dos cabos para o caminho que levará a maior quantidade cabos, é, portanto:

1. 10 cabos para a alimentação do circuito dos motores de passo;
2. 50 cabos para a alimentação do circuito das solenoides;

3. 14 cabos para a alimentação do circuito da fechadura elétrica.

Totalizando 74 cabos. Dessa forma, o cálculo das secções acumuladas dos cabos é $74 \times 13,9 \text{ mm}^2 = 1028,6 \text{ mm}^2$. Com isso, foi escolhida a canaleta, em função do volume ocupado pelos cabos, que possui 30 mm de largura, 50 mm de altura e que trabalha em uma temperatura entre -40 a 85°C. Esta encontra-se representada na Fig. 68. A área de sua seção transversal é igual a 1500 mm², portanto, a disposição dos cabos no interior atende à área disponível da canaleta escolhida, considerando uma certa folga.

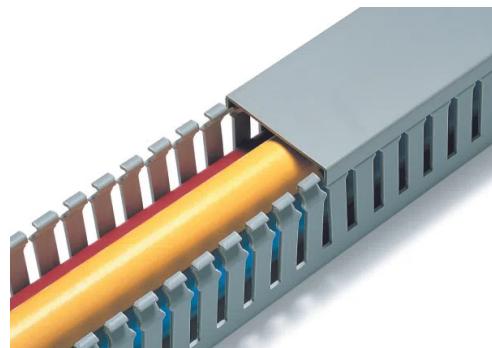


Figura 68 – Canaleta recorte aberto.

Ao definir o caminho a ser percorrido pelas canaletas, desde a saída dos blocos terminais de fio até às cargas, calculou-se uma distância total de 8,29 metros, arredondada para 9 metros. As canaletas possuem furos em sua base, para serem fixadas na estrutura a cada 50 mm. Com a distância de 9 metros determinada, necessita-se que o caminho proposto tenha 180 furos, com 50 mm de distância entre eles. As canaletas são fixadas por elementos chamados fixa-dutos, que oferecem segurança e praticidade na instalação no projeto. Necessita-se, portanto, de 180 fixa-dutos.

7.7 Sistema de proteção

O fusível é um dispositivo de proteção contra sobrecorrente, que opera quando houver uma sobrecarga ou curto-círcuito no sistema, evitando, assim, danos no isolamento dos condutores e/ou nos componentes do *Pill Watcher*. Este deve ser dimensionado para uma corrente, no mínimo, 20% maior que a corrente de operação do circuito que irá proteger.

$$I_{\text{fusível}} = 1,2 \cdot \frac{P_{\text{operação}}}{V_N \cdot FP \cdot \eta} = \frac{222 \cdot 1,2}{110 \cdot 1 \cdot 1} = 2,42 \quad [\text{A}] \quad (7.5)$$

Para o cálculo da Eq. 7.5, foi considerada a tensão de entrada igual a 110 V, pois é a situação mais crítica. A categoria de utilização do fusível será a G, para a proteção de linha que atuará na presença tanto de curto-circuito como de sobrecarga. Foi selecionado um fusível de vidro 5x20 - 2,5 A 250 V.

7.8 Plano de Testes

O plano de testes do subsistema de alimentação consistirá na medição dos seus parâmetros de operação, de modo a verificar se o sistema está atendendo os parâmetros propostos.

7.8.1 Teste da Fonte

O primeiro teste a se realizar na fonte é o teste de circuito aberto. Primeiramente, conecta-se a fonte a uma tomada de 220 volts e verifica-se, com um voltímetro, se a tensão de saída da fonte é de 12 Vdc estáveis. O mesmo procedimento deve ser realizado com uma tomada de 110 volts, na medida em que a tensão de saída deverá também ser de 12 Vdc.

O segundo teste consiste em verificar a tensão e a corrente de saída em plena carga, ou seja, de acordo com o que foi estabelecido no cenário 4 indicada no item 7.2 deste projeto. Para a execução deste teste, faz-se uso de um circuito de carga equivalente à indicada no cenário 4, ou do mesmo testador multifuncional utilizado no teste da bateria adotada para o Pill Watcher. A tensão e a corrente de saída devem se manter constantes e sem oscilações superiores a 5% em relação a 12 Vdc e 9A, respectivamente.

7.8.2 Teste da Bateria

O teste da bateria escolhida para o equipamento Pill Watcher será realizado com auxílio de um testador multifuncional de baterias, que verificará a capacidade de armazenamento da bateria e o tempo de descarga, quando submetida a uma carga constante.

O teste consiste em configurar a corrente da carga para 15A no testador, e aguardar que o testador descarregue a bateria por completo. O tempo medido pelo testador não deve ser inferior a 1 hora.

7.8.3 Teste do Sistema de Carregamento

O teste do sistema de carregamento consiste em verificar quanto tempo este sistema necessita para carregar completamente a bateria e se o fluxo de corrente é interrompido, quando a bateria está plenamente carregada.

Para a execução deste teste, conecta-se uma bateria completamente descarregada e mede-se o fluxo de corrente que flui do Sistema de Carregamento para a bateria. Os valores típicos de corrente especificados são da ordem de 2A, tendendo a zero quando completo o carregamento da bateria. O tempo esperado para o carregamento da bateria nessas condições é de 1 hora e deve ser medido durante a fase de teste do sistema de carregamento.

7.8.4 Teste do Intertravamento

O teste do intertravamento consiste em averiguar a tensão de saída desse sistema, quando há ocorrência de queda na tensão na fonte de tensão de entrada.

Para execução desse teste, recomenda-se o uso de uma fonte de tensão alternada regulável, conectada à entrada da fonte do *Pill Watcher*, e de um osciloscópio, conectado à saída do sistema de intertravamento.

A fonte do *Pill Watcher* e a bateria carregada devem estar conectados ao sistema de intertravamento.

O plano de teste deste sistema consiste nas seguintes etapas:

- Regular a fonte de tensão alternada para 220 V na entrada da fonte do *Pill Watcher* e verificar, no osciloscópio, se a tensão de saída do sistema de intertravamento é de 12 Vdc;
- Reduzir bruscamente a tensão alternada para 110 V na entrada da fonte do *Pill Watcher* e verificar, no osciloscópio, se a tensão de saída do sistema de intertravamento é de 12 Vdc. É importante verificar se não há oscilações superiores a 5% na tensão de saída observada no osciloscópio.
- Reduzir bruscamente a tensão alternada para 50 V na entrada da fonte do *Pill Watcher* e verificar, no osciloscópio, se a tensão de saída do sistema de intertravamento é de 12 Vdc. Neste momento, o suprimento de energia do *Pill Watcher* se dará exclusivamente pela bateria. É importante verificar se não há oscilações superiores a 5% na tensão de saída observada no osciloscópio.

- Aumentar bruscamente a tensão alternada para 220 V na entrada da fonte do *Pill Watcher* e verificar, no osciloscópio, se a tensão de saída do sistema de intertravamento é de 12 Vdc. Neste momento, o suprimento de energia do Pill Watcher se dará exclusivamente pela fonte do sistema. É importante verificar se não há oscilações superiores a 5% na tensão de saída observada no osciloscópio.

8 Solução de Software

8.1 Arquitetura da Solução

O escopo da solução de software envolve a implementação de uma interface *Front-end* e de microsserviços gerenciados por um *API Gateway*. Além do mais, a solução também envolve a criação de módulos (*Back-end*) que ficarão instalados em componentes eletrônicos (*Sistema Embarcado*), conforme a Fig. 69, a qual representa uma visão ampliada da solução de software.

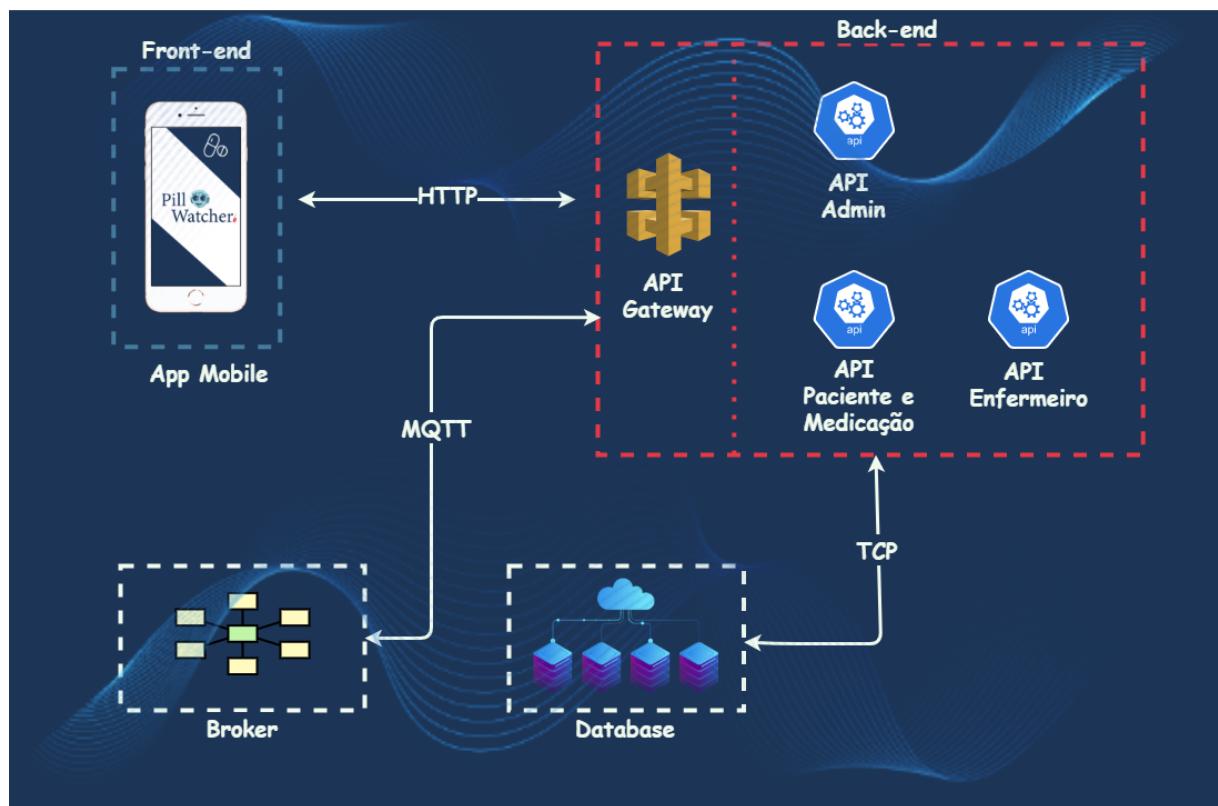


Figura 69 – Solução de Software

Assim, o objetivo da solução consiste em estabelecer a comunicação do usuário com o dispositivo através de um dispositivo móvel. Serão utilizados conceitos como Arquitetura de Microsserviços, *Internet of Things*, *Reactive Programming* e *Cloud Deploy*.

8.1.1 Banco de Dados

Para armazenar dados referentes à biometria dos enfermeiros, cadastro de pacientes, administradores e enfermeiros, medicações e receitas médicas, optou-se pela utilização da tecnologia de banco de dados *MySQL*.

O banco de dados relacional *MySQL* é um conjunto de dados relacionais, estruturados ou organizados na forma de tabelas, colunas e linhas, onde as tabelas representam os objetos, as colunas representam os campos e as linhas representam os registros ([EDUCBA, 2020](#)).

Os dados referentes ao cadastro de medicações, pacientes, enfermeiros, entre outros, serão armazenados na nuvem, utilizando os servidores *Linux* da *One Click Hosting*. Por outro lado, dados referentes à biometria do enfermeiro serão armazenados localmente, dentro da aplicação física, gerenciados pelo sistema embarcado explicitado na solução de eletrônica na seção [6.3.1](#).

O armazenamento na nuvem é adquirido de um fornecedor externo, no caso da presente solução, o provedor utilizado é o *One Click Hosting*, que opera a capacidade de armazenamento físico de dados. Sendo assim, esses fornecedores de armazenamento na nuvem gerenciam a capacidade, a segurança e a resiliência para disponibilizar dados aos aplicativos em todo o mundo ([SERVICES, 2020](#)).

8.1.2 Back-end

O *Back-end* é a camada onde ocorre o processamento da lógica negocial e é o componente do software que estabelece conexão com a base de dados, para registrar e/ou prover informações a um cliente. Dessa forma, tanto a aplicação móvel quanto o sistema embarcado instalado no dispensador de remédios se comunicaram com essa camada.

O *Back-end* é desenvolvido a partir da utilização da arquitetura de microsserviços, aplicando o framework *Spring (Boot, Data, Security)* e bibliotecas (*libs*) em *Python* para a validação de impressões digitais. Tais aplicações estabelecem comunicação entre si através de um sistema gerenciador (*API Gateway*), utilizando *Spring Cloud*.

Para a integração do *Back-end* com o dispensador de medicamentos, tem-se o emprego dos conceitos de *Internet of Things*. Dessa forma, para o repasse e recebimento de informações será utilizado o *middleware* de filas *Mosquitto*. Logo, as requisições à fila utilizam o protocolo *MQTT*.

A configuração de ambiente será realizada através da tecnologia *Docker*. Em ambientes de produção, as aplicações serão implantadas nos servidores em nuvem da *One*

Click Hosting.

8.1.3 Front-end

A aplicação móvel, desenvolvida utilizando o *framework React Native*, proveem uma interface para o gerenciamento dos diversos tipos de usuários (pacientes, enfermeiros e administradores).

Assim, a aplicação é responsável por facilitar o gerenciamento de receitas médicas de seus pacientes e seus respectivos medicamentos, bem como notificar o enfermeiro(a) quando estiver no horário da medicação e quando o estoque de algum medicamento estiver baixo. A aplicação móvel tem como objetivo facilitar a análise de dados através da geração de gráficos e relatórios necessários aos seus usuários.

Por último, a aplicação é responsável por validar os medicamentos dispensados pela máquina e, após esse procedimento, será exibida uma tela onde o profissional confirmará se a medicação foi ministrada ou não.

8.1.4 Broker

É o elemento responsável por gerir as publicações e as subscrições do protocolo MQTT. Ele é como uma espécie de mediador entre as máquinas. A mensagem é enviada ao *broker*, que é capaz de entender e ler múltiplos aparelhos ao mesmo tempo. Através da base de TCP/IP, os aparelhos leem as mensagens e aproveitam as que fazem sentido, de alguma forma.

8.2 Plano de Construção e Entrega de Software

Para efetuar a validação de alterações realizadas em código fonte, optou-se utilizar *Travis CI* para integração contínua, em que são definidas as etapas descritas abaixo:

- *Build*: é construído o código-fonte e verificado se o mesmo está de acordo com padrões de Folha de Estilo pré-definidos em [Pillwatcher - Folhas de Estilo](#);
- *Test*: são realizados os testes unitários e verificados se todos se encontram em estado aprovado;
- *SonarQube Analysis*: o código-fonte é analisado e comparado com métricas de confiabilidade, segurança, manutenibilidade, cobertura de testes e duplicação de código,

a partir da execução de revisões automáticas com análise estática do código para detecção de odores de código e vulnerabilidades de segurança;

- *Deploy*: a solução é implantada em um ambiente de produção e/ou desenvolvimento.

Dessa forma, com o objetivo de entregar um código testado e livre de inconsistências, optou-se pela utilização do conceito TDD (*Test Driven Development*), o qual consiste no desenvolvimento de testes unitários antes do desenvolvimento de funcionalidades. Optou-se também pela metodologia de desenvolvimento orientado à métricas, as quais o *SonarQube* mede e valida.

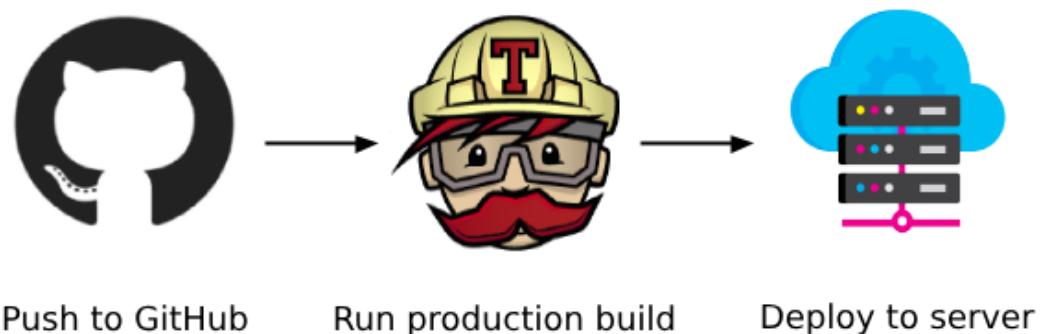


Figura 70 – Software *Deploy*

A etapa de *Deploy*, listada acima e ilustrada pela Fig. 70, depende de um ambiente pré-configurado para ser realizada. Para isso, optou-se por utilizar o *Docker* para containerização de softwares auxiliares e a *One Click Hosting* para hospedagem dos serviços em nuvem.

8.3 Nonfunctional Requirements (NFRs)

Os Requisitos Não Funcionais (NFRs) definem os atributos do sistema, como: segurança, confiabilidade, desempenho, escalabilidade e usabilidade. Eles servem como restrições ao design do sistema entre os diferentes acúmulos.

Também conhecidos como qualidades do sistema, os requisitos não funcionais são tão críticos quanto as epopeias, recursos e histórias funcionais. Eles garantem a usabilidade

e eficácia de todo o sistema. O não cumprimento de qualquer um deles pode resultar em sistemas que não atendem às necessidades internas do negócio, do usuário ou do mercado.

Um aspecto importante em uma solução de software é a confiabilidade representada na Fig. 71. Para atingir essa meta, foram levantadas três condições que precisam ser atendidas para essa característica ser cumprida. São elas: proteção de dados dos usuários, autenticação de contas e limitação no cadastro. Para alcançar a primeira, será utilizada a tecnologia *Spring Security*, que assegurará os dados dos usuários. A segunda será satisfeita por meio da utilização de biometria e de login por CPF e senha. Por último, como a solução atua em um cenário sensível, é necessário garantir uma limitação no cadastro, que será totalizada quando o administrador for inserido na aplicação. Esse irá cadastrar os enfermeiros, os quais, por conseguinte, serão os responsáveis pelo cadastro dos pacientes.

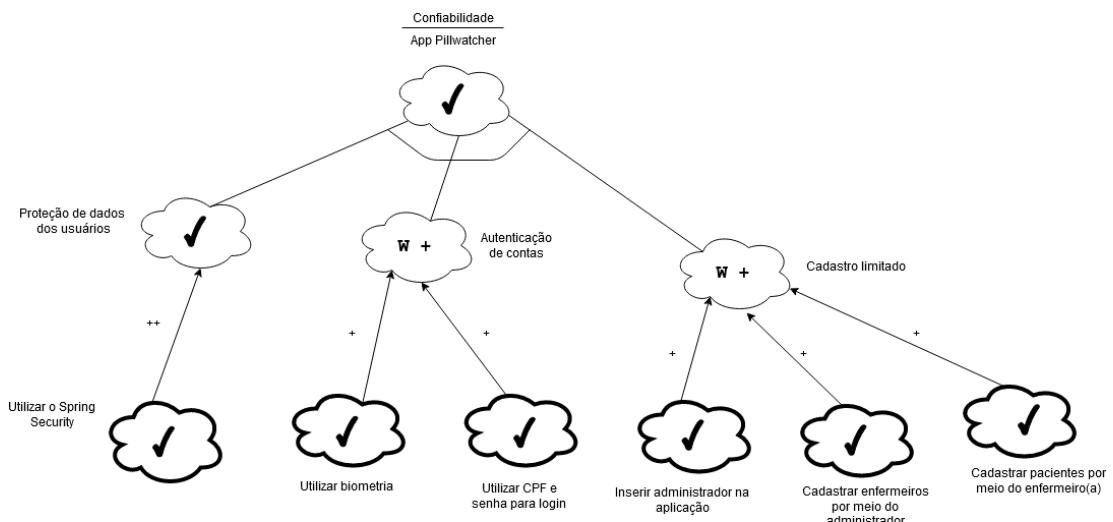


Figura 71 – NFR de confiabilidade

Outro aspecto extremamente importante para o desenvolvimento de um software seguro é assegurar que os pilares autenticidade, confidencialidade e integridade estejam presentes, conforme apresentado na Fig. 72. Para garantir a autenticidade do sistema, será implementado um sistema de autenticação, que será feito em duas partes, uma com a autenticação no aplicativo e outra via biometria, sendo essa última feita diretamente na máquina. Para que o pilar da confidencialidade seja satisfeito, será aplicado ao sistema o gerenciamento de acessos, que dará permissões restritas a depender do tipo de usuário cadastrado. O pilar de integridade do sistema depende da verificação e execução dos testes de software, como, por exemplo, os testes unitários.

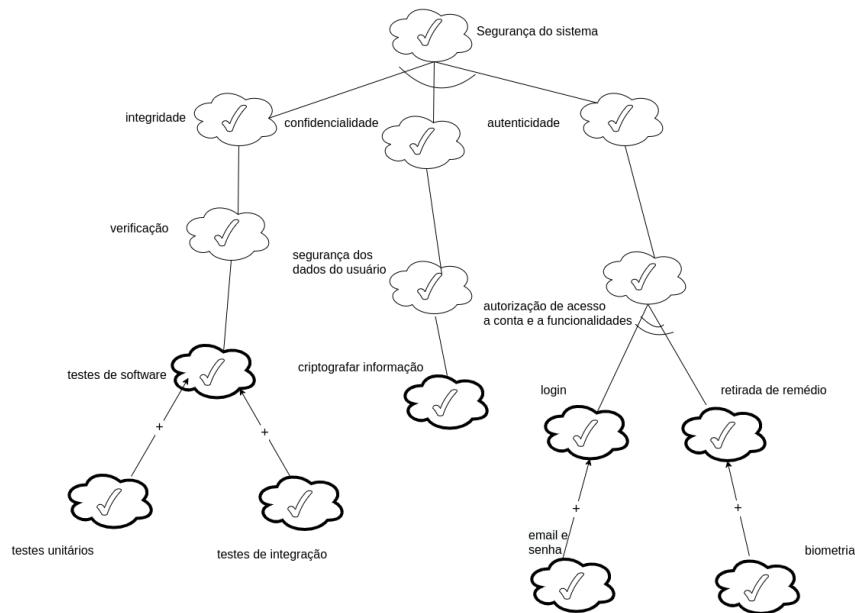


Figura 72 – NFR de segurança

Com relação aos aspectos que afetam o desempenho da aplicação, como na Fig 73, tem-se a redução do uso de memória, por meio de uma dinâmica de páginas que limitam o volume de informações apresentadas diretamente em tela. A melhoria do *design* será garantido por meio da aplicação de um *design* minimalista, e a redução da utilização de recursos do servidor e otimização do tempo de resposta por meio da hospedagem de um servidor eficiente, como o *Heroku*.

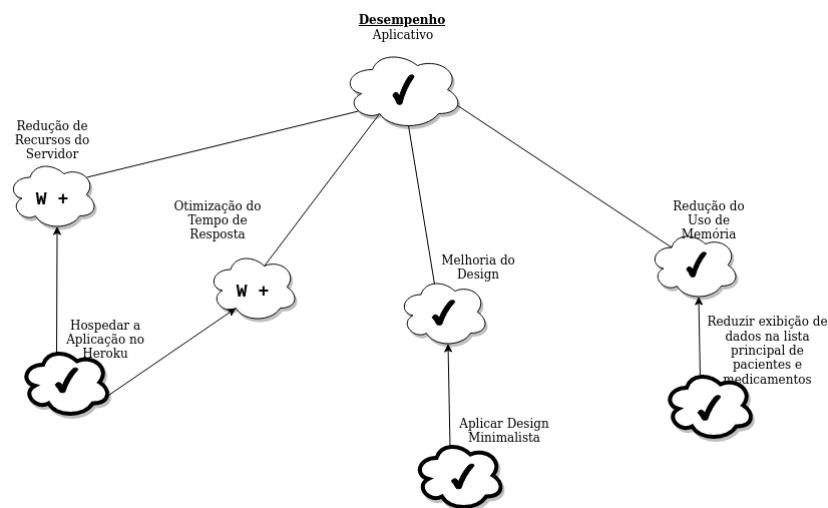


Figura 73 – NFR de desempenho

Para atender aos módulos de usabilidade da aplicação e consequentemente atender

as necessidades de utilização do usuário, como Fig. 74, tem-se um enfoque em três pontos principais: boa comunicação via mensagens significativas e de boa compreensão do usuário, implementação de uma interface simples por meio de uma boa organização de elementos, bem como a consistência e padronização dos componentes. Outro ponto é a facilidade de utilização que exija uma curva de aprendizado menor do usuário, em relação a utilização da aplicação por meio de um *design* intuitivo.

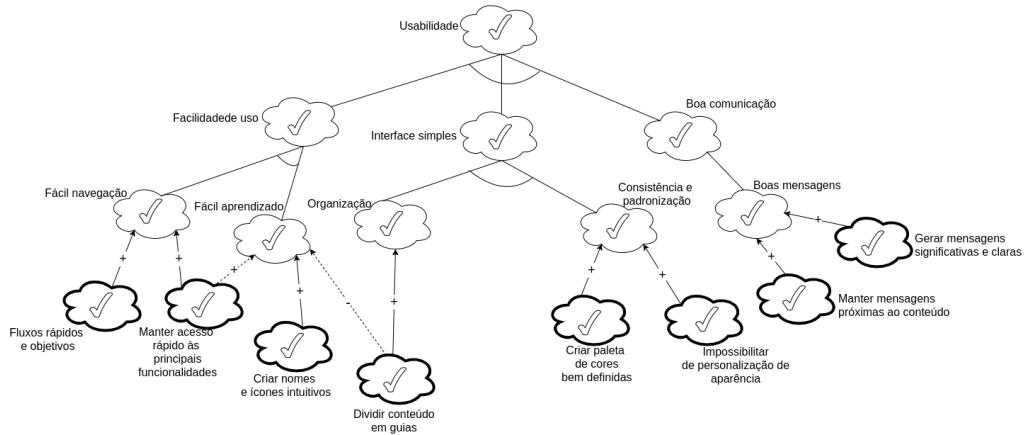


Figura 74 – NFR de usabilidade

8.4 Modelo Entidade Relacionamento - MER

O Modelo Entidade Relacionamento (também chamado Modelo ER, ou simplesmente MER), como o nome sugere, é um modelo conceitual utilizado na Engenharia de *Software* para descrever os objetos (entidades) envolvidos em um domínio de negócios, com suas características (atributos) e como elas se relacionam entre si (relacionamentos) (DEVMEDIA, 2014).

O MER abaixo representa as entidades necessárias para desenvolver o aplicativo *PillWatcher*. Dessa forma, foi utilizado o idioma Inglês para descrever as entidades e seus atributos. A modelagem está na quarta forma normal, assim atendendo as principais regras de qualidade de banco de dados.

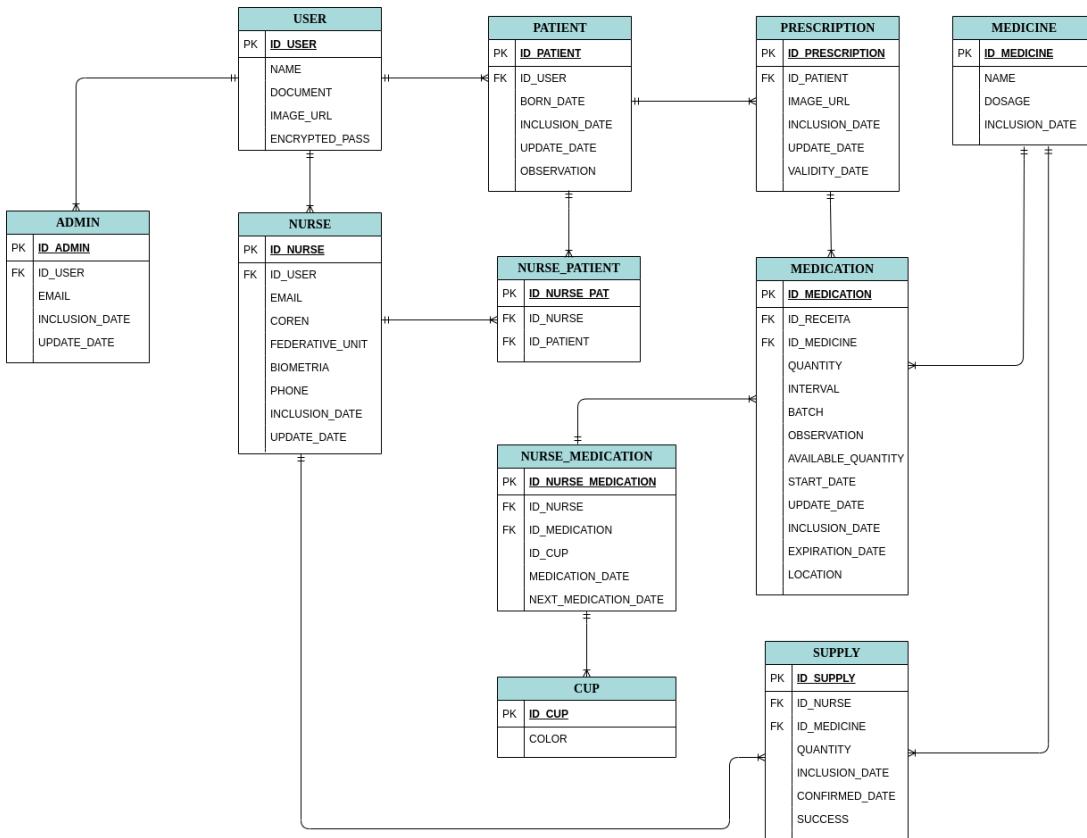


Figura 75 – MER

Para melhor entendimento, seguem breves explicações de cada entidade:

1. *USER*: um usuário generalizado.
2. *ADMIN*: especialização de *User*, representa o administrador do sistema.
3. *NURSE*: especialização de *User*, representa o enfermeiro do sistema.
4. *PATIENT*: especialização de *User*, representa o paciente do sistema.
5. *NURSE PATIENT*: associação entre paciente e enfermeiro, pois um enfermeiro pode cuidar de vários pacientes, e um paciente pode ser observado por vários enfermeiros.
6. *PRESCRIPTION*: receita médica de um paciente.
7. *MEDICATION*: medicação que compõe uma receita.
8. *MEDICINE*: remédio disponível no dispensador e que compõe uma medicação.
9. *NURSE MEDICATION*: associação entre enfermeiro e medicação, pois uma medicação ao paciente é gerida por um enfermeiro.
10. *CUP*: copo para medicação ao paciente.
11. *SUPPLY*: abastecimento feito no dispensador por um enfermeiro.

8.5 Diagramas UML

Os diagramas UML podem ajudar arquitetos e desenvolvedores de sistema a entender, colaborar e desenvolver um aplicativo. Arquitetos e gerenciadores de alto nível podem usar diagramas UML para visualizar todo o sistema ou projeto e separar aplicativos em componentes menores para desenvolvimento (IBM, 2020).

Existem diferentes tipos de diagramas UML e, para o projeto, foram escolhidos os de caso de uso, pacotes e sequência. Juntos, eles trazem uma visão dos requisitos do sistema, arquitetura interna do *back-end*, e também uma visão geral das atividades.

8.5.1 Diagramas de Caso de Uso

Os diagramas de casos de uso descrevem as funções principais de um sistema e identificam as interações entre o sistema e seu ambiente externo, representado por agentes. Esses agentes podem ser pessoas, organizações, máquinas ou outros sistemas externos (IBM, 2020). Abaixo, estão apresentados os diagramas separados dos principais usuários do sistema.

1. Diagrama de Caso de Uso do Mantenedor

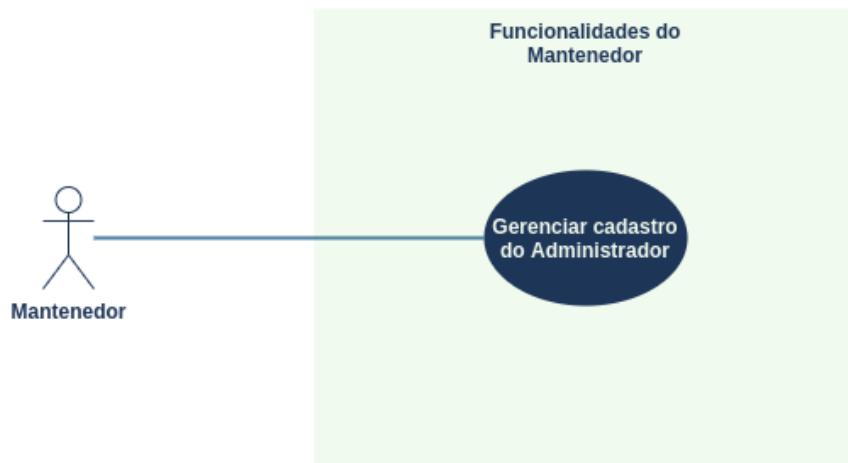


Figura 76 – Diagrama de Caso de Uso - Mantenedor

Nesse diagrama, foi listada a principal e única funcionalidade do usuário mantenedor, que consiste em gerenciar cadastro do administrador.

2. Diagrama de Caso de Uso do Sistema

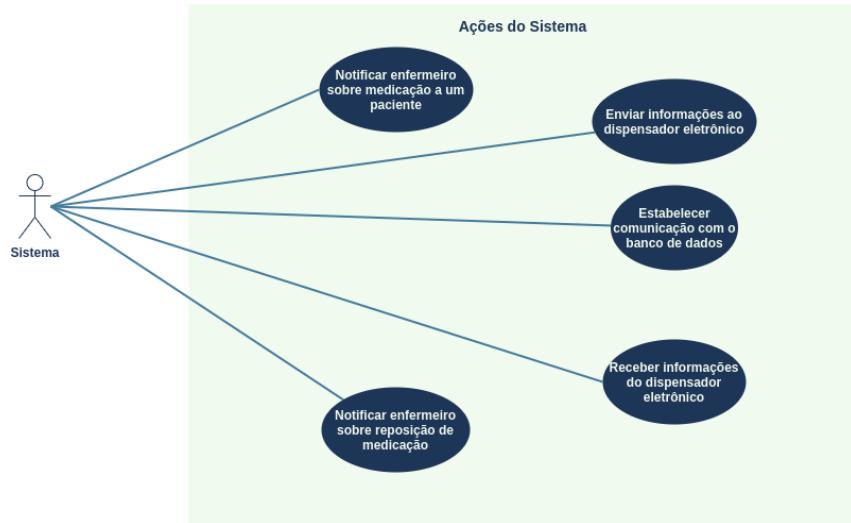


Figura 77 – Diagrama de Caso de Uso - Sistema

Nesse diagrama, foram listadas as principais ações do sistema. O diagrama de caso de uso do sistema executa diversas ações isoladamente que são de extrema importância para o fluxo do projeto *PillWatcher*, como notificar o enfermeiro de ações que ele deve tomar.

3. Diagrama de Caso de Uso do Enfermeiro

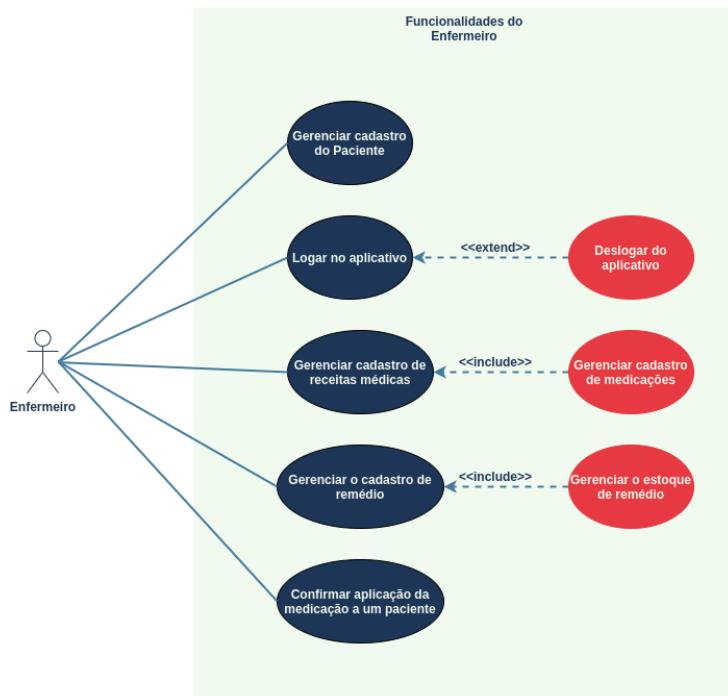


Figura 78 – Caso de Uso - Enfermeiro

Nesse digrama, foram listadas as principais funcionalidades do enfermeiro, o qual é o usuário principal do sistema.

4. Diagrama de Caso de Uso do Administrador

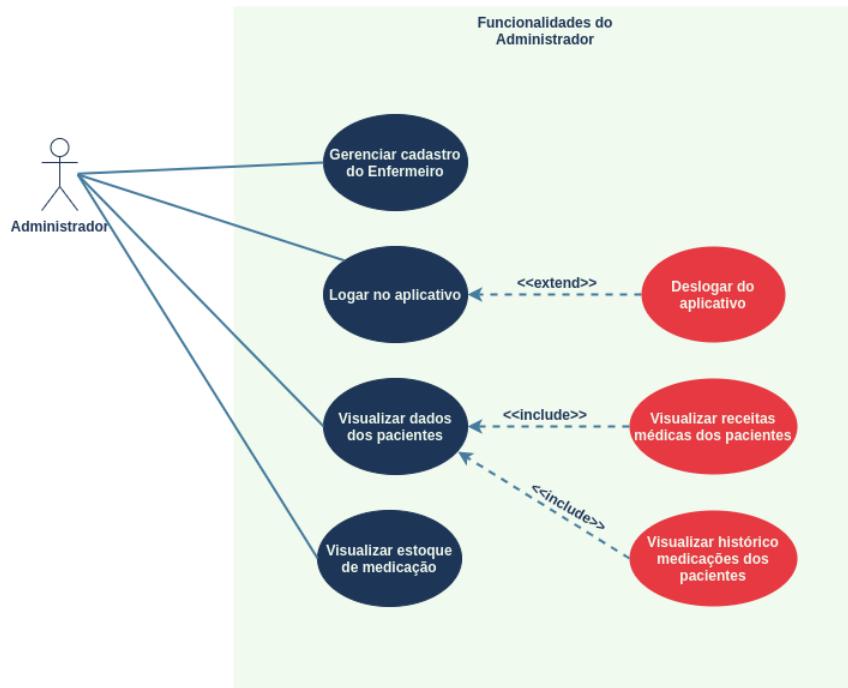


Figura 79 – Caso de Uso - Administrador

Nesse digrama, foram listadas as principais funcionalidades do administrador. Esse usuário apenas gerencia o cadastro de enfermeiros e visualiza todos os dados disponíveis no aplicativo.

8.5.2 Diagrama de Pacotes

Os Diagramas de pacotes são módulos do sistema divididos em agrupamentos lógicos, mostrando a dependência entre eles. Foram diagramados os pacotes que fazem parte da solução *back-end*, como mostra a figura abaixo:

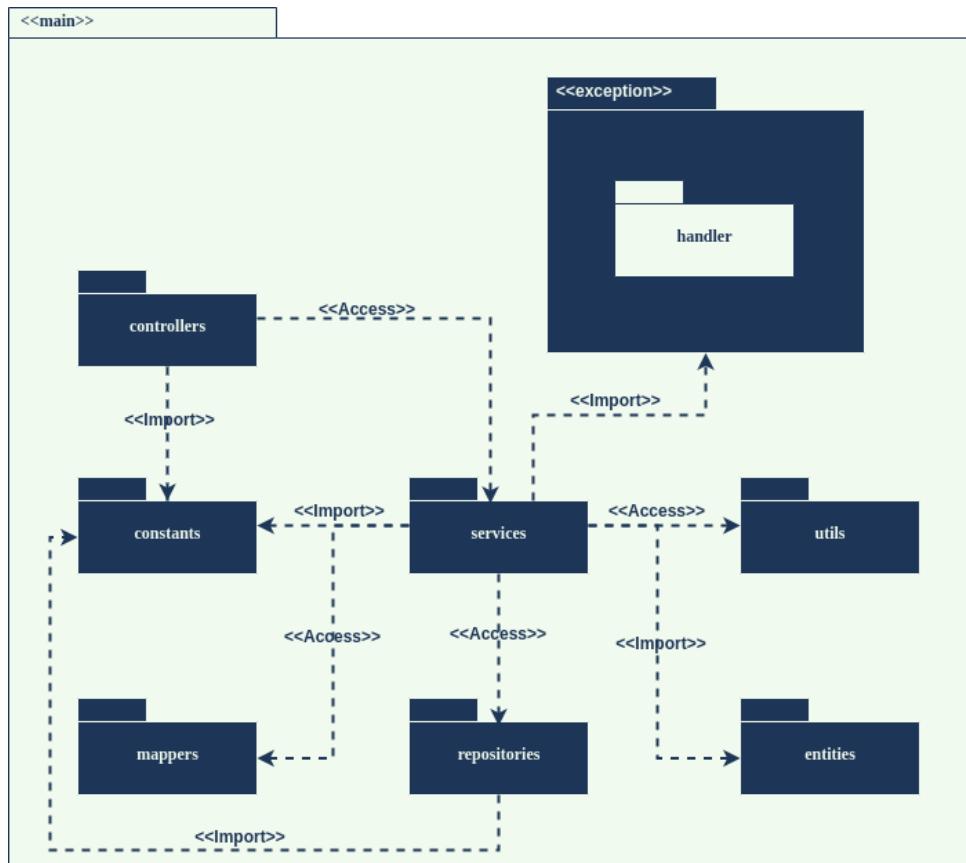


Figura 80 – Diagrama de Pacotes do *Back-end*

Assim, cada pacote ilustrado tem um papel específico dentro do projeto, e estão descritos abaixo:

1. *Controllers*: possui todas as classes que se comunicam com o mundo externo, por meio de requisições HTTP.
2. *Constants*: possui classes/interfaces com atributos contantes utilizados em todo o projeto.
3. *Services*: possui classes/interfaces que implementam a lógica negocial.
4. *Mappers*: possui interfaces que transformam um objeto em outro.
5. *Repositories*: possui interfaces que se comunicam com o banco de dados.
6. *Entities*: possui classes que são representações de entidades no banco de dados.
7. *Utils*: possui classes utilitárias, usadas por todo o projeto.
8. *Exceptions*: possui classes que definem todas as exceções geradas no projeto.
9. *Handler*: possui classes que tratam as exceções geradas no projeto.

8.6 Arquitetura da Informação

8.6.1 Identidade Visual

As definições acerca da identidade visual do *Pillwatcher* estão disponíveis em [Pillwatcher - Identidade Visual](#) e [Pillwatcher - Logomarca](#)

8.6.2 Protótipo de Alta Fidelidade

A prototipagem de alta fidelidade é a técnica que mais se aproxima do produto final. Por meio de sua aplicação, é possível avaliar questões de Interface do Usuário (*UI - User Interface*) e de Experiência do Usuário (*UX - User Experience*), sendo esses conteúdos extremamente relevantes, em termos de desenvolvimento de *front-end*. O protótipo desenvolvido na ferramenta Figma está disponível em [Protótipo do App Pillwatcher](#) e abaixo se encontra ilustrado, dividido por fluxos.

- **Login**

A tela na Fig. 81a apresenta as telas iniciais da aplicação. Esta é uma tela que será exibida logo após a inicialização da aplicação móvel, e é responsável por autenticar os usuários na aplicação.

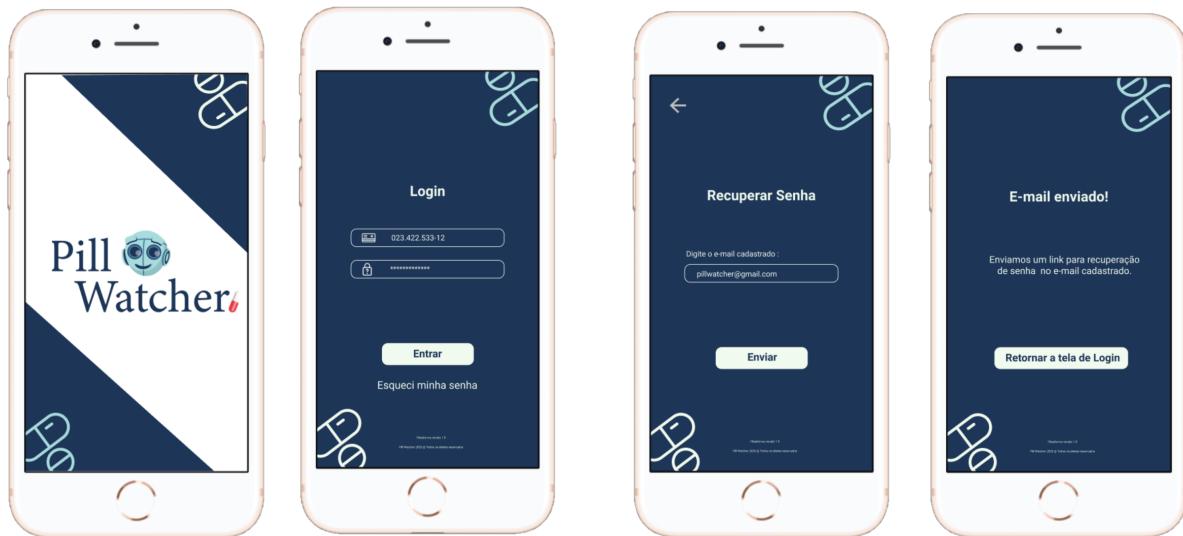


Figura 81 – Login

A Fig. 81b retrata o fluxo de recuperação de senha, que auxiliará o usuário na ação de alterar a senha antiga para uma nova senha, e assim permitir novamente seu acesso à

aplicação.

Tabela 29 – Tabela de Interações das Telas Iniciais do Aplicativo

Tela	Entrada	Interações	Saída	Alternativo
Tela Inicial	Abrindo o aplicativo	—	Tela de Login	—
Tela de Login	Após carregamento	Digitar CPF e senha, clicar no botão de recuperar senha	Tela de opções	O caminho alternativo seria o usuário ser direcionado para a Tela de recuperar senha
Tela de recuperar senha	Usuário clicar no botão de recuperar senha	Digitar o e-mail cadastrado e clicar no botão enviar	Modal de envio do link de recuperação de senha	—
Modal de envio do link de recuperação de senha	Usuário clicar no botão enviar	Clicar no botão de retornar para a tela de login	Tela de Login	—

- **Administrador(a)**

- Menu Inicial do Administrador

A Fig. 82 apresenta as opções de execução de gerenciamento que o usuário administrador possui permissão dentro da aplicação. Na imagem à direta, exibe-se os dados pessoais do usuário administrador na *sidebar* da aplicação, bem como sua permissão para edição de dados do perfil e saída da aplicação.

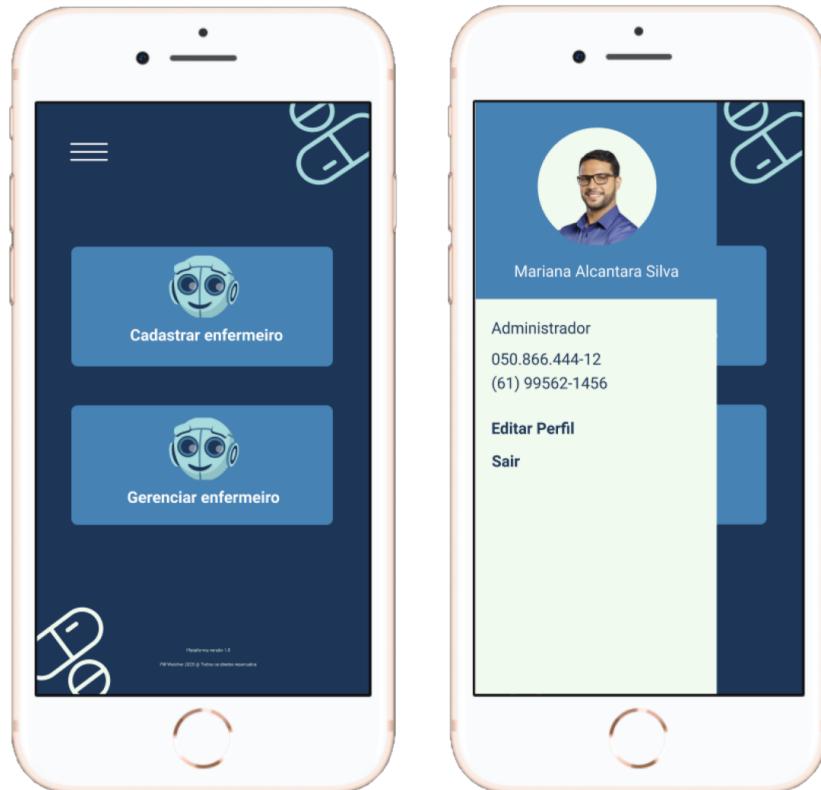


Figura 82 – Administrador - Menu Inicial

Na sequencia, a Fig. 83 representa a tela de edição de perfil, que permitirá ao usuário administrador alterar seus dados pessoais cadastrados na aplicação, bem como adicionar uma nova foto de perfil e receber um *feedback* com relação ao sucesso na execução da alteração de dados na aplicação.

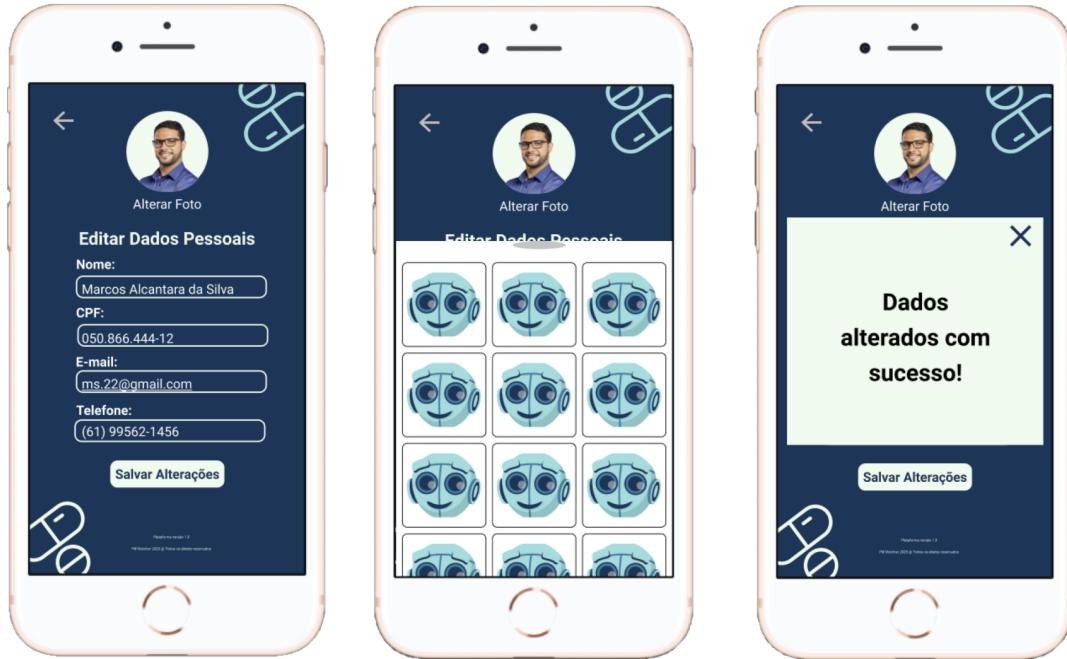


Figura 83 – Administrador - Fluxo de alteração de dados

Tabela 30 – Tabela de Interações das Telas Principais de Administrador

Tela	Entrada	Interações	Saída	Alternativo
Tela Principal - Administrador	Realizando o 'Login' na aplicação	Clicar no botão de acesso a sidebar, clicar nos botões de acesso as ações principais do administrador	—	—
Sidebar - Administrador	Acessando o Menu superior esquerdo da Tela Principal do Administrador	Clicar na opção de edição de dados pessoais, clicar na opção de sair	—	—
Tela de Editar Dados Pessoais	Usuário clicar no botão de editar dados	Alterar dados de cadastro	Botão Salvar	—

- Cadastrar enfermeiro

Na Fig. 84 é representado a tela de cadastro de enfermeiros, que permitirá ao usuário administrador registrar um novo enfermeiro na aplicação. De forma a receber uma orientação na tela seguinte, é retratada a etapa 2 de cadastro de enfermeiro, que solicita que o usuário se dirija até a máquina para registrar sua identidade biométrica e, assim, finalizar o cadastro, para que na tela seguinte receba um *feedback* com relação à conclusão do cadastro por meio da identificação do registro biométrico.

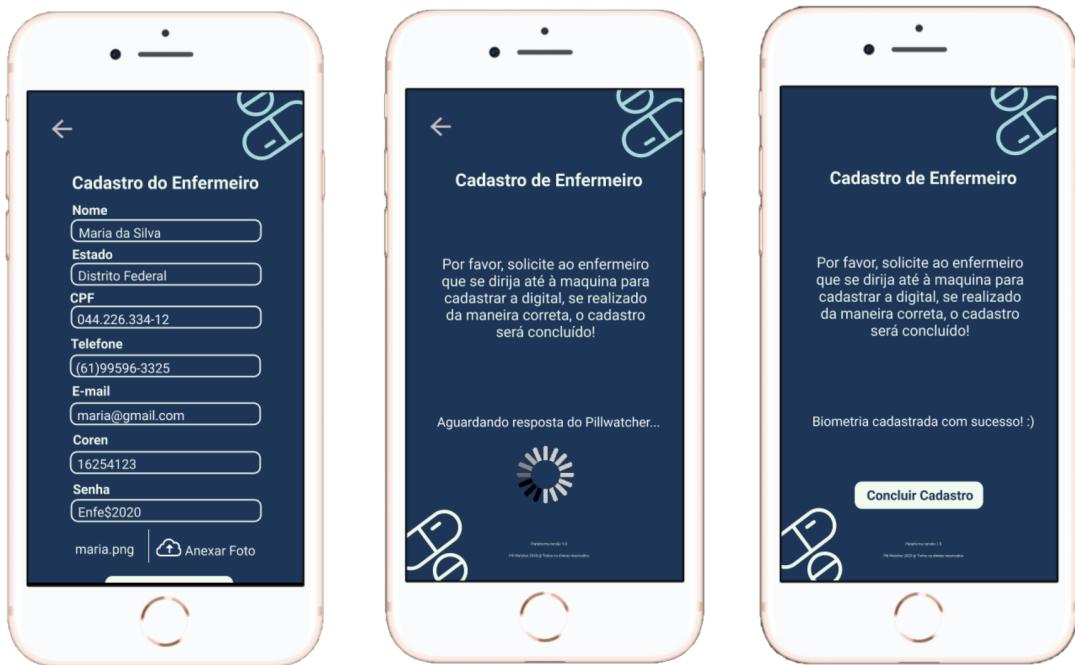


Figura 84 – Administrador - Fluxo de cadastro de um enfermeiro

Tabela 31 – Tabela de Interações das Telas de Cadastro de Enfermeiro

Tela	Entrada	Interações	Saída	Alternativo
Tela de Cadastro do Enfermeiro	Botão de Cadastrar Enfermeiro da tela principal	Adicionar nome, estado, CPF, telefone, e-mail, coren, senha e uma foto de perfil	Ícone de Retornar	—
Tela de Identificação de Cadastro de Digital do Enfermeiro	Botão 'Cadastrar'	—	—	—
Tela de Confirmação de Cadastro	Auardar confirmação da Tela Anterior	—	Botão Concluir Cadastro	—

– Gerenciar enfermeiros

A Fig. 85 e Fig. 86a representam o fluxo de gerenciamento do cadastro de enfermeiros na aplicação, o qual permitirá ao usuário administrador editar e/ou excluir um cadastro existente e receber um *feedback* sobre as ações executadas.

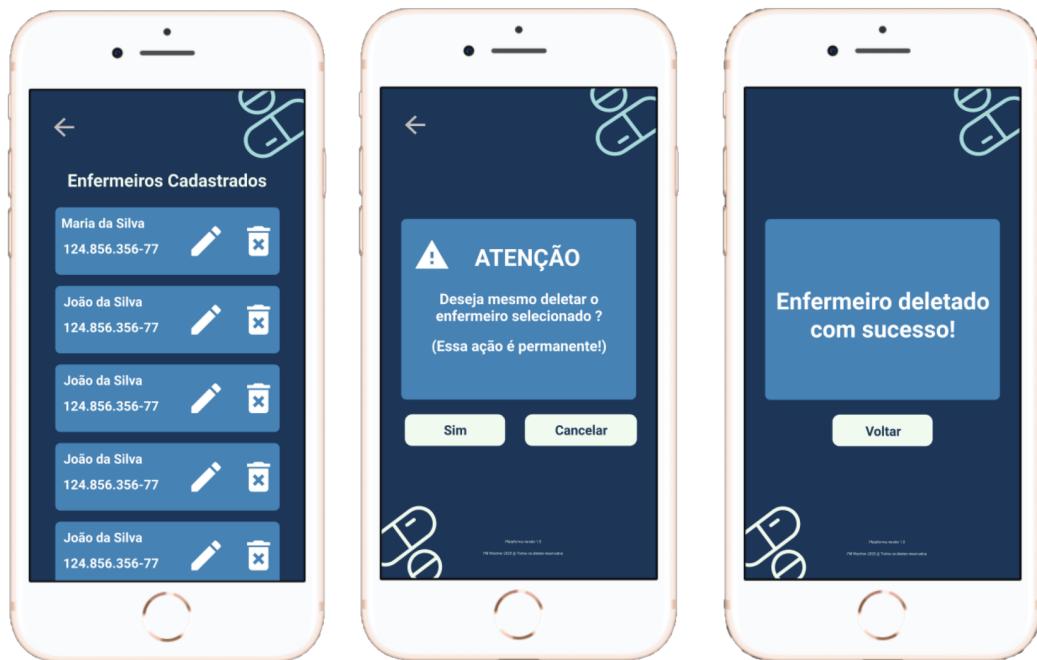
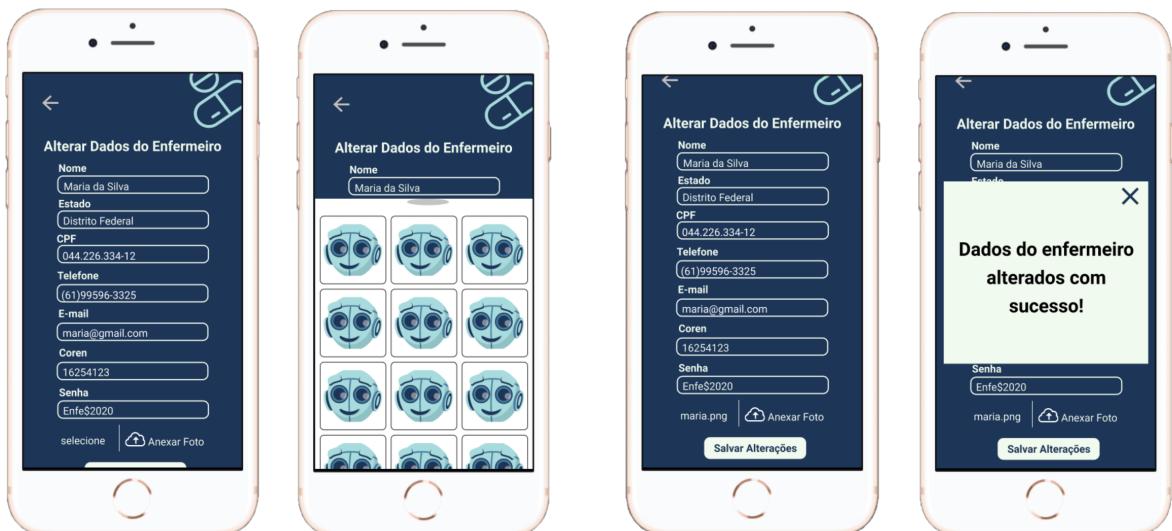


Figura 85 – Administrador - Tela inicial de gerenciar enfermeiros e fluxo para deletar um enfermeiro



(a) Tela para alterar dados e *Pop-Up* para alterar foto (b) Tela com foto alterada e *feedback* da alteração

Figura 86 – Administrador - Fluxo para alterar dados

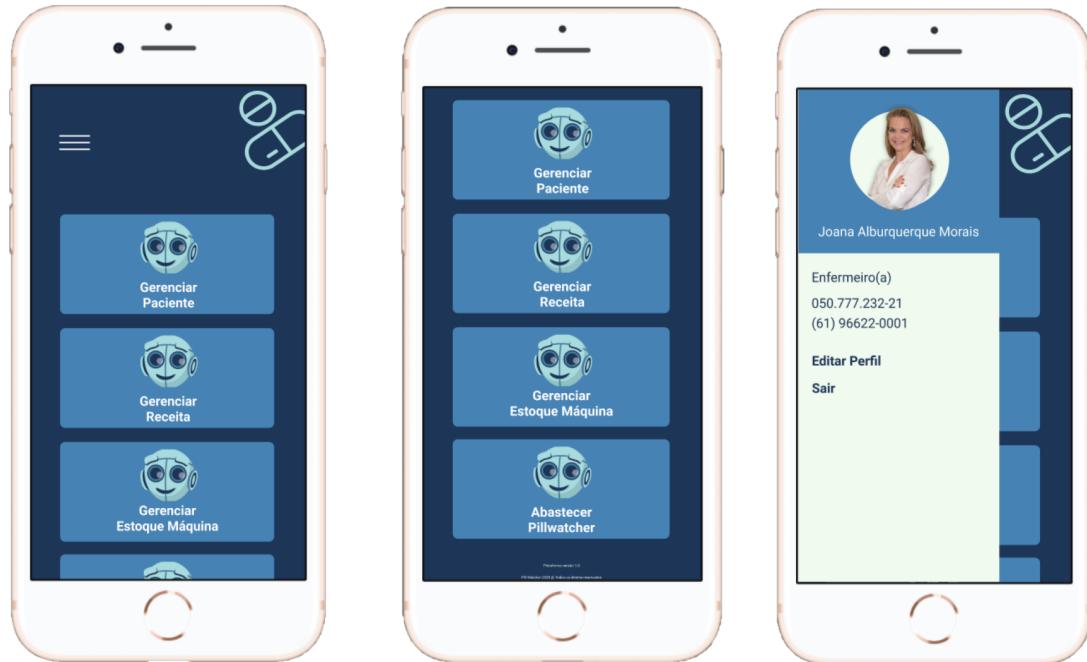
Tabela 32 – Tabela de Interações das Telas de Gerenciamento de Cadastro de Enfermeiro

Tela	Entrada	Interações	Saída	Alternativo
Tela de Enfermeiros Cadastrados	Botão de Gerenciamento de enfermeiro da tela principal do Administrador	Editar ou Deletar Enfermeiro cadastrado	Ícone de Retornar	—
Tela de confirmação de exclusão do enfermeiro	Botão excluir	Clicar em Sim ou Cancelar	Ícone de Retornar	—
Tela de Confirmação de Exclusão de Cadastro	Botão Sim da tela anterior	—	Botão Voltar	—
Tela de Editar Cadastro de Enfermeiro	Botão de editar da tela de gerenciamento de cadastro de enfermeiro	Editar todos os dados cadastrais do enfermeiro e alterar foto	Salvar Alterações	—
Pop-up de confirmação de Alteração	Salvar Alterações	—	Ícone de Fechar Pop-up	—

- **Enfermeiro(a)**

- Menu Inicial e *sidebar*

A Fig.87 apresenta as opções de execução de gerenciamento que o usuário enfermeiro possui permissão dentro da aplicação, bem como o acesso à *sidebar*, que possibilita que o usuário possa visualizar os dados pessoais, editar dados cadastrais e sair da aplicação.

Figura 87 – Enfermeiro - Menu inicial e *sidebar*

Na sequencia, a Fig. 88 representa a tela de edição de perfil que permitirá ao usuário enfermeiro, por meio do acesso a opção de ‘editar dados’ da sidebar, alterar seus dados pessoais cadastrados na aplicação, bem como adicionar uma nova foto de perfil e receber um *feedback* com relação ao sucesso na execução da alteração de dados na aplicação

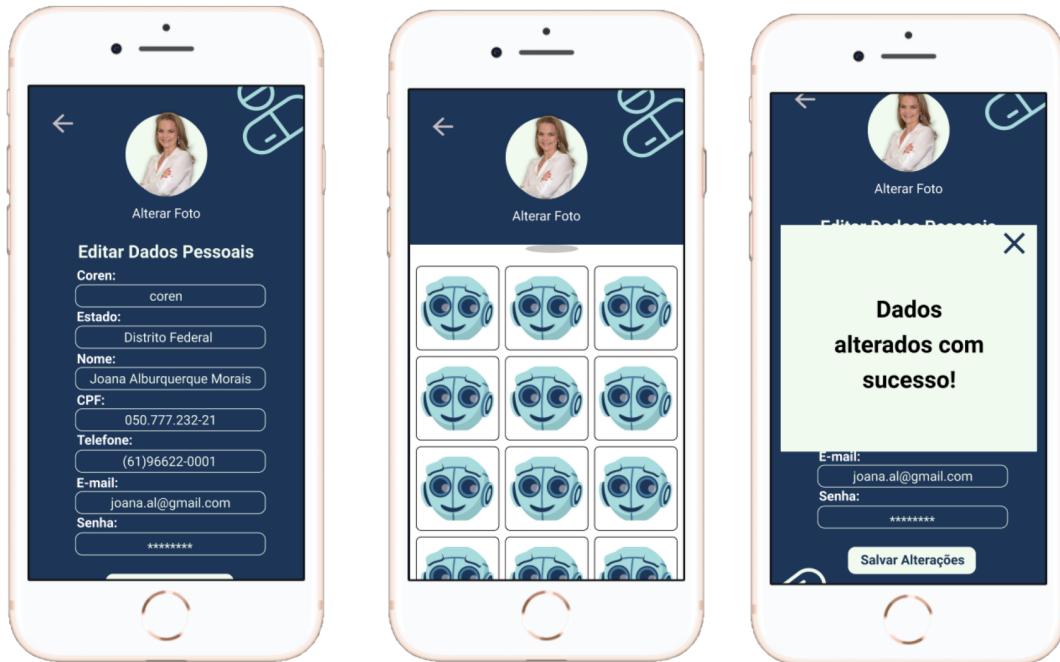


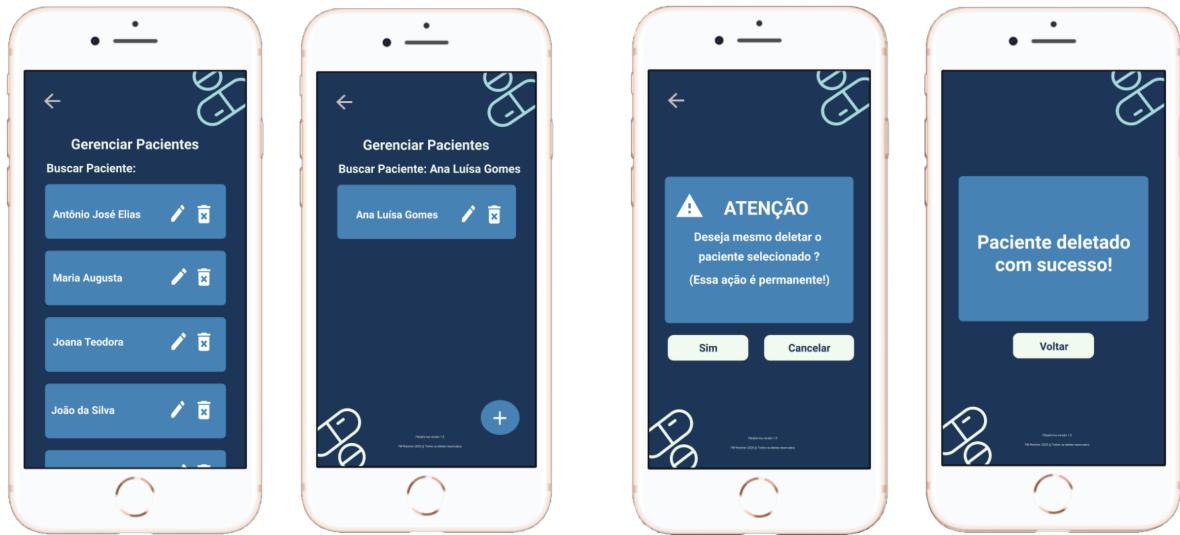
Figura 88 – Enfermeiro - Fluxo de alterar dados

Tabela 33 – Tabela de Interações das Telas Principais de Administrador

Tela	Entrada	Interações	Saída	Alternativo
Tela Principal - Enfermeiro	Realizando Login na aplicação	Clicar no botão de acesso a sidebar, clicar nos botões de acesso as ações principais do enfermeiro	—	—
Sidebar - Enfermeiro	Acessando Menu superior esquerdo da Tela Principal do enfermeiro	Clicar na opção de edição de dados pessoais, clicar na opção de sair	—	—
Tela de Editar Dados Pessoais	Usuário clicar no botão de editar dados	Alterar dados de cadastro	Botão Salvar	—

- Gerenciar paciente

A Fig. 89a representa as telas iniciais do fluxo de gerenciamento dos pacientes, as quais possibilitam o usuário enfermeiro editar e/ou excluir um cadastro de paciente existente na aplicação e receber um *feedback* sobre as ações executadas, e a Fig. 89b representa o fluxo para deletar um enfermeiro cadastrado.



(a) Menu inicial de gerenciar pacientes e busca por um paciente

(b) fluxo para deletar um paciente do app

Figura 89 – Enfermeiro - Tela inicial, busca e fluxo de deletar paciente

A Fig. 90 apresenta a primeira parte do fluxo para editar dados do paciente cadastrado.

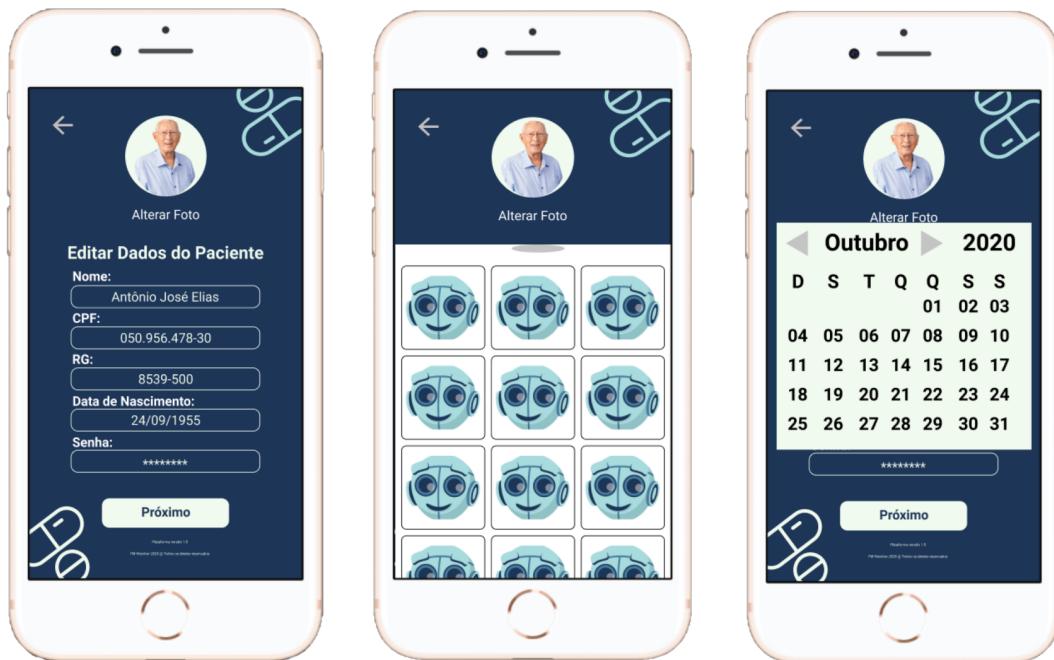


Figura 90 – Enfermeiro - Parte 1 do fluxo de alterar dados de um paciente

A segunda parte do fluxo de edição do cadastro de um paciente, conforme apresentado na Fig. 91, baseia-se na edição das informações cadastrais do familiar vinculado ao

paciente, bem como o recebimento da confirmação de conclusão de alterações realizadas.

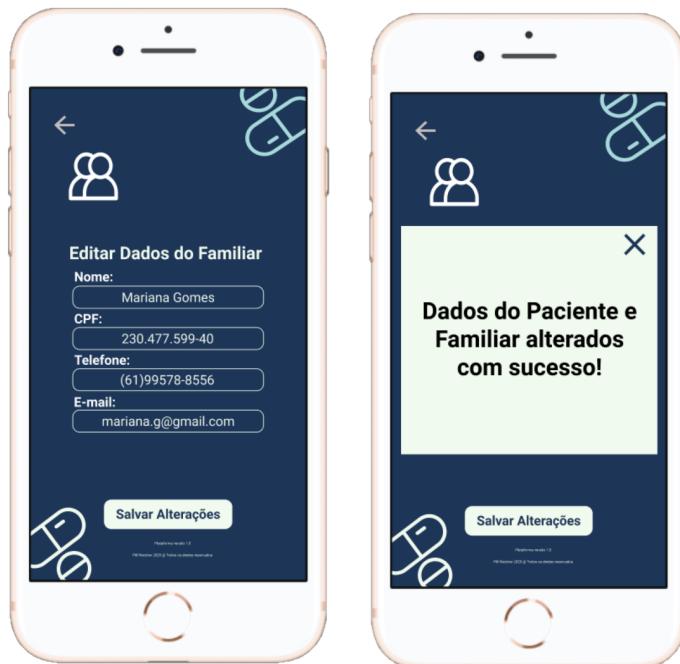


Figura 91 – Enfermeiro - Parte 2 do fluxo de alterar dados de um paciente

As Fig. 92 e 93 exibem o fluxo a ser seguido para um enfermeiro cadastrar um paciente no aplicativo.



Figura 92 – Enfermeiro - Parte 1 do fluxo para cadastrar um paciente

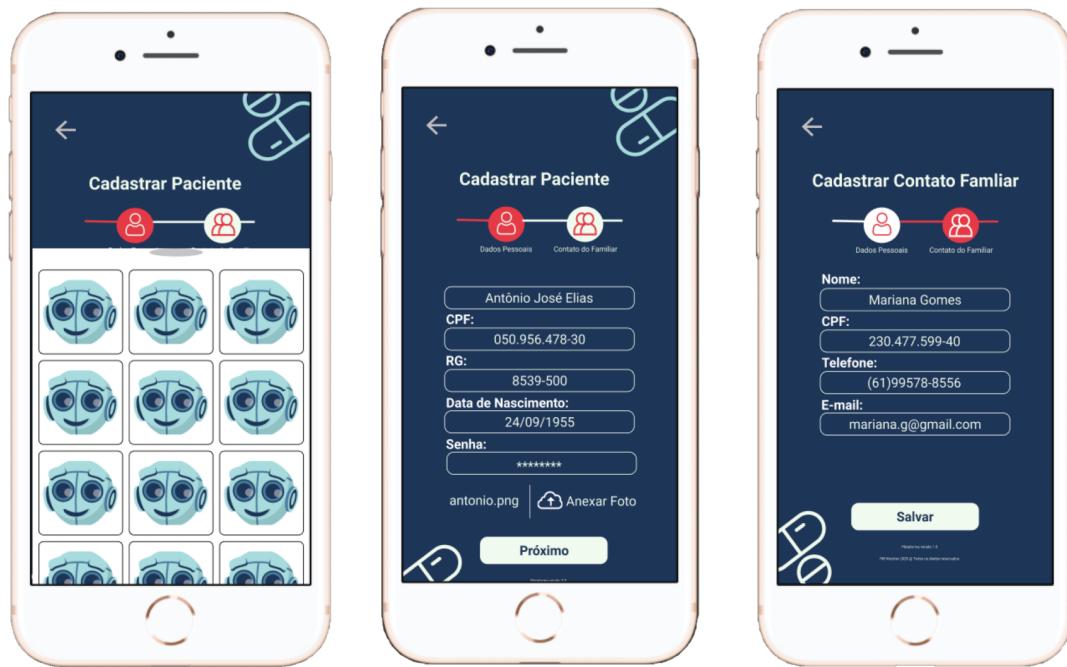


Figura 93 – Enfermeiro - Parte 2 do fluxo para cadastrar um paciente

Tabela 34 – Tabela de Interações das Telas de Gerenciamento de Cadastro de Paciente

Tela	Entrada	Interações	Saída	Alternativo
Tela de Pacientes Cadastrados	Botão de Gerenciamento de Paciente da tela principal do Enfermeiro	Buscar por paciente, editar ou deletar o paciente cadastrado	Ícone de Retornar	—
Tela de confirmação de exclusão do paciente	Botão excluir	Clicar em Sim ou Cancelar	Ícone de Retornar	—
Tela de Confirmação de Exclusão de Cadastro de Paciente	Botão Sim da tela anterior	—	Botão Voltar	—
Tela de Editar Cadastro de Paciente	Botão de editar da tela de gerenciamento de cadastro de Paciente	Editar todos os dados cadastrais do Paciente e alterar foto	Botão ‘Próximo’	—
Tela de Editar Cadastro de Familiar	Botão ‘Próximo’ da tela anterior	Editar todos os dados cadastrais do Familiar e alterar foto	Botão ‘Salvar’	—

– Gerenciar receita

A Fig. 94 representa a tela composta pela lista de receitas cadastradas na aplicação, bem como as opções de visualizar, editar e deletar uma receita individual. A Fig. 95 expõe o modo de visualização de uma receita individual e suas respectivas informações cadastradas.

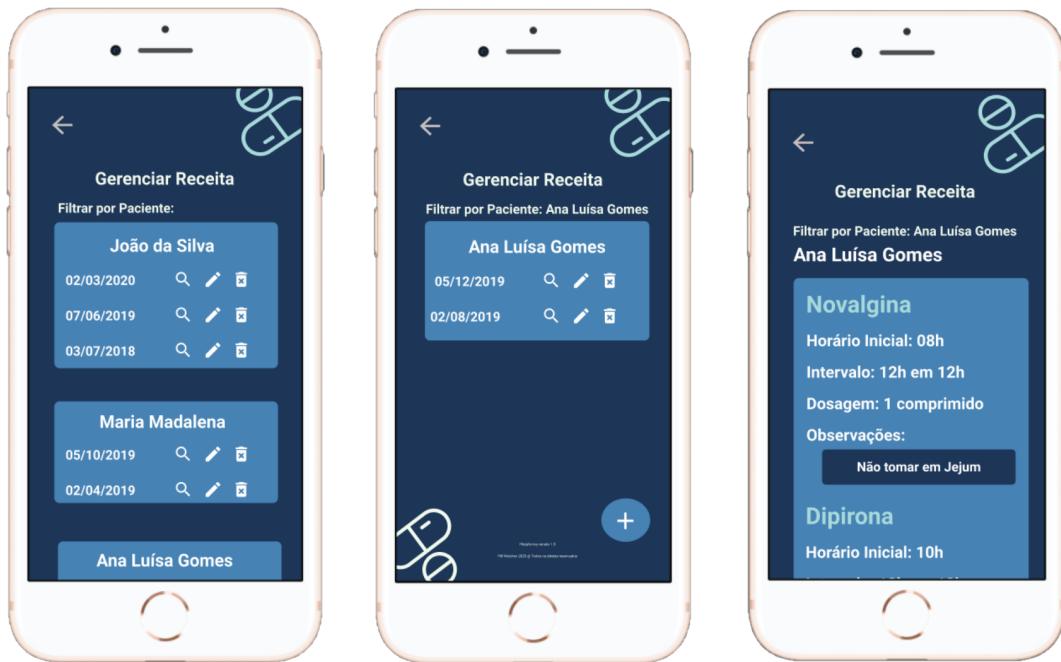


Figura 94 – Enfermeiro - Tela inicial de gerenciar receita, busca filtrada pelo paciente e visualização da receita

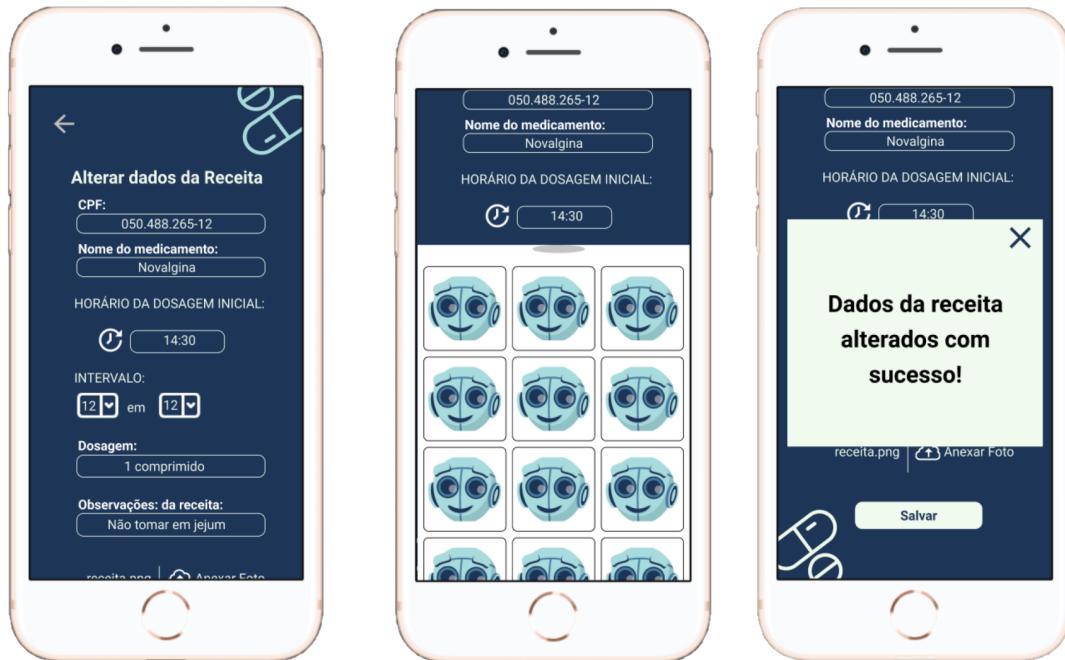


Figura 95 – Enfermeiro - Fluxo de alteração de dados de uma receita

Na Fig. 96a é apresentado a tela de edição dos dados da receita cadastrados anteriormente, bem como a forma a ser anexado um registro do documento original. Na Fig.

96b é exibido um *pop-up* de confirmação das alterações realizadas no cadastro da receita do paciente.



Figura 96 – Enfermeiro - Fluxo para deletar receita e fluxo de cadastro de receita

Nas Fig. 97a e 97b são mostradas as quatro telas finais para o cadastrado da receita, nas quais é possível inserir observações, anexar uma foto da receita e concluir o cadastro recebendo o respectivo *feedback*.

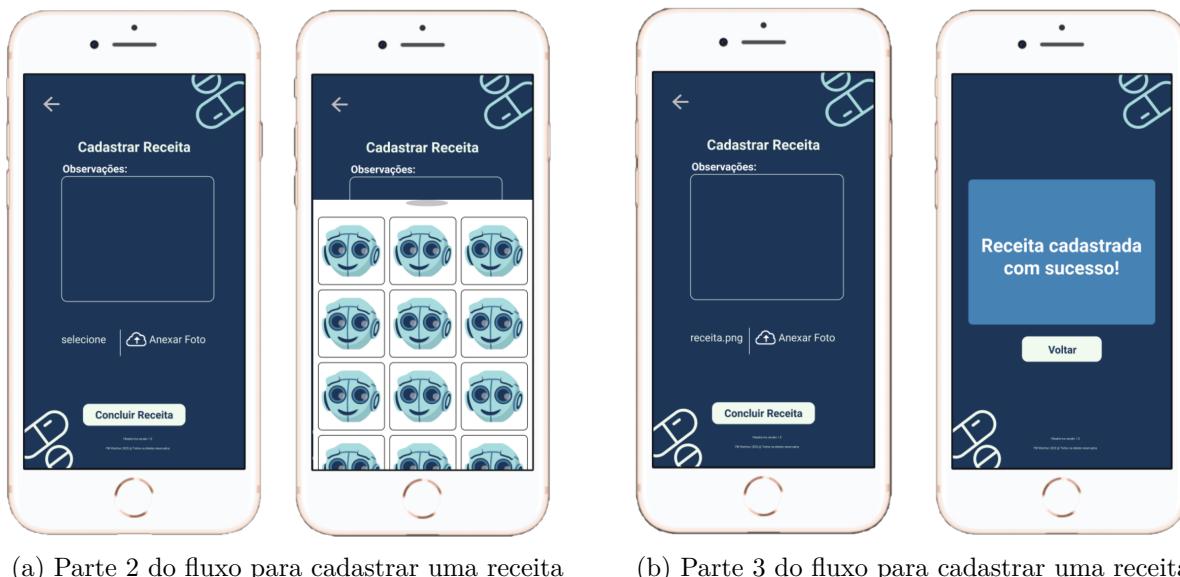


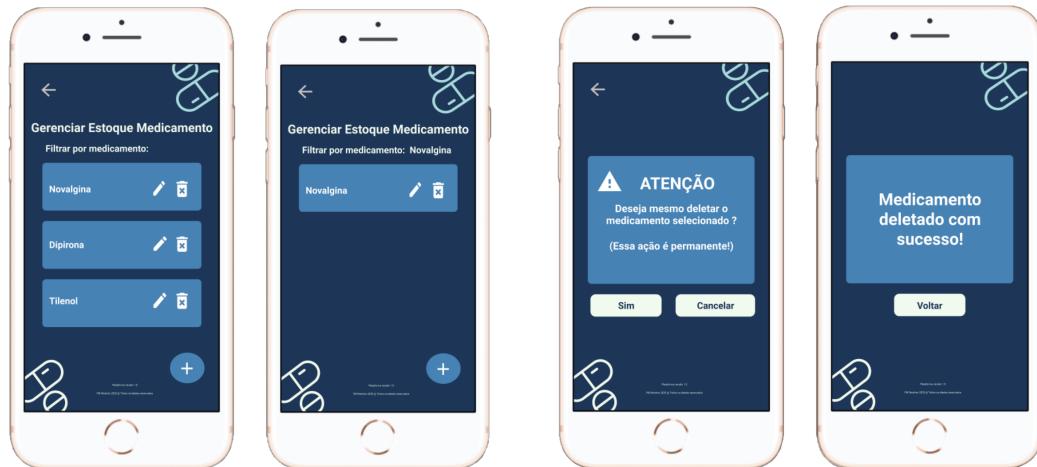
Figura 97 – Enfermeiro - Fluxo de cadastro de receita

Tabela 35 – Tabela de Interações das Telas de Gerenciamento de Receita

Tela	Entrada	Interações	Saída	Alternativo
Tela de receitas cadastradas	Botão de gerenciamento de receita da tela principal do Enfermeiro	Filtrar por paciente, visualizar, editar, deletar ou cadastrar uma receita	Ícone de Retornar	—
Tela de visualização de receita	Botão de visualizar receita da tela de gerenciamento de receita	—	Ícone de Retornar	—
Tela de alteração de dados da receita	Botão de editar dados da receita da tela de gerenciamento de receita	Editar dados cadastrais da receita	Botão Salvar	Botão Voltar que direciona para tela de gerenciamento de receita
Tela de <i>feedback</i> da alteração de dados da receita	Botão de Salvar da tela de editar dados da receita	—	Botão de fechar notificação	—
Tela de excluir receita cadastrada	Botão de excluir da tela de gerenciamento de receita	Clicar em ‘Sim’ ou ‘Cancelar’	Botão ‘Sim’	Ao clicar em ‘Cancelar’ ou ‘Voltar’ o usuário é redirecionado a tela anterior
Tela de cadastrar receita	Botão de ‘+’ da tela de gerenciamento de receita	Adicionar dados cadastrais da receita	Botão ‘Concluir receita’	Ao clicar em ‘Voltar’ o usuário é redirecionado a tela inicial de gerenciamento de receita
Tela de <i>feedback</i> de cadastro de receita	Botão de ‘Concluir receita’ da tela de cadastrar receita	—	Clicar em ‘Voltar’	Botão ‘Voltar’ que irá direcionar para tela inicial de gerenciamento de receita

– Gerenciar estoque da máquina

Na Fig. 98a é mostrada a tela inicial do gerenciamento do estoque de medicamento da máquina e a busca filtrada por medicação. A Fig. 98b exibe o fluxo para deletar uma medicação do estoque da máquina.



- (a) Menu inicial de gerência de estoque da máquina
e busca por um medicamento
- (b) Fluxo para deletar uma medicação do estoque da máquina

Figura 98 – Enfermeiro - Menu inicial e fluxo para deletar medicação do estoque da máquina

A Fig. 99 expõe o fluxo para alterar dados do estoque da máquina e seu respectivo *feedback*.

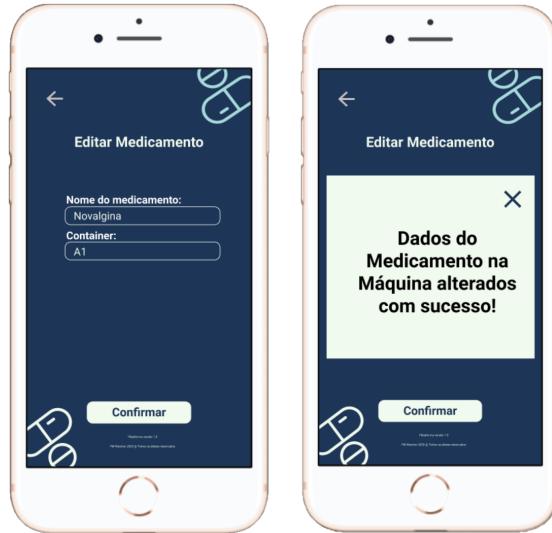


Figura 99 – Enfermeiro - Fluxo para alterar dados do estoque da máquina

Na Fig. 100 denota-se o fluxo para cadastrar uma medicação no estoque da máquina.



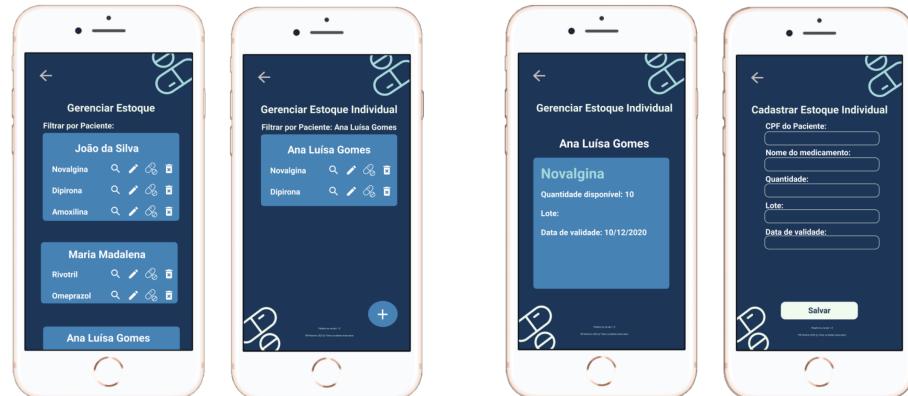
Figura 100 – Enfermeiro - Fluxo para cadastrar uma medicação no estoque da máquina

Tabela 36 – Tabela de interações das telas de gerenciamento de estoque da máquina

Tela	Entrada	Interações	Saída	Alternativo
Tela inicial de gerenciamento de estoque de medicamento da máquina	Botão ‘Gerenciar Estoque Máquina’ do menu inicial do enfermeiro	Filtrar por medicamento, alterar dados do estoque, deletar e cadastrar um estoque da máquina	Botão ‘Filtrar por medicamento’, ‘Alterar’, ‘Deletar’ ou ‘Cadastrar’	Botão ‘Voltar’ que irá direcionar ao menu inicial do enfermeiro
Tela para deletar medicação do estoque da máquina	Botão ‘Deletar’ da tela inicial de gerenciamento de estoque de medicamento	Confirmar a ação através do botão ‘Sim’ e cancelar a ação por meio do botão ‘Cancelar’	Botão ‘Sim’ ou ‘Cancelar’	Botão ‘Voltar’ que irá direcionar à tela inicial de gerenciamento de estoque de medicamento da máquina
Tela de <i>feedback</i> de exclusão de medicamento do estoque da máquina	Botão ‘Sim’ da tela para deletar medicação do estoque da máquina	Voltar para tela inicial de gerenciamento de estoque de medicamento da máquina	Botão ‘Voltar’ que irá direcionar à tela inicial de gerenciamento de estoque de medicamento da máquina	—
Tela de alteração dos dados de um medicamento do estoque da máquina	Botão ‘Alterar’ da tela inicial de gerenciamento de estoque de medicamento da máquina	Alterar dados cadastrados de um medicamento do estoque da máquina	Botão ‘Confirmar’	Botão ‘Voltar’ que irá direcionar à tela inicial de gerenciamento de estoque de medicamento da máquina
Tela de <i>feedback</i> de alteração dos dados de um medicamento do estoque da máquina	Botão ‘Confirmar’ da tela de alteração dos dados de um medicamento do estoque da máquina	Fechar <i>feedback</i>	Botão ‘X’	—
Tela para inserção de novo medicamento no estoque da máquina	Botão ‘+’ da tela inicial de gerenciamento de estoque de medicamento da máquina	Preenchimento de dados cadastrais do medicamento a ser inserido no estoque da máquina	Botão ‘Salvar’	Botão ‘Voltar’ que irá direcionar à tela inicial de gerenciamento de estoque de medicamento da máquina

– Abastecer *Pillwatcher*

Para abastecer o *Pillwatcher*, o primeiro passo é o gerenciamento de estoque por paciente, ilustrado pela Fig. 101a, que demonstra a tela inicial de gerenciamento de estoque e, em seguida, a busca filtrada por paciente. A Fig. 101b aponta a visualização mais detalhada do estoque individual e a tela para cadastro de um estoque individual.



(a) Tela inicial de gerenciar estoque e (b) Visualização do estoque de determinada medicação e tela para cadastro de estoque

Figura 101 – Enfermeiro - Menu inicial, visualização e cadastro de estoque individual

A Fig. 102 demonstra o fluxo de alteração de dados acerca do estoque individual de determinado remédio e paciente, além do respectivo *feedback* relacionado a essa ação.

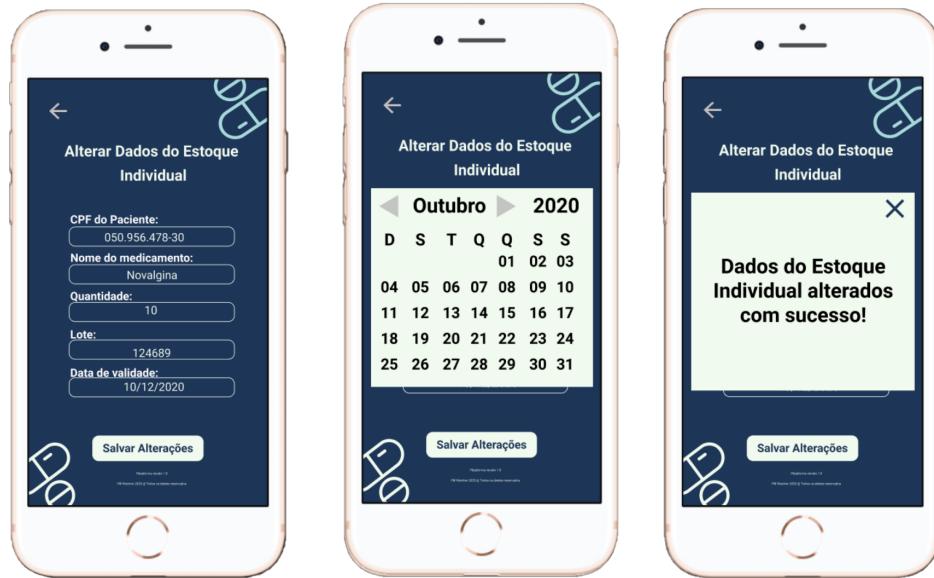


Figura 102 – Enfermeiro - Fluxo de alteração de dados de um estoque individual

As Fig. 103 e 104 exibem o fluxo de abastecimento após ser selecionado o paciente e o medicamento, em fluxo apresentado previamente (Fig. 101a).



Figura 103 – Enfermeiro - Parte 1 do fluxo de abastecimento de uma medicação

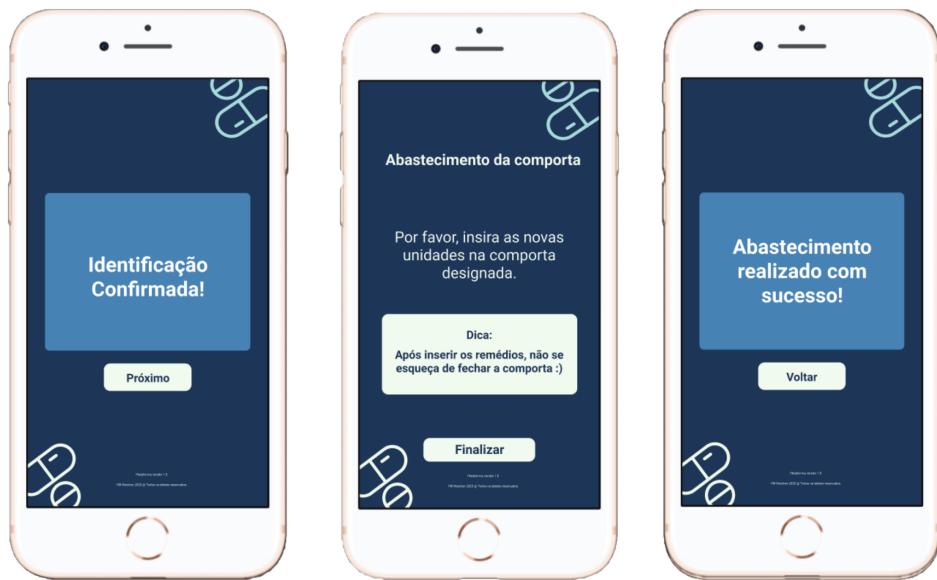


Figura 104 – Enfermeiro - Parte 2 do fluxo de abastecimento de uma medicação

A Fig. 105 indica o fluxo para deletar uma medicação do estoque individual do paciente e o *feedback* fornecido para essa ação.



Figura 105 – Enfermeiro - Fluxo para deletar uma medicação do estoque individual

Tabela 37 – Tabela de interações das telas de abastecimento do *Pillwatcher*

Tela	Entrada	Interações	Saída	Alternativo
Tela de Gerenciar Estoque	Botão de Abastecer <i>Pillwatcher</i> da tela principal do Enfermeiro	Filtrar por paciente, visualizar, editar, abastecer, deletar e cadastrar estoque individual	Botão ‘Visualizar’, ‘Editar’, ‘Abastecer’, ‘Deletar’ e ‘+’	—
Tela de visualizar estoque individual	Botão ‘Visualizar’ da tela inicial de gerenciamento de estoque	—	Botão ‘Voltar’ que irá direcionar para tela inicial de gerenciamento de estoque	—
Tela de alteração de dados do estoque individual	Botão ‘Editar’ da tela inicial de gerenciamento de estoque	Alterar dados cadastrais do estoque individual	Botão ‘Salvar alterações’	Botão ‘Voltar’ que irá direcionar para tela inicial de gerenciamento de estoque
Tela de <i>feedback</i> da alteração de dados do estoque individual	Botão ‘Salvar alterações’	Fechar <i>feedback</i>	Botão ‘X’	—
Tela inicial de abastecimento de uma medicação	Botão ‘Abastecer’ da tela inicial de gerenciamento de estoque	Inserção de quantidade, lote e data de validade	Botão ‘Confirmar’	Botão ‘Voltar’ que irá direcionar para tela inicial de gerenciamento de estoque
Tela de autenticação para abastecimento de uma medicação	Botão ‘Confirmar’ da tela inicial de abastecimento de uma medicação	Inserção de biometria no dispositivo do <i>Pillwatcher</i>	Biometria confirmada	—
Tela de <i>feedback</i> de biometria confirmada	Biometria confirmada	Ir para o próximo passo	Botão ‘Próximo’	—
Tela de abastecimento da comporta	Botão ‘Próximo’ após a identidade ser confirmada	Finalizar o abastecimento	Botão ‘Finalizar’	—
Tela de <i>feedback</i> de abastecimento	Botão ‘Finalizar’	Voltar para tela inicial de gerenciamento de estoque individual	Botão ‘Voltar’	—
Tela de deletar uma medicação do estoque individual	Botão ‘Deletar’ da tela inicial de gerenciamento de estoque individual	Confirmar a exclusão através do botão ‘Sim’ ou cancelar a ação através do ‘Cancelar’	Botão ‘Sim’ ou ‘Cancelar’	Botão ‘Voltar’ que irá direcionar para tela inicial de gerenciamento de estoque
Tela de <i>feedback</i> de exclusão de uma medicação do estoque individual	Botão ‘Sim’ da tela de deletar uma medicação do estoque individual	Voltar para tela inicial de gerenciamento de estoque individual	Botão ‘Voltar’	—

– Notificação de entrega de medicação

A Fig. 106 denota a notificação que será recebida pelo enfermeiro, minutos antes de uma medicação ser entregue, e o respectivo *feedback*, exibido quando o enfermeiro confirma a entrega na tela anterior.



Figura 106 – Enfermeiro - Fluxo de notificação do enfermeiro

Tabela 38 – Tabela de interações das telas de notificação de entrega de medicação

Tela	Entrada	Interações	Saída	Alternativo
Notificação de medicação a ser entregue	O dispositivo do Pillwatcher dispara a notificação para o software minutos antes do horário da medicação	Confirmar entrega da medicação através do botão 'Entregue'	Botão 'Entregue'	—
Tela de <i>feedback</i> da entrega da medicação	Botão 'Entregue' da tela anterior	Fechar <i>feedback</i>	Botão 'X'	—

- Paciente

- Menu Inicial e *sidebar*

A Fig. 107 expõe o menu inicial do paciente, a barra lateral com seus respectivos dados cadastrados e a primeira tela do fluxo para alterá-los.

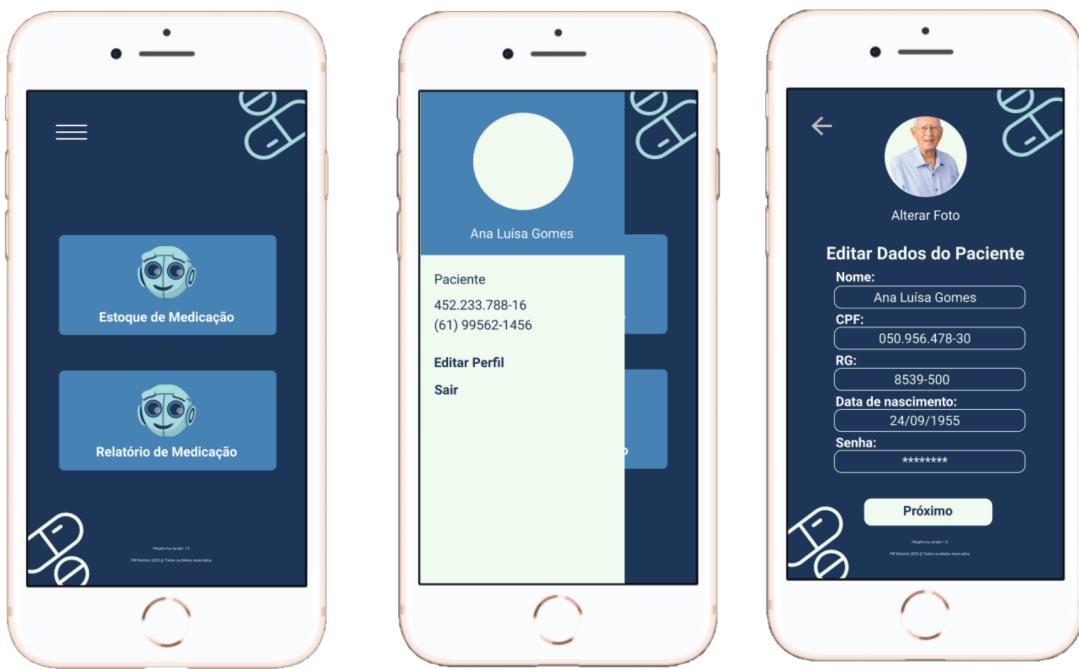


Figura 107 – Paciente - Menu inicial, sidebar e Parte 1 do fluxo para alterar dados cadastrados

As Fig. 108a e 108b ilustram o fluxo para editar os dados cadastrados acerca do paciente e do familiar, e o feedback para essa ação.



(a) Parte 2 do fluxo para alterar dados cadastrados (b) Parte 3 do fluxo para alterar dados cadastrados

Figura 108 – Paciente - Conclusão do fluxo para alterar dados cadastrados

Tabela 39 – Tabela de interações das telas de Menu inicial e sidebar

Tela	Entrada	Interações	Saída	Alternativo
Menu inicial do paciente	Login de usuário ‘Paciente’	Visualização da sidebar, do estoque de medicação e do relatório de medicação	Botão da sidebar, botão ‘Estoque de Medicação’ e botão ‘Relatório de Medicação’	—
Sidebar	Botão ‘sidebar’ do menu inicial do paciente	Editar perfil e sair do aplicativo	Botão ‘Editar Perfil’ e ‘Sair’	Ao clicar fora da sidebar, é mostrado o menu inicial do paciente
Tela para editar dados do paciente	Botão ‘Editar Perfil’ da sidebar do paciente	Alteração de dados cadastrais do paciente	Botão ‘Próximo’	Botão ‘Voltar’ que irá direcionar para o menu inicial do paciente
Tela para editar dados do familiar	Botão ‘Próximo’ da tela para editar dados do paciente	Alteração de dados cadastrais do familiar	Botão ‘Salvar alterações’	Botão ‘Voltar’, que irá direcionar para tela de editar dados do paciente
Tela de feedback da alteração de dados do paciente e do familiar	Botão ‘Salvar alterações’ da tela para editar dados do familiar	Fechar feedback	Botão ‘X’	—

– Estoque de medicação

A Fig. 109 apresenta o fluxo para visualizar o estoque de medicação, ilustrando todas as medicações e seus respectivos dados como horários de ministração, dias de uso, quantidade e nível do estoque.

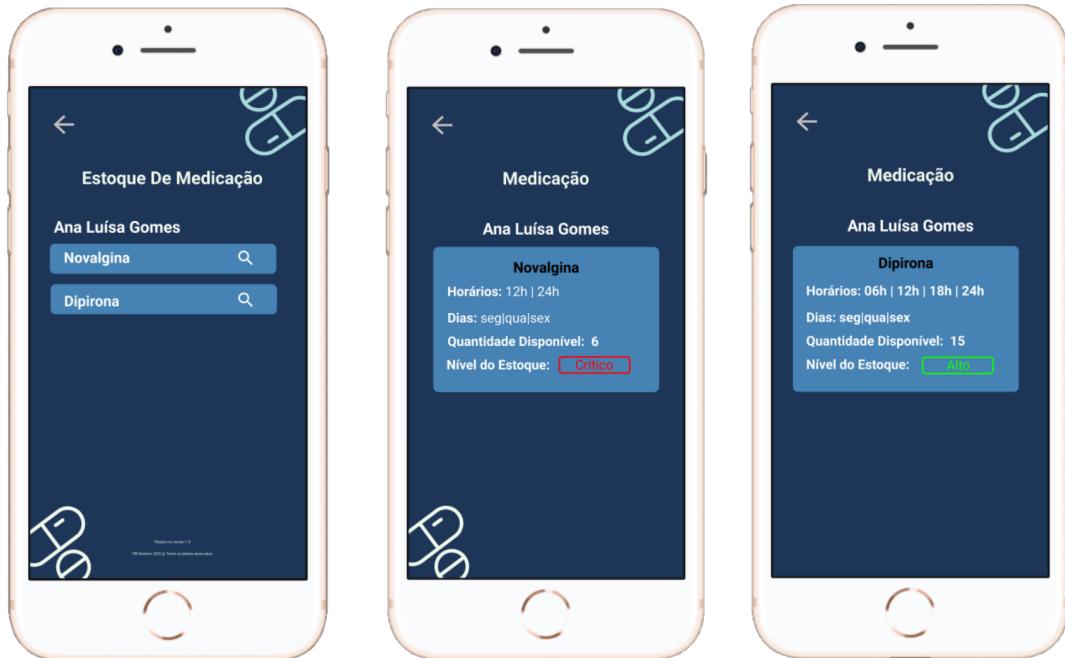


Figura 109 – Paciente - Fluxo para visualizar o estoque de medicação

Tabela 40 – Tabela de interações das telas de estoque de medicação

Tela	Entrada	Interações	Saída	Alternativo
Tela inicial de estoque de medicação	Botão ‘Estoque de medicação’ do menu inicial do paciente	Visualizar as medicações e seus respectivos dados	Botão ‘Visualizar’ de uma medicação	Botão ‘Voltar’ que irá direcionar para o menu inicial do paciente
Tela de visualizar estoque de uma medicação	Botão ‘Visualizar’ da medicação selecionada na tela inicial de estoque de medicação	Visualizar dados do estoque da medicação selecionada	Botão ‘Voltar’ que irá direcionar para tela inicial de estoque de medicação do paciente	—

– Relatório de medicação

A Fig. 110 indica o fluxo para visualizar os relatórios de medicação semanais disponíveis do paciente, que trazem informações como data, medicação, enfermeiro encarregado e status da entrega.

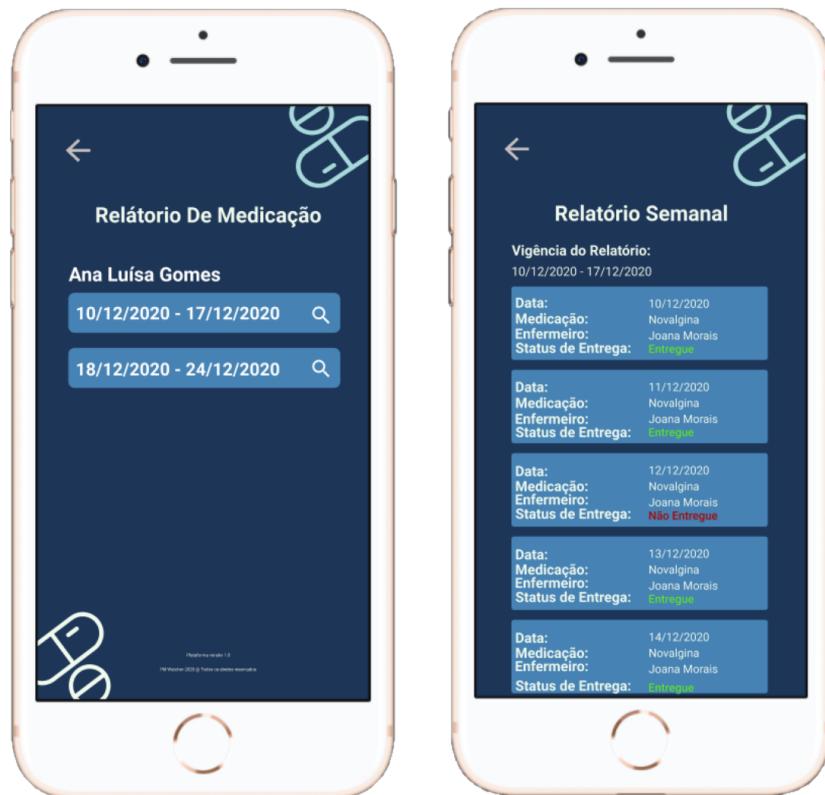


Figura 110 – Paciente - Fluxo para visualizar o relatório de medicação

Tabela 41 – Tabela de interações das telas de relatório de medicação

Tela	Entrada	Interações	Saída	Alternativo
Tela inicial do relatório de medicação	Botão ‘Relatório de Medicação’ do menu inicial do paciente	Visualizar relatórios semanais disponíveis	Botão ‘Visualizar’ do relatório selecionado	Botão ‘Voltar’, que irá direcionar para o menu inicial do paciente
Tela de relatório de medicação	Botão ‘Visualizar’ do relatório selecionado	Visualizar informações das medicações ministradas na semana de vigência do relatório	Botão ‘Voltar’, que irá direcionar para a tela inicial do relatório de medicação	—

8.7 Inovação no Software

8.7.1 IoT - Internet of Things

Internet of Things é a interconexão de objetos com a internet. No projeto *PillWatcher*, o dispensador de medicamentos irá se comunicar com o aplicativo por meio de um *Broker MQTT*, que é como uma espécie de mediador entre as máquinas, capaz de fazer com que a comunicação de fato ocorra entre elas. O *Broker* utilizado será o *Mosquitto*.

O protocolo *MQTT* é um dos mais utilizados na indústria para a implementação de automações e de tecnologias como a IoT – internet das coisas. Sigla para *Message Queuing Telemetry Transport*, ele pode ser resumido como uma forma de realizar a comunicação entre as máquinas. ([ENGPROCESS, 2018](#))

E o *Mosquitto* nada mais é do que um dos componentes do protocolo *MQTT*. Cada vez mais usado no setor industrial, ele aparece como uma forma de otimizar o tempo e tornar os processos mais simples ([ENGPROCESS, 2018](#)).

8.7.2 Arquitetura de Microsserviços

A arquitetura de microsserviços permite a entrega e implantação contínua de aplicações grandes e complexas. Além disso, há melhoria na manutenção, onde cada serviço é relativamente pequeno e, portanto, mais fácil de entender e mudar. Traz consigo também uma melhor testabilidade, devido ao fato de que os serviços são menores e mais rápidos de testar. A implantabilidade dos serviços podem ser feitas de forma independente, e permite que a organização do esforço de desenvolvimento em torno de várias equipes seja autônoma.

A arquitetura do *Pillwatcher* foi planejada e construída com base nesse conceito. Assim, serão confeccionadas três *APIs*: administrador, enfermeiro e paciente. Tais *APIs* tratam de aspectos relacionados a esses e uma *API Gateway* para centralizar e gerenciar as chamadas dos microsserviços citados.

8.7.3 *Reactive Programming*

A programação reativa é um paradigma de programação assíncrona, preocupada com fluxos de dados e propagação de mudanças. Isso significa que é possível expressar fluxos de dados estáticos (por exemplo, matrizes) ou dinâmicos (por exemplo, emissores de eventos com facilidade, por meio da linguagem de programação empregada).

Partindo do pressuposto que o *Pillwatcher* seria utilizado em larga escala, a quantidade de requisições também estaria nessas proporções e, se realizadas de forma síncrona, ou seja, cada requisição espera a resposta para continuar seu processamento, o resultado acerca do tempo de resposta não seria viável. Dessa forma, serão utilizadas requisições assíncronas. Por isso, faz-se necessário incorporar o paradigma apresentado no parágrafo anterior na solução, visando melhorar a experiência do usuário e facilitar a implementação por parte dos desenvolvedores.

9 Arquitetura de Integração

O diagrama da arquitetura de integração contém aspectos da solução de estrutura, energia, eletrônica e software. Assim, a visão geral dos sistemas integrados que compõe o projeto *PillWatcher* está representada na Fig. 111, a qual ilustra os módulos conectados entre si, para que o dispositivo funcione corretamente.

Dessa forma, a estrutura do dispositivo tem o cuidado de acoplar os componentes eletrônicos necessários na parte interna, como as placas de circuito impresso (PCI), os sensores e os *drivers*.

Para a alimentação dos componentes elétricos e eletrônicos no dispositivo, a solução de energia projetou uma fonte de 12 V e 15 A. Os componentes eletrônicos exigem uma tensão inferior à disponibilizada pela fonte. Dessa forma, será utilizado um regulador de tensão de 12 V para uma saída de 5 V e 8 A, representado no diagrama ?? como a fonte de 5 V e 8 A.

A solução eletrônica está representada pelos módulos de medição e identificação, de controle e de visualização. A conexão entre esse módulos é feita pela módulo de controle, representada pelo sistema embarcado (Computador de Placa Única e microcontroladores). Para comunicação entre o sistema da solução eletrônica e o *backend* da arquitetura de software, representado pelos módulos de exposição, serviços negociais, armazenamento de dados e fila, é utilizado os protocolos de comunicação MQTT e HTTP. O *front-end* é representado pelo módulo de interação, e se comunica com o *back-end*, em específico o módulo de exposição, por meio do protocolo HTTP.

Cada integração dos sistemas estão detalhadas nas seções seguintes deste capítulo. A seção 9.1 contém a descrição do posicionamento dos componentes eletrônicos. A seção 9.2 expõe a fiação entre o submódulo do sistema de alimentação e os componentes eletrônicos. A seção 9.3 apresenta os detalhes da interface com o usuário por meio do aplicativo, requisitos, procedimentos para a execução e comunicação do módulo do aplicativo com a módulo de controle.

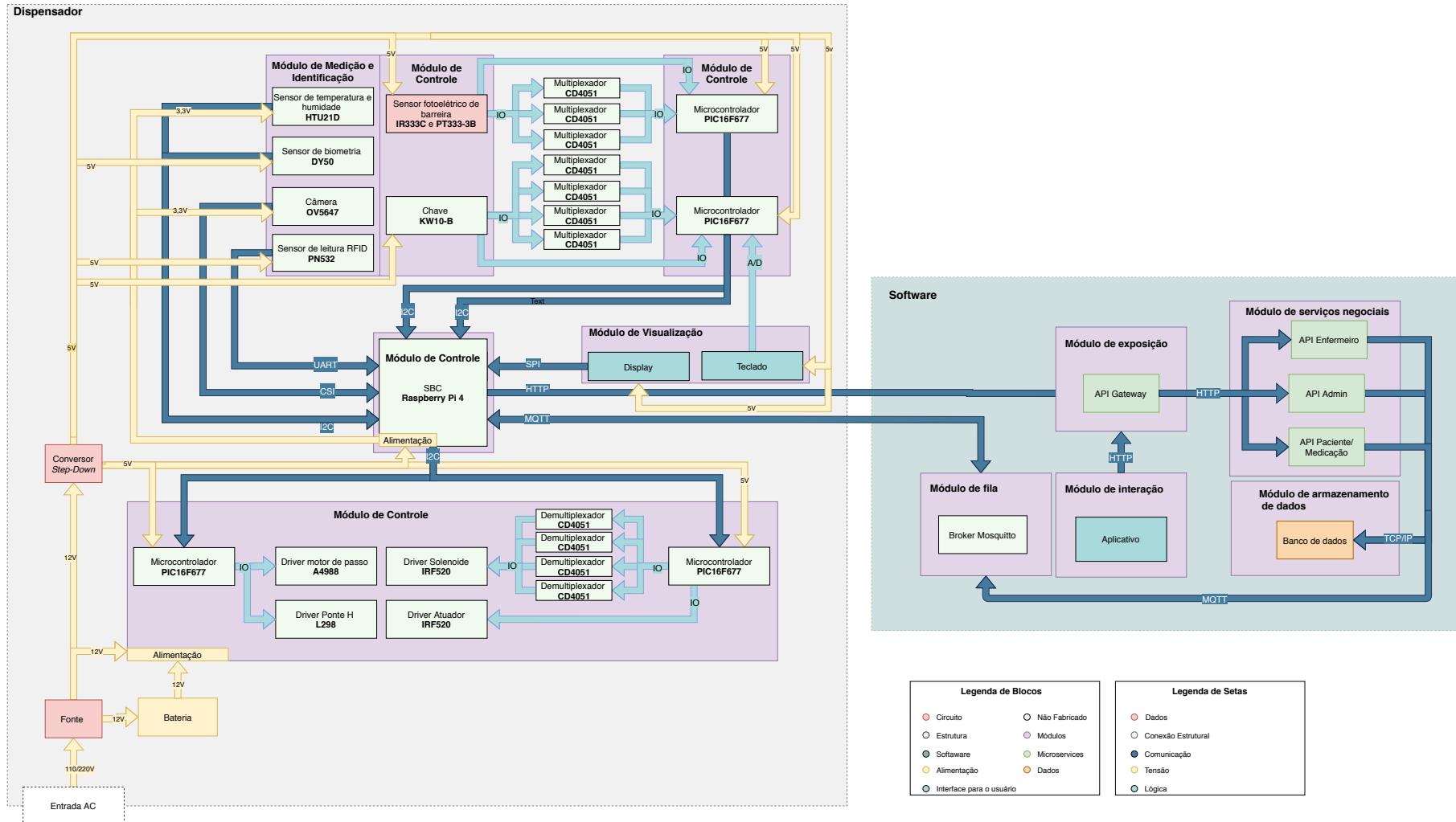


Figura 111 – Diagrama de Integração de Sistemas

9.1 Posicionamento dos Componentes dos Sistemas Elétricos e Eletrônicos

O posicionamento dos componentes foi escolhido em conjunto com as frentes de Eletrônica e Energia, baseado nas necessidades e limitações presentes nos sistemas físicos e arranjos disponíveis dentro da máquina. Os maiores pontos de decisão foram a facilidade de adaptação do usuário com o dispositivo e o melhor aproveitamento do espaço interno.

- **Disposição do Sistema de Alimentação, Equipamentos Eletrônicos e Sistema Eletromecânico**

O posicionamento dos componentes do sistema de alimentação e equipamentos eletrônicos se deu pela facilidade de visualização do usuário, limites físicos associados a cabos e espaçamento disponível na estrutura.

A disposição dos componentes externos é ilustrada na Fig. 112, podendo destacar a presença do visor, teclado e sensor de biometria no painel frontal da máquina. Além do mais, as mini-travas elétricas foram posicionadas nas portas do compartimento superior do dispositivo e na porta frontal.

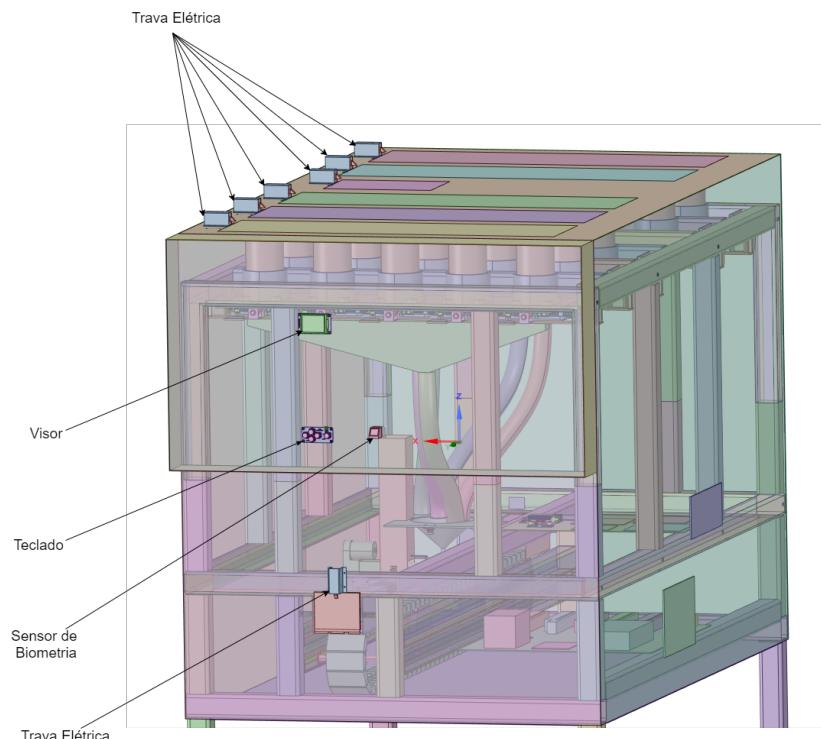


Figura 112 – Posicionamento dos Componentes Eletrônicos Externos

Ao lado direito do painel frontal, tem-se o local indicado para o posicionamento

da bateria e fonte do sistema, sendo de fácil manutenção pela presença do componente removível posicionado logo ao lado desses elementos. Vale ressaltar, como última observação, que foi adaptado uma entrada na lateral esquerda da máquina, para posicionamento dos copos em seu repositório e eventuais manutenções no atuador linear.

A partir da Fig. 113, a qual proporciona a visualização da porta de saída frontal do dispositivo, é possível visualizar a distribuição de um par de sensores fotoelétricos, com sua respectiva Placa de Circuito Impresso (PCI), para verificar a retirada do copo com medicamento pelo enfermeiro, além de chave, fechadura eletrônica e *Driver* do solenoide (**IRF520N**). Igualmente, tem-se o posicionamento dos componentes eletrônicos na porta de saída traseira do dispositivo, onde a única diferença é que a porta traseira não possui trava eletrônica nem o *Driver* do solenoide.

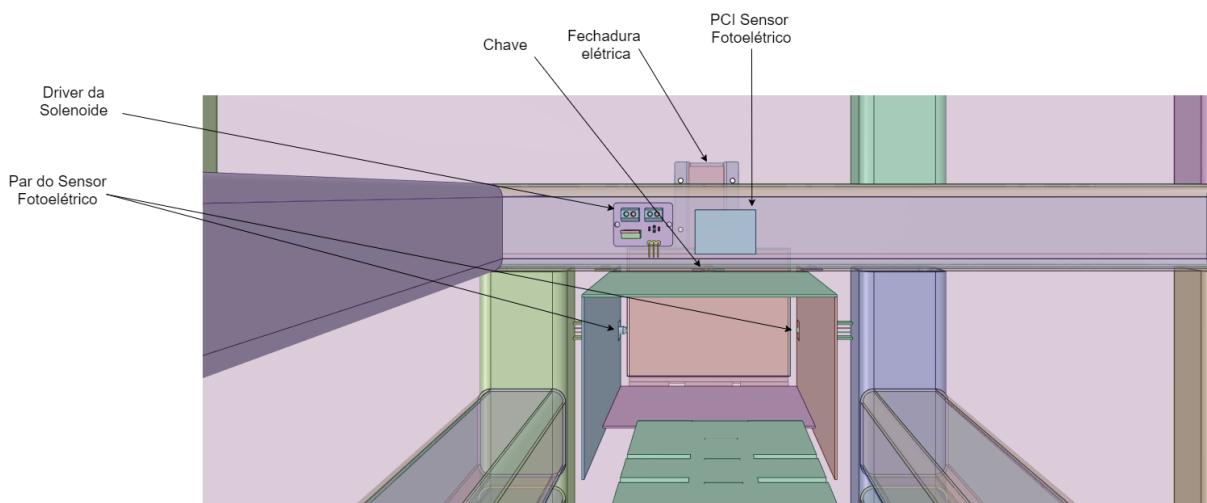


Figura 113 – Posicionamento dos componentes Eletrônicos na Porta Frontal

Por meio da Fig. 114 observa-se que a *Raspberry* se encontra posicionada próxima ao *Step-down* e as PCIs do módulos de controle, de medição e identificação e de visualização. As quais são descritas no Manual de Montagem e no plano de construção de eletrônica na seção 6.6, chamadas de módulo de controle. Além do mais, a *Raspberry* necessita ficar a uma distância de até 300 mm da câmera, uma vez que tem a limitação do cabo *flat*.

Logo abaixo das PCIS, tem-se o local indicado para o posicionamento da bateria, a fonte do sistema, a PCI de carregamento e intertravamento da bateria, o *Step-up* e os blocos de terminais de fios, sendo de fácil manutenção pela presença do componente removível posicionado logo ao lado desses componentes. Esse conjunto foi nomeado de Centro de Alimentação. Do outro lado da esteira, o atuador linear está próximo ao *driver* (**IRF520N**) e a PCI do sensor de barreira que fica internamente ao reservatório de copos.

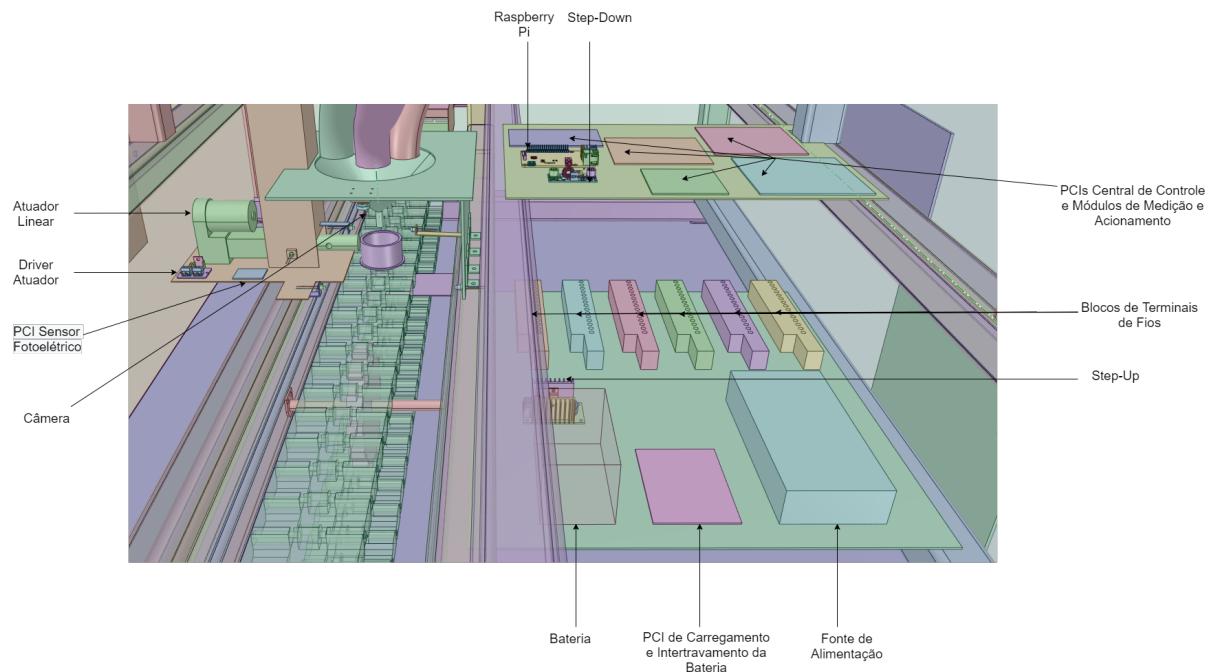


Figura 114 – Disposição interna dos componentes Eletro-eletrônicos

A Fig. 115 demonstra o posicionamento de três pares de sensores fotoelétricos, com suas respectivas PCIs. Um dos pares está posicionado na altura da saída do funil, para verificação da queda dos comprimidos no copo. Outro, dentro do reservatório de copos, para averiguar se existem copos no reservatório, e o último par está localizado logo abaixo da câmera, para detectar o correto posicionamento do copo abaixo da câmera e realizar o processamento de imagem.

Além do mais, nessa ilustração, é possível identificar o sensor de leitura RFID, que possui uma estrutura para sua sustentação, a qual, necessariamente, deve ficar até 50 mm da base do copo na esteira, uma vez que a etiqueta RFID fixada na base do copo possui essa restrição.

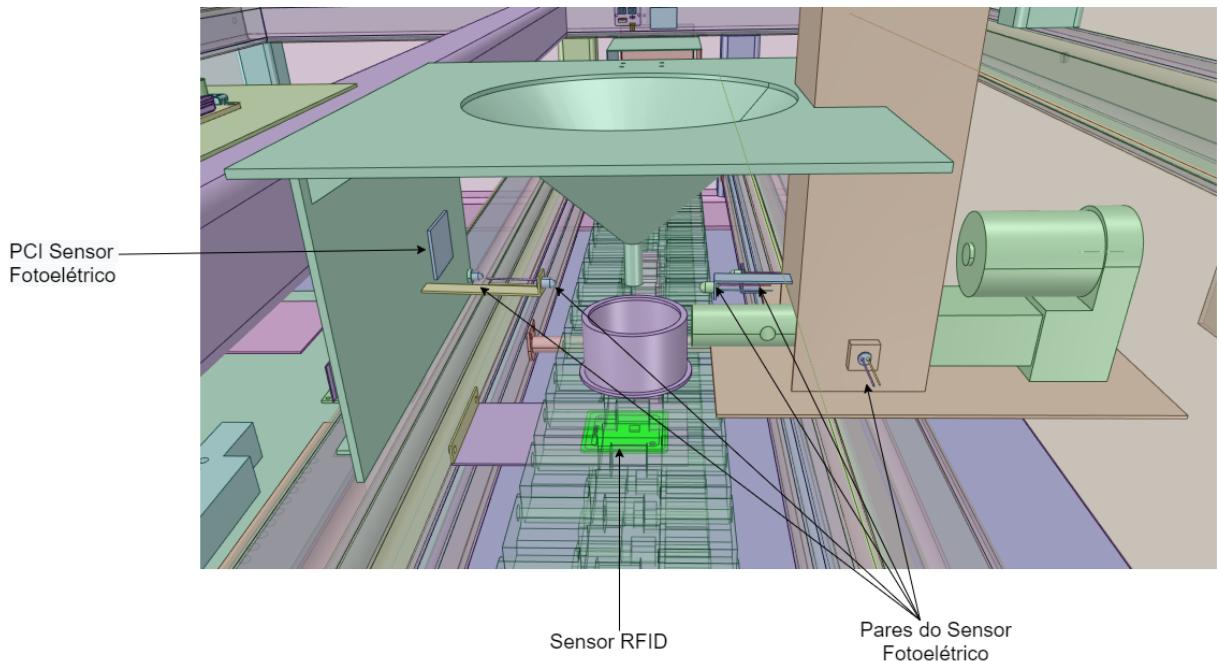


Figura 115 – Disposição espacial do sistema de identificação do copo

O posicionamento dos solenoides e dos seus respectivos *drivers* está explicitado na Fig. 116, onde cada solenoide apresenta fixação de sua face superior na região inferior das mesas de apoio dos contêineres, enquanto seu braço de atuação está em coincidência com a comporta de cada contêiner. Para facilitar a visualização, foi indicado apenas um solenoide e um *driver* (**IRF520N**), mas cada contêiner possui esses componentes.

Outrossim, na Fig.116, é possível identificar a disposição das chaves para cada contêiner, as chaves e *drivers* do solenoide (**IRF520N**) das cinco portas do compartimento superior.

Os sensores fotoelétricos possuem diversos posicionamentos, uma vez que estes tem a função de verificar a queda de medicamentos e detectar o copo tanto reservatório, quanto na esteira. Dessa forma, esse sensores são fixados conforme a 116 na letra A. Assim, para facilitar a visualização, foi indicado apenas um par de sensores fotoelétricos que ficam posicionados na comporta, mas cada contêiner possui um par desses sensores. Além disso, a Fig.173 apresenta os suportes dos sensores fotoelétricos presentes em todo o projeto, com suas indicações de solda em acordo com a norma NRB 7165.

Por último, cada mesa com cinco contêineres possui um motor de passo com seu respectivo *driver* (**A4988**), conforme ilustrado na Fig. 116, na letra B.

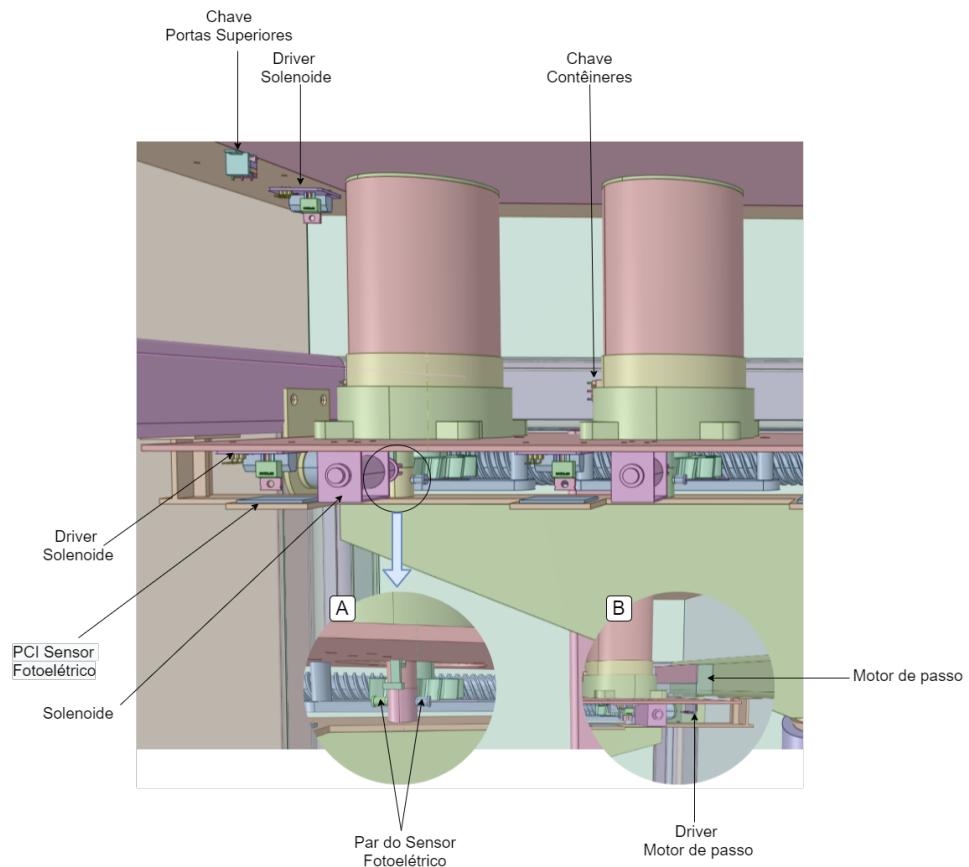


Figura 116 – Disposição espacial dos componentes eletrônicos no contêiner

9.2 Alimentação dos Componentes Eletrônicos

A partir do levantamento de carga do sistema, foi dimensionado e projetado um circuito para alimentação de seus dispositivos elétricos e eletrônicos. Este é composto por uma fonte de alimentação principal (fonte chaveada) e uma auxiliar (bateria). As duas fontes possuem um sistema de operação em paralelo e saída de alimentação em 12 V.

A tensão de operação das solenoides, motor da esteira, motores de passo, atuador linear e travas elétricas, assim como seus respectivos *drivers*, é 12 V, portanto, podem ser diretamente alimentados através do circuito projetado. Contudo, os componentes eletrônicos necessitam de uma tensão de 5 a 3,3 V, o que impossibilita a conexão direta com o sistema projetado. Para resolver este problema, foi adicionado um conversor abaixador de tensão, que converte a tensão de 12 V para 5 V. Este componente está ligado diretamente ao sensor de biometria, o visor e à *Raspberry Pi*, e é responsável por alimentar, com tensão de 5 V, os quatro microcontroladores e o sensor de leitura RFID e, com 3,3 V, a câmera e o sensor de temperatura e de umidade. O conversor abaixador foi definido após avaliar todas as cargas que seriam a ele conectadas, diretamente ou indiretamente.

O diagrama de conexão entre a alimentação e o sistema eletrônico está representado na figura 117.

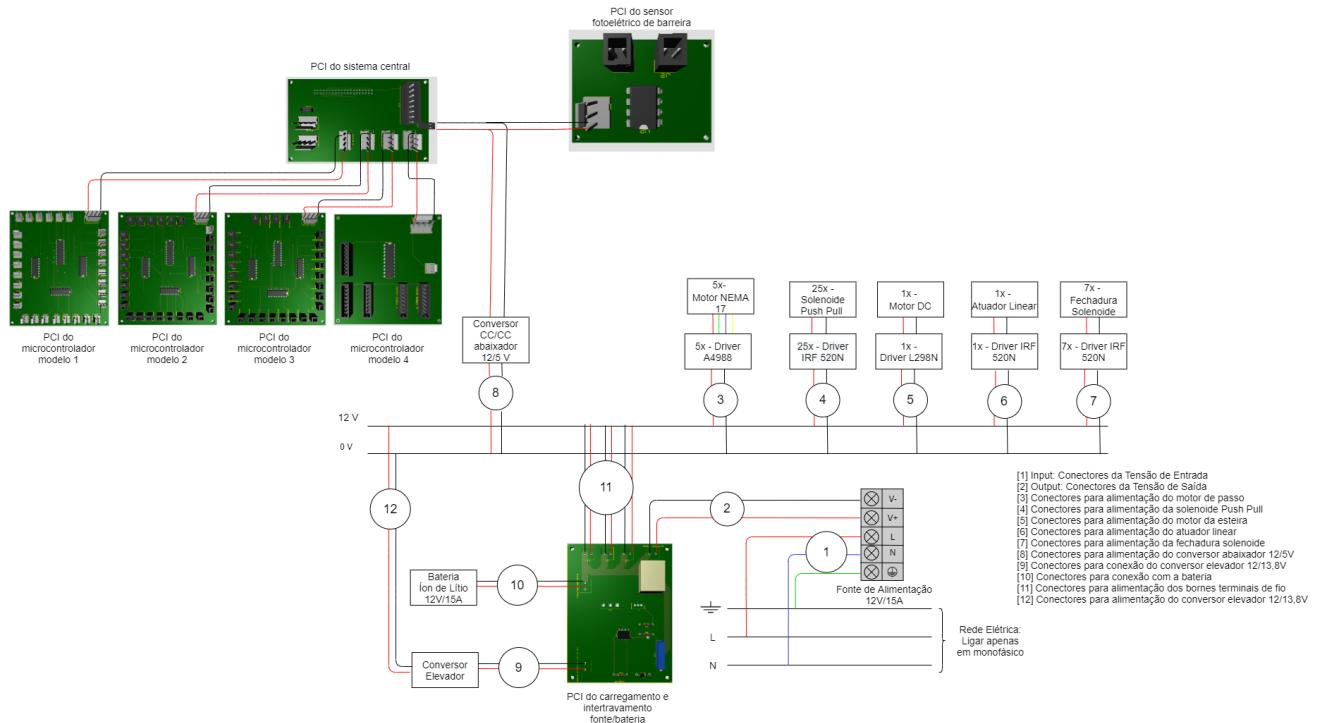


Figura 117 – Diagrama de Alimentação dos Componentes e Circuitos eletrônicos

9.3 Comunicação entre o Aplicativo e o Dispositivo

A comunicação entre o aplicativo e o dispositivo se dará por meio dos protocolos externos HTTP e MQTT, onde o sistema embarcado no módulo de controle se comunicará com o *Back-end* da solução de Software.

9.3.1 Protocolo MQTT

O protocolo MQTT será utilizado para comandos e confirmações. Dessa forma, é possível realizar requisições do *back-end* para ações na máquina, como cadastro de enfermeiros ou reposição de remédios. Portanto, existem tópicos dedicados a enviar confirmações de que as ações requisitadas foram realizadas e atualizações de dados da máquina para o *back-end*.

Para a comunicação com protocolo MQTT foram criados sete tópicos no *Broker Mosquitto*, como descritos abaixo:

1. **apply-medication**: responsável por compartilhar mensagens contendo informações sobre a **medicação** a um paciente. Quando der o horário de alguma medicação a um determinado paciente, o *back-end* enviará uma mensagem ao tópico, no formato do exemplo abaixo, para que o dispositivo leia-a e disponibilize a medicação.

```
1  {
2      "medicationId": 12,
3      "nurseId": 5,
4      "location": 25,
5      "intervalTime": 8
6 }
```

2. **medication-response**: Após disponibilizar a medicação, o dispositivo envia uma mensagem ao *back-end*, confirmando o recebimento e processamento da requisição, seguindo o formato de mensagem:

```
1  {
2      "medicationId": 12,
3      "nurseId": 5,
4      "cupId": 1,
5 }
```

3. **create-nurse**: compartilha mensagens contendo informações de um **enfermeiro** recém criado. Sempre que um novo enfermeiro é cadastrado, o *back-end* envia os dados do mesmo ao dispositivo. A mensagem segue o formato abaixo:

```
1  {
2      "coren": "123456",
3      "document": "12345678910",
4      "email": "logan.warden@email.com",
5      "federativeUnit": "DF",
6      "id": 1245,
7      "imageUrl": "https://s3.com/image_from_user.jpg",
8      "inclusionDate": "2020-01-21T17:32:28Z",
9      "name": "Logan Warden",
```

```

10      "phone": "992568745"
11
}
```

4. ***create-patient***: compartilha mensagens contendo informações de um **paciente** recém criado. Sempre que um novo paciente é cadastrado, o *back-end* envia os dados do mesmo ao dispositivo. A mensagem segue o formato abaixo:

```

1  {
2      "bornDate": "2020-11-08T18:34:44.347Z",
3      "document": "71005638012",
4      "id": 12345,
5      "imageUrl": "https://s3.com/image_from_user.jpg",
6      "inclusionDate": "2020-01-21T23:59:39Z",
7      "name": "Logan Warden",
8      "observation": "O paciente possui pressão alta;",
9      "updateDate": "2020-01-21T23:59:39Z"
10
}
```

5. ***create-prescription***: compartilha mensagens contendo informações de uma **receita** recém adicionada. Sempre que uma nova receita é adicionada a um paciente, o *back-end* envia os dados do mesmo ao dispositivo. A mensagem segue o formato abaixo:

```

1  {
2      "id": 2,
3      "imageUrl": "https://s3-amazon.com.br/daskjd",
4      "inclusionDate": "2020-01-21T23:23:23Z",
5      "patientCpf": "05389654102",
6      "updateDate": "2020-11-08T18:41:24.433Z",
7      "validityDate": "2020-11-08T18:41:24.433Z"
8
}
```

6. ***create-medication***: compartilha mensagens contendo informações de uma **medicação** recém adicionada. Sempre que uma nova medicação é adicionada a uma receita de um paciente, o *back-end* envia os dados da mesma ao dispositivo. A mensagem segue o formato abaixo:

```

1   {
2       "availableQuantity": 25,
3       "batch": "0065560654545451294",
4       "cupTag": "456055486512SDA",
5       "expirationDate": "2020-11-08T18:38:11.159Z",
6       "id": 2,
7       "inclusionDate": "2020-01-21T23:23:23Z",
8       "interval": 8,
9       "location": 12,
10      "medicine": {
11          "dosage": 5,
12          "dosageType": "MG",
13          "id": 2,
14          "inclusionDate": "2020-01-21T23:23:23Z",
15          "name": "Novalgina"
16      },
17      "observation": "Tomar em jejum",
18      "prescriptionId": 89,
19      "quantity": 2,
20      "startDate": "2020-11-08T18:38:11.160Z",
21      "updateDate": "2020-11-08T18:38:11.160Z"
22  }

```

7. ***create-supply***: Compartilha mensagens contendo informações de uma **solicitação de abastecimento**. Quando um enfermeiro precisa abastecer o dispositivo, ele faz a solicitação pelo aplicativo. Esse se comunica com o *back-end*, que envia uma mensagem ao tópico contendo as informações do abastecimento:

```

1   {
2       "id": 1,
3       "inclusionDate": "2020-01-21T23:23:23Z",
4       "medicationId": 76,
5       "nurseId": 25,
6       "quantity": 3
7   }

```

9.3.2 Protocolo HTTP

O protocolo HTTP será utilizado para requisições de dados do sistema embarcado para o *back-end*. As informações requisitadas serão relacionadas a dados de funcionamento do sistema, como horários de medicação e dados de posicionamento dos medicamentos no sistema. Logo, será uma comunicação unidirecional feita do sistema embarcado para o *back-end*.

Para a comunicação com protocolo HTTP foi disponibilizada uma [URL](#) no *back-end*, para o dispositivo consultar informações completas sobre um paciente. Para essa consulta, o dispositivo precisa passar o identificador do paciente e terá como resposta a seguinte mensagem:

```
1  {
2      "id": 12345,
3      "name": "Logan Warden",
4      "prescription": [
5          {
6              "medication": [
7                  {
8                      "availableQuantity": 30,
9                      "cupTag": "456055486512SDA",
10                     "dosage": 25,
11                     "dosageType": "mL",
12                     "intervalTime": 30,
13                     "location": 17,
14                     "medicationId": 12345,
15                     "name": "Pareacetamol"
16                 }
17             ],
18             "prescriptionId": 12345,
19             "validityDate": "2020-11-08T18:48:59.191Z"
20         }
21     ]
22 }
```

10 Custos

Os custos finais para a construção do projeto foram levantados a partir dos principais gastos de cada área e compilados na Tab. 42.

Tabela 42 – Custos Totais

ID	Componente	Modelo	Fornecedor	Qtd.	Preço R\$	
					Unitário	Final
CC1	Microprocessador embarcado	<i>Raspberry Pi</i> 4 B 4Gbs	FilipeFlop	1	R\$ 619,99	R\$ 619,99
CC2	<i>SD Card</i> 32 GBs extreme	SanDisk	Mercado Livre	1	R\$ 70,90	R\$ 70,90
CC3	Microcontrolador	PIC16F677	Baú da Eletrônica	4	R\$ 12,27	R\$ 49,08
CC4	Sensor de Temperatura e Umidade	HTU21D	Curto Circuito	1	R\$ 18,90	R\$ 18,90
CC5	Chave	Micro <i>Switch</i> kW-10 B	Baú da Eletrônica	33	R\$ 0,76	R\$ 25,08
CC6	Emissor e Receptor de IR	IR333C e PT333-3B	Robo Core	30	R\$ 2,50	R\$ 75,00
CC7	CI Comparador	LM393	Hu Infinito	30	R\$ 0,69	R\$ 20,70
CC8	Sensor de Biometria	DY50	Mercado Livre	1	R\$ 69,00	R\$ 69,00
CC9	Sensor de Leitura de RFID	PN532	Mercado Livre	1	R\$ 33,99	R\$ 33,99
CC10	Etiqueta Tag RFID (10 un.)	x	Filipe Flop	1	R\$ 15,90	R\$ 15,90
CC11	Câmera	OV5647	Amazon	1	R\$ 69,90	R\$ 69,90
CC12	Display	LCD TFT 3,2"	FilipeFlop	1	R\$ 119,90	R\$ 119,90
CC13	Teclado	<i>Adkeypad</i> 5 Botões	MSS Eletrônica	1	R\$ 12,90	R\$ 12,90
CC14	ClIs Mux/Demux	CD4051	Hu Infinito	11	R\$ 1,25	R\$ 13,75
CC15	Ponte H	L298N	FilipeFlop	1	R\$ 22,90	R\$ 22,90
CC16	<i>Driver</i> Solenoides/Atuador	IRF520N	Baú da Eletrônica	33	R\$ 8,46	R\$ 279,18
CC17	<i>Driver</i> Motor de Passo	A4988	Baú da Eletrônica	5	R\$ 17,90	R\$ 89,50
CC18	Cabo IDE fêmea/fêmea	x	Mercado Livre	1	R\$ 11,90	R\$ 11,90
CC19	Cabo USB tipo A / tipo C	Xiaomi (1 metro)	Mercado Livre	1	R\$ 25,00	R\$ 25,00
CC20	Pormenores	x	x	x	x	R\$ 250,00
CC						R\$ 1.893,48

ID	Componente	Modelo	Fornecedor	Qtd.	Preço R\$	
					Unitário	Final
CA1	Controlador de Carga	12V	Mercado Livre	1	R\$ 70,99	R\$ 70,99
CA2	Bateria	12V	Mercado Livre	1	R\$ 74,99	R\$ 74,99
CA3	Fonte de alimentação chaveada	12V	Mercado Livre	1	R\$ 128,00	R\$ 128,00
CA4	Motor de passo	KTC-42HS40-0404	Kalatec Automação	5	R\$ 275,00	R\$ 823,45
CA5	Push Pull Solenoide	12 V	Mercado Livre	25	49,98	R\$ 1249,50
CA6	Motor DC	6V	FelipeFlop	1	R\$13,90	R\$ 13,90
CC7	Mini Trava Elétrica Solenóide	12V	FilipeFlop	2	R\$ 39,90	R\$ 79,80
CA8	Atuador linear elétrico	100mm Stroke	AliExpress	1	R\$ 90,95	R\$ 90,95
CA9	Diodo	1N5404	Baú da eletrônica	4	R\$ 0,36	R\$ 1,44
CA10	Fusível de Vidro 5x20	2,5 A - 250 V	Baú da eletrônica	1	R\$ 0,15	R\$ 0,15
CA11	Bateria	Lítio-íon	Aegis	1	R\$ 773,64	R\$ 773,64
CA12	Relé	DNI 7586	Extra	1	R\$ 5,60	R\$ 5,60
CA13	Cabos	Cabo Flexível	Mercado Livre	80 metros	R\$ 145,20	R\$ 290,40
CA14	Plugue	108-1	Mercado Livre	1	R\$ 21,00	R\$ 21,00
CA15	Conversor Step up	12/13,8V	Mercado Livre	1	R\$ 33,90	R\$ 33,90
CA16	Conversor Step down	XL4016	Auto core robótica	1	R\$ 54,90	R\$ 54,90
CA17	Conversor Step down	XL4016	Auto core robótica	1	R\$ 54,90	R\$ 54,90
CA18	Canaleta	DUTO-PLAST	Anhanguera ferramentas	9 metros	R\$ 29,60	R\$ 148,00
CA19	Bloco terminal	SBLSBR	Aliexpress	1	R\$ 50,81	R\$ 50,81
CA20	Condutor	Molex KK	Mercado Livre	39	R\$ 27,44	R\$27,44
CA21	Condutor	Bone	Mercado Livre	39	R\$ 27,44	R\$27,44
CA						R\$ 3.993,76
CS1	Conta desenvolvedor na Play Store	x	Google	1	R\$ 133,25	R\$ 133,25
CS2	Serviço em Nuvem	16GB RAM e 25GB SSD	One Click Hosting	1	R\$ 139,90	R\$ 139,90
CS						R\$ 273,15
CE1	Tubos de perfil quadrado	Aço 1020 50x50x1,5	Obramax	15m	R\$ 16,15/m	R\$ 242,25
CE2	Mancais de suporte dos fusos	DI 23 mm	Mercado livre	5	R\$ 29,00	R\$ 145,00
CE3	Chapas de aço dos suportes dos motores de passo	Aço 100x60x1,5	Aladim Metais	5	R\$ 9,86	R\$ 49,30
CE4	Rolamento para os fusos	DE 32 mm DI 26 mm L 4mm	Mercado Livre	5	R\$ 28,90	R\$ 144,50
CE5	Chapa de aço para suporte do atuador	Aço 200x100x1,5 mm	Aladim Metais	1	R\$ 19,70	R\$ 19,70
CE6	Cantoneira perfil circular	Aço 29x29 300 mm	BAGLINOX	4	R\$ 5,97	R\$ 23,88
CE7	Chapas da carcaça externa	Aço 1560x1047x1 mm	Aladim Metais	4	R\$ 70,00	R\$ 323,00

ID	Componente	Modelo	Fornecedor	Qtd.	Preço R\$	
					Unitário	Final
CE8	Engrenagens de suporte da esteira	Nylon, RD 21, CR38	Unirons	4	R\$ 57,52	R\$ 280,00
CE9	Eixos de suporte da esteira	Nylon, 89 mm	Mercado livre	3	R\$ 7,80	R\$ 23,40
CE10	Esteira comercial de Acetal	CC38-82	Unirons	3 mts	R\$ 88,90/mt	R\$ 270,00
CE11	Chapas do reservatório de copos	Aço 300x60x1,5 mm	Aladim metais	4	R\$ 28,50	R\$ 114,00
CE12	Fusos mecânicos de plástico	Tarugo D16 mm L1 m	Plastecno	5	R\$ 20,00	R\$ 100,00
CE13	Copo para medicamentos de PE	Protótipo em ABS	3D Hubs	10	R\$ 23,94	R\$ 239,40
CE14	Rampa seletora de medicamentos	Protótipo em ABS	3D Hubs	25	R\$ 13,09	R\$ 327,25
CE15	Plataforma de seleção	Protótipo em ABS	3D Hubs	25	R\$ 12,55	R\$ 313,75
CE16	Engrenagem helicoidal com eixo	Protótipo em ABS	3D Hubs	25	R\$ 11,23	R\$ 280,75
CE17	Compartimento inferior do contêiner	Protótipo em ABS	3D Hubs	25	R\$ 30,49	R\$ 762,25
CE18	Suporte da engrenagem do contêiner	Protótipo em ABS	3D Hubs	25	R\$ 8,57	R\$ 214,25
CE19	Comporta do solenoide	Protótipo em ABS	3D Hubs	25	R\$ 4,42	R\$ 110,50
CE20	Base para fixação do contêiner	Protótipo em ABS	3D Hubs	25	R\$ 20,70	R\$ 517,50
CE21	Chapas para confecção das paredes do contêiner	Aço inox 304 262x100x0,7 mm	Mercado Livre (TIAGOC11)	25	R\$ 7,20	R\$ 180,00
CE22	Mangueiras de Silicone	16 mm x 20 mm 2 m	Mercado livre	3	R\$ 39,90	R\$ 119,70
CE23	Funil de Direcionamento	Aço Inox 17,7x15x1,5	Mercado Livre	1	R\$ 26,60	R\$ 26,60
CE24	Canaletas finais	660 mm x 32 mm x 259 mm x 378 mm	Mercado Livre	5	R\$ 276,60	R\$ 1383,00
CE25	Rolamento de rolos de agulhas	PXKA NKI 20/16	AliExpress	25	R\$33,92	R\$ 848,00
CE26	Chapas de suporte dos componentes elétricos	Chapa de aço SAE 1020 Espessura 1mm	Aladim Metais	2	R\$ 40,00	R\$ 80,00.
CE					R\$ 7.138,00	
Total					R\$ 13.298,39	

11 Riscos

O plano de risco tem como objetivo descrever quais são os riscos do projeto e como eles serão monitorados e controlados ao longo das *sprints*, visando entender seus impactos e procurando formas de mitigar esses possíveis riscos.

A Estrutura Analítica de Riscos (EAR) facilita a identificação dos riscos em projetos. Dessa forma, tem por função mostrar as principais categorias de riscos para um projeto, servindo como guia para análise do contexto, da documentação e para o questionamento das partes interessadas, buscando ganho de tempo na identificação dos riscos. Os riscos podem ser divididos nas seguintes categorias:

- Técnicos: Envolve os requisitos, a tecnologia, as ferramentas, a infraestrutura e a operação;
- Projeto: Envolve estratégia, estrutura e prioridade de processos;
- Externos: Envolve fornecedores, legislação e condições ambientais;
- Produto: Envolve mudanças no escopo, prazo, custos, falta e/ou inadequações dos recursos humanos, interesse das partes e comunicação.

11.1 Análise Quantitativa de Riscos

A análise quantitativa tem por objetivo a priorização e categorização dos riscos, de acordo com 2 métricas:

- Probabilidade: chances de um risco ocorrer. Sendo assim, a probabilidade de ocorrência de cada risco é quantificada a partir dos intervalos de Muito Baixa, Baixa, Média, Alta e Muito Alta, representado pela porcentagem na Tab. 43.

Tabela 43 – Probabilidade do Risco

Probabilidade	Certeza	Peso
Muito baixa	0 a 20 %	1
Baixa	20 a 40 %	2
Média	40 a 60 %	3
Alta	60 a 80 %	4
Muito Alta	80 a 100 %	5

- Impacto: O quanto o risco impacta no projeto. Sendo assim, o impacto é quantificado a partir dos intervalos de Muito Baixo, Baixa, Médio, Alto e Muito Alto, representado com a descrição na Tab. 44.

Tabela 44 – Impacto do Risco

Impacto	Descrição	Peso
Muito baixo	Pouco Expressivo	1
Baixo	Pouco Impacto	2
Médio	Impacto Médio	3
Alto	Grande Impacto	4
Muito Alto	Impacto impede o prosseguimento do projeto	5

O grau de risco é definido pela multiplicação da probabilidade pelo impacto. A Tab. 45 explicita a correspondência do valor numérico com a prioridade.

Tabela 45 – Prioridade do Risco

Ip	Muito Baixa	Baixa	Média	Alta	Muito Alta
Muito Baixa	1	2	3	4	5
Baixa	2	4	6	8	10
Média	3	6	9	12	15
Alta	4	8	12	16	20
Muito Alta	5	10	15	20	25

Sendo que:

Risco ≥ 15 : Elevado

$5 < \text{Risco} < 15$: Médio

$\text{Risco} = < 5$: Baixo

11.2 Descrição dos Riscos

11.2.1 Riscos do Projeto, Externos e do Produto

Tabela 46 – Risco de Projeto

ID	Risco	Consequência
1	Mudança Arquitetônica	Gera retrabalho, como alteração nas soluções já elaboradas do projeto
2	Mudança de Escopo	Alteração no cronograma e refatoração dos requisitos e da documentação
3	Falha na Comunicação	Gera erros e perdas de informação
4	Imaturidade na gerência	Diminui qualidade das entregas, aumenta o custo do projeto, afeta o planejamento, atrasando as atividades planejadas. Exige refatoração de artefatos
5	Desistência de membros	Sobrecarga dos membros remanescentes, redistribuição de tarefas
6	Descomprometimento da Equipe	Falhas na entrega, desgaste nos membros comprometidos gera falta de qualidade nas entregas
7	Erro de Priorização	Estimativa de produtividade e refatorações

Tabela 47 – Riscos Externos

ID	Risco	Consequência
8	Greve na Unb	Viabilidade do projeto
9	Integrante ficar doente	Tarefas não feitas
10	Dificuldade de comunicação com as clínicas geriátricas durante a pandemia	Dificuldade no levantamento dos requisitos do cliente

Tabela 48 – Riscos de Produto

ID	Risco	Consequência
11	Solução não atende as expectativas do usuário final	Erro na parte da elicitação de requisitos, retrabalho para refatorar documentos e código
12	Umidade relativa externa elevada	Perda da efetividade medicamentosa
13	Exposição a agentes patológicos no ambiente	Medicamento contaminado

Tabela 49 – Riscos e Ações

ID	Ação	Ação Reativa	Probabilidade	Impacto	Prioridades
1	Mitigar	Pensamento crítico à respeito da arquitetura e procurar professores e outros suportes para a sua construção	3	5	15
2	Prevenir	Validando constantemente com os <i>stakeholders</i>	3	4	12
3	Prevenir	Realizando sempre todos os rituais e incentivando a comunicação por <i>issue</i>	5	5	25
4	Mitigar	Mantendo o pensamento critico e estratégico à respeito das métricas coletadas e realizando todos os rituais	3	4	12
5	Aceitar	Realocação de tarefas	2	4	8
6	Prevenir	Mostrar o propósito de suas ações, trazendo a sensação de responsabilidade, além de aproximar o time na tomada de decisão	4	5	20
7	Prevenir	Utilizando técnicas de priorização e estar constantemente reavaliando a priorização	3	3	9
8	Aceitar	Reavaliar planejamento do projeto	1	5	5
9	Aceitar	Replanejar as tarefas e, se possível, dar um suporte maior à pessoa doente	3	2	6
10	Mitigar	Buscar artigos, protocolos e normas farmacêuticas	4	3	12
11	Prevenir	Deve ser evitado, realizando uma pesquisa de mercado e avaliando o interesse do público alvo na aplicação	2	4	8
12	Prevenir	Avisos indicando a umidade dentro da máquina e vedação dos compartimentos para o armazenamento de remédios	2	4	8
13	Prevenir	Usar equipamento de proteção individual (EPIs) e destacar os medicamentos sólidos do blister em uma sala estéril	2	5	10

11.2.2 Riscos Técnicos

- Riscos Estruturais

Tabela 50 – Riscos Técnicos Estruturais

ID	Risco	Consequência
1	Estrutura não suportar as cargas estáticas	Falha estrutural geral
2	Fixação inadequada dos componentes da estrutura	Impossibilidade de operar
3	Contêiner de medicamentos impede que eles sejam liberados	Rotação permanente do motor de passo dos contêineres
4	Falha das Engrenagens do mecanismo de seleção presente nos contêineres	Funcionamento incorreto do modelo, medicação pode ficar presa no contêiner
5	Falha nos suportes ou mancais dos eixos do sistema de seleção	Funcionamento incorreto do motor de fuso

ID	Risco	Consequência
6	Falha dos eixos das engrenagens do sistema de seleção	Funcionamento incorreto da seleção de medicamentos
7	Sistema de seleção integrado ao contêiner dos medicamentos não permite sua correta higienização	Impossibilidade de realizar manutenção periódica, risco biológico aos usuários
8	Sistema de seleção dos comprimidos não consegue liberar toda a medicação presente no recipiente	Funcionamento perpétuo do motor de fuso
9	Falha na interação entre o fuso do mecanismo de seleção dos remédios e as engrenagens	Desgaste físico do equipamento por mau funcionamento
10	Falta de lubrificação dos elementos rotativos	Desgaste prematuro dos componentes
11	Exposição à umidade e calor aos medicamentos	Degradação dos medicamentos antes do prazo
12	Suportes, mancais e rolamentos apresentam problemas de dimensionamento ou ausência de lubrificação	Obstrução do movimento dos elementos engrenagens, eixos ou fusos
13	Elaboração inadequada do cone de direcionamento	Dutos não conseguem conduzir os comprimidos dispensados até o recipiente
14	Desvio das correntes unifilares da esteira	Funcionamento incorreto que pode levar a queda do copo no movimento da esteira
15	Copos ficam presos no reservatório de copos	Perca dos medicamentos dentro dos compartimentos internos e risco biológico aos usuários
16	Copos inclinam após a ejeção do copo pelo atuador	Copo pode girar e cair em local indesejado

Tabela 51 – Análise dos Riscos e Ações Estruturais

ID	Ação	Ação Reativa	Probabilidade	Impacto	Prioridades
1	Prevenir	Dedicar tempo para seleção adequada de materiais e fazer simulações de desempenho estrutural	1	5	5
2	Prevenir	Simulações estruturais da dinâmica da máquina para averiguar o funcionamento correto dos componentes	3	5	15
3	Prevenir	Avaliação adequada das dimensões dos comprimidos e garantir tolerâncias que possibilitem a queda	2	5	10
4	Mitigar	Fazer conformidade via simulação numérica para resistências e atribuir valores adequados de cotagem e tolerâncias, além de realizar manutenções preventivas	1	5	5

ID	Ação	Ação Reativa	Probabilidade	Impacto	Prioridades
5	Mitigar	Fazer conformidade via simulação numérica para resistências e atribuir valores adequados de cotagem e tolerâncias, além de realizar manutenções preventivas	1	5	5
6	Mitigar	Fazer conformidade via simulação numérica para resistências e atribuir valores adequados de cotagem e tolerâncias, além de realizar manutenções preventivas	1	5	5
7	Prevenir	Elaboração adequada do arranjo de contêineres e componentes eletrônicos, a fim de permitir limpeza correta	3	5	15
8	Prevenir	Elaborar estrutura de giro adequada que garanta varredura completa do contêiner	3	5	15
9	Prevenir	Assegurar montagem e operação correta por manutenções preventivas	1	5	5
10	Prevenir	Verificação de material adequado para operação, assim como manutenções preventivas	1	3	3
11	Prevenir	Garantir estrutura com isolamento adequado para os contêineres	1	5	5
12	Prevenir	Atribuir valores adequados de cotagem e tolerâncias, e realizar manutenções preventivas	1	5	5
13	Prevenir	Garantir solução com geometria adequada para queda	1	5	5
14	Mitigar	Assegurar funcionamento correto, via manual de instalação, e fazer manutenções preventivas	1	3	3
15	Prevenir	Garantir espaçamento através de cotas suficientemente grandes, para evitar obstrução do reservatório	1	3	3
16	Prevenir	Garantir espaçamento suficientemente pequeno, para evitar rotação do copo	1	3	3

• Riscos Eletrônicos

Tabela 52 – Riscos Técnicos Eletrônicos

ID	Risco	Consequência
1	Falha no sensoriamento	Perda de dados essenciais
2	Falha no Barramento de dados	Perda da comunicação com sensores ou atuadores
3	Falha na comunicação de internet	Perda de alguns recursos do Aplicativo <i>Mobile</i>
4	Falhas no sistema de alimentação dos componentes eletrônicos	Perda de todas as funcionalidades
5	Falha no sistema de controle central	Perda de todas as funcionalidades
6	Falha na autentificação por biometria	Não abertura das portas de armazenamento e retirada do medicamento

ID	Risco	Consequência
7	Falha no controle dos atuadores	Perda da capacidade de transporte de medicamento
8	Corromper banco de dados local	Perda de dados atualizados
9	Falha da obtenção de imagens	Perda da capacidade de verificar a dose medicamentosa
10	Curto Circuito	Mal funcionamento de todas as funções
11	Interferência Eletromagnética	Inconsistência no funcionamento do sistema
12	Processamento Errado das imagens	Ministração de doses erradas para o paciente

Tabela 53 – Análise dos Riscos e Ações Eletrônicos

ID	Ação	Ação Reativa	Probabilidade	Impacto	Prioridades
1	Mitigar	Desenvolver testes individuais para os sensores e desenvolver um sistema de avisos	2	5	10
2	Mitigar	Desenvolver um sistema de avisos	3	5	15
3	Mitigar	Guardar dados necessários e enviar quando a conexão for reestabelecida	4	3	12
4	Prevenir	Assegurar dimensionamento correto dos parâmetros desejados	1	5	5
5	Prevenir	Manter condições ambientais para o bom funcionamento da <i>Raspberry</i>	2	5	10
6	Mitigar	Possibilitar a releitura da digital	3	4	12
7	Prevenir	Desenvolvimento de circuito de proteção	2	5	10
8	Mitigar	Restaurar banco de dados do servidor	2	3	6
9	Prevenir	Avisar inconsistências na imagem da câmera	3	5	15
10	Mitigar	Realizar manutenção da máquina	2	5	10
11	Prevenir	Blindar máquina contra interferência eletromagnética externa	1	4	4
12	Prevenir	Desenvolver sistema robusto de classificação	2	5	10

• Riscos Energéticos

Tabela 54 – Riscos Técnicos Energéticos

ID	Risco	Consequência
1	Mau funcionamento da fonte principal de alimentação	Falha na execução do <i>firmware</i> ; Falhas nas leituras dos sensores
2	Sobrecarga elétrica	Danificar o sistema elétrico do equipamento
3	Falha ou perda de desempenho da bateria	Desligamento brusco do equipamento
4	Falha no driver da solenoide	Falha no funcionamento do solenoide e do atuador elétrico
5	Falha no motor de operação dos compartimentos	Atraso na entrega dos medicamentos.
6	Superdimensionamento dos dispositivos de proteção	Sobreaquecimento e risco de incêndios e acidentes em geral

ID	Risco	Consequência
7	Falha no sistema de carregamento da bateria	Não acionamento da bateria
8	Falha na solenoide de abertura da porta de saída	Registro indevido da entrega de medicamentos
9	Falha no motor DC	Travamento da esteira
10	Subdimensionamento dos cabos	Aquecimento dos condutores

Tabela 55 – Riscos e Ações Energéticos

ID	Ação	Ação Reativa	Probabilidade	Impacto	Prioridades
1	Prevenir	Realizar o diagnóstico de falha	2	5	10
2	Prevenir	Verificar a tomada em que o aparelho está ligado/ Verificar sistema de proteção do circuito	1	5	5
3	Prevenir	Realizar supervisão do sistema de proteção	2	5	10
4	Prevenir	Realizar diagnóstico de falhas e rotinas de testes	1	4	8
5	Prevenir	Realizar diagnóstico de falhas e rotinas de testes	3	5	15
6	Prevenir	Realizar corretamente o dimensionamento	2	4	8
7	Prevenir	Realizar manutenção do equipamento	2	4	8
8	Prevenir	Realizar diagnóstico de falhas e rotinas de testes	2	5	10
9	Prevenir	Realizar diagnóstico de falhas e rotinas de testes	2	5	10
10	Prevenir	Realizar corretamente o dimensionamento	2	5	10

- Riscos em *Software*

Tabela 56 – Riscos Técnicos de Software

ID	Risco	Consequência
1	Dificuldade com as tecnologias adotadas	Não respeito ao prazo e redução da qualidade de entrega
2	Atraso nas entregas	Planejamento não se cumpre e ocorre um aumento do prazo
3	Hospedagem cara ou com custos	Impossibilidade de hospedar aplicação
4	Falha na priorização dos requisitos	Retrabalho e prolongamento do tempo de desenvolvimento planejado
5	Falta de conhecimento em hospedagem de microsserviços	Dificuldades para hospedagem da aplicação
6	Falta de <i>Docker</i>	Equipe com dificuldades de subir a aplicação em sua máquina pessoal e atraso do planejamento

ID	Risco	Consequência
7	Novos requisitos	Replanejamento e Repriorização do Projeto
8	Falta de adaptação da linguagem	Maior tempo para entrega das atividades, devido ao tempo dedicado ao estudo da linguagem
9	Falta de testes unitários	A funcionalidade pode apresentar defeitos que inicialmente não foram identificados
10	Integração entre <i>Raspberry</i> e <i>backend</i> não funcionar	não tem como ser atualizado os locais dos medicamentos, nem enviadas as medicações que deverão ser entregues em determinado horário
11	Servidor em nuvem não estar disponível 24h	limitar o aplicativo com funcionalidades locais, onde não necessite usar o servidor

Tabela 57 – Análise dos Riscos e Ações de Software

ID	Ação	Ação Reativa	Probabilidade	Impacto	Prioridades
1	Mitigar	Promover treinamentos, conteúdo online, programação pareada entre os membros	4	4	16
2	Prevenir	Realizando os rituais e observando ao longo da <i>sprint</i> as maiores dificuldades do time de desenvolvimento	3	4	12
3	Prevenir	Fazendo uma pesquisa de mercado, onde vamos identificar qual empresa terá o melhor custo benefício para nossa necessidade e financeiro	2	3	6
4	Prevenir	Respeitando as etapas de elicitação, utilizando o <i>moscow</i> e alinhando a prioridade com a diretora de qualidade	3	4	12
5	Mitigar	Pesquisando, desde o início do projeto, como faremos a hospedagem de um microsserviço	4	4	16
6	Mitigar	Criar um <i>docker</i> para a <i>API</i> e outro <i>pro front</i> , evitando que tenhamos dependências desatualizadas e ambientes com instalações diferentes	2	5	10
7	Prevenir	Fazer o processo de elicitação utilizando mais de um artefato, comunicar diariamente com as outras áreas técnicas	3	4	12
8	Mitigar	Começar os estudos na tecnologia adotada com antecedência, utilizar tecnologias que a maioria dos membros tem familiaridade	3	4	12
9	Prevenir	Criar um plano de testes, com uma política de <i>commits</i> , no qual a funcionalidade só será adicionada na <i>branch master</i> se possuir os testes	2	5	10
10	Mitigar	fazer a revisão do código, parear com eletrônica, estudar um pouco mais os protocolos de comunicação	3	5	15
11	Prevenir	Contratar o servidor com maior estabilidade e que ofereça o serviço 24/7	2	5	10

12 Legislação

12.1 Registro do Equipamento na ANVISA

Segundo a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), a Farmacopeia Brasileira é o Código Oficial Farmacêutico do país, o qual estabelece especificações e requisitos mínimos de qualidade para fármacos, insumos, drogas vegetais, medicamentos, produtos para a saúde e dispositivos médicos (ANVISA, 2019). O cumprimento dos parâmetros farmacopeicos, quer seja para um artigo produzido em larga escala ou em manipulação individualizada, pode ser o fator preponderante para o resultado positivo de uma terapia racional (PIANETTI, 2016).

Assim, para obter a Certificação do Produto para fins de reconhecimento do equipamento no âmbito do Sistema Brasileiro de Avaliação da Conformidade (SBAC), é necessário seguir as Resoluções da Diretoria Colegiada e Instruções Normativas, conforme a carência do equipamento.

Com base na Resolução da Diretoria Colegiada - RDC Nº 185 de 22 de outubro de 2001, a qual trata do registro, alteração, revalidação e cancelamento do registro de produtos médicos na ANVISA (BRASIL, 2001), é possível enquadrar produtos médicos em um conjunto de 4 classes, conforme o risco associado na utilização do equipamento.

Dessa forma, o produto médico ativo *PillWatcher*, o qual é destinado a administrar medicamentos, foi inserido na Regra 11 e na Classe de Risco II, que são produtos médicos ativos destinados a administrar medicamentos, conforme o anexo A. Além do mais, de acordo a Instrução Normativa - IN Nº 13 de 22 de outubro de 2009, a qual dispõe sobre a documentação para regularização de equipamentos médicos das Classes de Risco I e II, foi possível realizar a ficha técnica do equipamento, o qual é apresentado no apêndice P.

A Resolução RDC nº 249, de 13 de setembro de 2005 do Regulamento Técnico das Boas Práticas de Fabricação de Produtos Intermediários e Insumos Farmacêuticos Ativos (BRASIL, 2005), garante que os fabricantes assegurem que os produtos sejam adequados para o uso pretendido e que estejam de acordo com os requisitos de identidade, pureza e segurança, baseando-se nas políticas de qualidade pré-estabelecidas na Resolução RDC nº 304, de 17 de setembro de 2019.

12.2 Segurança no SDMDU

O Sistema de Distribuição de Medicamentos por Dose Unitária (SDMDU), utilizado no projeto *PillWatcher*, garante maior segurança e eficiência, pois não requer manipulação do medicamento pelo enfermeiro e permite o acompanhamento farmacoterápico do usuário, diminuindo erros associados. Assim, os dados de identificação (nome do produto, concentração do princípio ativo, nº de registro, lote, prazo de validade etc.) deverão constar na unidade individualizada do medicamento.

Entretanto, o processo de unitizar as doses de suas embalagens primárias para uma embalagem secundária pode pôr a qualidade dos medicamentos em risco, comprometendo sua estabilidade e sua validade. Ao retirar do blister os comprimidos, cápsulas e drágeas, e os submeter a uma nova embalagem, a droga fica exposta ao material utilizado. Por isso, dois fatores importantes devem ser considerados: umidade (que pode causar a desestabilização química, caso o fármaco seja sensível a hidrólise e oxidação) e aumento da temperatura (que aumentará a permeabilidade dos gases através da embalagem) ([JARA, 2012](#)). Assim, para realizar o processo de unitização, é necessário a utilização de luvas (troca a cada produto), máscaras e recipientes (bandejas plásticas/aço) cobertos com compressas previamente esterilizadas ([MARTINS; PEREIRA; SILVA, 2012](#)).

Dessa forma, para garantir a integridade do medicamento no processo de remoção do blister, foi criada a RDC Nº 80, de 11 de maio de 2006, a qual dispõe boas práticas para o processo de fracionamento do medicamento em farmácias e drogarias. Contudo, esse regulamento técnico não se aplica aos estabelecimentos de atendimento privativo de unidade hospitalar ou de qualquer outra equivalente de assistência médica. Da mesma forma, tem-se também o Decreto nº 5.775, de 10 de maio de 2006, o qual dispõe sobre o fracionamento de medicamentos. Além do mais, o anexo IV da RDC Nº 67/2007 estabelece os requisitos do preparo de doses unitária e unitização de doses de medicamentos em serviços de saúde.

No Brasil, há falta de políticas que regulamentem o uso dos medicamentos, e tem-se a incapacidade dos órgãos públicos em gerenciar informações acerca das reações adversas aos medicamentos ([JARA, 2012](#)). Assim, estão sendo propostas novas normas para as instituições que necessitam realizar o processo de remoção do blister, as quais devem utilizar as normas do setor farmacêutico industrial, normas de fracionamento de medicamentos de farmácia e drogarias, normas de manipulação de medicamentos, entre outras, que regulam o setor farmacêutico, para assegurar as Boas Práticas Farmacêuticas aos produtos oferecidos aos usuários.

13 Considerações Finais

Este trabalho foi desenvolvido no contexto da disciplina Projeto Integrador 2, na Universidade de Brasília (UnB) no Campus da Faculdade do Gama (FGA), e este documento consiste no último ponto de controle da matéria.

A partir desse projeto, tem-se a possibilidade de desenvolver trabalhos futuros para outros públicos alvos como hospitais, UPAs (Unidade de Pronto Atendimento) e clínicas, com a finalidade de facilitar o gerenciamento da medicação.

Além do mais, é viável associar, com algumas alterações, esse projeto com um equipamento que faça o recorte de cada comprimido presente na cartela, substituindo, assim, a tarefa de fracionamento manual realizada pelos colaboradores.

Algumas ideias para implementação futura são a criação, no aplicativo, de avisos do controle de estoque de medicamentos e a permissão da família do residente do lar de idosos acompanharem o histórico de medicações administradas ao paciente.

Referências

- AMRON. *Technical Explanation for Photoelectric Sensors*. <http://www.ia.omron.com>, 2018. [Online; accessed 10-Setembro-2020]. Disponível em: <http://www.ia.omron.com/data_pdf/guide/43/photoelectric_tg_e_8_4.pdf>. Citado na página 78.
- ANSI/IPC. Ipc-2221a generic standard on printed board design. *Association Connecting Electronics Industries*, 2003. Citado na página 111.
- ANVISA. *Farmacopeia Brasileira*. Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 2019. [Online; accessed 30-Outubro-2020]. Disponível em: <<https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/farmacopeia/farmacopeia-brasileira/arquivos/7985json-file-1>>. Citado na página 214.
- ASKELAND, D. R.; WRIGHT, W. J. Ciência e engenharia dos materiais. p. 338–362 and 426–458, 2019. Citado 3 vezes nas páginas 10, 43 e 44.
- AZEVEDO, A. M. C. de. *PROJETO FONTE CHAVEADA FORWARD*. 2016. Citado na página 138.
- BARBI, I. Projeto de fontes chaveadas. 2001. Citado na página 130.
- BESKO, M.; BILYK, C.; SIEBEN, P. G. *Aspectos técnicos e nocivos dos principais filamentos usados em impressão 3D*. 2017. Disponível em: <<http://www.opet.com.br/faculdade/revista-engenharias/pdf/n3/Artigo2-n3-Bilyk.pdf>>. Citado 2 vezes nas páginas 45 e 46.
- BHATTACHARYA, D. K. Failures of welded joints. *NML JAMSHEDPUR*, v. 1, n. 4, p. 212–200, 1997. Citado na página 65.
- BLAABJERG FREDE, e. *Control of Power Electronic Converters and Systems*. 2018. Citado 4 vezes nas páginas 5, 133, 135 e 136.
- BRASIL. *Resolução - RDC N. 185, de 22 de outubro de 2001*. Diário Oficial da União, 2001. [Online; accessed 30-Outubro-2020]. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2001/rdc0185_22_10_2001.pdf>. Citado na página 214.
- BRASIL. *Resolução - RDC N. 249, de 13 de setembro de 2005*. Diário Oficial da União, 2005. [Online; accessed 31-Outubro-2020]. Disponível em: <http://www.lex.com.br/doc_515066_RESOLUCAO_N_249_DE_13_DE_SETEMBRO_DE_2005.aspx>. Citado na página 214.
- BRASIL. *Resolução - RDC n.304 de 17 de setembro de 2019*. Diário Oficial da União, 2019. [Online; accessed 29-Agosto-2020]. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/web/dou/-/resolucao-rdc-n-304-de-17-de-setembro-de-2019-216803526>>. Citado na página 21.

- CALLISTER, W. D. *Ciência e engenharia de materiais : uma introdução*. [S.l.]: Pearson Education, 2016. 912 p. Citado 4 vezes nas páginas 10, 44, 45 e 69.
- CAMARANO, A. A. et al. Condições de funcionamento e infraestrutura das instituições de longa permanência para idosos no brasil. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), 2011. Citado na página 19.
- DEVMEDIA. *Modelo Entidade Relacionamento (MER) e Diagrama Entidade-Relacionamento (DER)*. devmedia.com.br/, 2014. [Online; accessed 07-Outubro-2020]. Disponível em: <<https://www.devmedia.com.br/modelo-entidade-relacionamento-mer-e-diagrama-entidade-relacionamento-der/14332>>. Citado na página 160.
- DRAMBLE, R. P. *microSD Card Benchmarks*. 2020. [Online; accessed 5-Outubro-2020]. Disponível em: <<https://www.pidramble.com/wiki/benchmarks/microsd-cards>>. Citado na página 88.
- EDUCBA. *Is MySQL a Relational Database / Steps to Install MySQL DataBase*. Educba.com, 2020. [Online; accessed 03-Setembro-2020]. Disponível em: <<https://www.educba.com/mysql-relational-database>>. Citado na página 155.
- ENGPRESS. *Mosquitto – Entenda suas funcionalidades e vantagens!* engprocess.com.br/, 2018. [Online; accessed 10-Outubro-2020]. Disponível em: <<https://engprocess.com.br/mosquitto/>>. Citado na página 188.
- ERICKSON, R. *DC-DC power converters*. 1999. Citado 4 vezes nas páginas 5, 135, 136 e 137.
- FEEC, U. *RETIFICADORES NÃO-CONTROLADOS E FATOR DE POTÊNCIA*. 2002. Citado na página 133.
- FILHO, F. M. d. A. et al. Administração de medicamentos: conhecimento de enfermeiros do setor de urgência e emergência. 2011. Citado na página 21.
- FREIRE, C. C. *Adesão e condições de uso de medicamentos por idosos*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2009. Citado na página 21.
- FREITAS, A. V. da S.; NORONHA, C. V. Uso de medicamentos em idosos que residem em uma instituição de longa permanência. *Estudos Interdisciplinares sobre o Envelhecimento*, v. 18, n. 1, 2013. Citado na página 19.
- FREITAS, T. et al. Idosos e família: asilo ou casa. *O portal dos psicólogos*, 2006. Citado na página 19.
- GIMENES, F. R. E. Administração: não basta usar, é preciso conhecer a maneira correta. *Uso Racional de Medicamentos: fundamentação em condutas terapêuticas e nos macroprocessos da Assistência Farmacêutica*. Brasília: OPAS/OMS, 2016. Citado na página 19.
- GONÇALVES., N. D. F. Método dos volumes finitos em malhas não-estruturadas. *Universidade do Porto*, v. 1, n. 1, p. 13–26, 2007. Citado na página 57.

- GROUP, S. *O uso do Aço inox em ambiente hospitalar*. 2019. [Online; accessed 20-Agosto-2020]. Disponível em: <<https://steelgroup.com.br>>. Citado na página 43.
- HMC POLYMERS. *PP Grades*. HMC Polymers, 2020. [Online; accessed 31-Outubro-2020]. Disponível em: <<https://www.hmcpolymers.com/pp-grades>>. Citado na página 45.
- IBGE. *Projeções da População*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2020. [Online; accessed 26-Agosto-2020]. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9109-projecao-da-populacao.html?=&t=resultados>>. Citado na página 19.
- IBM. *Modelos e Diagramas UML*. ibm.com/, 2020. [Online; accessed 07-Outubro-2020]. Disponível em: <https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/pt-br/SS5JSH_9.5.0/com.ibm.xtools.modeler.doc/topics/c_models_and_diagrams.html>. Citado na página 162.
- INMANN, D. J. Journal. *Engineering Vibration*. Michigan, USA: Pearson Education, 2014. v. 1. 720 p. Citado 2 vezes nas páginas 65 e 66.
- ISENMANN, A. *Silicones: Síntese, Propriedades e Usos*. 2018. Disponível em: <http://sistemas.timoteo.cefetmg.br/nos/_media/bd:artigotecnico:quimica:silicones_08_2018.pdf>. Citado na página 46.
- JARA, M. C. Unitarização da dose e segurança do paciente: Responsabilidade da farmácia hospitalar ou da indústria farmacêtica? *Instituto de Educação e Pesquisa do Hospital Moinhos de Ventos*, Revista Brasileira de Farmácia Hospitalar e Serviço de Saúde, São Paulo, SP, v. 3, n. 3, 2012. Citado na página 215.
- LUIZ, F. *Avaliação da qualidade da malha*. 2015. [Online; accessed 02-Novembro-2020]. Disponível em: <<http://notasemcfd.blogspot.com/2015/07/avaliacao-da-qualidade-da-malha.html>>. Citado 3 vezes nas páginas 3, 55 e 56.
- MARTINS, E. S.; PEREIRA, F. d. P.; SILVA, L. T. M. Unitarização de doses em farmácia hospitalar. *Infarma*, v. 24, n. 4/6, 2012. Citado na página 215.
- MORTON, J. *The PIC microcontroller: your personal introductory course*. [S.l.]: Elsevier, 2005. Citado na página 89.
- OMS. *Pesquisa e Tecnologia em Saúde*. 2010. [Online; accessed 05-Setembro-2020]. Disponível em: <https://www.paho.org/bra/index.php?option=com_content&view=article&id=551:pesquisa-e-tecnologia-em-saude&Itemid=559>. Citado na página 19.
- PETRY, P. C. A. *Retificadores Monofásicos com Filtro Capacitivo*. 2013. Citado 3 vezes nas páginas 133, 134 e 281.
- PIANETTI, G. A. Registro e autorização: atendimento aos requisitos mínimos de qualidade, eficácia e segurança. *Uso Racional de Medicamentos: fundamentação em condutas terapêuticas e nos macroprocessos da Assistência Farmacêutica*, OPAS/OMS Brasília, DF, v. 1, n. 6, 2016. Citado na página 214.

- PINTO, V. B. Armazenamento e distribuição: o medicamento também merece cuidados. *Uso Racional de Medicamentos: fundamentação em condutas terapêuticas e nos macroprocessos da Assistência Farmacêutica*, OPAS/OMS Brasília, DF, v. 1, n. 12, p. 978–985, 2016. Citado na página 76.
- PIZZOL, T. d. S. D. et al. Uso de medicamentos entre idosos residentes em áreas urbanas e rurais de município no sul do brasil: um estudo de base populacional. *Cadernos de Saúde Pública*, SciELO Public Health, v. 28, p. 104–114, 2012. Citado na página 19.
- RODRIGUES L. N. C.; FERRAZ, H. G. Embalagem farmacêutica tipo blíster: escolha de um filme adequado para fármacos sensíveis à umidade. *Revista Analytica*, v. 1, n. 1, p. 80–86, 2007. Citado na página 44.
- SANTOS, G. D. Projeto de elevador residencial. 2016. Citado na página 126.
- SEIDEL, L. G. *Metalografia e ensaios de tração nos aços 1020 e 1045*. 2016. Disponível em: <<https://www.webartigos.com/storage/app/uploads/public/588/508/1b1/5885081b14d0b557128974.pdf>>. Citado na página 43.
- SERVICES, A. W. *O que é o armazenamento em nuvem?* aws.amazon.com/, 2020. [Online; accessed 03-Setembro-2020]. Disponível em: <<https://aws.amazon.com/pt/what-is-cloud-storage>>. Citado na página 155.
- SHAPIRO, N. H. e. a. *Introdução à Engenharia de Sistemas Térmicos*. [S.l.]: John Wiley And Sons, Inc., 2005. 618 p. Citado na página 69.
- SHIGLEY, J. E.; MISCHKE, C. R.; BUDYNAS, R. G. *Projeto de engenharia mecânica*. [S.l.]: Bookman, 2005. Citado 4 vezes nas páginas 10, 50, 52 e 53.
- SOUZA, N. O. D.; MAGALHÃES, M. S. Comparação da estabilidade do medicamento hidroclorotiazida entre formas de armazenamento domiciliar com as especificações do fabricante. 2018. Citado na página 21.
- STA, S. e T. A. *Manual das Baterias Recarregáveis, Pilhas e Carregadores*. 2018. [Online; accessed 03-Setembro-2020]. Disponível em: <<https://www.sta-eletronica.com.br/resources/downloads/manual.pdf>>. Citado na página 140.
- STARZHINSKY, V. E. Polymeric gears. In: *Encyclopedia of Tribology*. [S.l.]: Springer, 2013. Citado 2 vezes nas páginas 53 e 54.
- SWALLOWE, G. M. *Mechanical Properties and Testing of Polymers: An A-Z Reference*. [S.l.]: Springer-Science & Business Media, 1999. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 45.
- WEBSTER, J. G.; EREN, H. *Measurement, Instrumentation, and Sensors Handbook: Two-Volume Set*. [S.l.]: CRC press, 2018. Citado na página 76.
- ZHANG, Z. Strain modal analysis and fatigue residual life prediction of vibrating screen beam. *JVE International LTD ISSN*, v. 4, n. 4, p. 217–223, 2016. Citado na página 65.

Apêndices

APÊNDICE A – Termo de Abertura do Projeto (TAP)

A.1 Descrição do Projeto

O projeto consiste no gerenciamento da medicação em instituições de longa permanência ,por meio do desenvolvimento do dispensador automático nomeado *PillWatcher*. A logo escolhida consta na Fig. 118, ilustrada abaixo:



Figura 118 – Logomarca

Além do mais, para a descrição do projeto, será utilizada a ferramenta 5W2H, um acrônimo em inglês que se refere às principais perguntas que devem ser respondidas no processo de definição do projeto.

- *What?*(O que) Dispensador automático de comprimidos, drágeas e capsulas.
- *Why?* (Por que) Para evitar erros de armazenamento e administração de medicamentos.
- *Where?* (Onde) Para uso em instituições de longa permanência para idosos e clinicas geriátricas.
- *When?* (Quando) O desenvolvimento será feito nos meses de agosto até dezembro.
- *Who?* (Quem) Grupo de estudantes da Faculdade do Gama de diferentes engenharias, que estão cursando a disciplina de Projeto Integrador 2.

- *How?* (Como) Será desenvolvido um dispositivo com temperatura e umidade interna monitoradas, o qual armazena medicamentos sólidos em contêineres específicos. Além do mais, possui um aplicativo onde pode-se controlar os medicamentos, registros, gerenciamento de doses diárias em horários específicos para múltiplos pacientes, assim como preparar automaticamente doses de vários pacientes em mesmo horário pré-programado. O dispositivo também permite a emissão de histórico de consumo dos medicamentos pelos pacientes.
- *How much?* (Quanto) O custo total do projeto ficou estimado em aproximadamente R\$ 13.300,00.

A.2 Propósito e Justificativa

Percebeu-se que a forma de armazenamento da medicação em instituições de longa permanência e clínicas geriátricas não era eficiente e, em muitos casos, a forma de acondicionamento alterava a vida útil do fármaco. Além do mais, os erros podem ocorrer em qualquer etapa do processo, seja na prescrição, transcrição, distribuição, administração e monitoração das reações adversas. Entretanto, existe um número crescente de erros envolvendo a ministração de medicamentos, o que poderia ser reduzida com a utilização de um dispensador automático de medicamentos.

A.3 Objetivos

O objetivo principal do projeto é desenvolver um produto que seja capaz de gerenciar o uso de medicamentos, armazenar comprimidos, seguindo as condições térmicas e de umidade regulamentadas, e garantir que o dispositivo de uso geral dispense medicamentos na forma sólida e no horário correto pré-estabelecido, de acordo com a prescrição.

A.4 Requisitos

Os principais requisitos de alto nível elicitados para o projeto são:

- Armazenar comprimidos de diferentes formatos, tamanhos e textura;
- Facilidade e segurança no abastecimento do estoque de medicamentos;
- Garantir um ambiente de armazenamento seguro (temperatura, umidade e sem micro-organismos);

- Armazenar comprimidos de, no mínimo, 5 pacientes;
- O dispensador necessita emitir sinais de alerta;
- Assegurar que a dose medicamentosa esteja correta para um paciente específico;
- O sistema deverá notificar os usuários em relação a doses não tomadas;
- Regularidade no horário de ministração de medicamentos;
- O sistema deve ter alguma forma de identificação e comprovação do paciente;
- O dispositivo e o aplicativo deve ter interface de fácil uso;
- Visualização do histórico de medicamentos dos pacientes;
- Facilidade e segurança no abastecimento de medicamento;

A.5 Riscos do Projeto

Tabela 58 – Riscos e Restrições Organizacionais

ID	Ação	Ação Reativa	Probabilidade	Impacto	Prioridades
Desistência da disciplina	Mitigar	Redistribuir atividades e responsabilidades	2	4	8
Inexperiência da equipe	Prevenir	Nivelar o conhecimento entre cada sub-equipe	3	4	12
Alteração no escopo	Mitigar	Optar por soluções que evitem o retrabalho do que já se encontra implementado	3	5	15
Dificuldade de comunicação com as clínicas geriátricas durante a pandemia	Mitigar	Buscar por artigos, protocolos e normas farmacêuticas	4	3	12
Dificuldade na integração do grupo durante a pandemia	Mitigar	Realizar reuniões semanais e <i>daily meeting</i> entre os sub-grupos	1	5	5
Não cumprimento de prazos	Mitigar	Acompanhar o cronograma e comparar os trabalhos realizados com o trabalho planejado	2	5	10

A.6 Marcos do Projeto

Os marcos do projeto são divididos em três pontos de controle. Consequentemente, as datas principais e as respectivas atividades estão presentes na Tab. 59.

Tabela 59 – Marcos do Projeto

Marco	Descrição	Data
Ponto de Controle 1	Definição da problemática, e seu refinamento. Detalhamento da solução e escopo	18/9
Ponto de Controle 2	Modelagem, cálculos, simulação e testes da solução proposta e dos subsistemas que a compõe.	16/10
Ponto de Controle 3	Integração dos subsistemas e desenvolvimento de manuais para o usuário	13/11

A.7 Premissas e Restrições

- O equipamento deve funcionar interligado à rede elétrica;
- O equipamento possuirá um sistema de alimentação secundária (bateria de reserva), que somente em casos emergenciais será acionado;
- O usuário deve ter facilidade no abastecimento de medicamentos;
- O usuário deve ter facilidade em retirar o recipiente do dispensador;
- O usuário deve ter segurança em identificar o recipiente para cada paciente.
- O gerenciamento do dispensador deve ser remoto;
- O dispositivo deve ser fixo;
- Em hipótese alguma o equipamento deve operar em paralelo com o sistema de alimentação principal;
- Não são aceitos medicamentos líquidos, pastosos, injetáveis, meias pílulas, gomas, pílulas em pó, pegajosas ou dissolvíveis.
- O usuário deve conectar o dispositivo na rede mundial de computadores;
- O dispositivo não deverá ser submetido a movimentos bruscos, visto que o mesmo estará com os medicamentos armazenados e dispositivos sensíveis.

A.8 Stakeholders

O projeto vigente possui quatro *stakeholders* identificados: a equipe do projeto, os professores da disciplina, farmacêuticos e as instituições de longa permanência.

- **Equipe de Projeto:**

A equipe é formada por 14 alunos da Universidade de Brasília (UnB) do Campus Gama (FGA), de cursos de Engenharia Aeroespacial, Automotiva, Eletrônica e Software que estão cursando a disciplina Projeto Integrador 2. A equipe tem como responsabilidade comparecer às reuniões, realizar o estudo teórico e de viabilidade do projeto, fornecer ideias de soluções, documentar os passos do projeto e investir tempo e dedicação. Consequentemente, as expectativas da equipe encontram-se no sucesso do projeto, assim como propor uma possível documentação para patentear.

- **Professores da disciplina Projeto Integrador 2:**

O principal papel dos professores em relação ao projeto vigente é fornecer conhecimento teórico e prático, aliados com suas experiências nas engenharias do campus. Além de avaliar e monitorar o desenvolvimento do projeto durante a disciplina. Dessa forma, os professores tem como expectativa o sucesso do projeto e que os alunos obtenham conhecimentos específicos sobre o desenvolvimento de projeto, assim como que tenham uma noção de integração entre as engenharias durante a graduação.

- **Farmacêuticos:**

A principal responsabilidade dos farmacêuticos é fornecer informações essenciais para o grupo definir os requisitos gerais do produto. Assim, a expectativa desse *stakeholder* é garantir que o dispensador siga as normas vigentes para fármacos.

- **Instituições de Longa Permanência para Idosos:**

É responsabilidade das clínicas geriátricas fornecer informações essenciais para definir os requisitos gerais do produto necessários para atender suas expectativas, além de fornecer o *feedback* relevante para implementar melhorias. A principal expectativa se resume em facilitar o armazenamento e a ministração de medicamentos sólidos.

APÊNDICE B – Estrutura Analítica do Projeto

B.1 Estrutura Analítica por Ponto de Controle

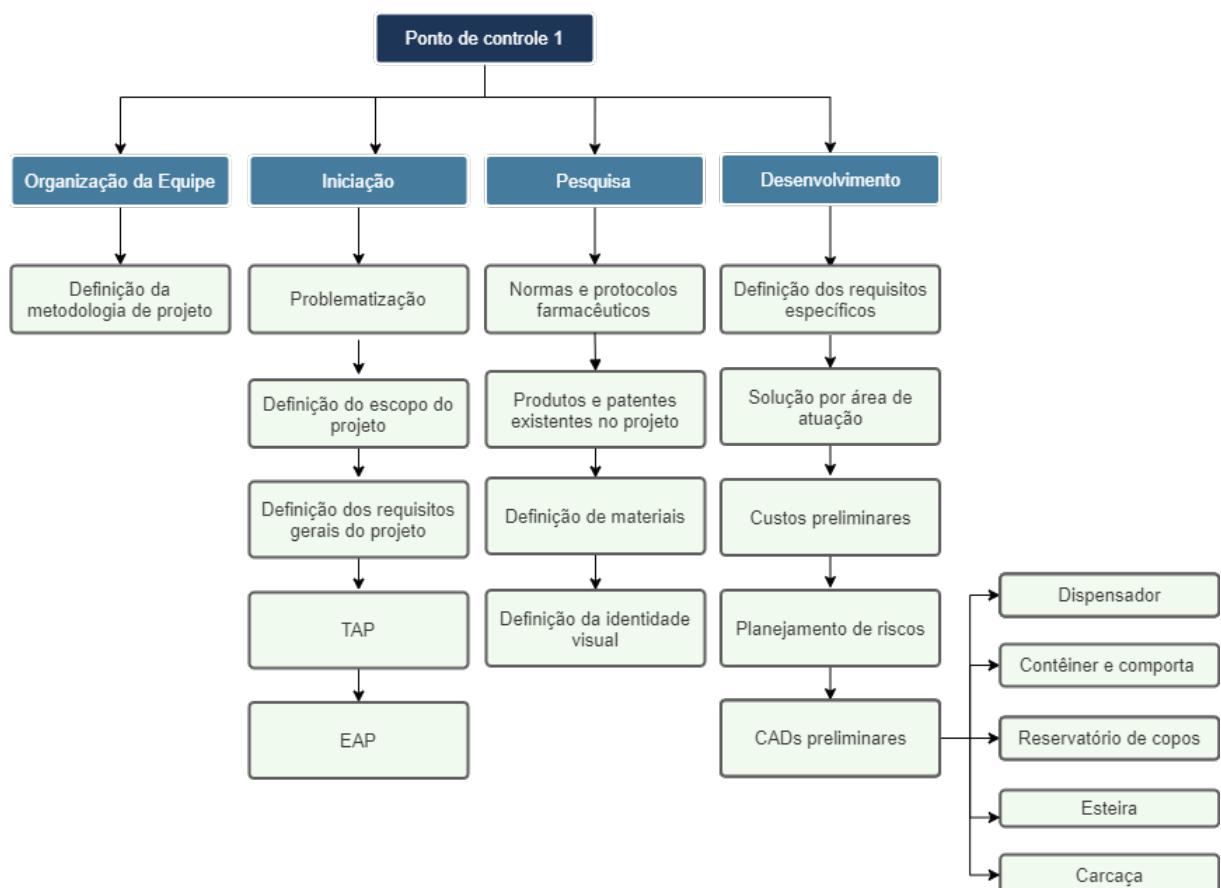


Figura 119 – Estrutura Analítica do Projeto PillWatcher - Ponto de Controle 1

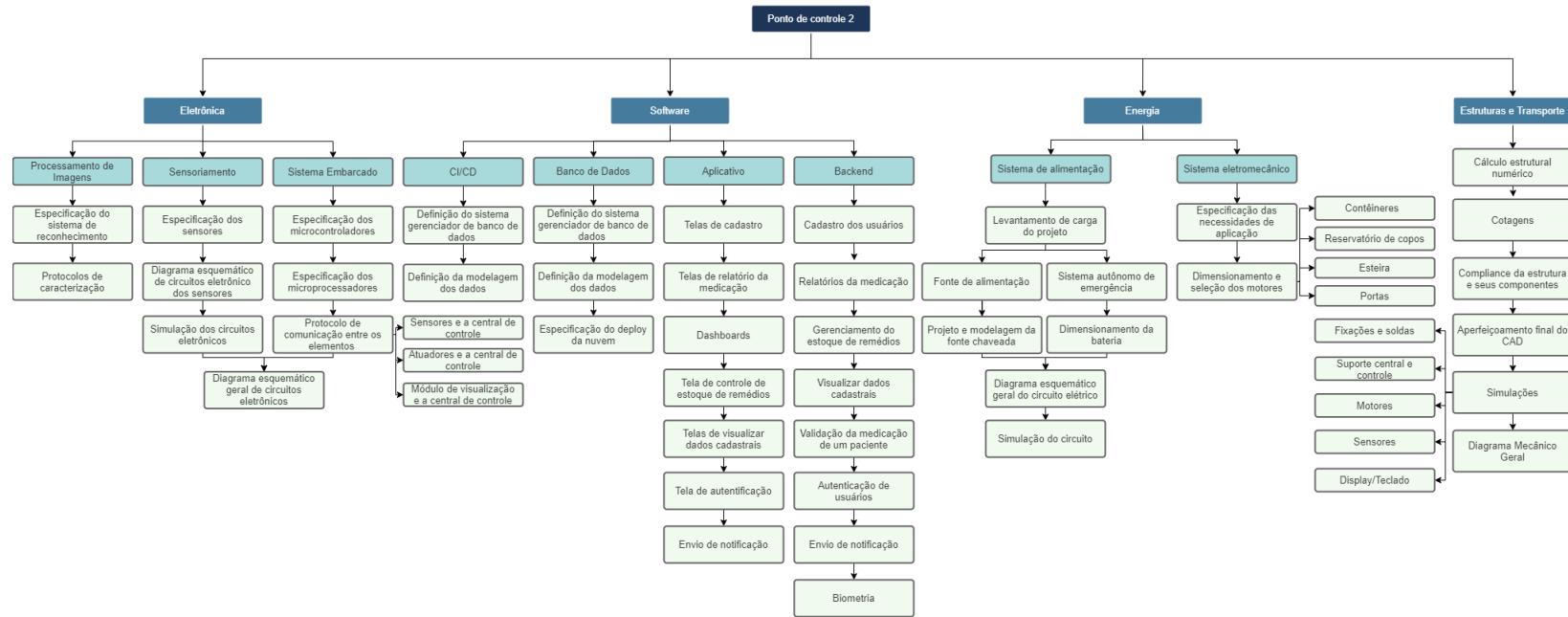


Figura 120 – Estrutura Analítica do Projeto PillWatcher - Ponto de Controle 2

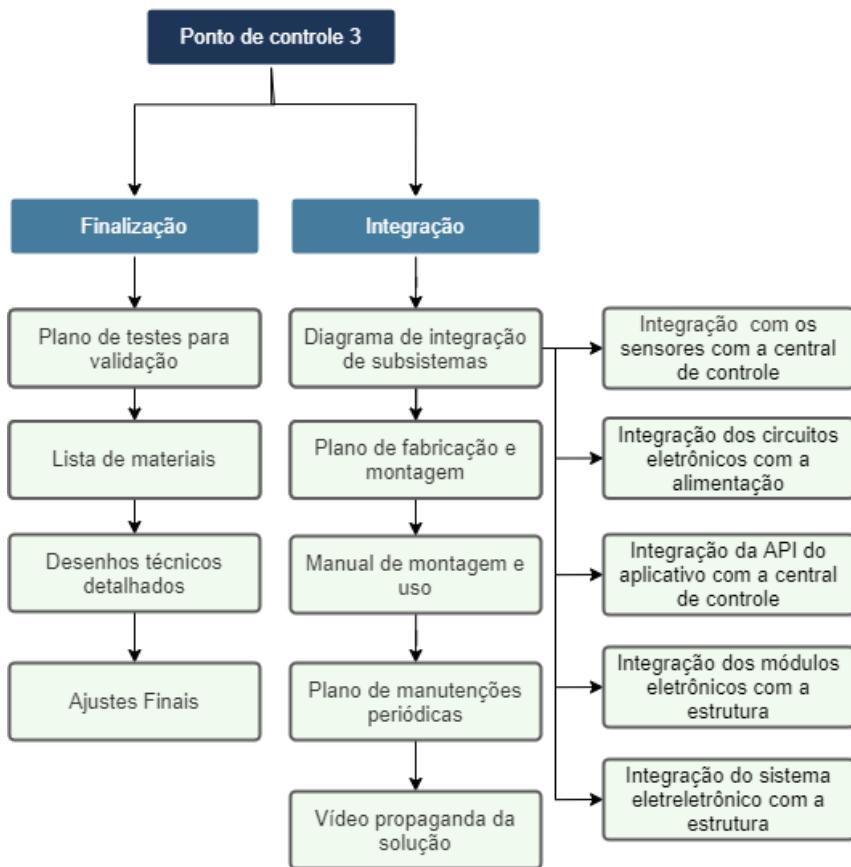


Figura 121 – Estrutura Analítica do Projeto PillWatcher - Ponto de Controle 3

B.2 Estrutura Analítica Geral

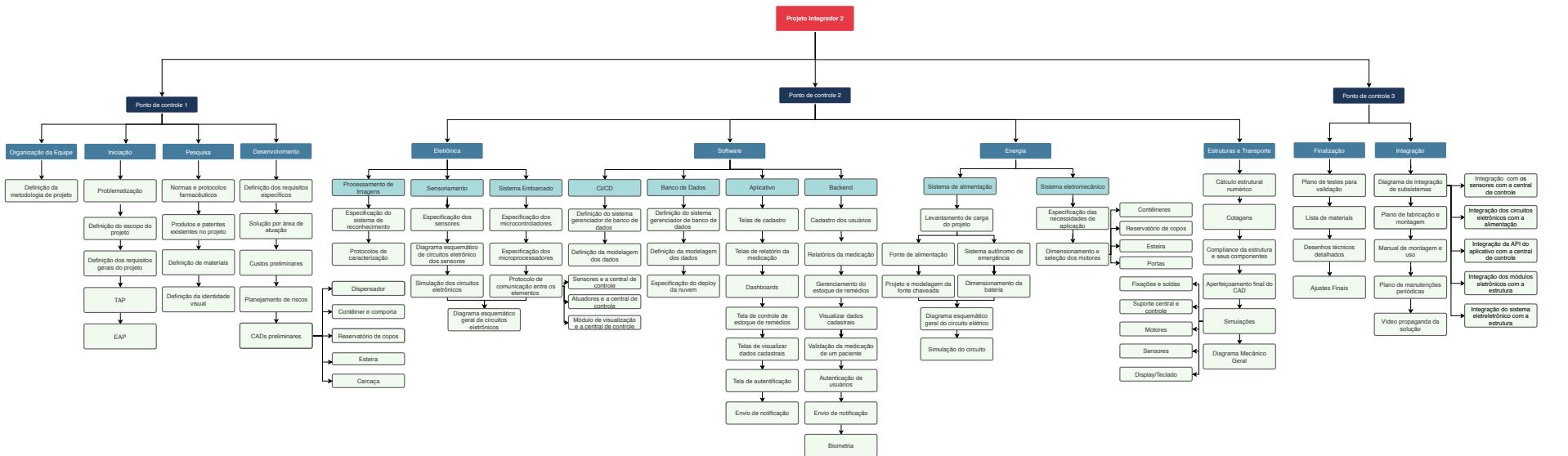


Figura 122 – Estrutura Analítica do Projeto PillWatcher

APÊNDICE C – Lista É/ Não É

Tabela 61 – Lista É/Não é

É	Não é
1.1 É um sistema automático	1.2 Não é um sistema autônomo
2.1 É um dispensador de medicamentos sólidos (comprimidos, drágeas e capsulas)	2.2 Não é um dispensador de medicamentos líquidos, injetáveis ou pastosos
3.1 A quantidade de contêineres é pré-definida	3.2 A quantidade de contêineres não é variável
4.1 Os contêineres recebem separadamente cada medicamento	4.2 Os contêineres não armazenam doses de diferentes medicamentos
5.1 É um dispositivo que funciona interligado à rede elétrica	5.2 Não é um dispositivo que deve funcionar desconectado da rede, salvo em falha da fonte primária
6.1 Para uso coletivo	6.2 Para uso individual
7.1 Controlado via aplicativo	7.2 Controlado manualmente via dispensador
8.1 Responsável por verificar se a medicação foi corretamente armazenada e separada em doses	8.2 Responsável por ministrar a medicação
9.1 É um dispositivo fixo	9.2 Não é um dispositivo transportável

APÊNDICE D – Cronograma



PONTO DE CONTROLE 1	
SPRINT 0 - 24/08 a 30/08	
TAREFAS	ÁREA
Brainstorming	Todos
Alinhamento com outras engenharias	Todos
Elaboração da problemática	Todos
Pesquisa de protocolos e normas farmacêuticas	Eletrônica
Pesquisa de equipamentos e patentes já existentes	Todos
Elicitação de requisitos (questionários, entrevistas e rich picture)	Todos
Alocamento de recursos humanos	Todos
Definição da identidade visual	Software
SPRINT 1 - 31/08 a 06/09	
TAREFAS	ÁREA
Definir Cronograma	Todos
Definir requisitos iniciais	Todos
TAP	Todos
EAP	Todos
Metodologia de trabalho	Software
Delimitação dos requisitos específicos	Todos
CAD Preliminar do produto	Estrutura
SPRINT 2 - 07/09 a 13/09	
TAREFAS	ÁREA
Lista É/Não É	Todos
Informações do produto	Todos
Definição do escopo de soluções	Todos
Definir custos	Todos
Definição de documentação dos componentes	Eletrônica/Energia
Detalhamento e aperfeiçoamento dos fluxogramas	Todos
Refinamento do CAD do produto	Estrutura
SPRINT 3 - 14/09 a 18/09	
TAREFAS	ÁREA
Criação da apresentação do PC1	Todos
Criação da animação dos CADs	Estrutura
Ensaio da equipe para apresentação	Todos
Apresentação do PC1	Todos

Figura 123 – Planejamento Ponto de Controle 1



PONTO DE CONTROLE 2	
SPRINT 4 - 21/09 a 27/09	
TAREFAS	ÁREA
Especificação dos sensores	Eletrônica
Especificação dos microcontroladores e microprocessadores	Eletrônica
Especificação do sistema de reconhecimento	Eletrônica
Diagrama esquemático de circuitos eletrônico dos sensores	Eletrônica
Protótipo de alta fidelidade	Software
Configuração do ambiente CI/CD	Software
Modelagem do banco de dados	Software
Desenvolvimento da API do admin	Software
Desenvolvimento da API do paciente	Software
Cálculo e simulação de esforços estruturais	Estrutura
Desenhos técnicos com cotagens	Estrutura
Simulações de transferência de calor	Estrutura
Especificar características do projeto da fonte chaveada	Energia
Dimensionamento da fonte chaveada: estágio de entrada	Energia
Projeto conversor	Energia
Dimensionamento do motor de passo	Energia
Definição do design do controlador do motor de passo	Energia
Levantamento de carga do projeto	Energia
SPRINT 5 - 28/09 a 04/10	
TAREFAS	ÁREA
Protocolo de comunicação entre sensores e a central de controle	Eletrônica
Protocolo de comunicação entre atuadores e a central de controle	Eletrônica
Protocolo de comunicação entre Módulo de visualização e a central de controle	Eletrônica
Simulação dos circuitos eletrônicos	Eletrônica
Documento de Arquitetura/Deploy	Software
Desenvolvimento da API do enfermeiro	Software
Desenvolvimento da API de Autenticação	Software
Desenvolvimentos das telas do admin no APP	Software
Desenvolvimento das telas do paciente no APP	Software
Compliance da estrutura e componentes	Estrutura
Simulações	Estrutura
Dimensionamento do motor DC duplo eixo	Energia
Dimensionamento da solenoide	Energia
Definição do design do controlador da solenoide	Energia
Dimensionamento do atuador elétrico	Energia
Dimensionamento da bateria	Energia
Dimensionamento da Fonte chaveada: estágio de saída	Energia

Figura 124 – Planejamento Ponto de Controle 2

SPRINT 6 - 05/10 a 11/10	
TAREFAS	ÁREA
Protocolos de caracterização da imagem	Eletrônica
Diagrama esquemático geral de circuitos eletrônicos	Eletrônica
Prototipagem da central de controle	Eletrônica
Desenvolvimento de caso de uso	Software
Desenvolvimento das telas do enfermeiro no APP	Software
Desenvolvimento da tela de login no APP	Software
Desenvolvimento da navegação no APP	Software
Dimensionamento dos dispositivos de proteção	Energia
Dimensionamento dos cabeamentos	Energia
Simulação dos circuitos elétricos	Energia
Diagrama dos circuitos elétricos	Energia
Adaptação do CAD para comportar sensores e motores	Estrutura
Criação do diagrama Mecânico Geral	Estrutura
SPRINT 7 - 12/10 a 16/10	
TAREFAS	ÁREA
Criação da apresentação para o PC2	Todos
Ensaio da equipe para apresentação do PC2	Todos
Apresentação do PC2	Todos

Figura 125 – Planejamento Ponto de Controle 2



PONTO DE CONTROLE 3	
SPRINT 8 - 19/10 a 25/10	
TAREFAS	ÁREA
Plano de testes para validação	Todos
Diagrama de integração de subsistemas	Todos
Desenhos técnicos detalhados	Todos
Integração dos sensores com a central de controle	Eletrônica
Integração dos circuitos eletrônicos com a alimentação	Eletrônica/Energia
Deploy do Broker na nuvem	Software
Integração das APIs com o Broker MQTT	Software
Finalização das telas e navegação do APP	Software
SPRINT 9 - 26/10 a 01/11	
TAREFAS	ÁREA
Integração da API do aplicativo com a central de controle	Eletrônica/Software
Integração dos módulos eletrônicos com a estrutura	Eletrônica/Estrutura
Deploy das APIs na nuvem	Software
Deploy do APP na Play Store	Software
Teste completo do Software	Software
SPRINT 10 - 02/10 a 08/11	
TAREFAS	ÁREA
Plano de fabricação e montagem	Todos
Plano de manutenções periódicas	Todos
Plano de manutenções	Todos
Vídeo de propaganda da solução	Todos
SPRINT 11 - 09/10 a 13/11	
TAREFAS	ÁREA
Criação da apresentação para o PC3	Todos
Ensaio da equipe para apresentação do PC3	Todos
Apresentação do PC3	Todos

Figura 126 – Planejamento Ponto de Controle 3

APÊNDICE E – Desenhos Técnicos

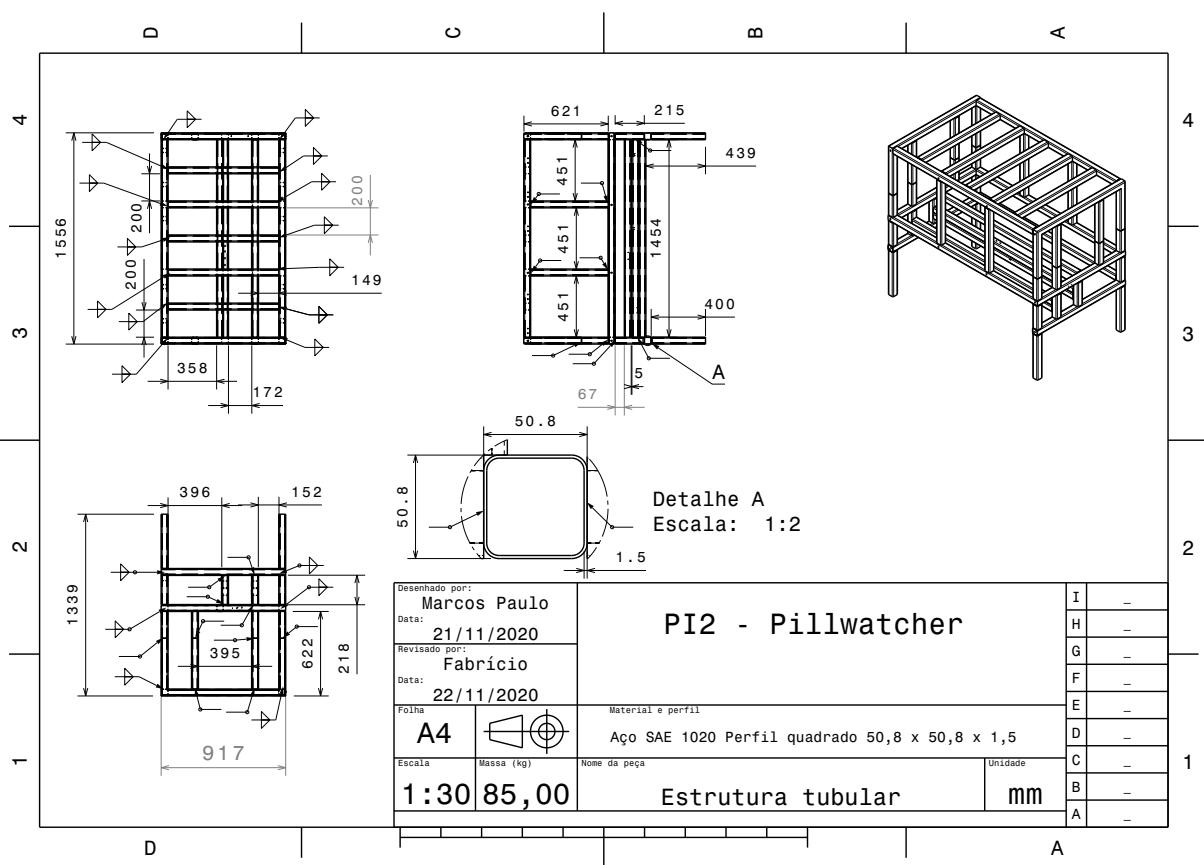


Figura 127 – Desenho técnico da Estrutura Tubular, com indicações de solda (5.1)

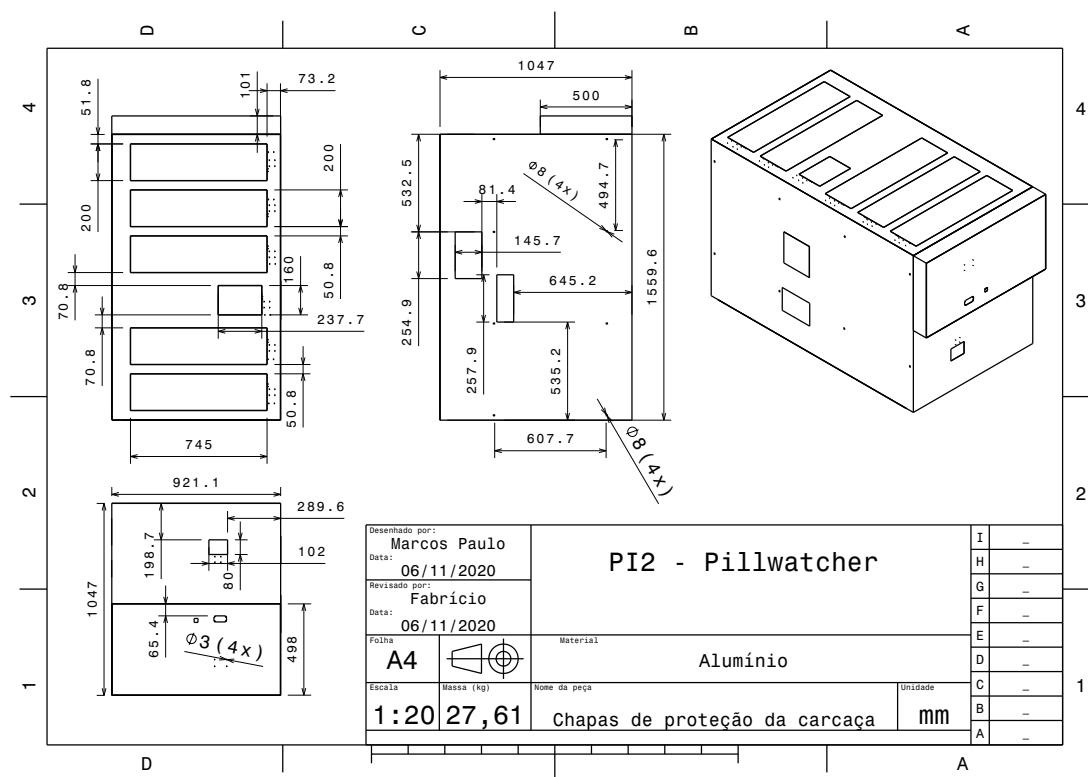


Figura 128 – Desenho técnico das Chapas da Carcaça (5.1)

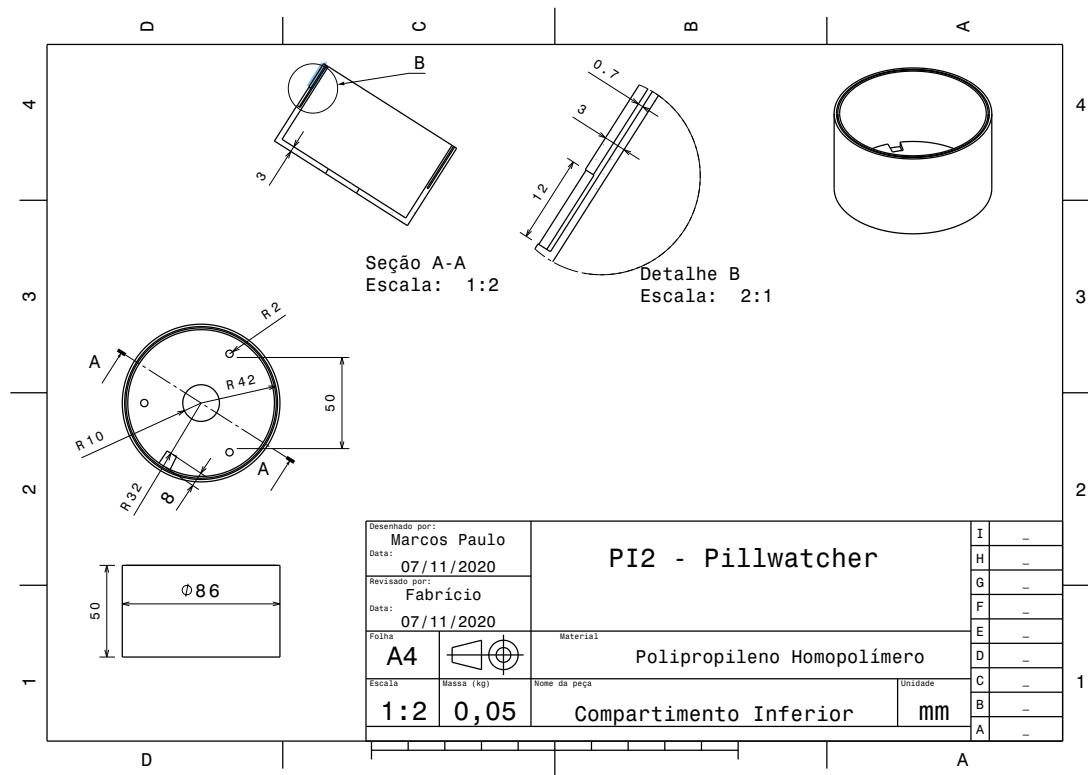


Figura 129 – Desenho técnico do Compartimento Inferior do Contêiner (5.1)

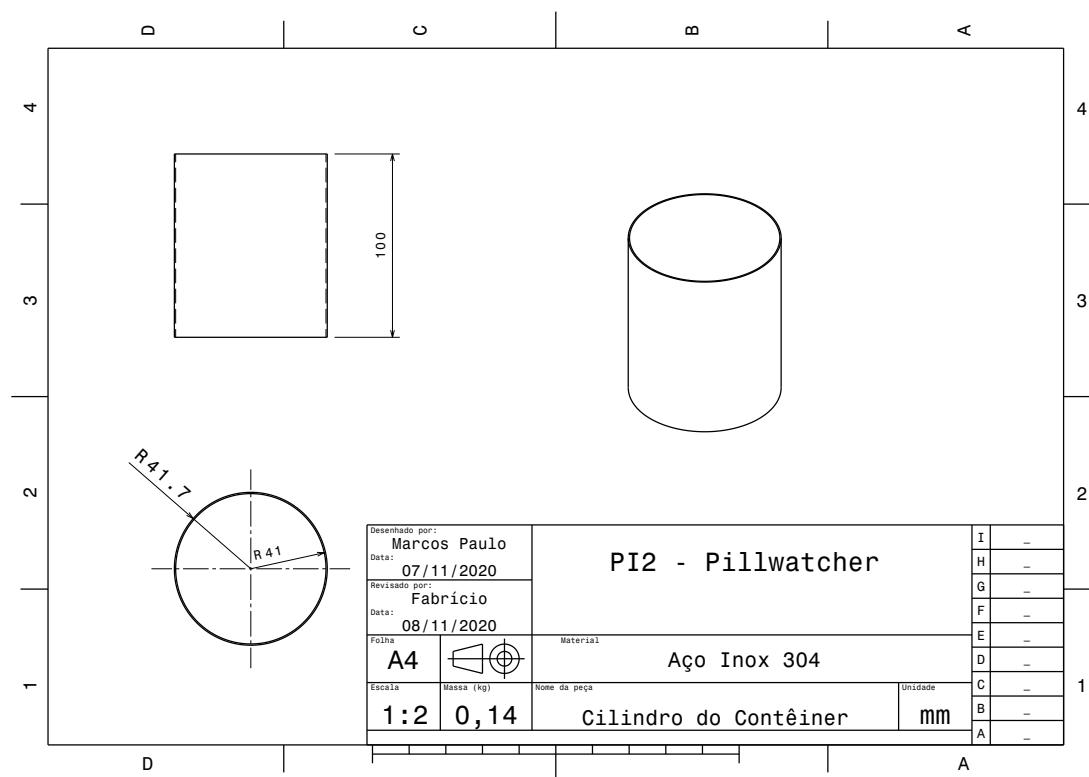


Figura 130 – Desenho técnico do cilindro do contêiner (5.1)

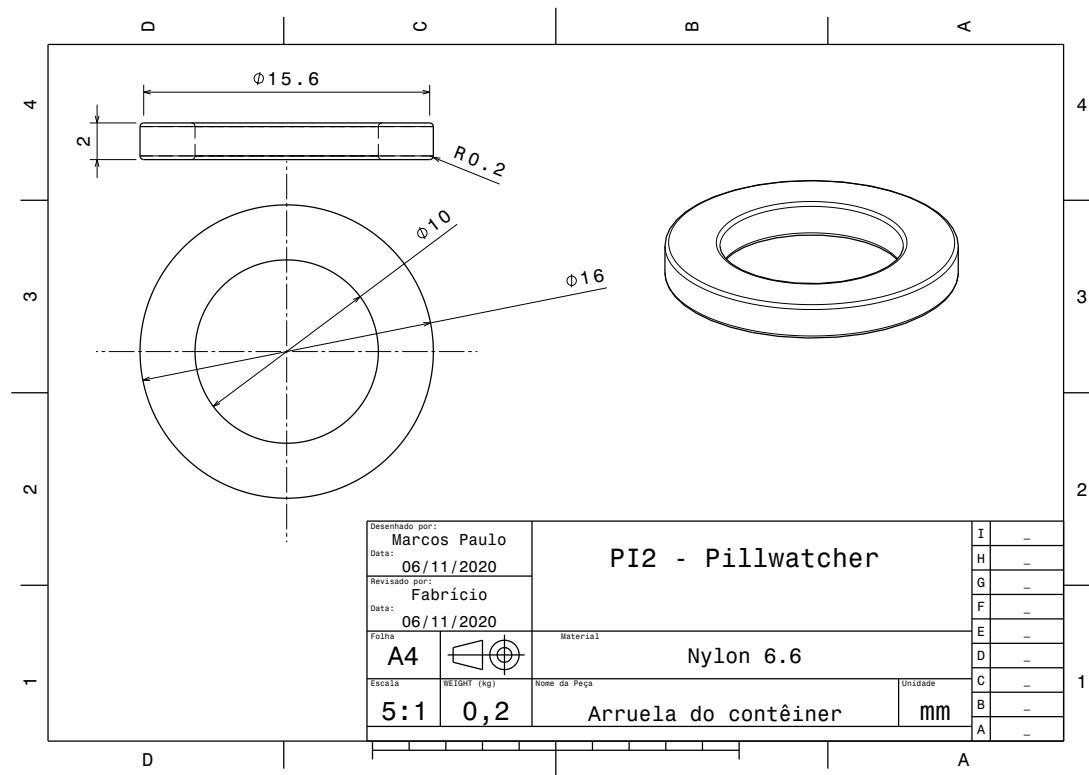


Figura 131 – Desenho técnico da arruela do contêiner (5.1)

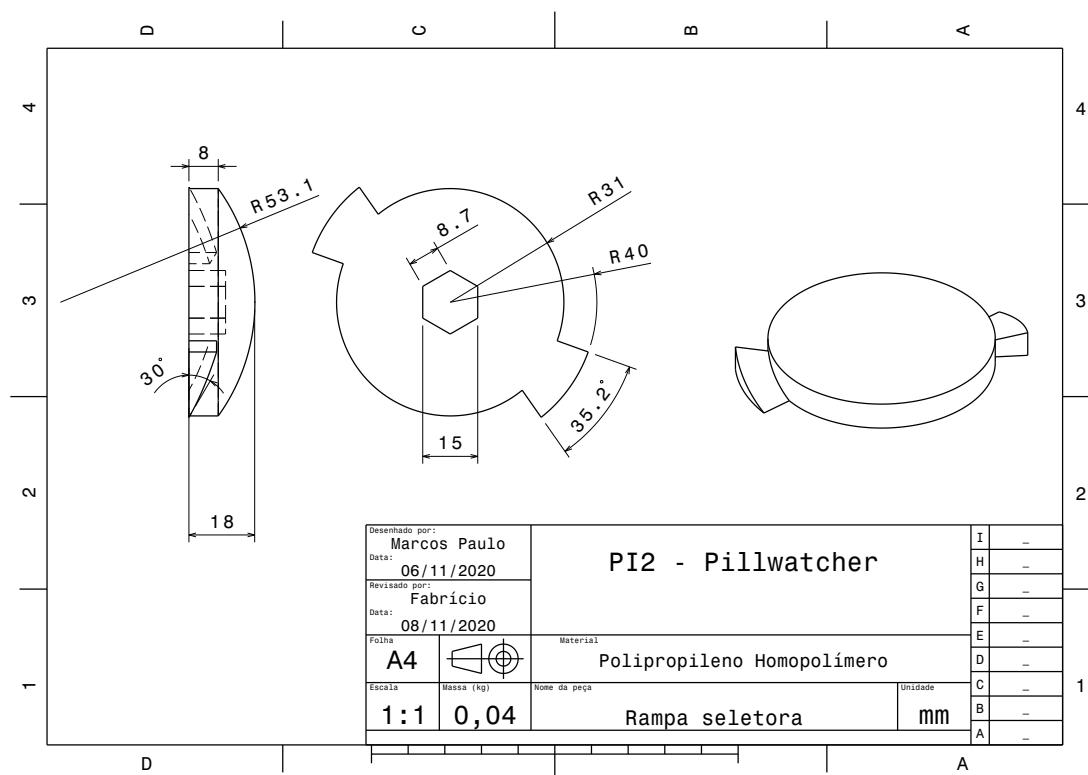


Figura 132 – Desenho técnico das rampa seletora do contêiner (5.1)

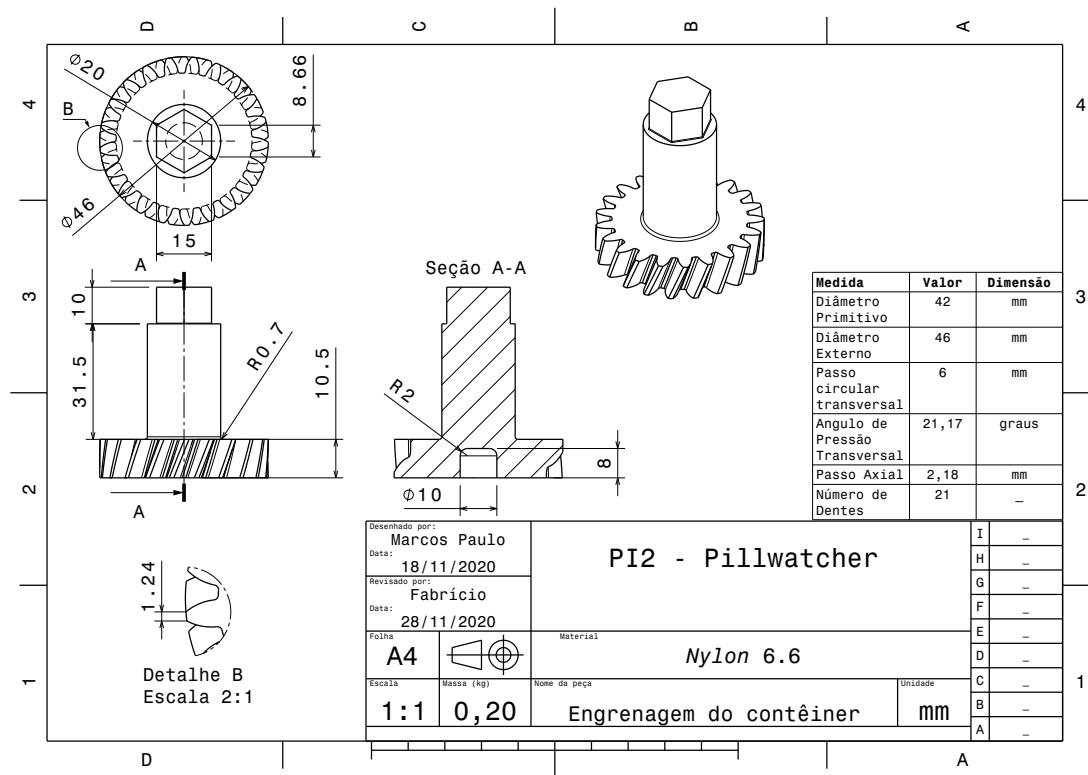


Figura 133 – Desenho técnico da engrenagem do contêiner (5.1)

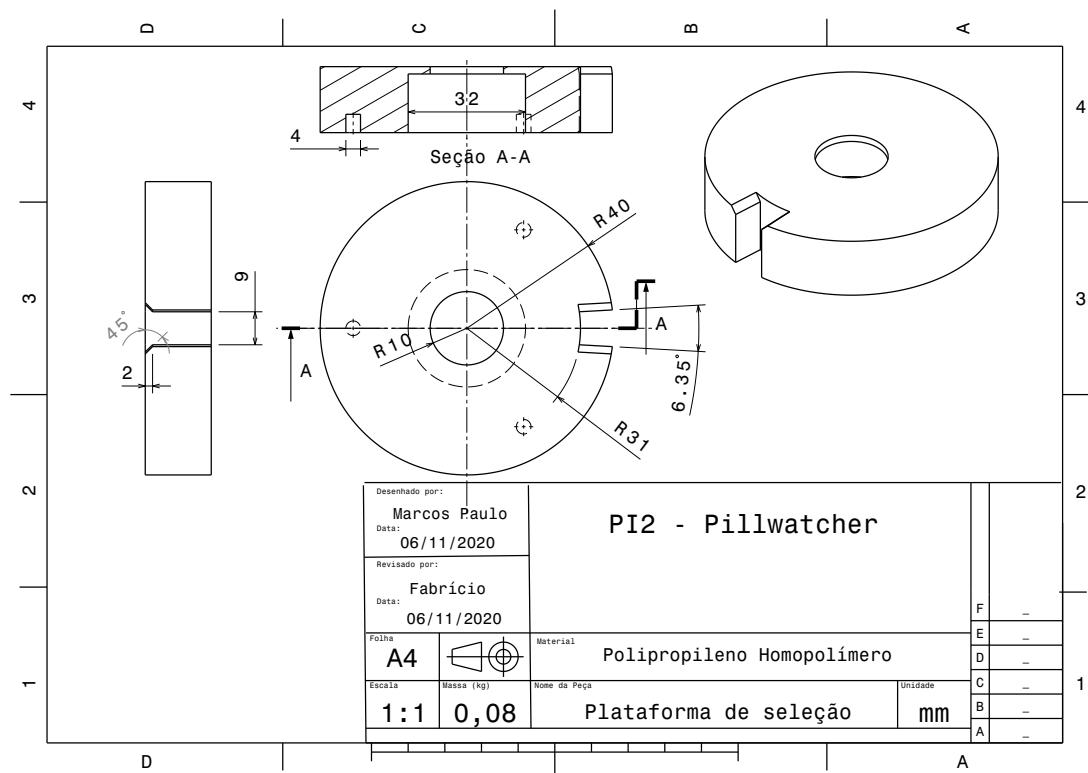


Figura 134 – Desenho técnico da plataforma de seleção(5.1)

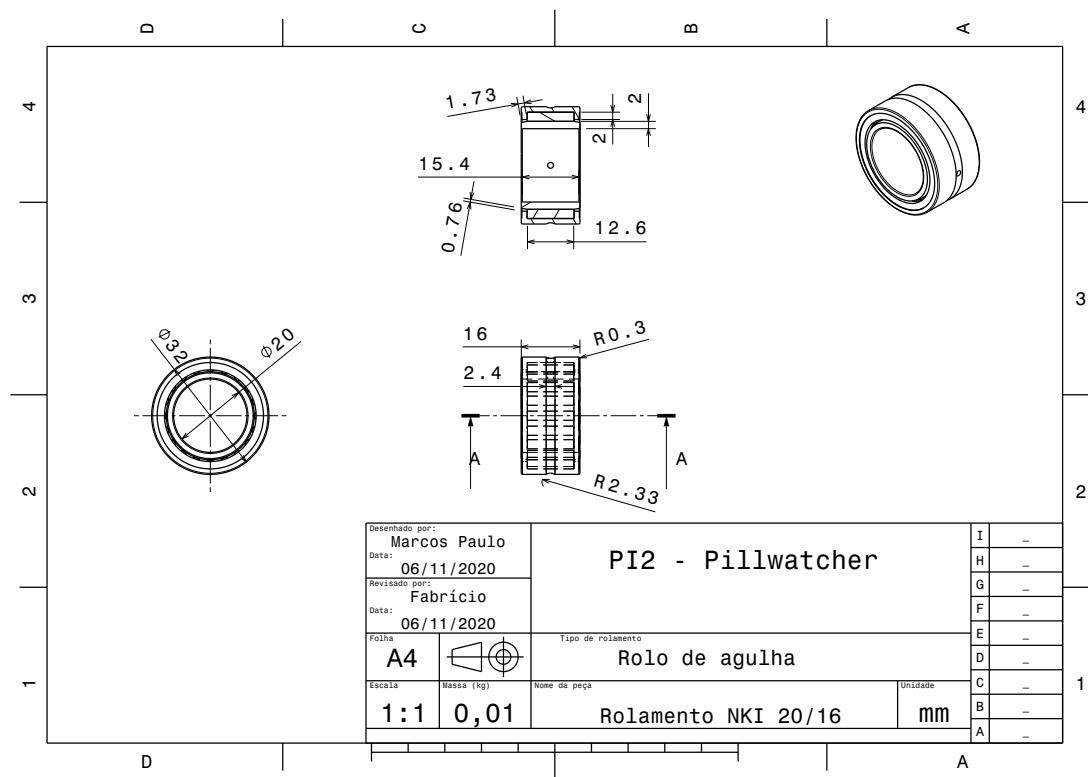


Figura 135 – Desenho técnico do rolamento da engrenagem (5.1)

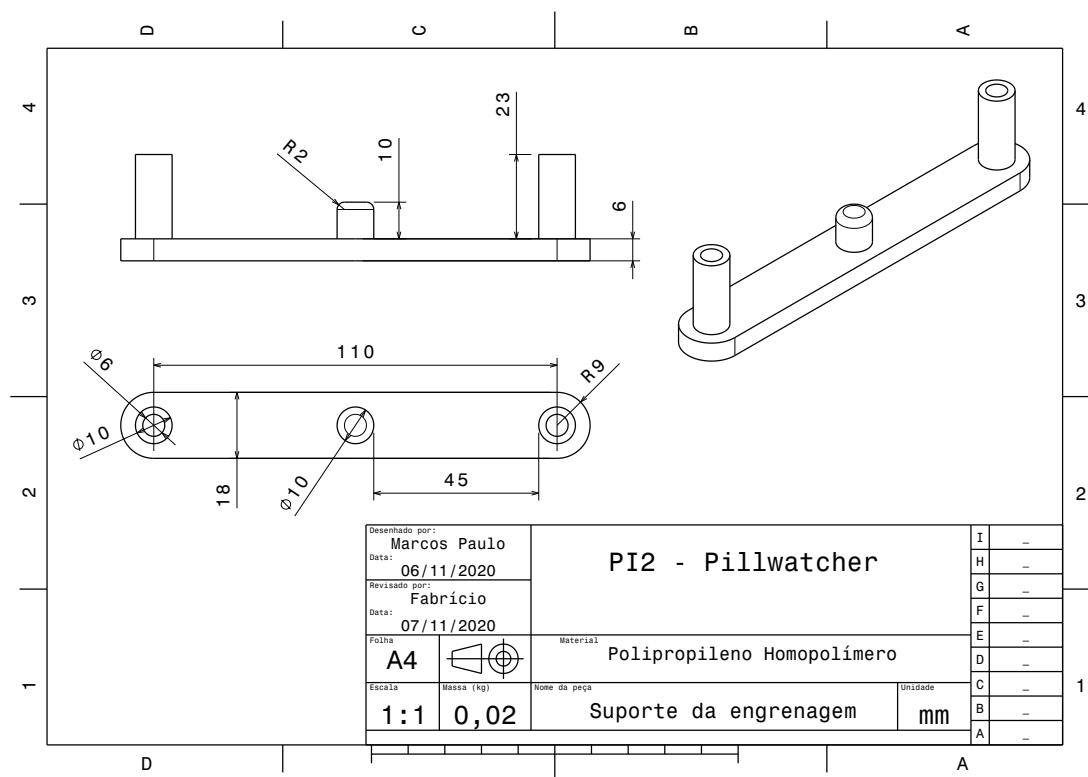


Figura 136 – Desenho técnico do suporte da engrenagem no contêiner (5.1)

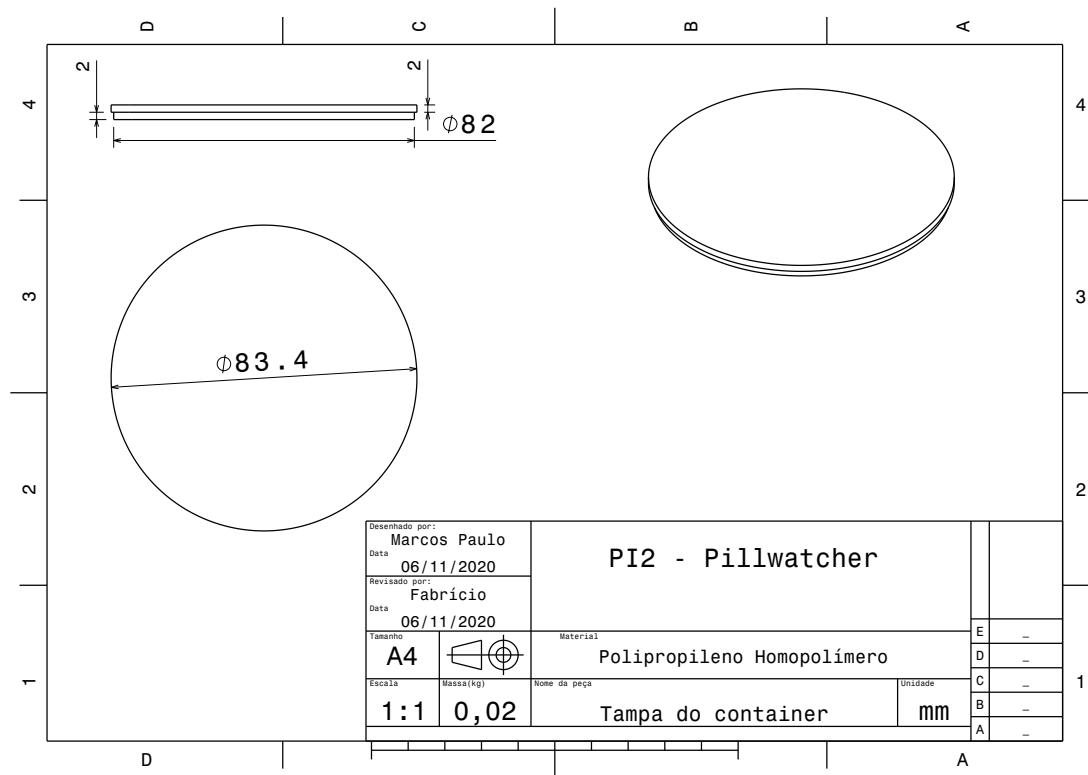


Figura 137 – Desenho técnico da tampa do contêiner (5.1)

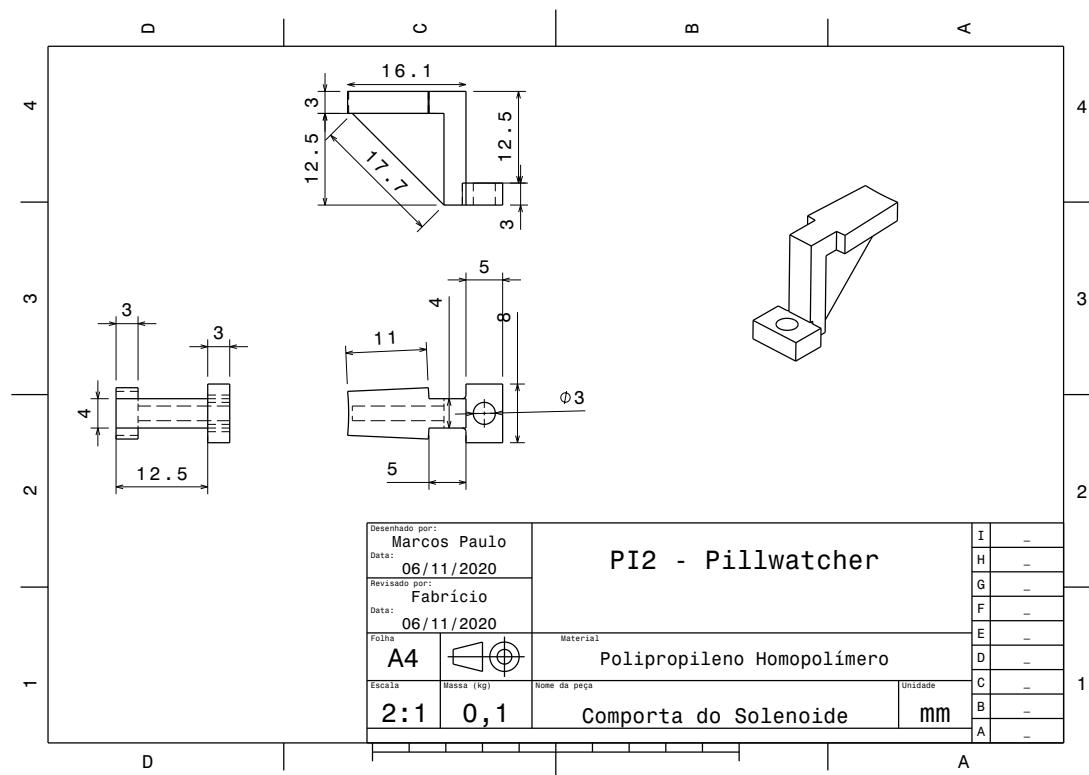


Figura 138 – Desenho técnico da comporta do contêiner (5.1)

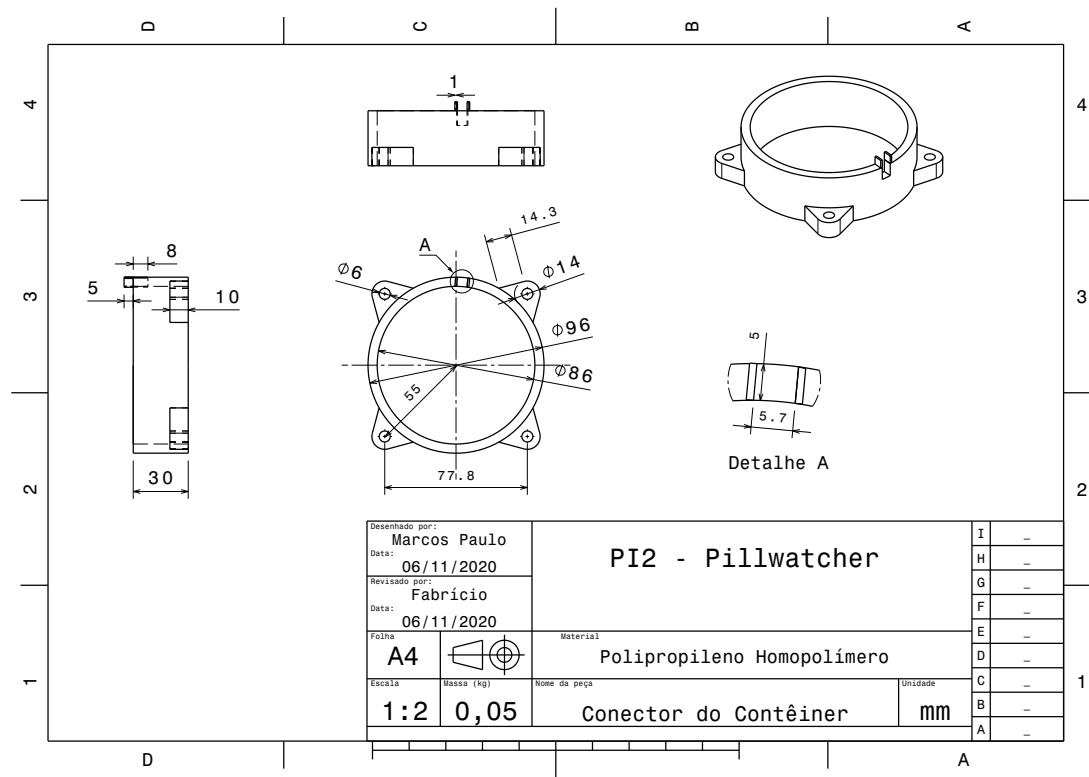


Figura 139 – Desenho técnico do conector do contêiner à base (5.1)

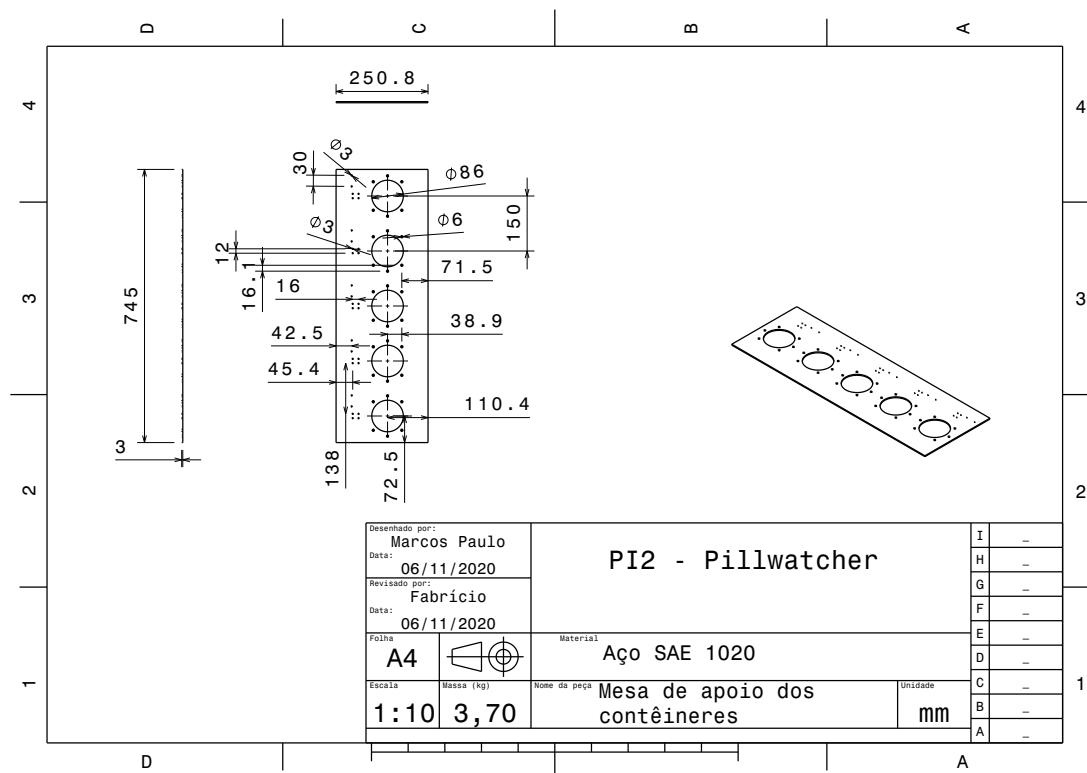


Figura 140 – Desenho técnico da base dos contêineres (5.1)

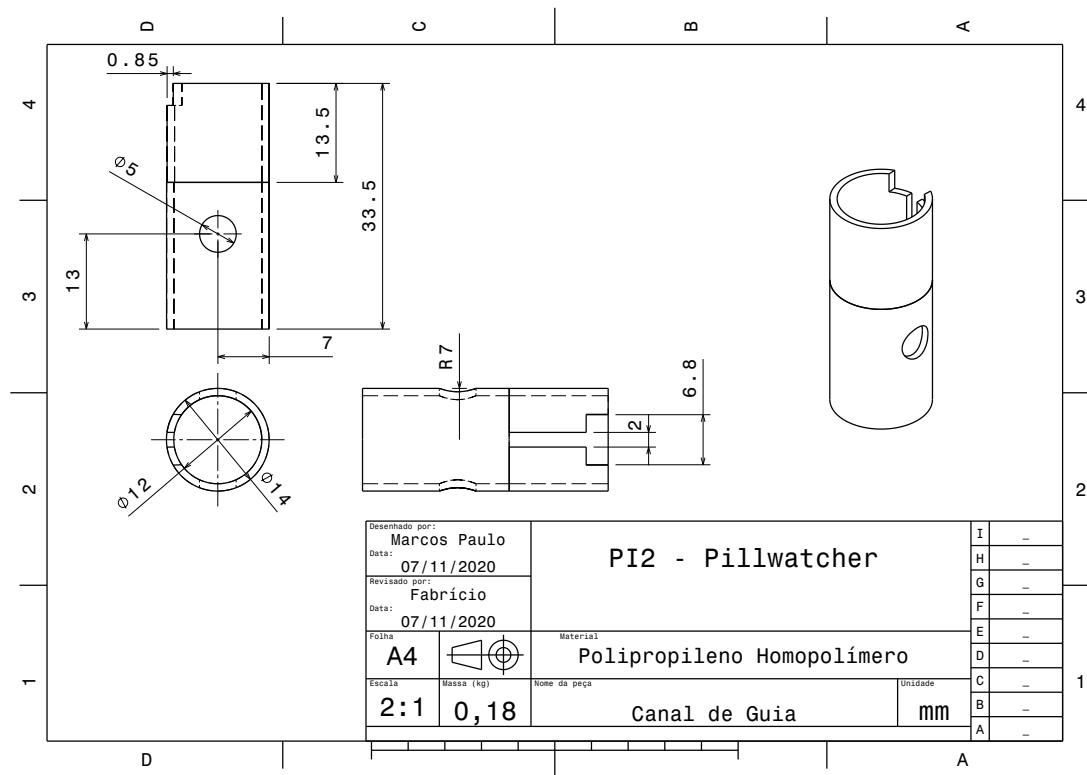


Figura 141 – Desenho técnico do Canal de Guia (5.1)

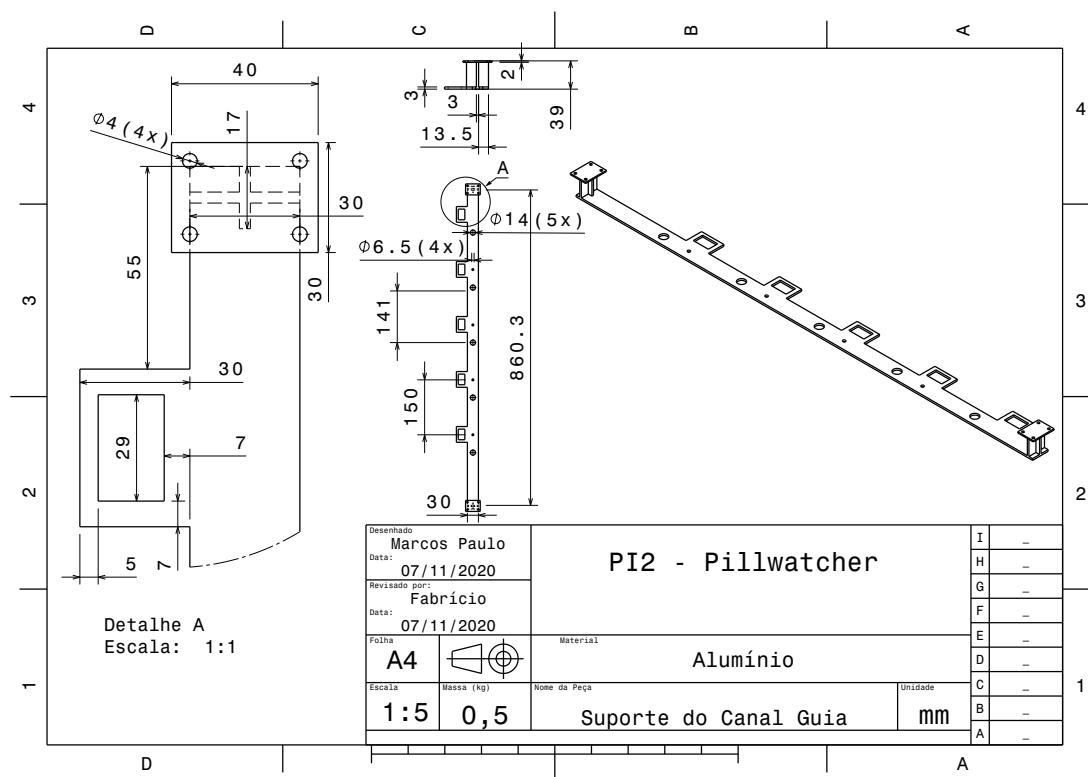


Figura 142 – Desenho técnico do suporte dos canais de guia (5.1)

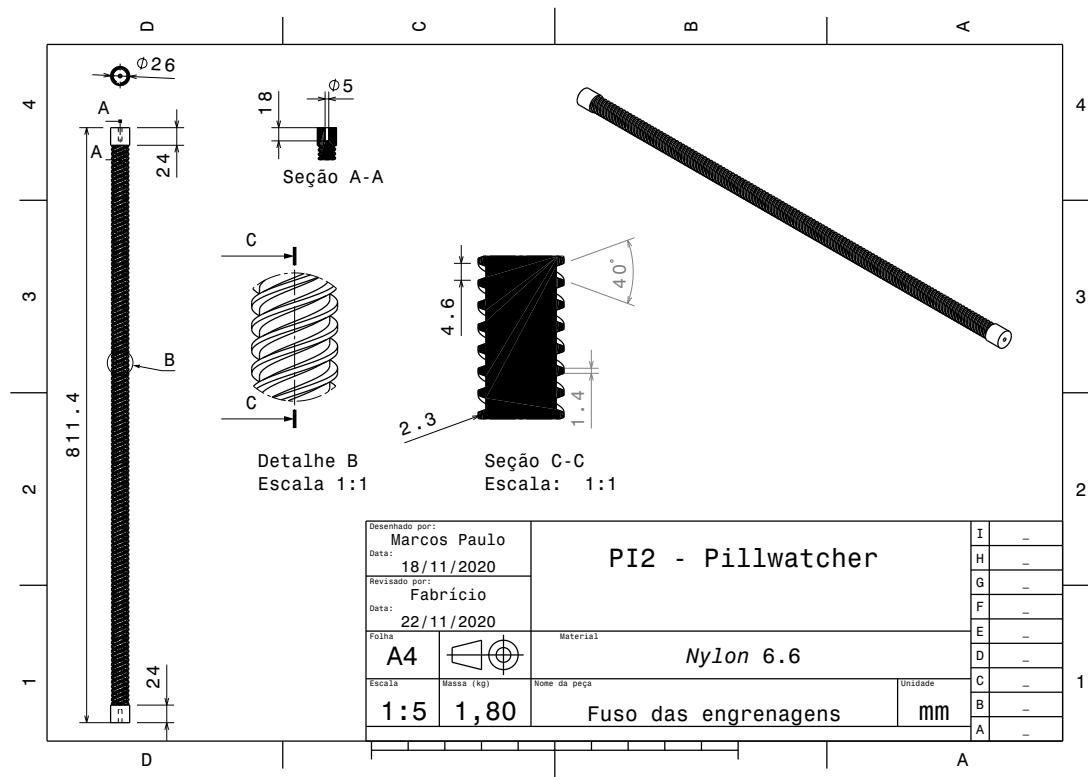


Figura 143 – Desenho técnico do fuso de atuação nas engrenagens (5.1)

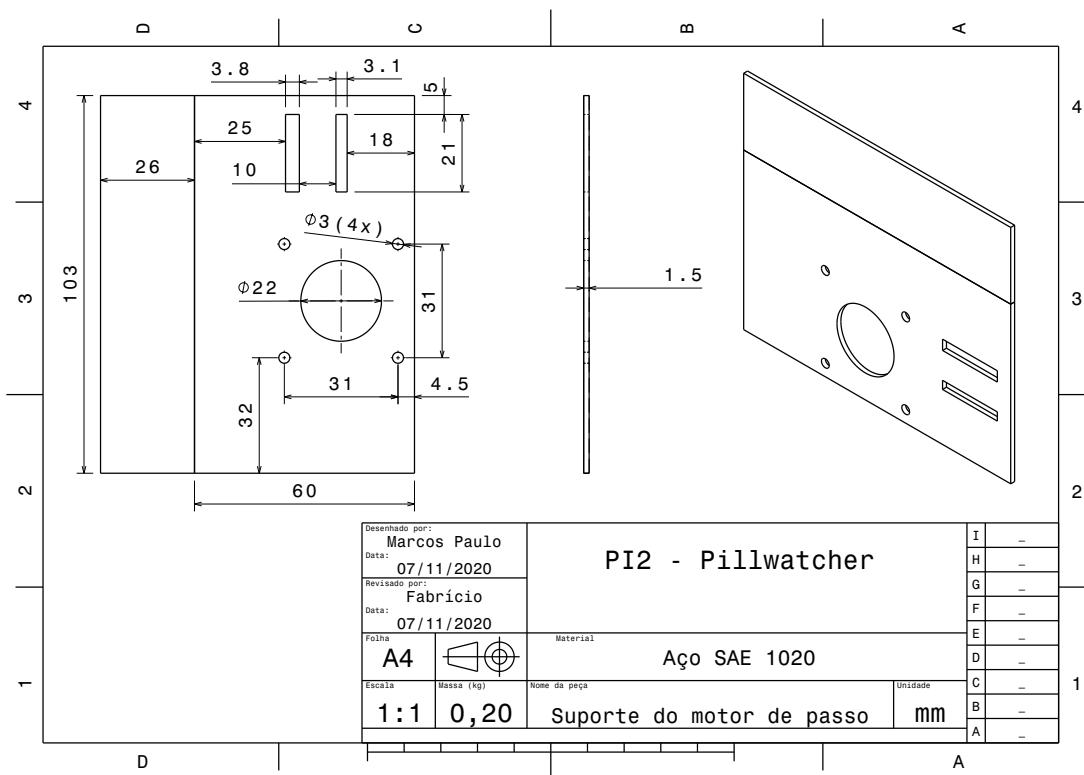


Figura 144 – Desenho técnico do suporte dos motores de passo (5.1)

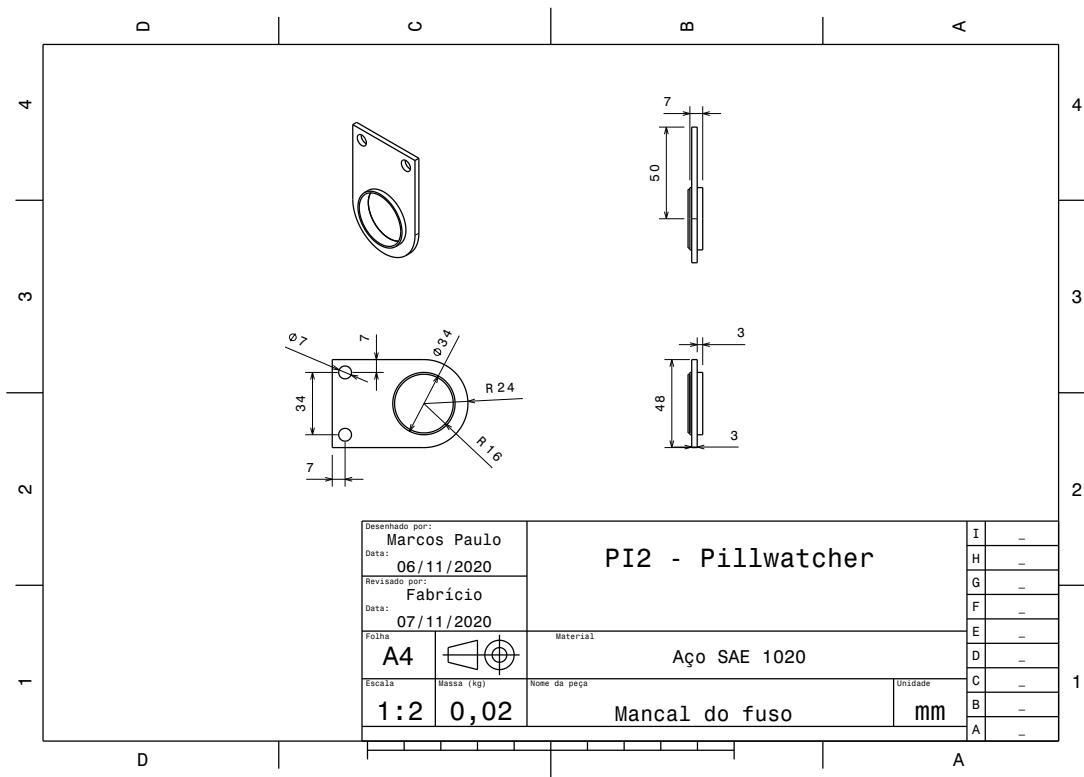


Figura 145 – Desenho técnico do mancal de apoio do fuso (5.1)

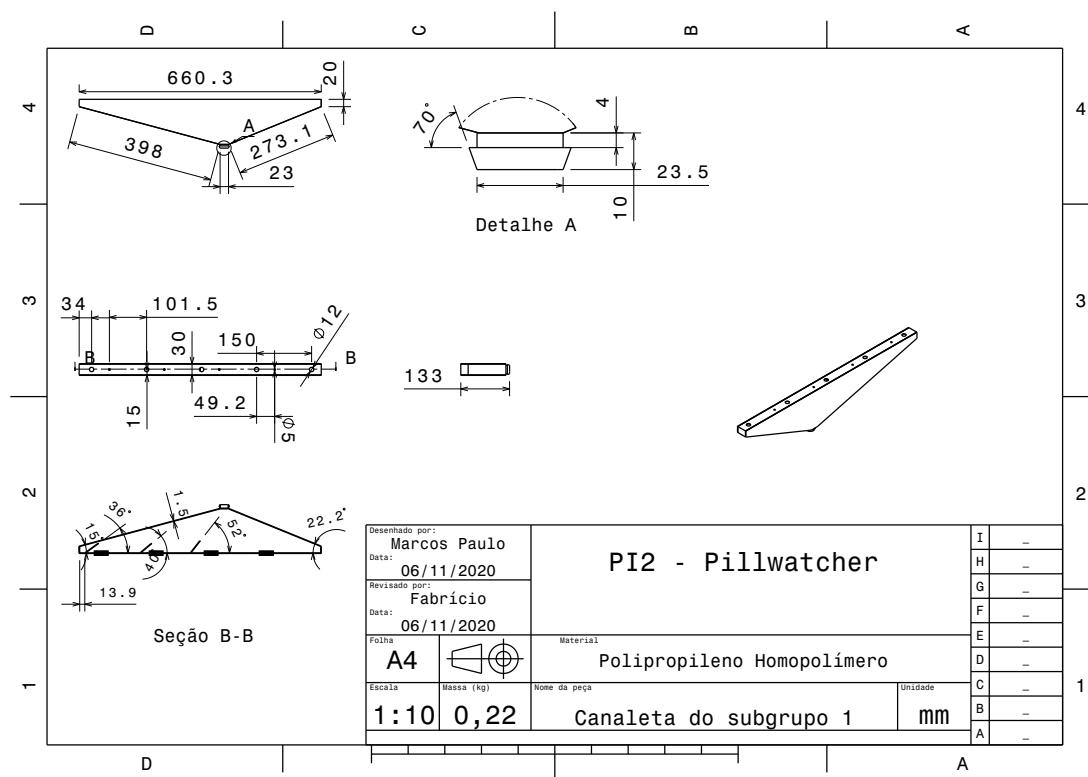


Figura 146 – Desenho técnico da Canaleta do Subgrupo 1 (5.1)

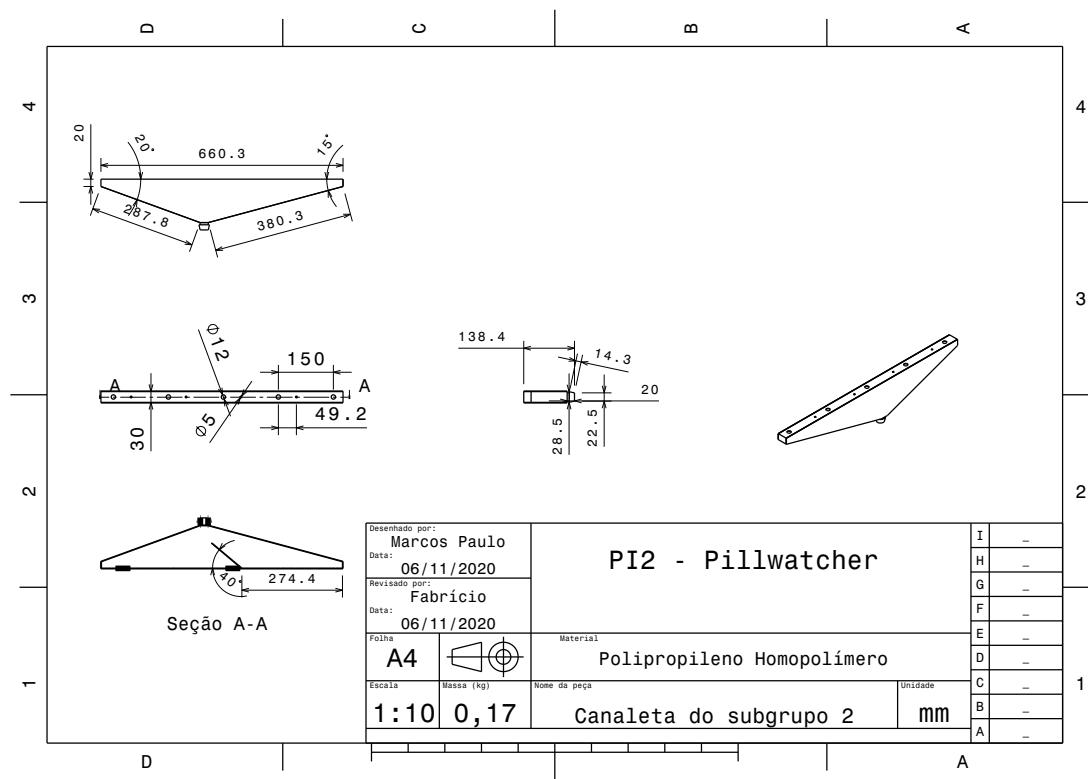


Figura 147 – Desenho técnico da Canaleta do Subgrupo 2 (5.1)

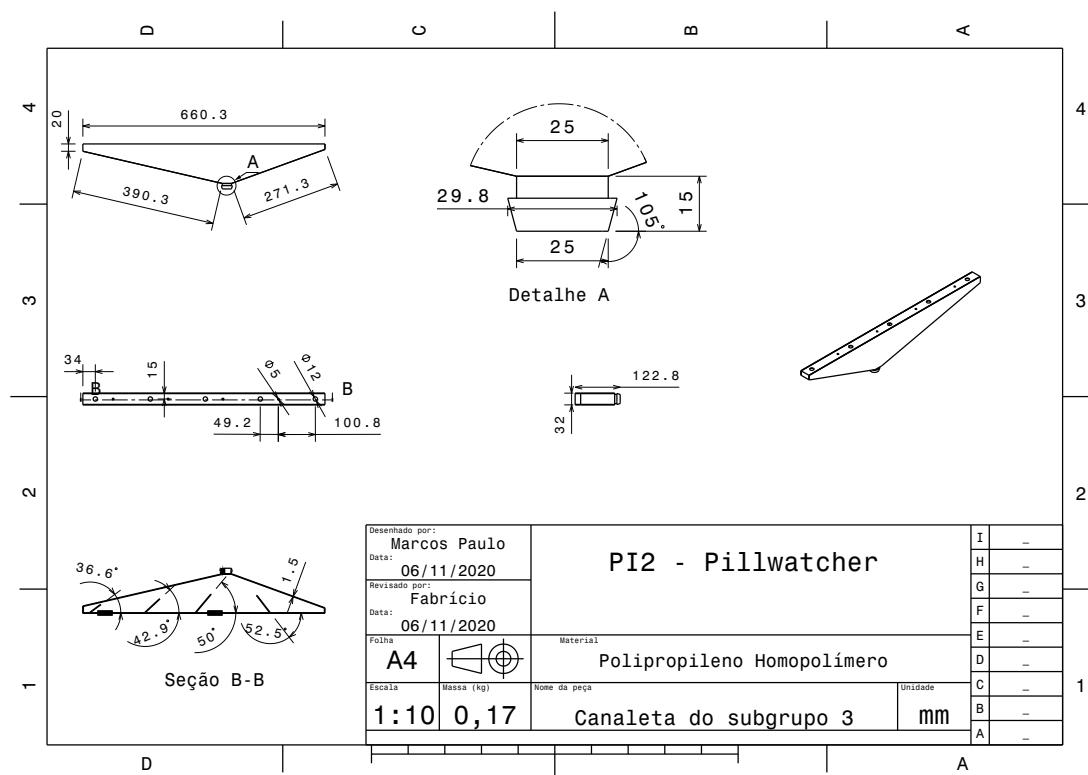


Figura 148 – Desenho técnico da Canaleta do Subgrupo 3 (5.1)

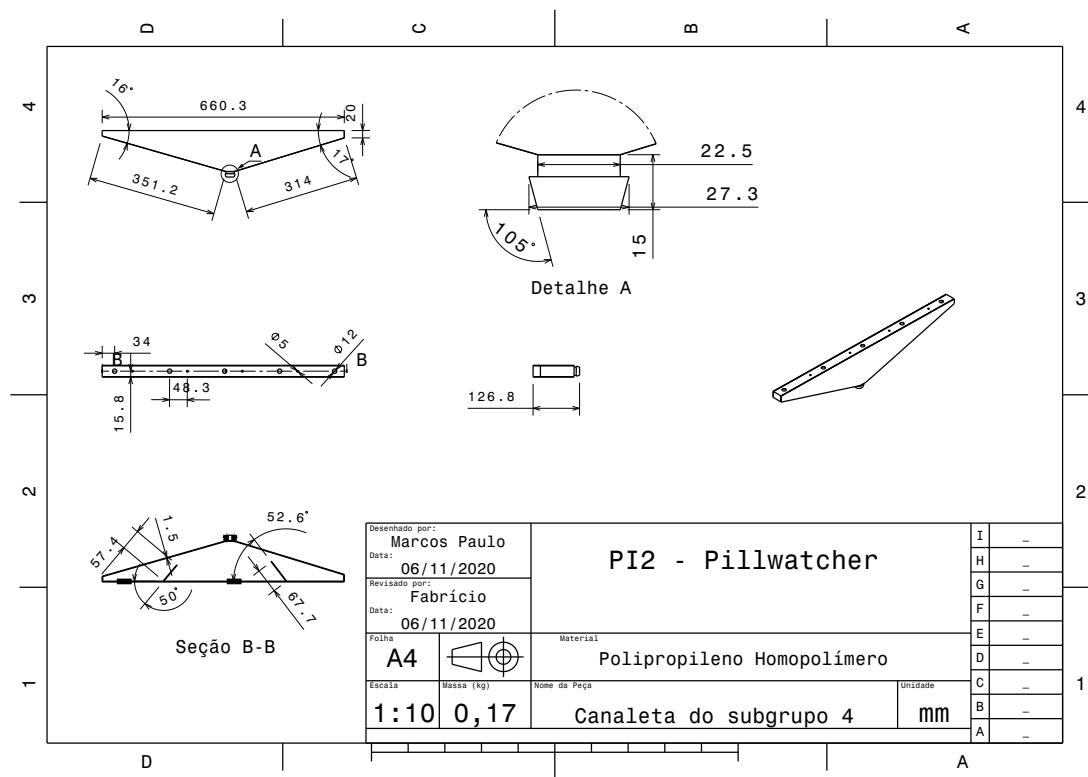


Figura 149 – Desenho técnico da Canaleta do Subgrupo 4 (5.1)

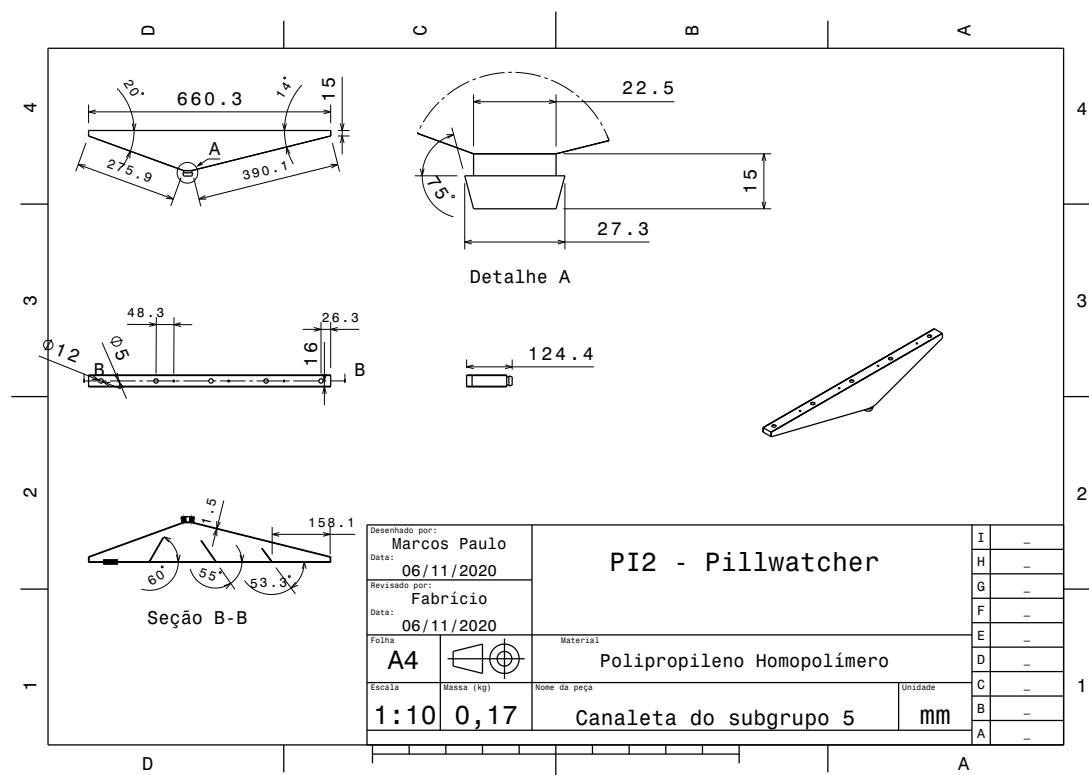


Figura 150 – Desenho técnico da Canaleta do Subgrupo 5 (5.1)

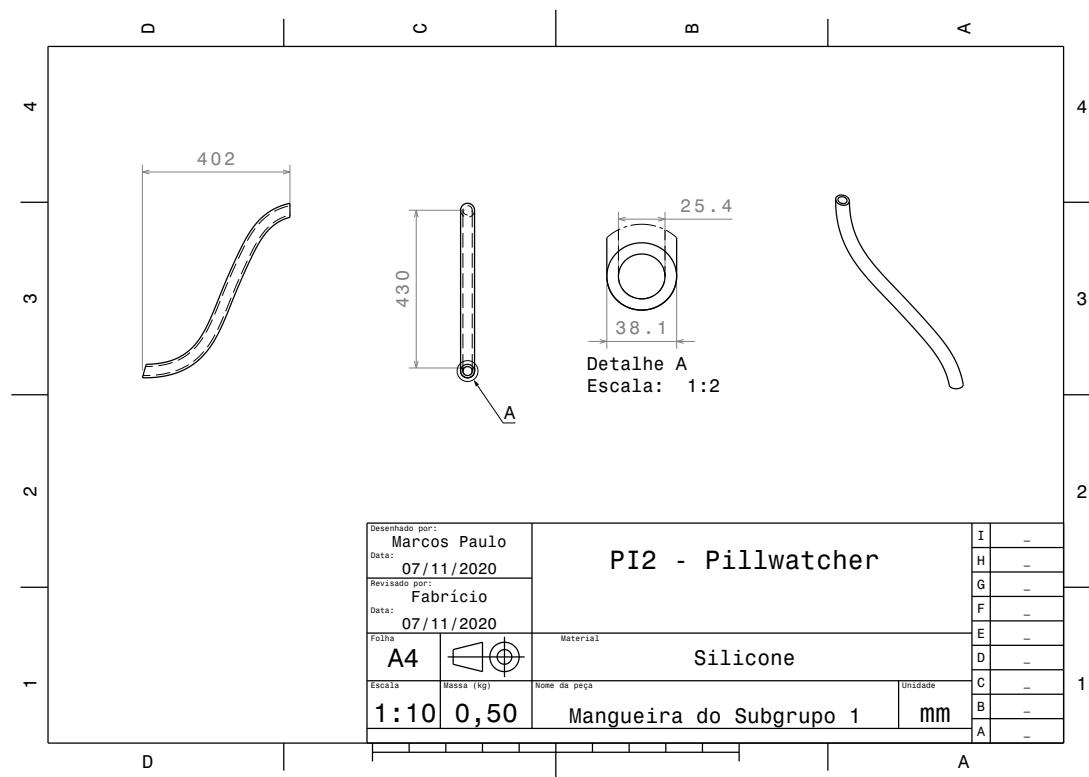


Figura 151 – Desenho técnico da mangueira do subgrupo 1 (5.1)

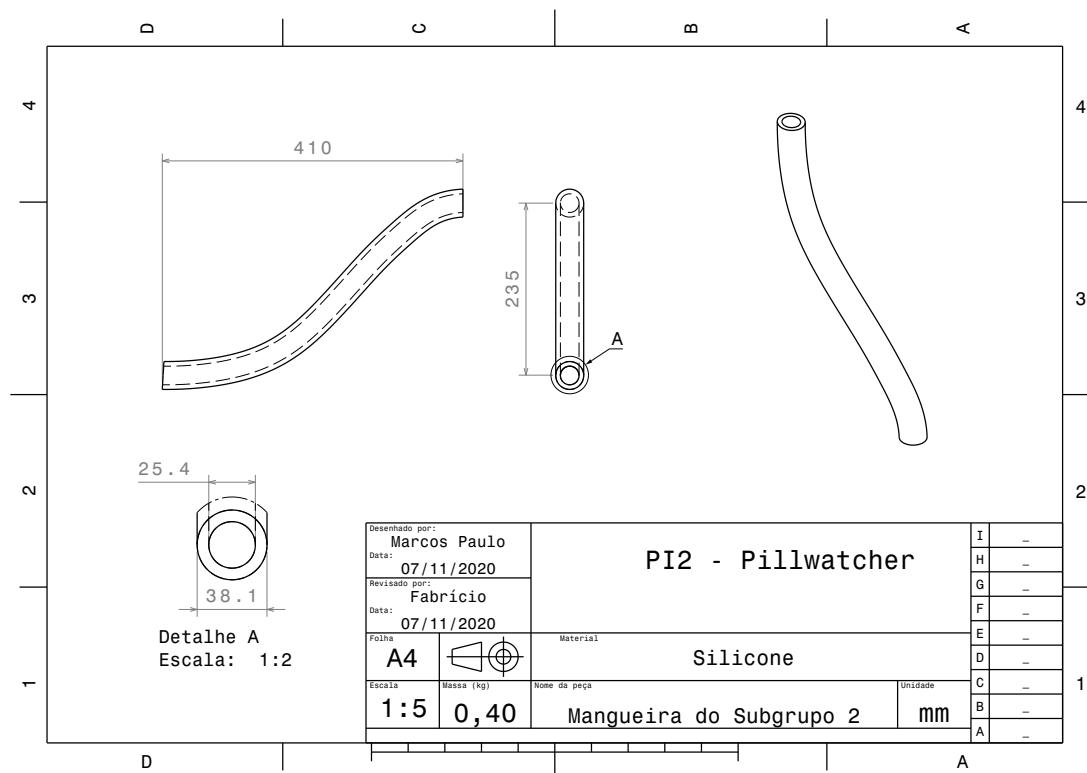


Figura 152 – Desenho técnico da mangueira do subgrupo 2 (5.1)

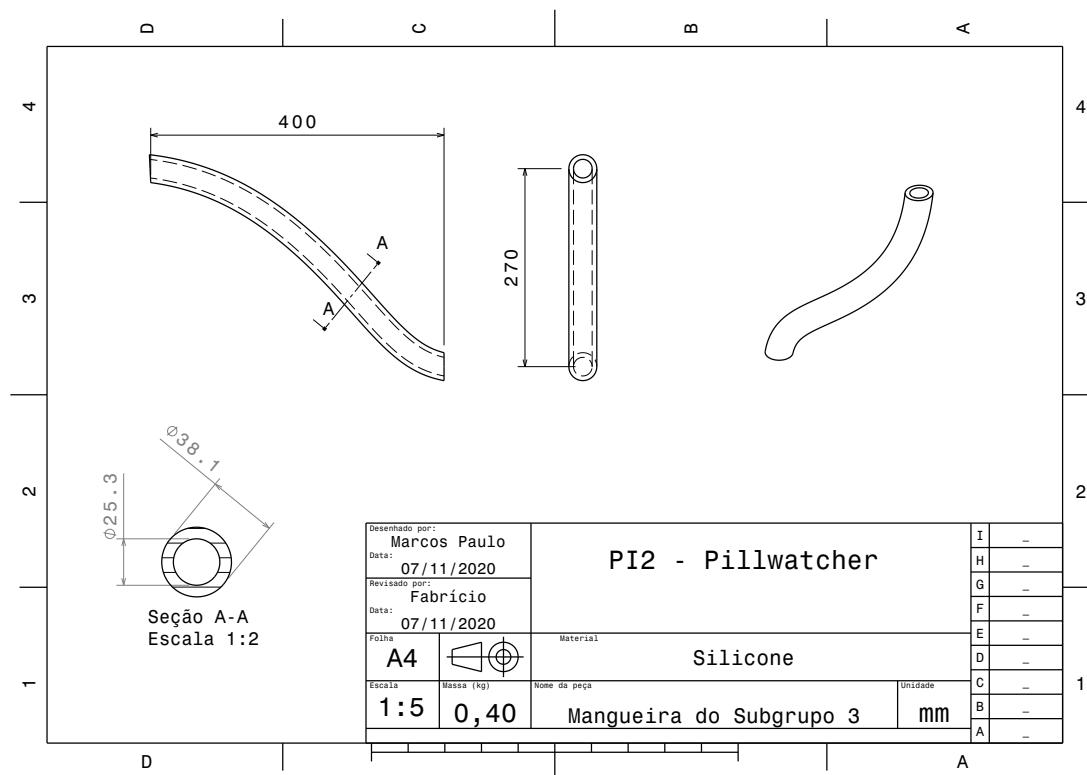


Figura 153 – Desenho técnico da mangueira do subgrupo 3 (5.1)

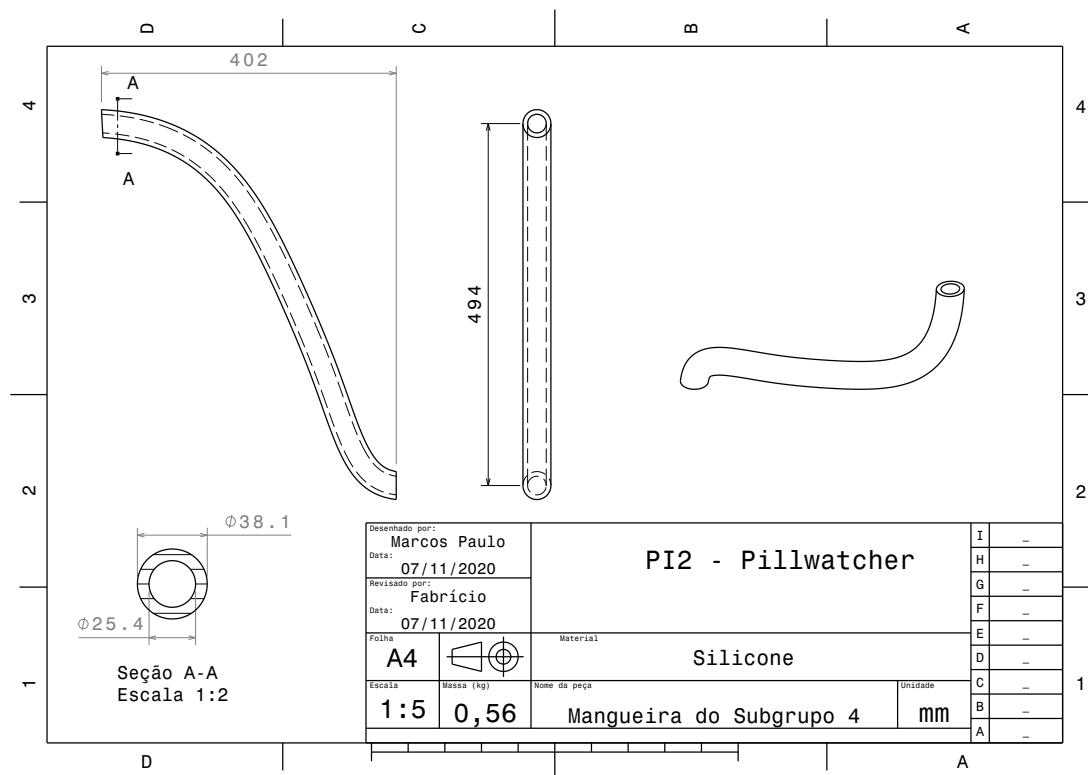


Figura 154 – Desenho técnico da mangueira do subgrupo 4 (5.1)

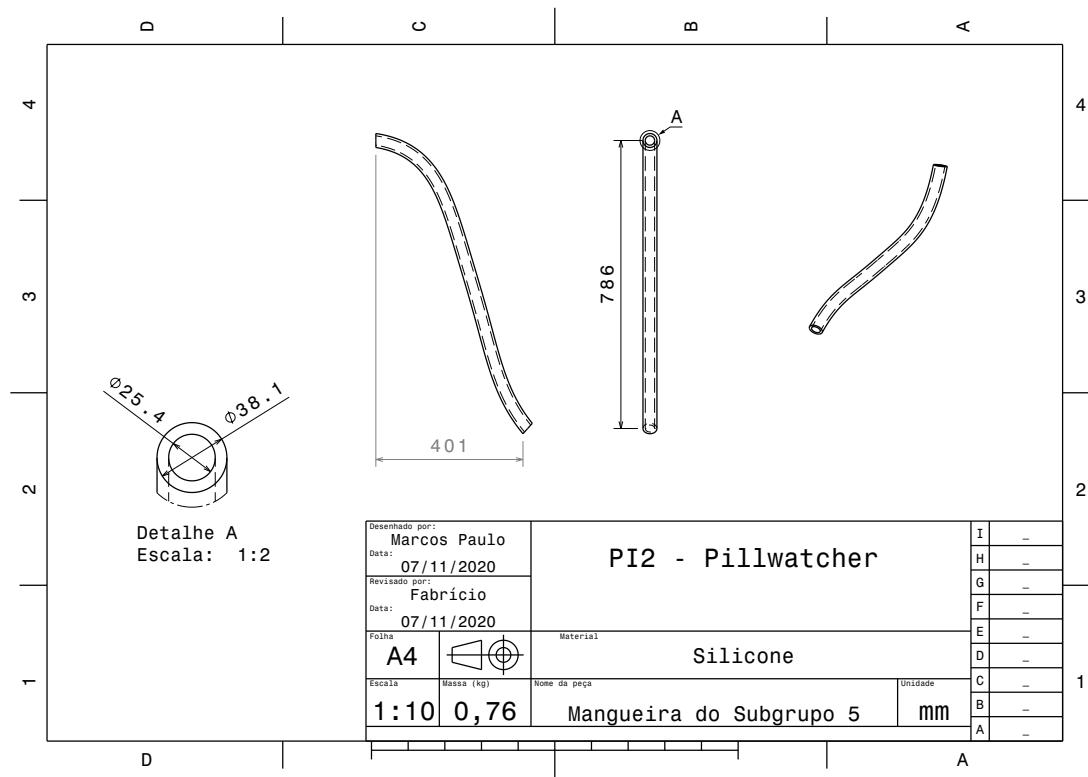


Figura 155 – Desenho técnico da mangueira do subgrupo 5 (5.1)

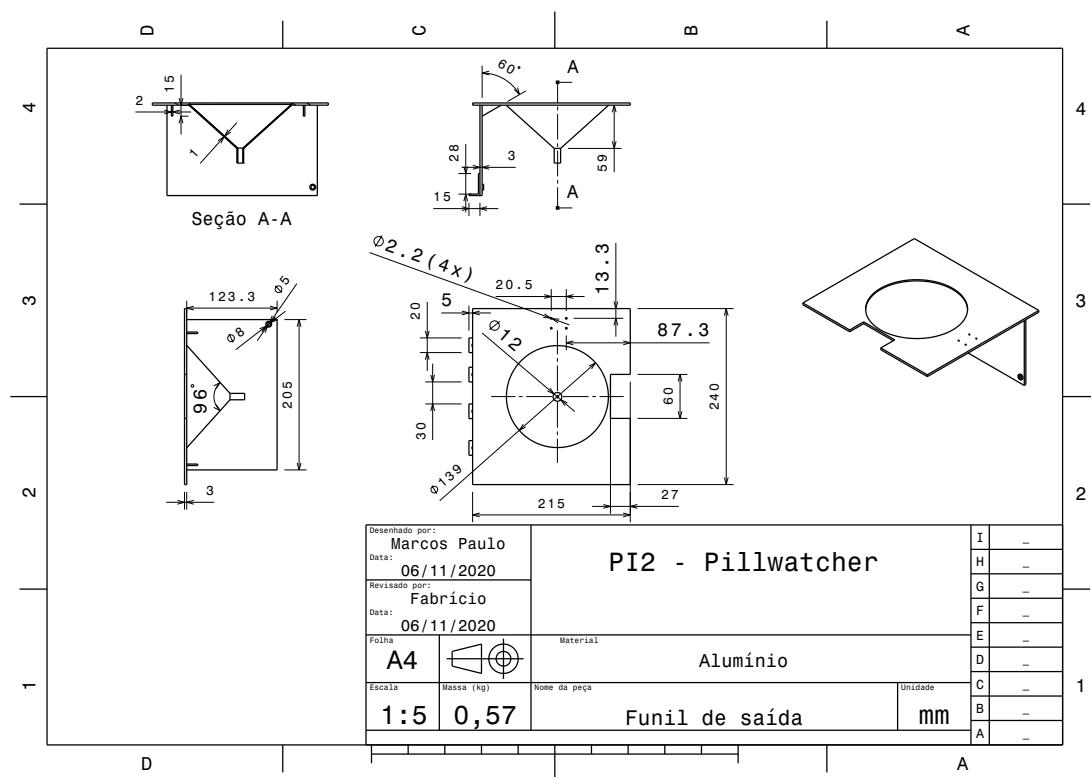


Figura 156 – Desenho técnico do funil de saída das mangueiras (5.1)

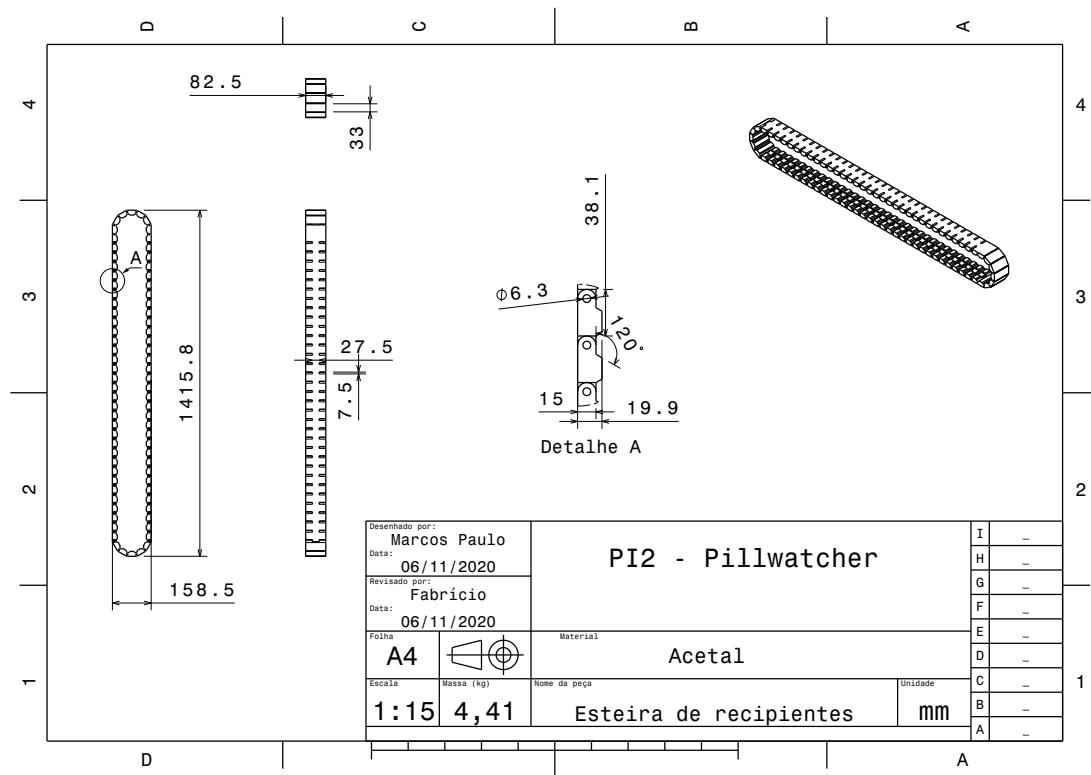


Figura 157 – Desenho técnico da esteira dos copos (5.1)

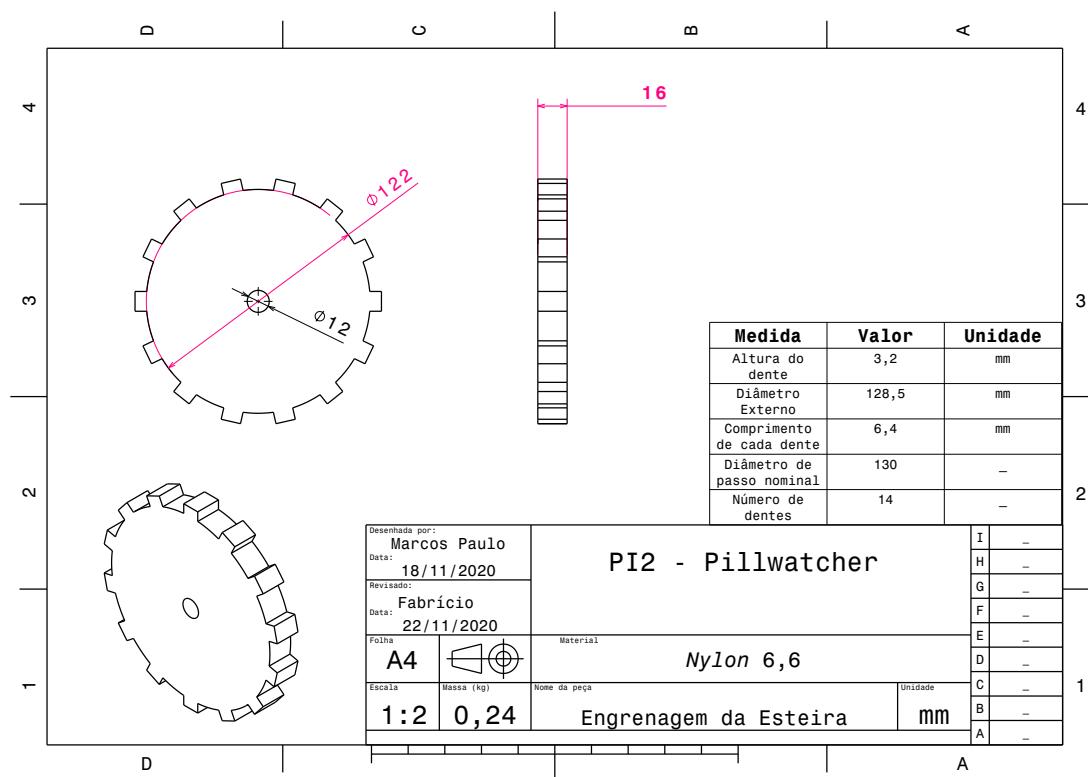


Figura 158 – Desenho técnico da engrenagem da esteira (5.1)

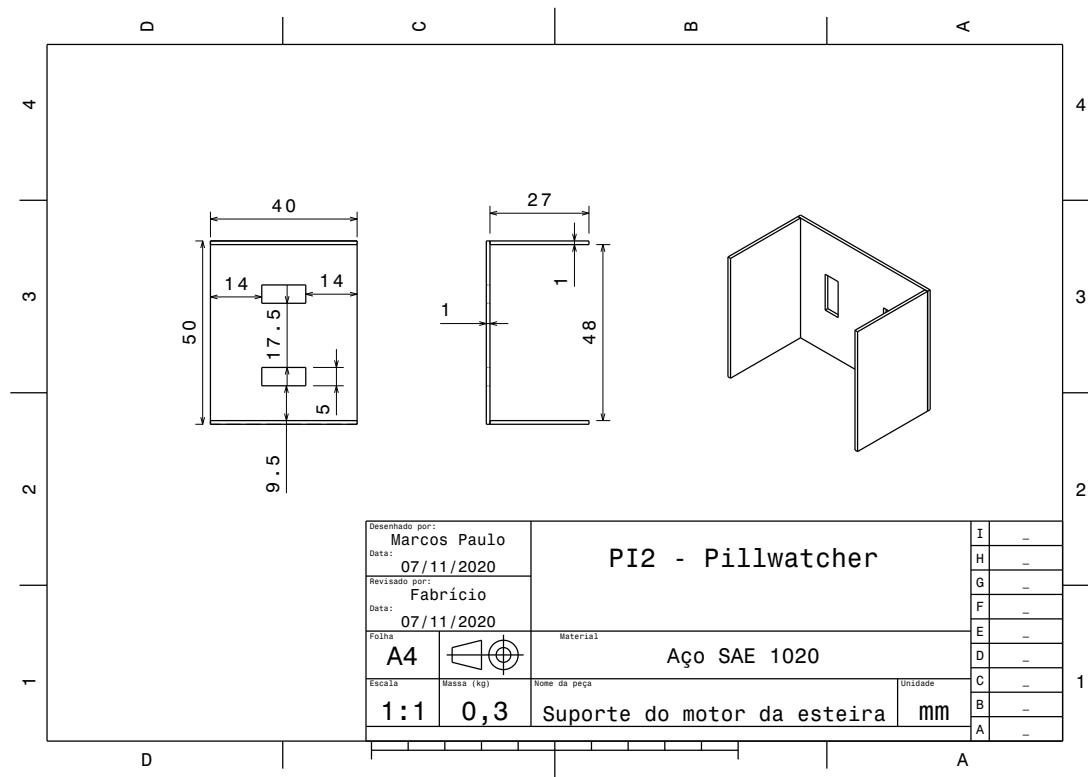


Figura 159 – Desenho técnico do suporte do motor DC da esteira (5.1)

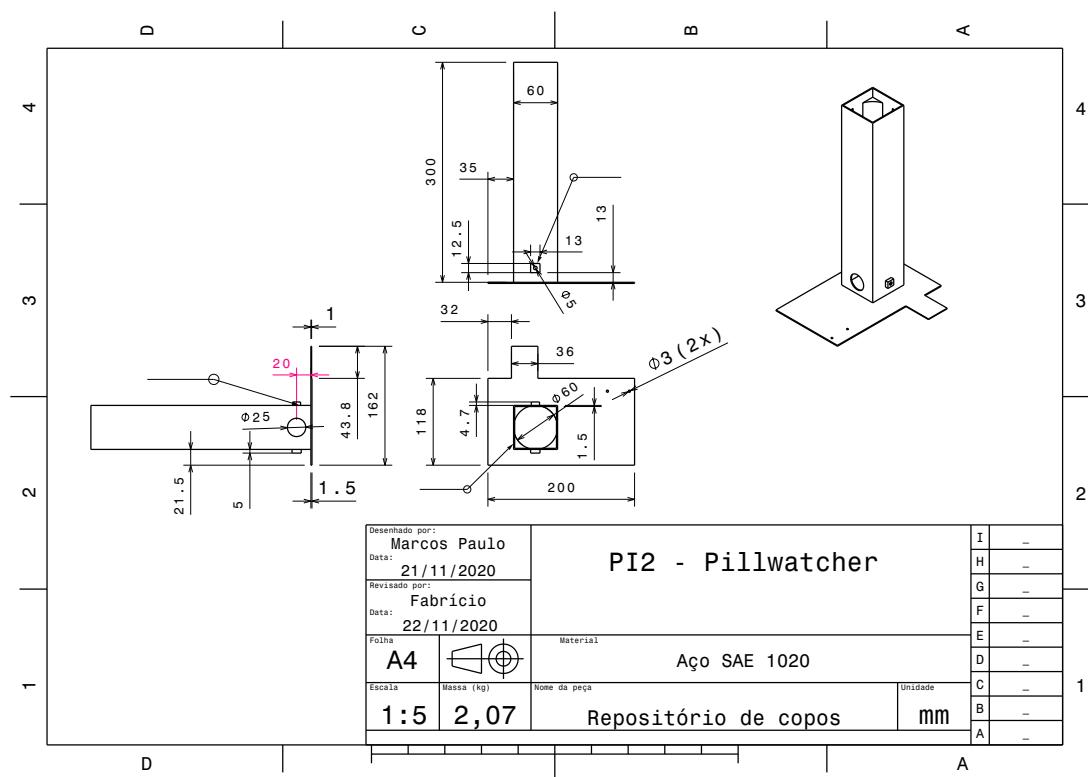


Figura 160 – Desenho técnico do repositório de copos (5.1)

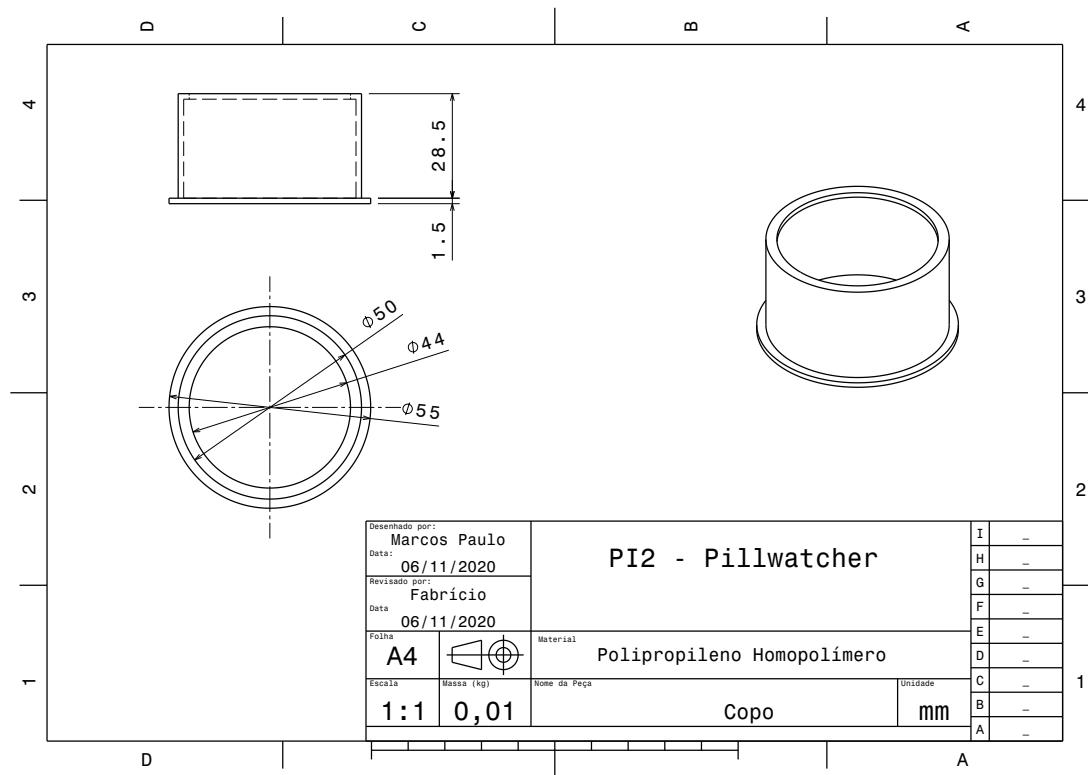


Figura 161 – Desenho técnico do copo de medicamentos (5.1)

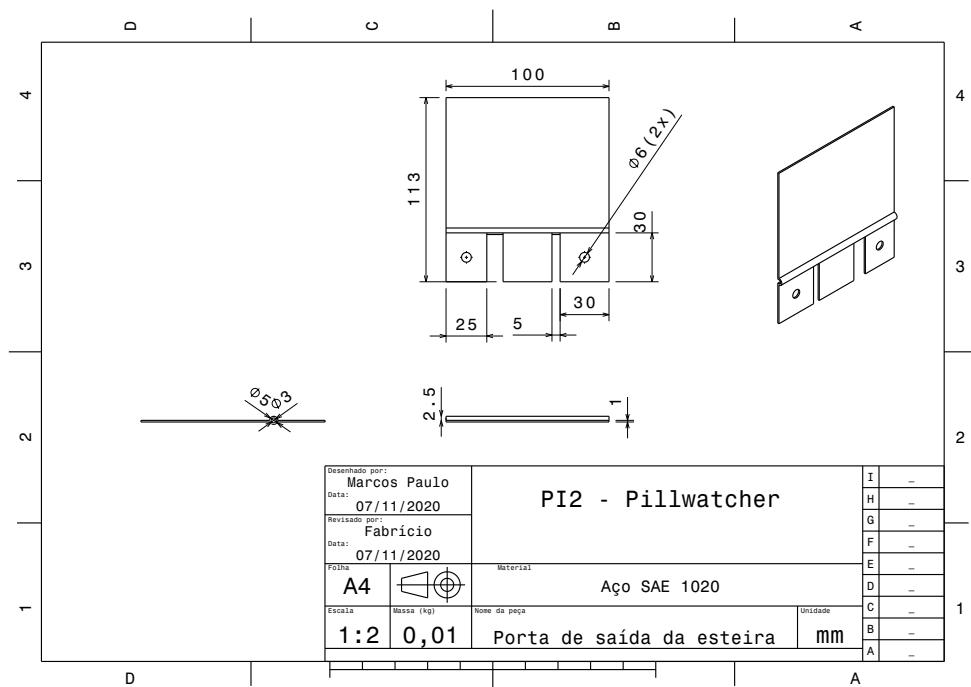


Figura 162 – Desenho técnico da porta de saída, que se apresenta tanto na saída verdadeira quanto na saída de retorno (5.1)

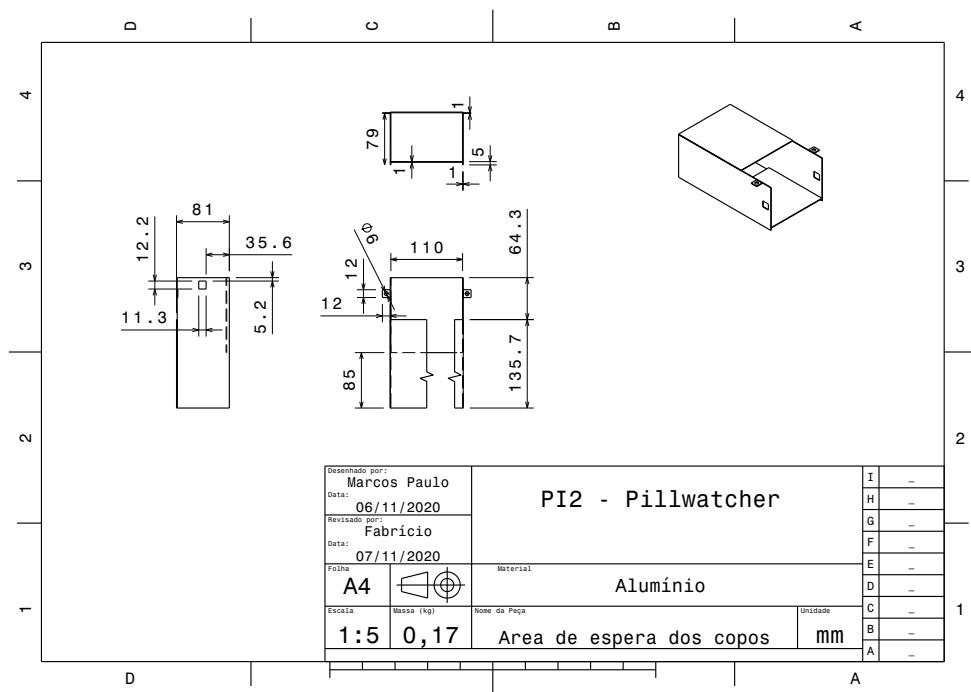


Figura 163 – Desenho técnico da área de espera dos copos, na face frontal da estrutura (5.1)

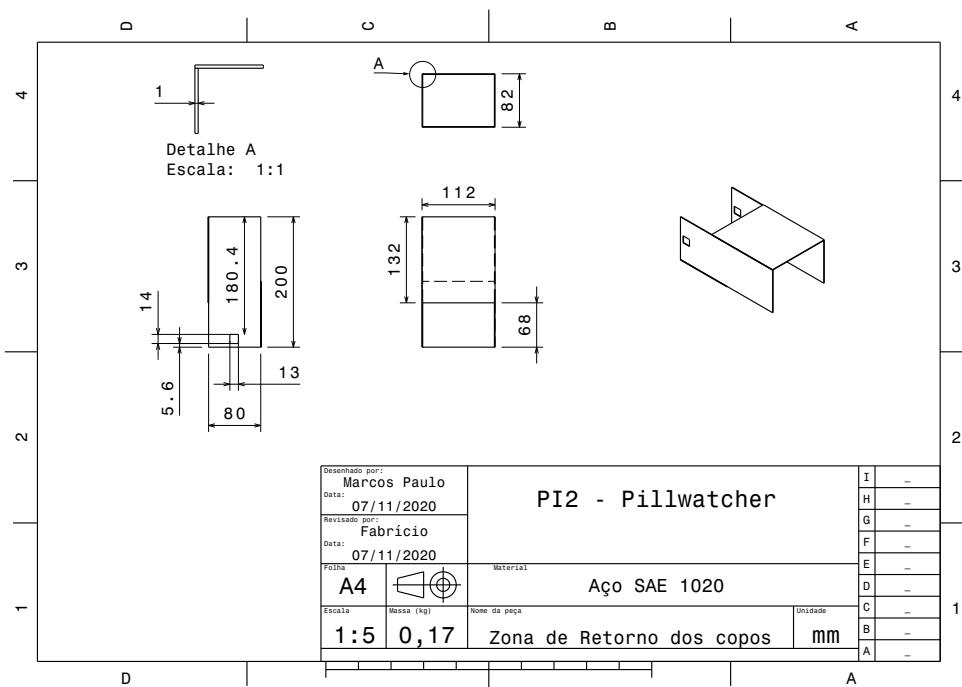


Figura 164 – Desenho técnico da zona de retorno, na face anterior da estrutura (5.1)

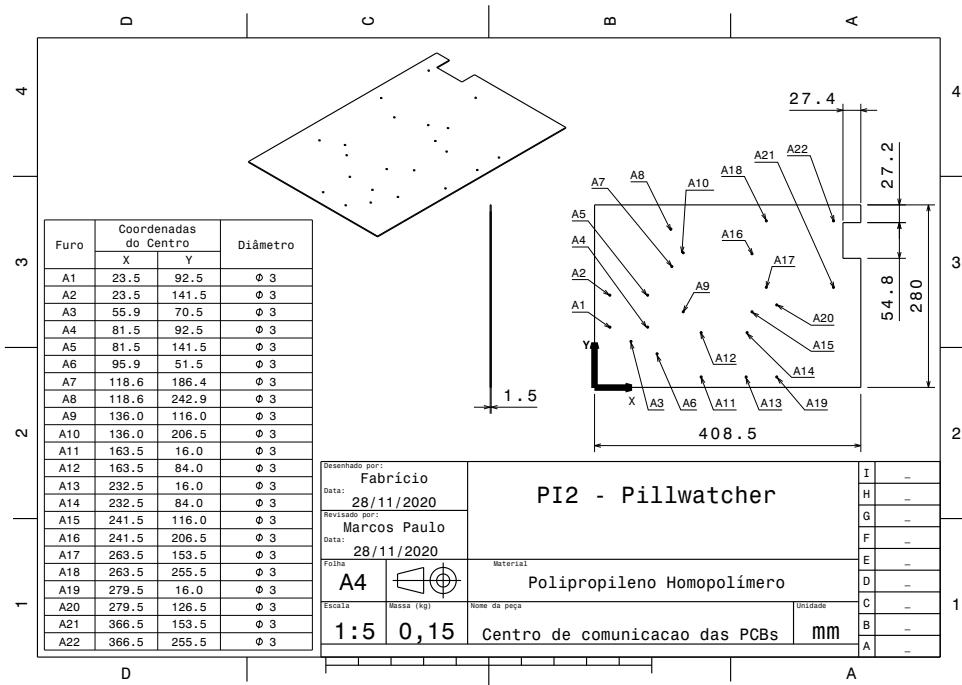


Figura 165 – Desenho técnico do centro de comunicação das PCBs (5.1)

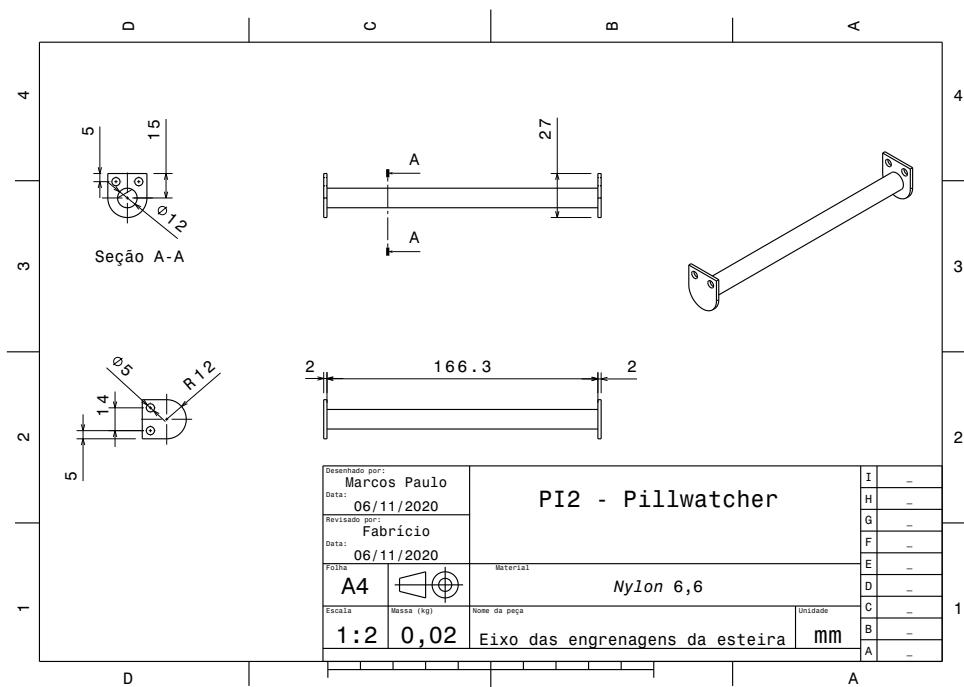


Figura 166 – Desenho técnico dos eixos de suporte das engrenagens da esteira (5.1)

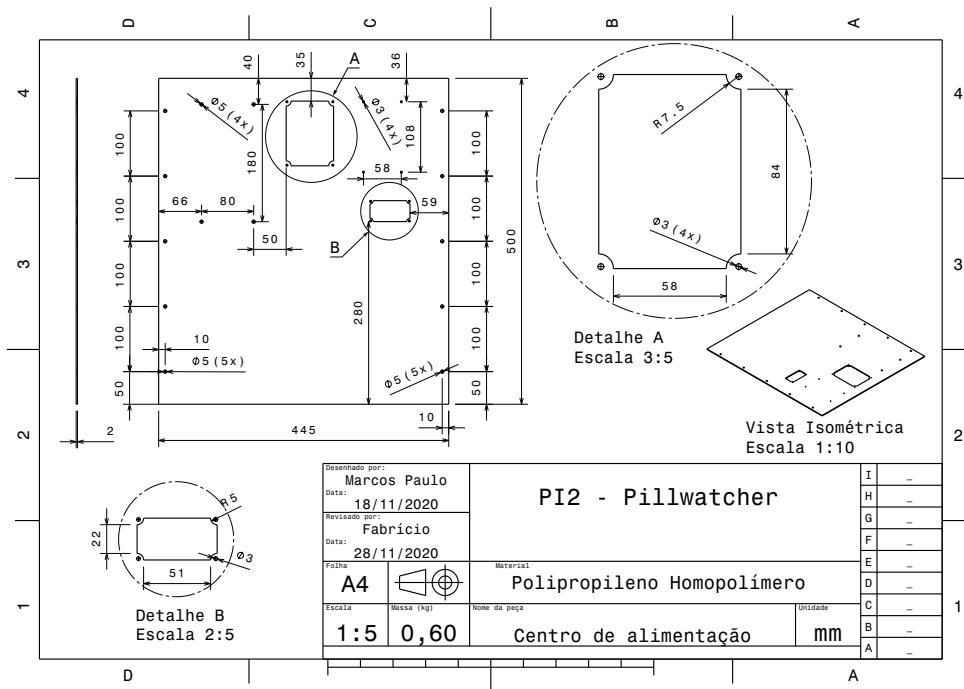


Figura 167 – Desenho técnico do suporte dos componentes energéticos, chamado Centro de Alimentação (5.1)

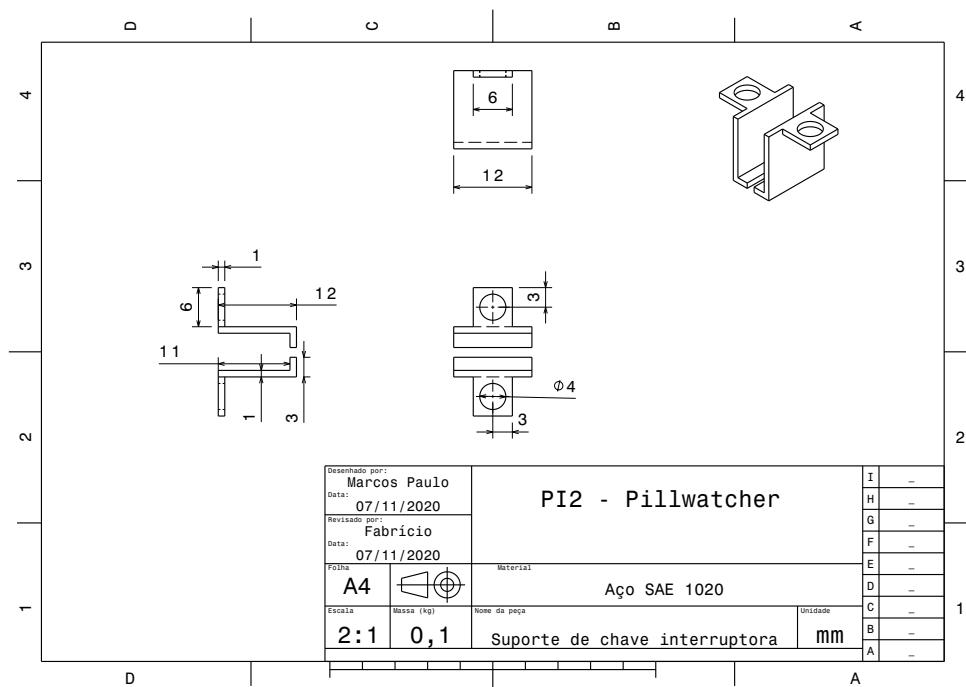


Figura 168 – Desenho técnico do suporte das chaves interruptoras (5.1)

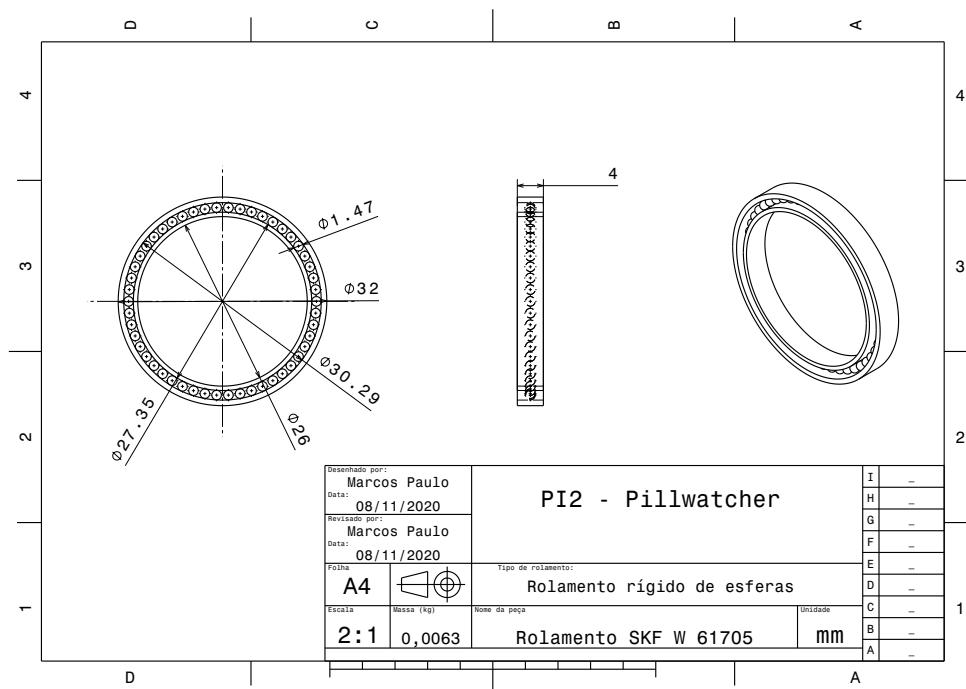


Figura 169 – Desenho técnico do rolamento do mancal do fuso (5.1)

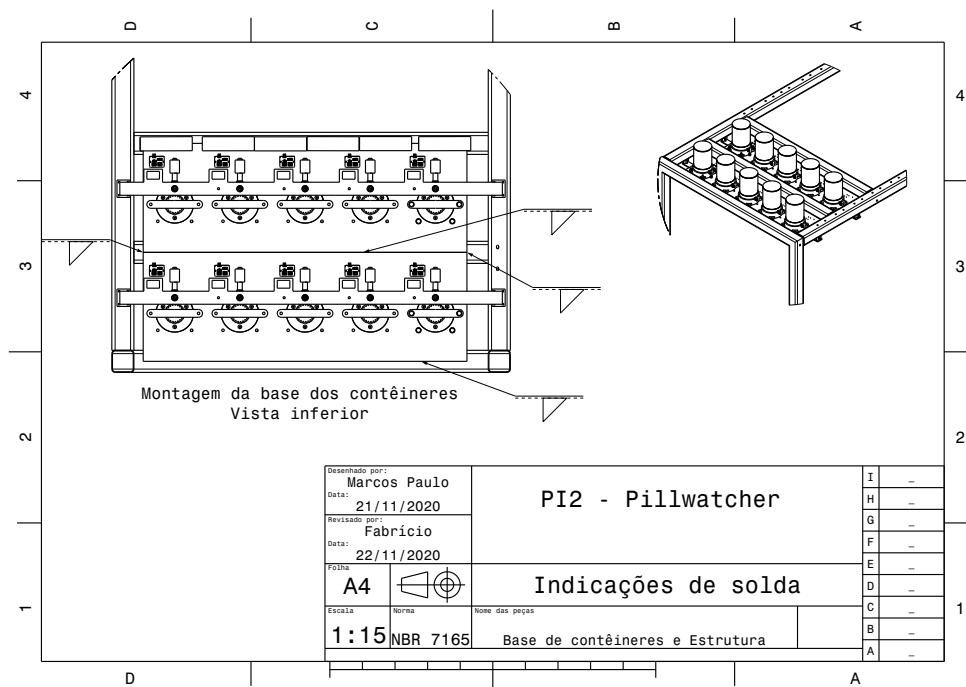


Figura 170 – Indicações de solda da base de contêineres na estrutura tubular(5.5)

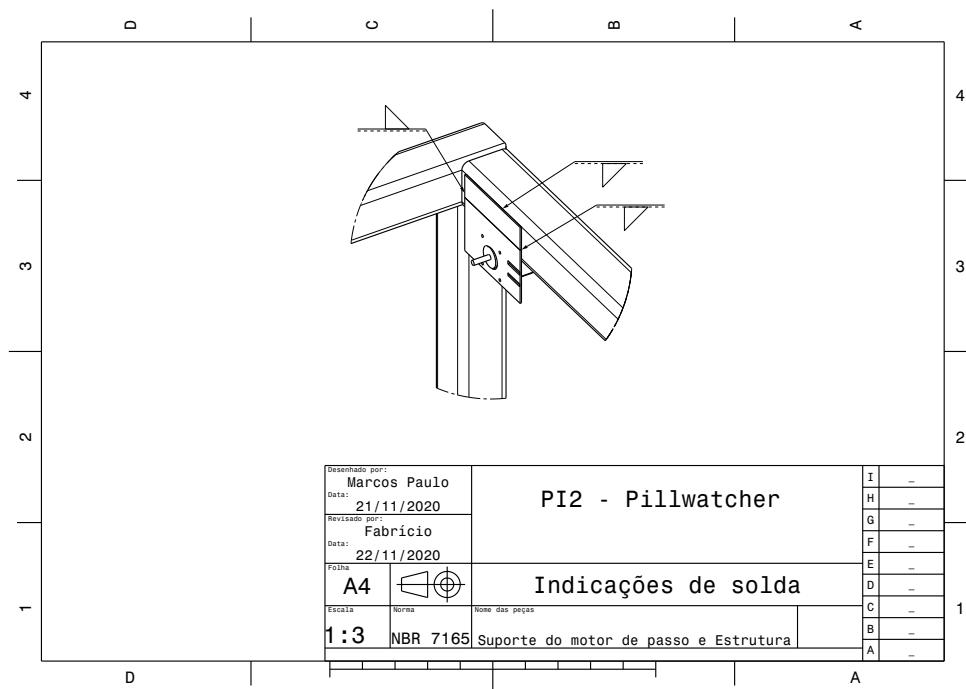


Figura 171 – Indicações de solda do suporte dos motores de passo na estrutura tubular(5.5)

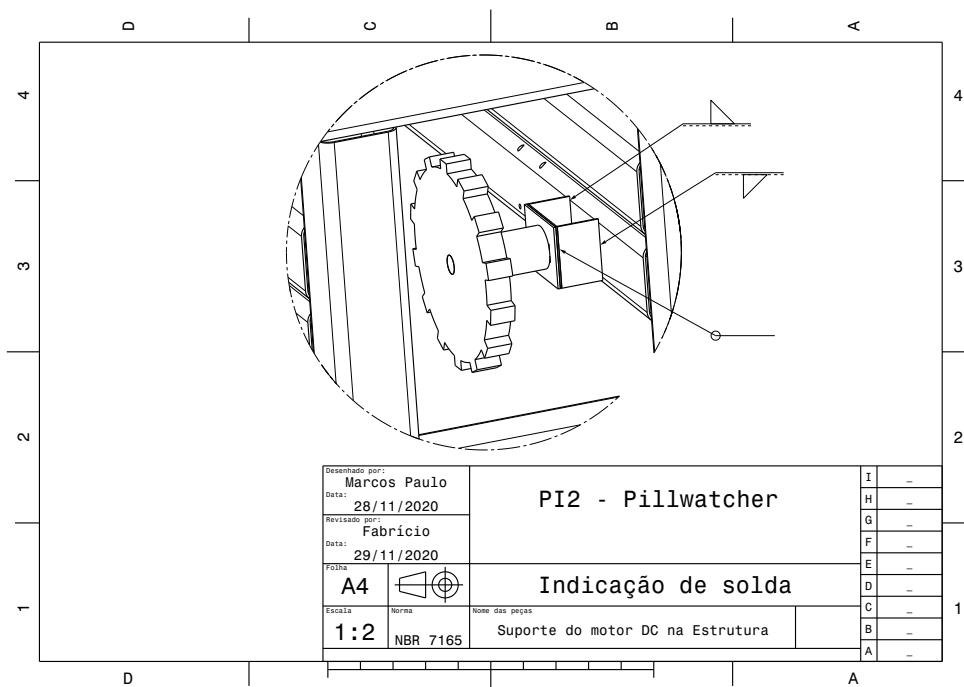


Figura 172 – Indicações de solda do suporte do motor DC na estrutura tubular(5.5)

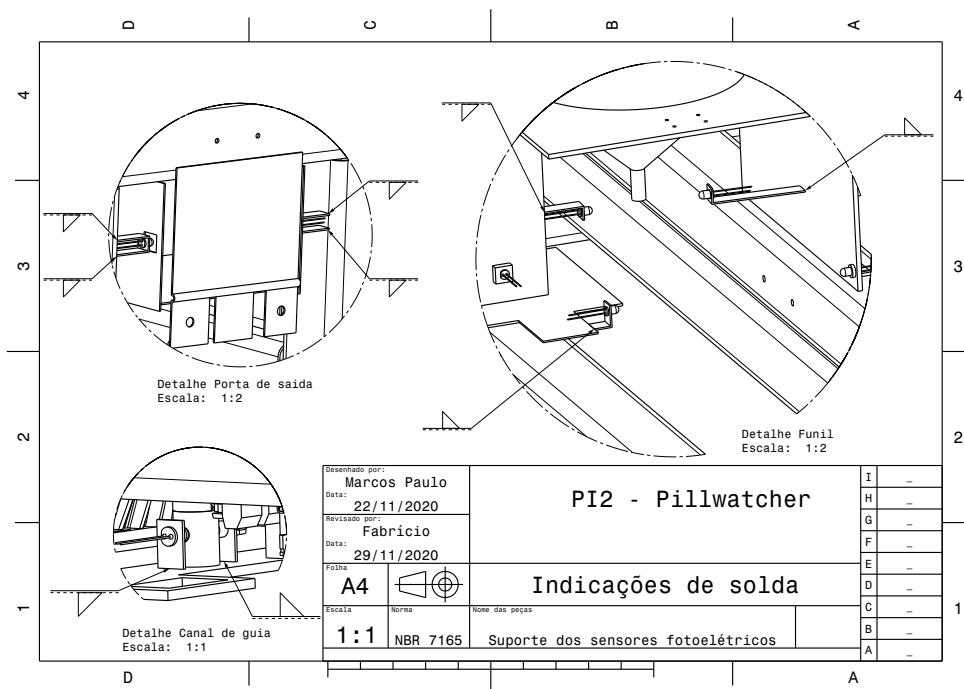


Figura 173 – Indicações de solda dos suportes dos sensores fotoelétricos em toda a estrutura(9.1)

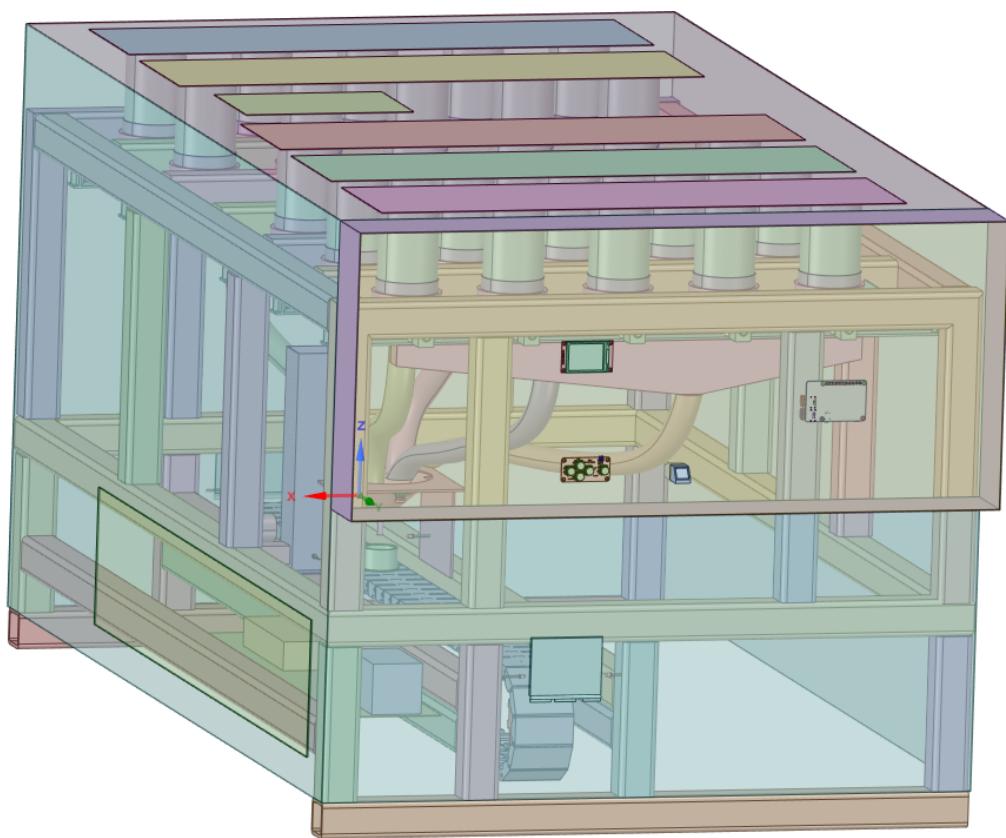


Figura 174 – Estrutural Global em formato CAD

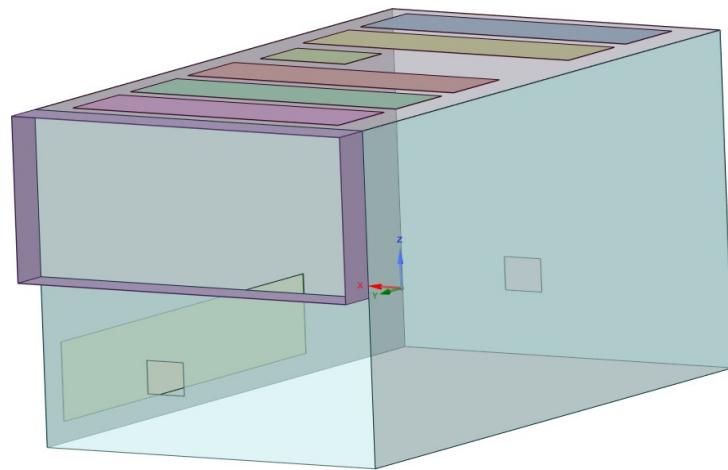


Figura 175 – Carcaça da estrutura formato CAD

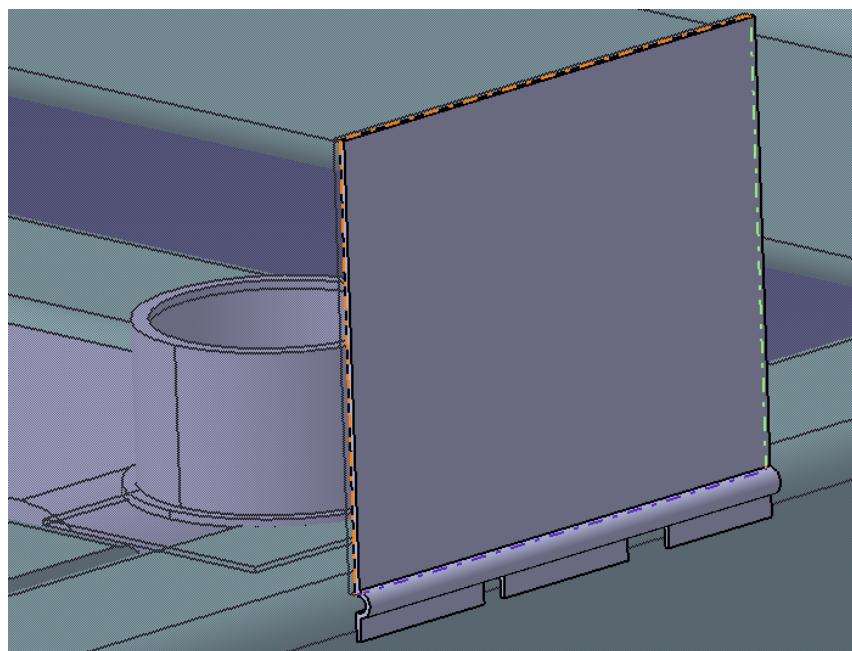


Figura 176 – Porta de saída

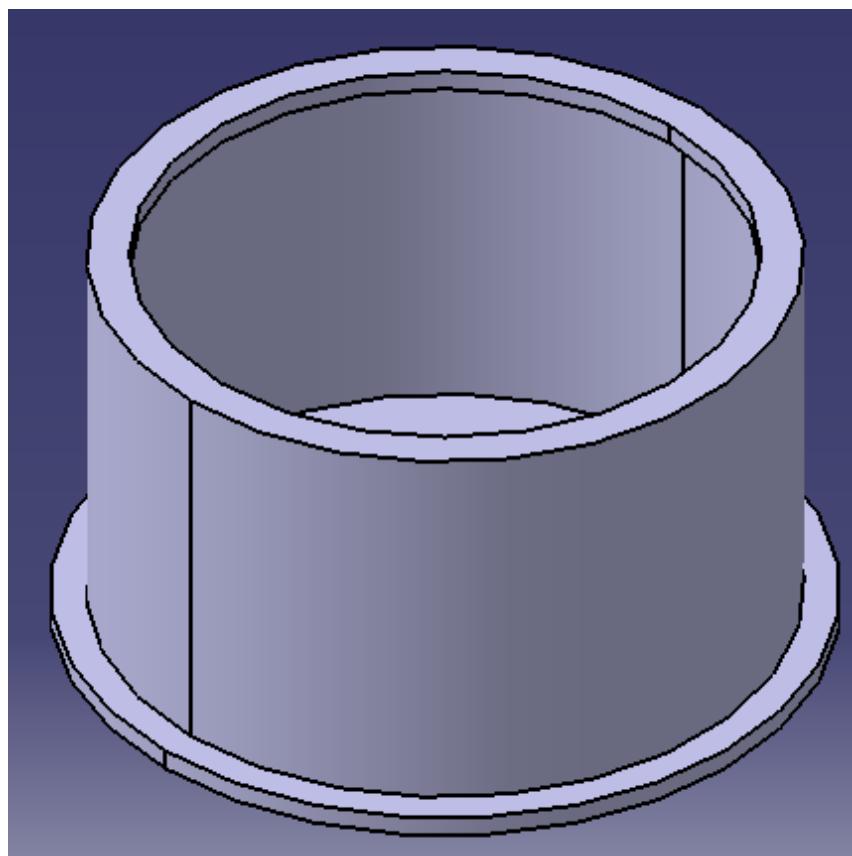


Figura 177 – Ilustração do Copo

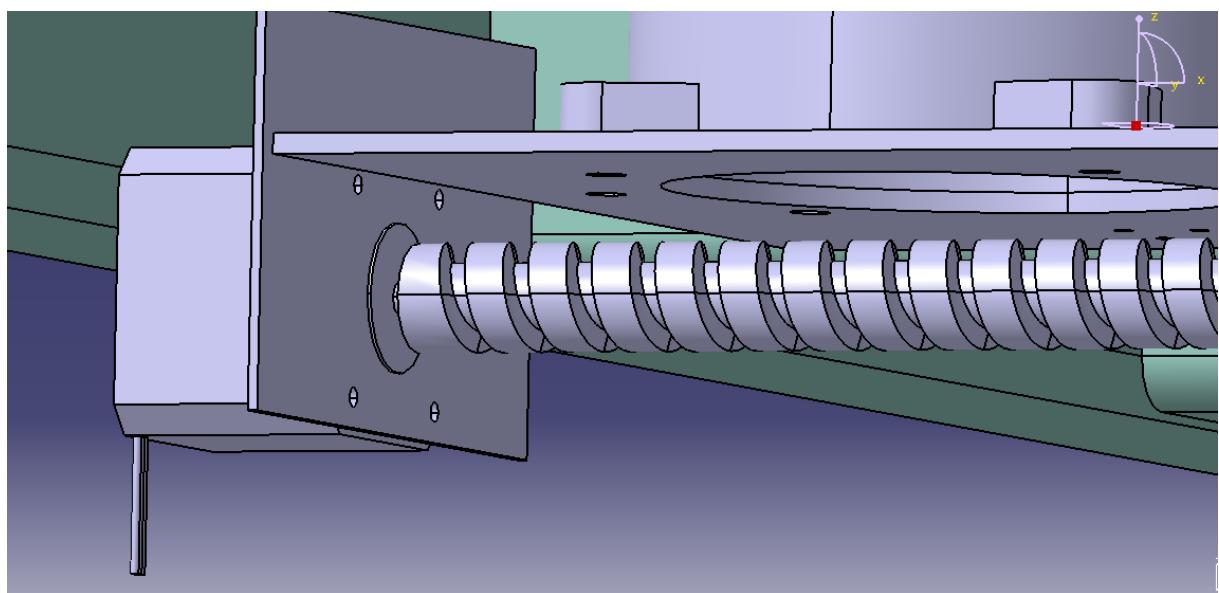


Figura 178 – Motor de passo com fuso

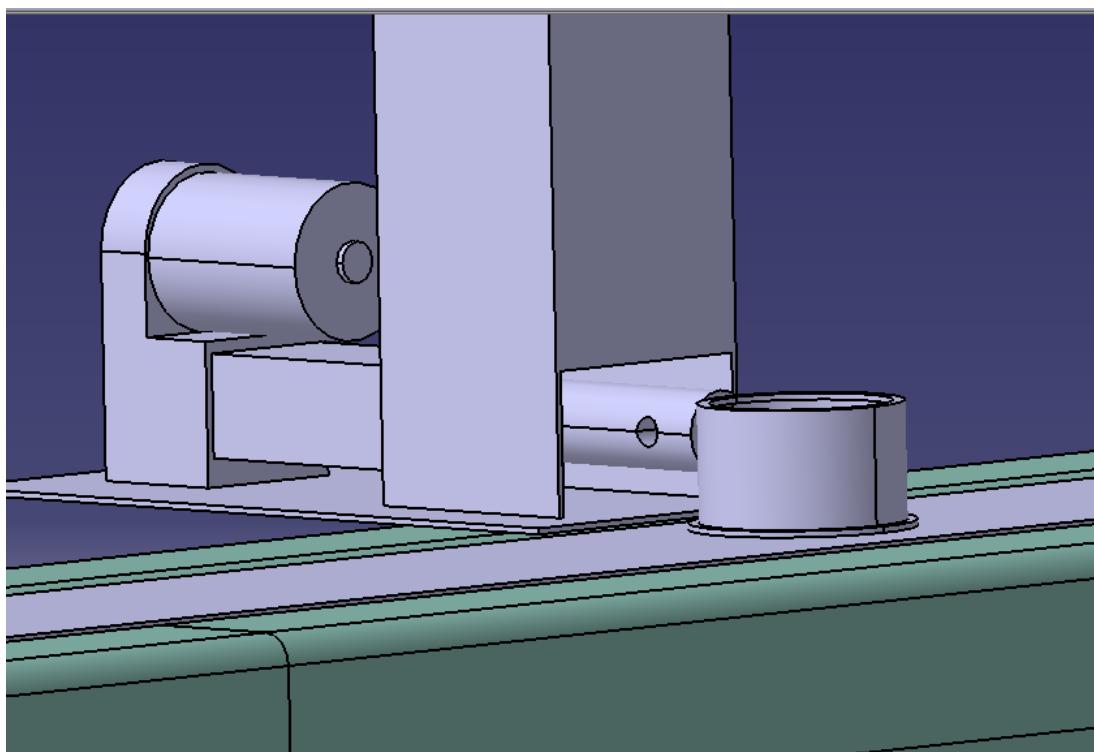


Figura 179 – Reservatório de copos com esteira

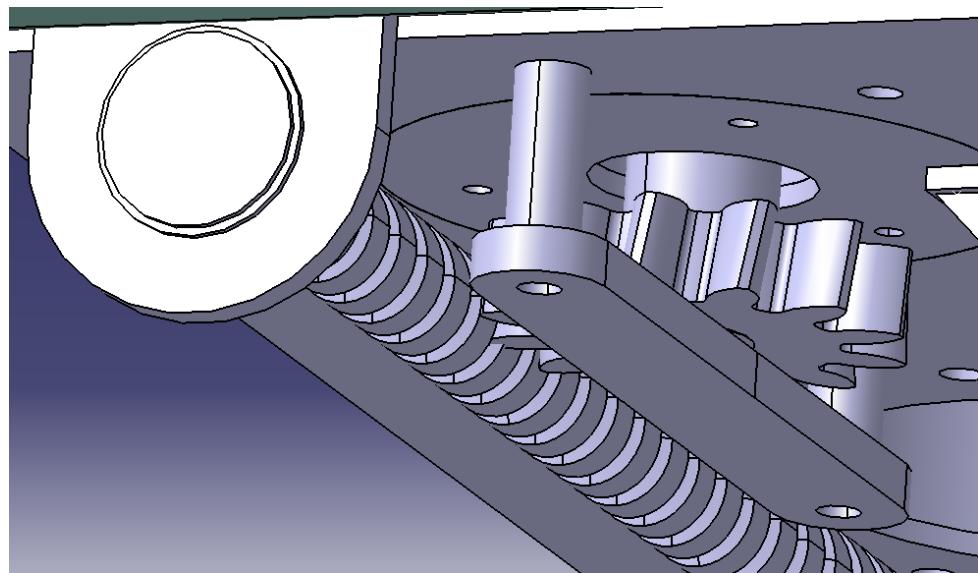


Figura 180 – Detalhes do fuso com engrenagens

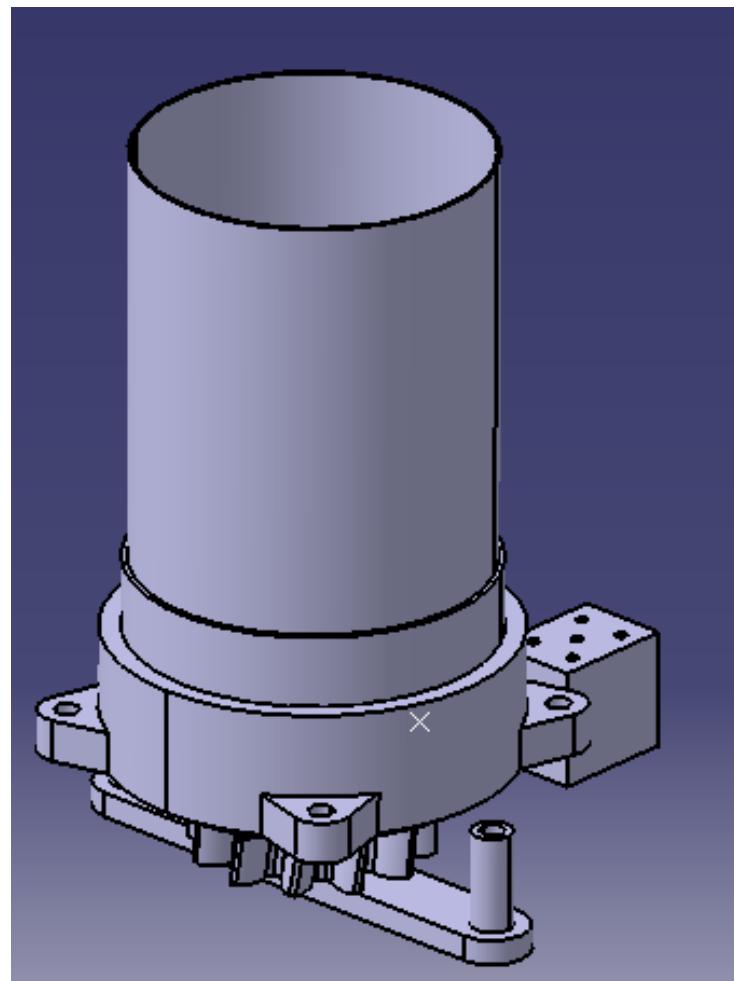


Figura 181 – Contêiner dos medicamentos

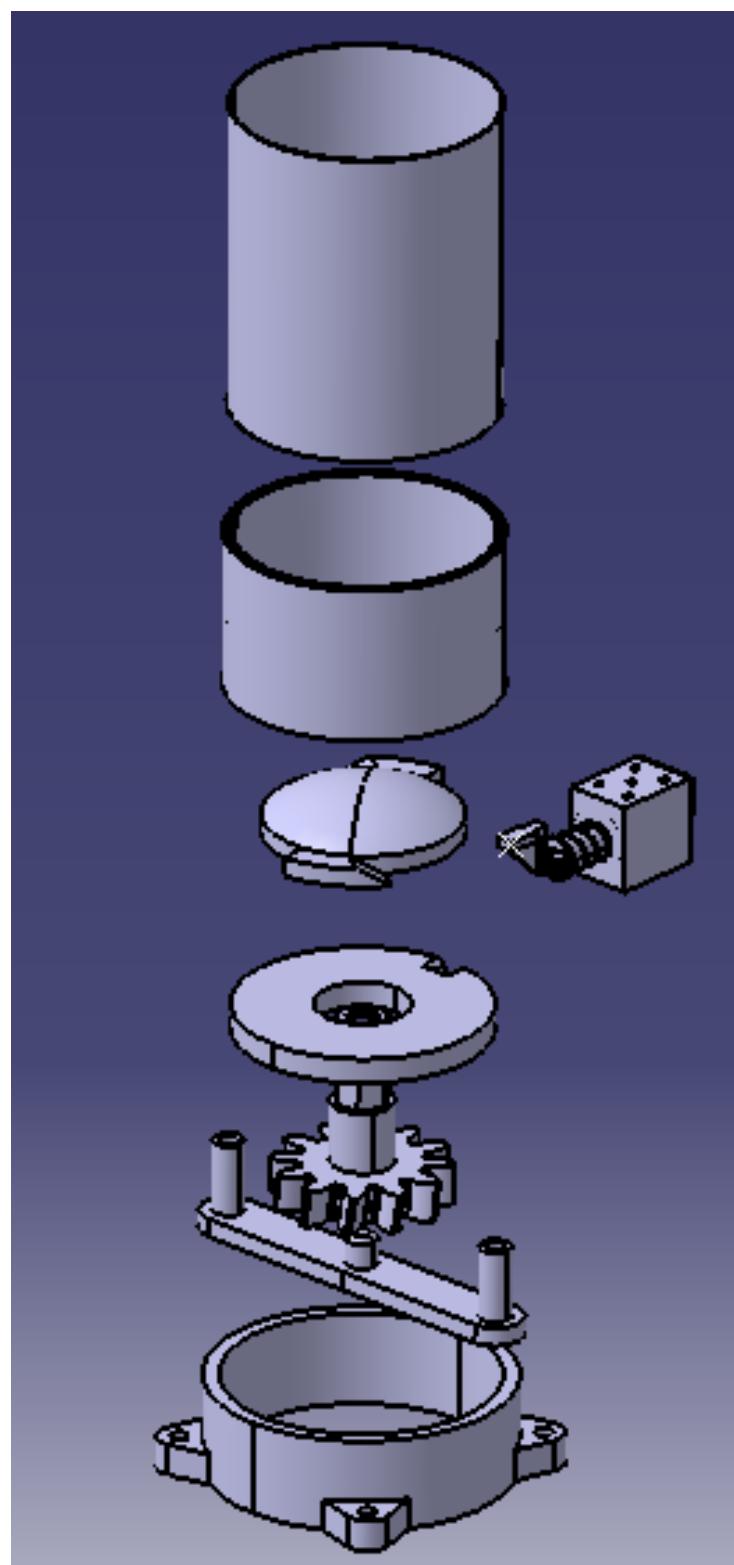


Figura 182 – Descrição detalhada do contêiner

APÊNDICE F – *Mockup* das Telas do Visor

A Central de Controle exibirá no visor para usuário os avisos e status dos sistemas que compõem o projeto. Assim, para a inicialização do dispositivo, deve-se realizar o cadastro no aplicativo do número de série disponível no visor, conforme a Fig. 183a. Em seguida, o usuário irá selecionar uma rede de internet para fazer o login, segundo a Fig. 183b. Posteriormente, deve-se digitar a senha, por meio da utilização da matriz de botões no teclado virtual disponível no visor, na Fig. 183c.

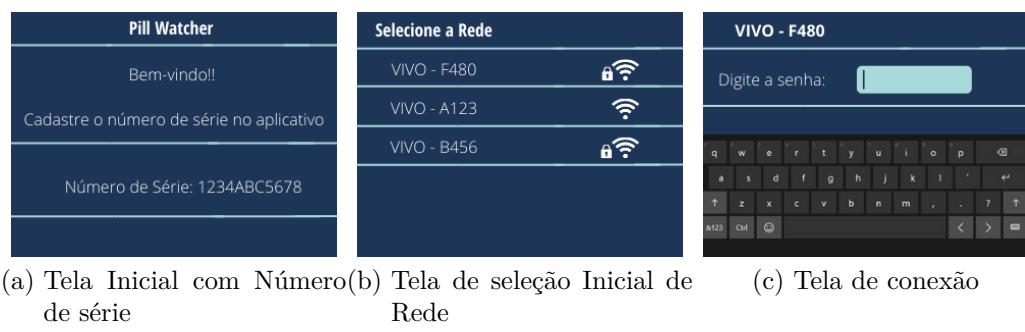


Figura 183 – Telas de Iniciação

A Fig. 184a apresenta a tela inicial no modo de espera, com horário, data, item de conexão com a internet, item da conexão do dispositivo com a rede elétrica e quando o dispositivo está utilizando a bateria, em casos de falta de energia. Além do mais, a partir da tela inicial, é possível acessar as configurações e a agenda de medicamentos. Assim, conforme a Fig. 184b, existe a representação da agenda da próxima hora de medicações dos pacientes, por ordem de horário.

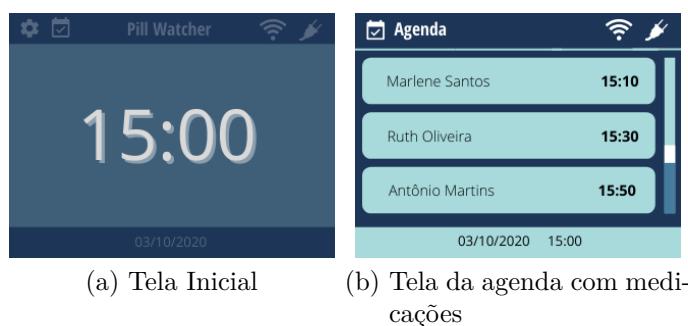


Figura 184 – Tela Inicial e Tela da Agenda

Ao clicar, utilizando a matriz de botões no ícone das configurações, o usuário é encaminhado para um menu 185a. Nele, é possível alterar a rede de conexão com a internet 185b, alterar data e hora 185c, alterar o brilho da tela 186a e acessar a tela com informações técnicas do dispositivo 186b.



Figura 185 – Telas de Configuração - Parte 1



Figura 186 – Telas de Configuração - Parte 2

A Fig. 187a representa o processo de dispensação da dose de medicamentos individuais, uma vez que existem pacientes que necessitam de mais de uma medicação no mesmo horário. Após o final do processo de separação da dose de medicamentos, tem-se um aviso no visor que o medicamento já pode ser retirado do dispositivo, com tela representada na Fig. 187b. Após o aviso da Fig. 187b, é apresentado no visor as doses de medicamentos que já estão prontas para retirada, com a cor do copo dos medicamentos, o nome do paciente e o horário da administração, conforme a Fig. 187c.

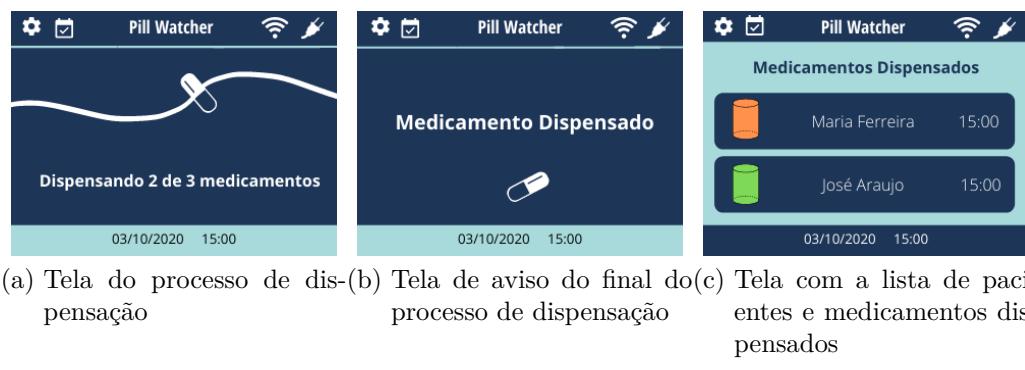


Figura 187 – Telas de Dispensação do Medicamento

Nas figuras 188, 189 e 190 estão representadas as telas de aviso. Sendo assim, as telas 188a e 188b avisam o enfermeiro quando as portas estão abertas e se os contêineres estão mal encaixados, após o processo de reabastecimento. Já a tela 188c avisa a existência de copos com medicamentos na comporta traseira, sendo estas as doses medicamentosas reprovadas por apresentar uma quantidade de medicamentos incorreta ou tipo de medicação errada, após processamento de imagem.



Figura 188 – Telas de Aviso - Parte 1

A tela 189a avisa quando não há conexão com a internet. Nesse caso, o dispositivo terá uma redução de atividades de adição de medicamento, enfermeiro ou paciente. A tela 190a avisa quando não tem a conexão com a rede elétrica, situação na qual o dispositivo troca automaticamente a fonte de alimentação da principal para bateria reserva. Após algumas horas de uso da bateria, aparece a tela com aviso da bateria estar acabando, conforme representado na Fig. 189c.

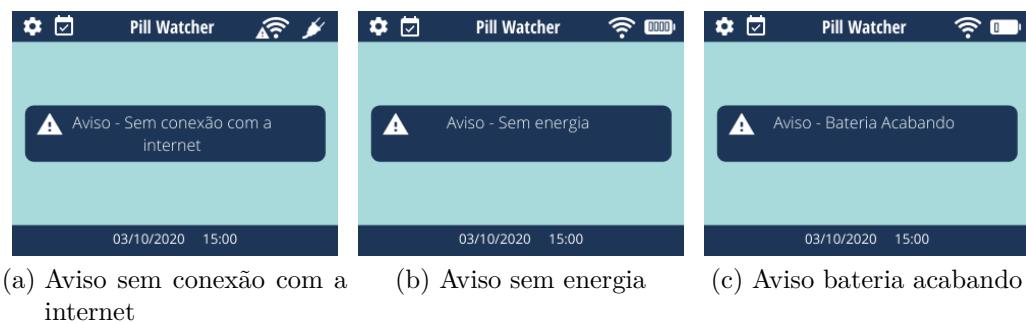


Figura 189 – Telas de Aviso - Parte 2

A tela 190a avisa para o enfermeiro no momento da seleção de medicamento quando existe um medicamento. Ou seja, quando não ocorre a detecção do medicamento pelo sensor de barreira localizado no funil, pode-se concluir que o medicamento ficou preso no dispositivo. Já a tela 190b avisa para o enfermeiro que existe uma medicação atrasada, disponível para ser retirada no dispositivo.



Figura 190 – Telas de Aviso - Parte 3



Figura 191 – Telas de Biometria

Todos os cadastros serão realizados no aplicativo. Entretanto, para o enfermeiro terminar o seu cadastro, ele necessita colocar sua digital para registrar a biometria. Sendo

assim, é necessária uma tela para informar o horário correto de posicionar a digital, como demonstrado na Fig. 191a. Em seguida, quando a leitura da digital é concluída tanto no processo do cadastro quanto para retirar ou adicionar medicamentos do dispositivo, será mostrado a tela no visor representado na Fig. 191b.



Figura 192 – Telas de Reabastecimento e desligamento

A tela 192a informa ao enfermeiro que o dispositivo está no modo de reabastecimento, logo, todas as funcionalidades da máquina estão suspensas. A tela 192b é utilizada como uma verificação para se realizar o desligamento do dispositivo.

APÊNDICE G – Esquemáticos Eletrônicos

Os esquemáticos de conexão entre os componentes da solução eletrônica foram divididos em 5 esquemáticos. A divisão foi realizada levando em consideração que cada esquemático será a base para criação da respectiva placa de circuito impresso (PCI).

No esquemático 1, na Fig. 193, temos representado as conexões da *Raspberry Pi* 4 com o sensor de biometria DY50, sensor de temperatura e umidade HTU21D, sensor RFID PN532, a câmera OV5647, o LCD 240x320 e os quatro microcontroladores PIC16F677. Também está representada a conexão da fonte de alimentação 5 V (+5 V e GND), fornecida pela solução energética.

Para os microcontroladores PIC16 1, PIC16 2, PIC16 3 e PIC16 4 temos os pinos de alimentação e os 2 pinos SDA e SCL da comunicação por protocolo I²C. De forma semelhante, temos os mesmos pinos para o módulo controlador RFID PN53. Para o sensor de temperatura e umidade, temos alimentação de +3,3 V vinda da *Raspberry Pi* 4 (Pino 1 - GPIO 1) e os pinos da comunicação por protocolo I²C. O sensor de biometria DY50 é alimentado por 5 V e conectado aos pinos de comunicação do protocolo UART (TXD, RXD). O visor LCD 240x320 tem a conexão dos pinos de alimentação para 5 V e a conexão do protocolo SPI com a *Raspberry Pi* 4. Por fim, temos uma representação esquemática da conexão do protocolo CSI pelo soquete ZIF 15 pinos da *Raspberry Pi* 4 e sua conexão com a câmera OV5647.

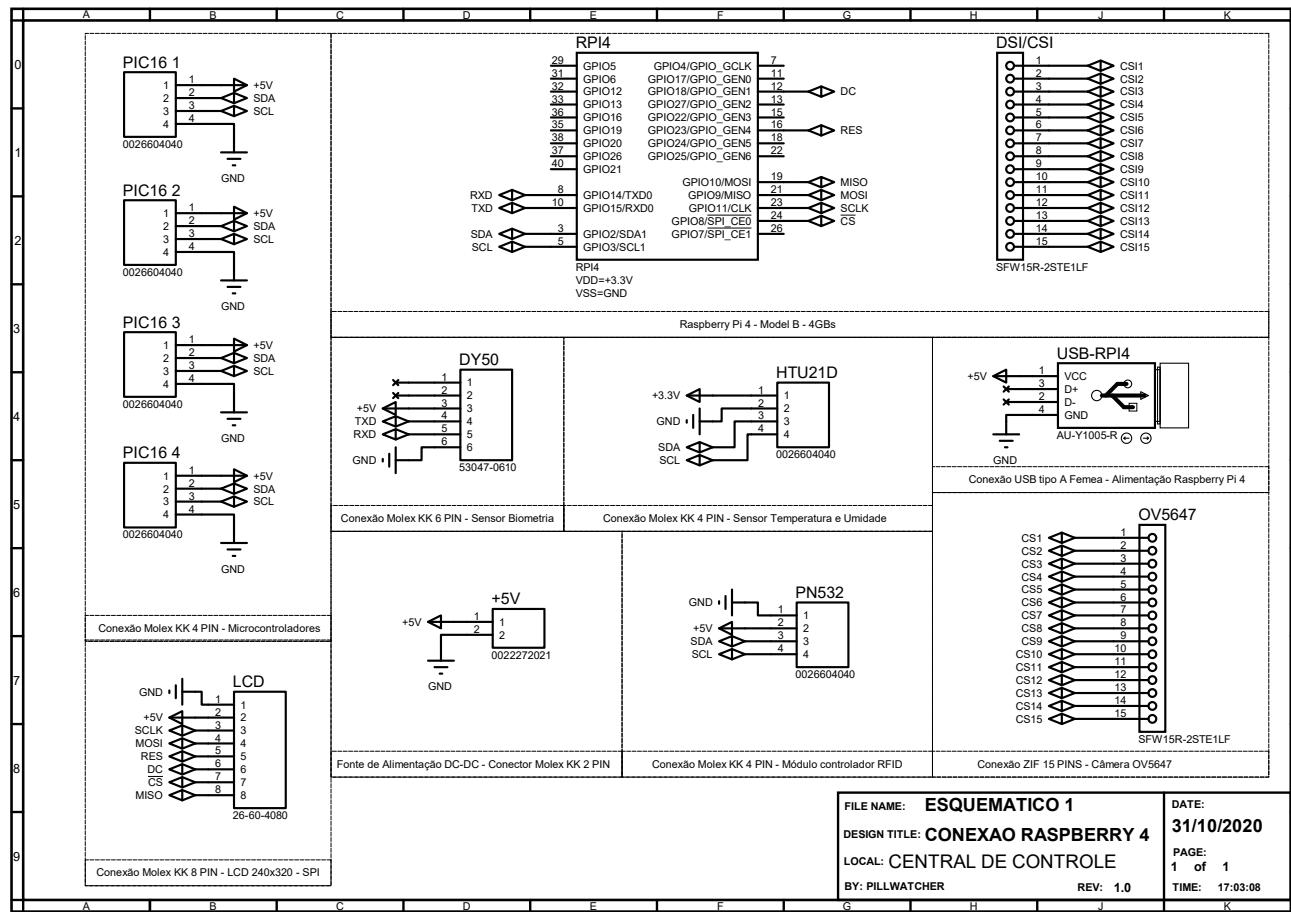


Figura 193 – Diagrama esquemático da conexão das Raspberry Pi 4 com sensores e microcontroladores

A PIC16 1 é a conexão com o microcontrolador responsável por receber os dados dos sensores de barreira, com representação esquemática na Fig. 194. Neste esquemático, temos representado a conexão entre o microcontrolador e os 30 sensores de barreira, onde cada sensor precisa ser conectado com um conector de 3 pinos (5 V, GND e OUT). Dos 30 sensores, 24 estão conectados nos 3 multiplexadores CD4051 e os 6 restantes estão diretamente no microcontrolador PIC16F677. Cada multiplexador precisa ser conectado com o microcontrolador com 4 pinos, sendo 3 para a seletora dos canais (A, B, C) e 1 de ativa à multiplexação (*ENABLE*). Como forma de seleção, é comum a todos os multiplexadores e cada um pode ser ativado individualmente pelo pino de *ENABLE*. Os 9 pinos de seleção para os 3 multiplexadores são conectados nos mesmos 3 pinos I/O do microcontrolador, sendo os 3 pinos de *ENABLE_Bx* e de saída (*MUX_OUT_Bx*) para cada multiplexador conectado ao restante das portas do microcontrolador.

A PIC16 2 é o microcontrolador responsável por receber os dados das chaves e traduzir as tensões analógicas do teclado para uma forma digital, utilizando a porta em que é conectado no modo conversor analógico digital, representação esquemática na Fig. 195. A conexão entre as 30 chaves segue a mesma lógica descrita para o microcontrolador do esquemático 2. No caso do teclado, temos que ele precisa de 3 pinos, sendo 2 de alimentação (5V e GND) e 1 da saída de dados (OUT_TECLADO). Esses dados são tensões elétricas resultantes dos divisores de tensão do teclado. Portanto, foi necessário conectar a porta 9 (AN9) do microcontrolador, que pode ser configurada como um conversor analógico digital de 10 bits.

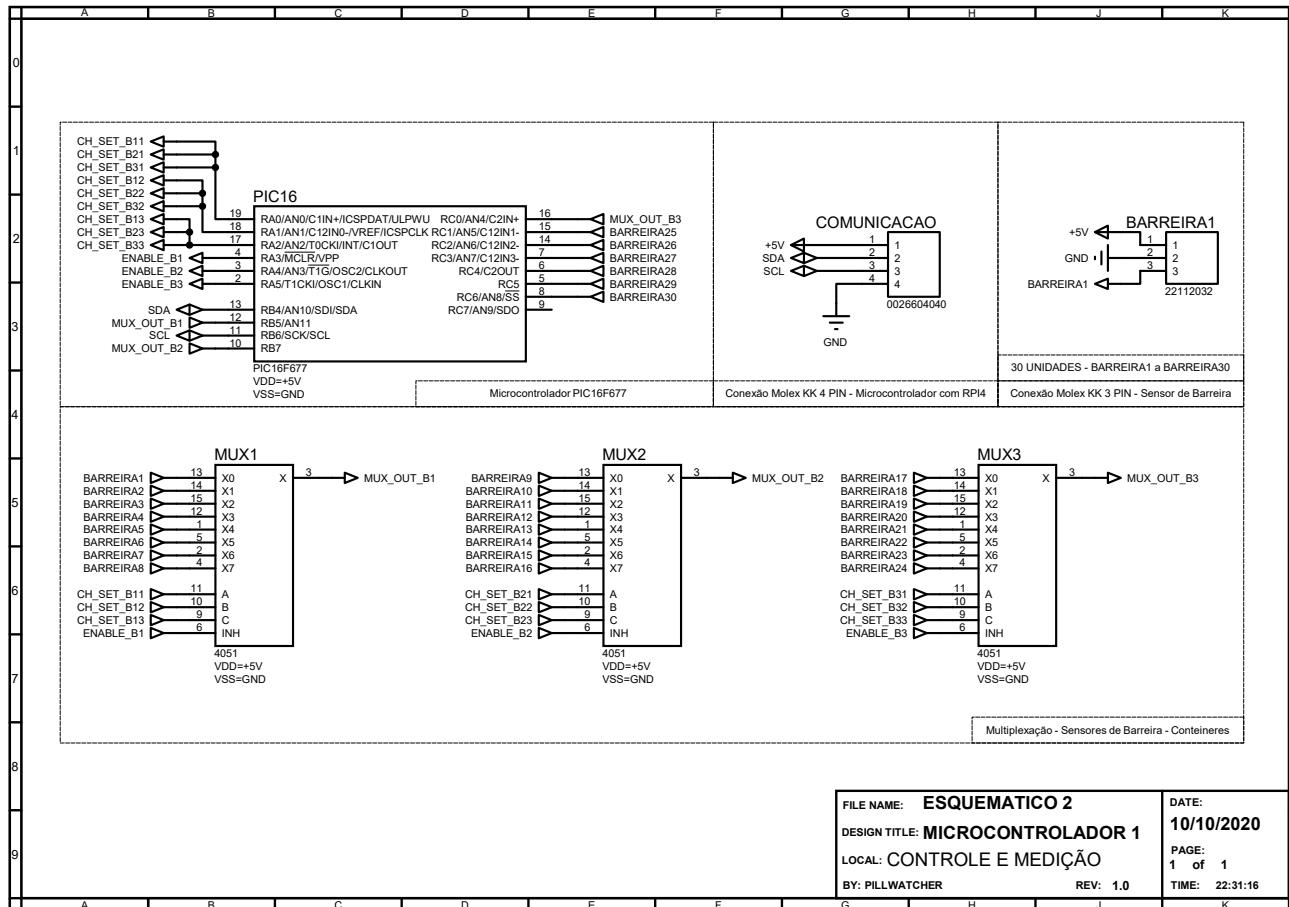


Figura 194 – Diagrama esquemático da conexão do microcontrolador 1 com os sensores de barreira

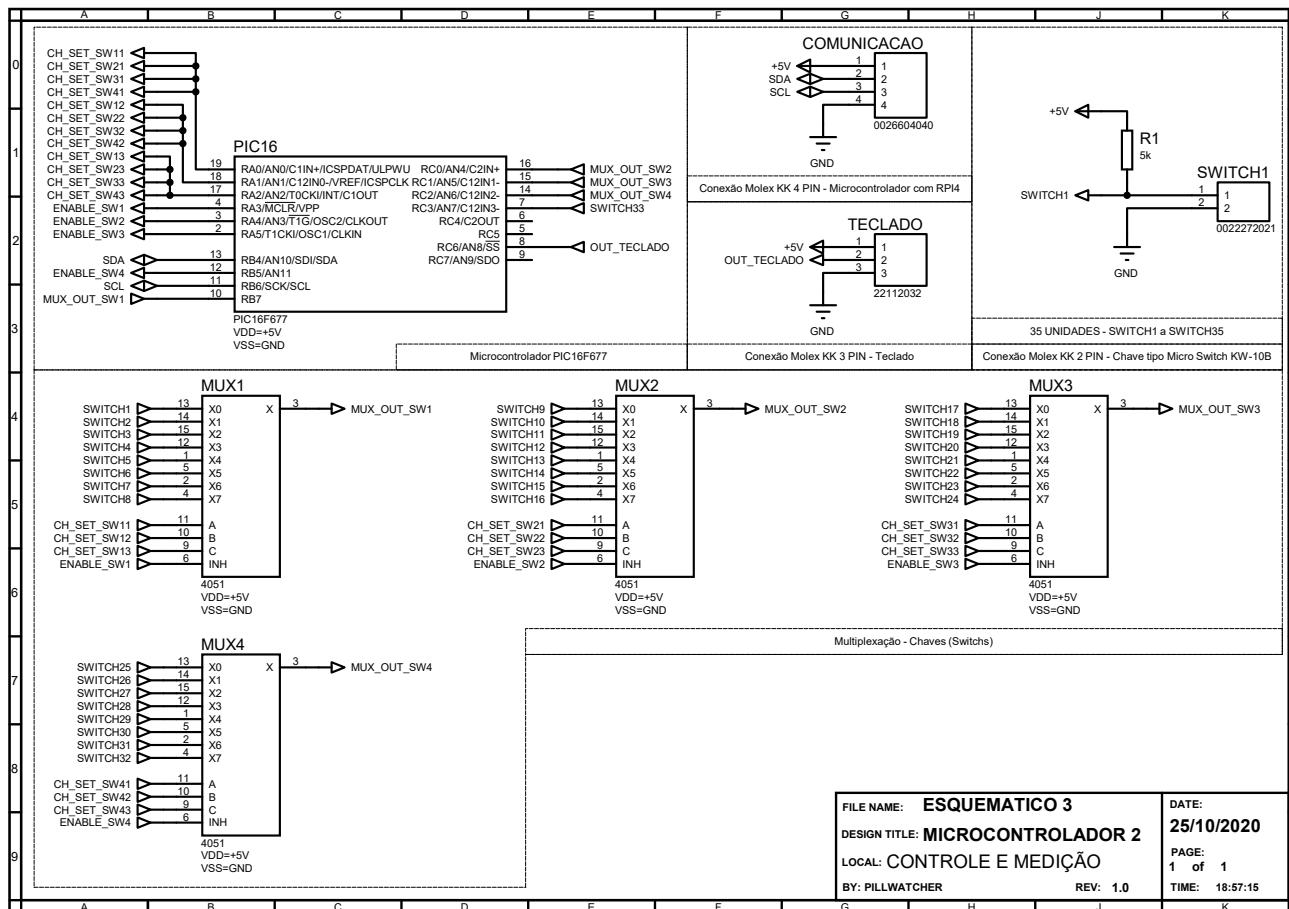


Figura 195 – Diagrama esquemático da conexão do microcontrolador 2 com os interruptores e teclado

A PIC16 3, com sua representação esquemática na Fig. 196, é o microcontrolador que traduz os sinais de controle advindos da *Raspberry Pi* 4 para sinais lógicos dos *drivers* IRF520N, responsáveis por controlar as solenoides e o atuador linear. A conexão com as 27 solenoides, utilizando os demultiplexadores, segue a mesma lógica do esquemático 3 e 4. Porém, ao invés de ser 1 saída de dados pra cada multiplexador, temos 1 entrada de dados (DEMUX_IN_SLx) e 8 saídas possíveis (SOLENOIDEx). Tanto o atuador linear quanto os 3 solenoides restantes (27 no total, sendo 24 conectados aos demux) são conectados diretamente a uma porta I/O do microcontrolador.

A PIC16 4, com sua representação esquemática na Fig. 197, é o microcontrolador que traduz os sinais de controle advindos da *Raspberry Pi* 4 para sinais lógicos para os *drivers* A4988 e Ponte H L298, que controlam os motores de passo e motor, respectivamente. Para o *driver* Ponte H L298 do motor DC, temos a conexão com 3 pinos, sendo 2 (INx_MOTOR_DC) para controlar o motor A e 1 para a conexão da referência do circuito geral. Para os *drivers* A4988, controle dos motores de passo, ocorre a conexão com o total de 9 pinos para cada um dos 5 utilizados, sendo 2 de alimentação (5V e GND), 6 pinos comuns entre os 5 *drivers* (MS1, MS2, MS3, RESET, STEP e DIR) e o pino de EN_MOTOR_PASSO_x, exclusivo para cada motor de passo. Essa lógica vem dos 5 motores de passo realizarem o mesmo tipo de movimento, mas apenas um precisa estar ligado ao mesmo tempo. Ou seja, os 6 pinos são ligados aos mesmos 6 pinos no microcontrolador e são utilizados para realizar alguma ação de controle dos motores, enquanto o EN_MOTOR_PASSO_x ativa apenas o desejado naquele momento.

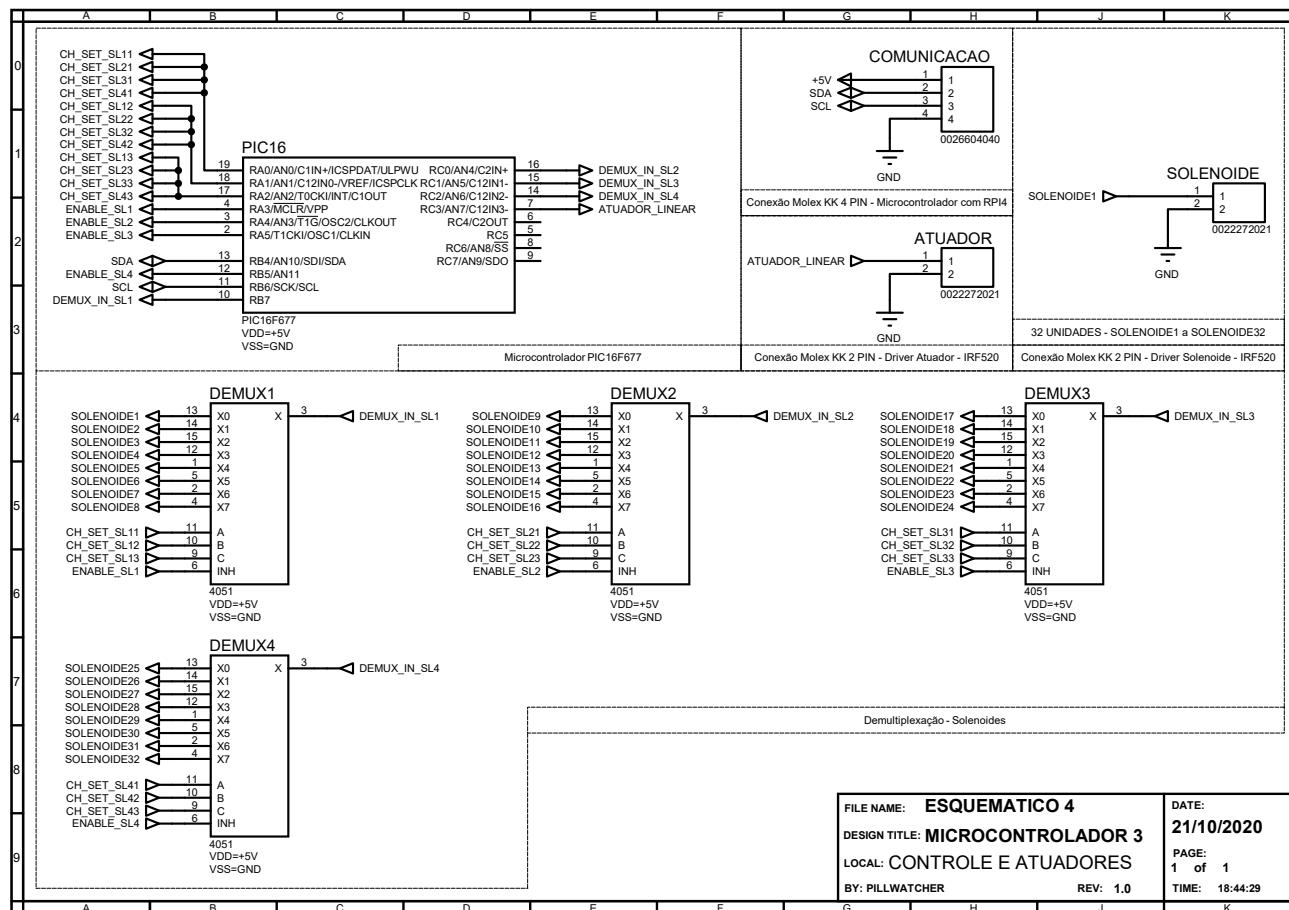


Figura 196 – Diagrama esquemático da conexão do microcontrolador 3 com os *drivers* das solenoides e atuador linear

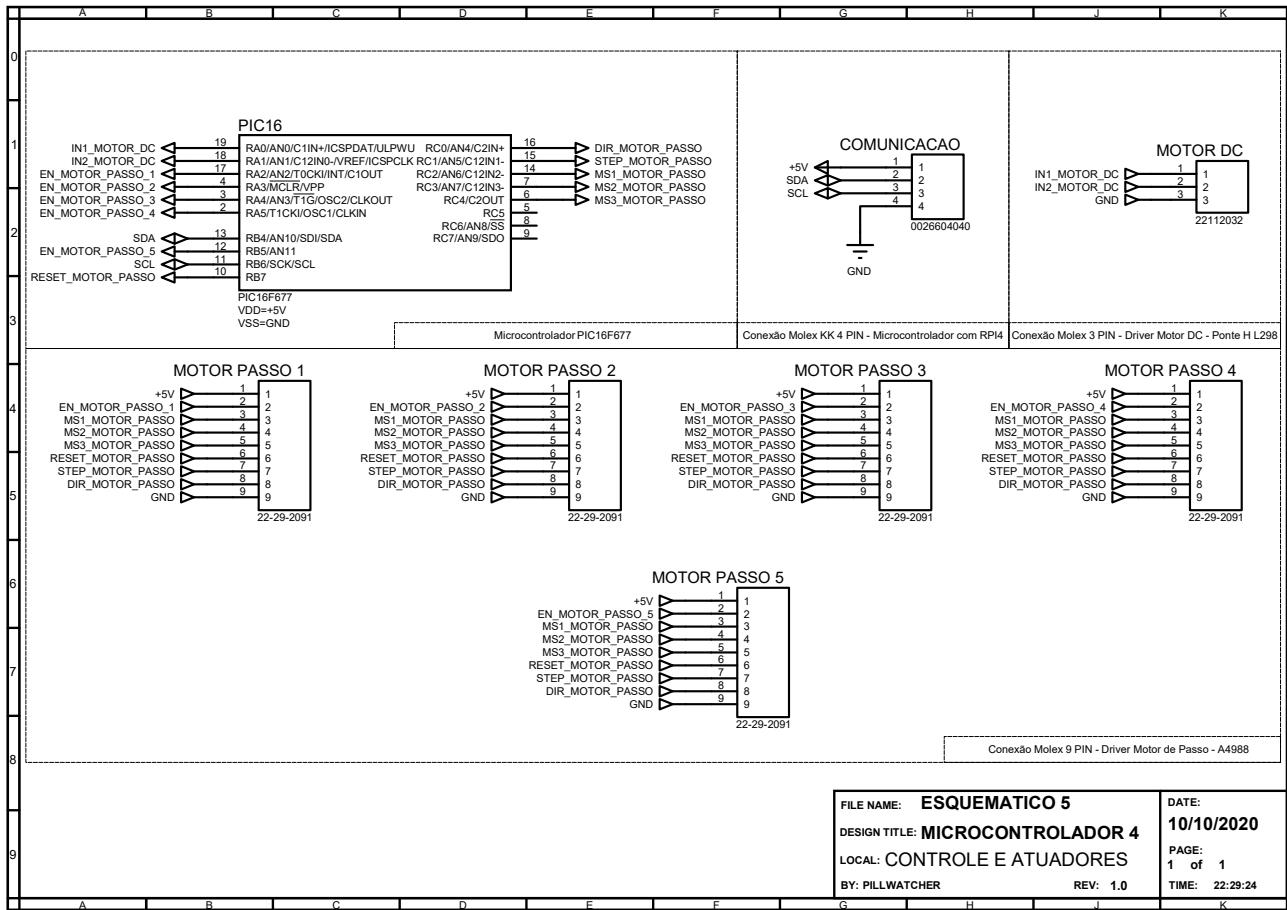
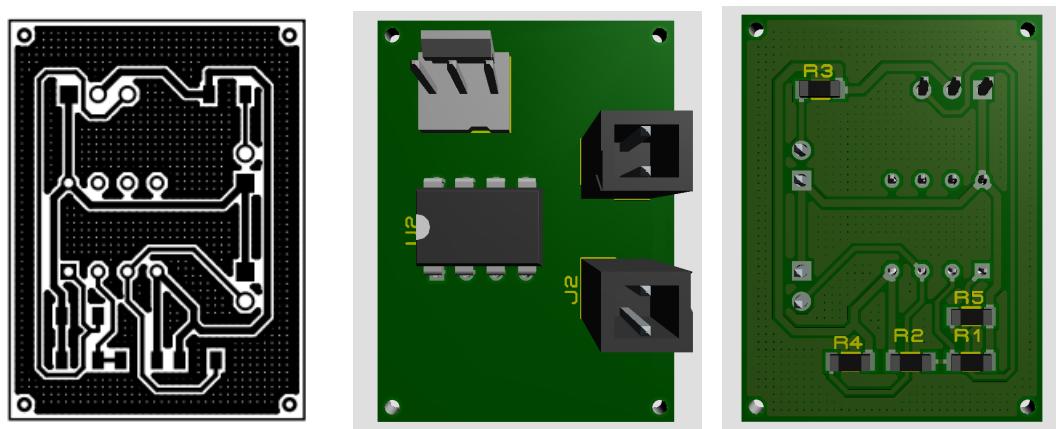


Figura 197 – Diagrama esquemático da conexão do microcontrolador 4 com os *drivers* dos motores de passo

APÊNDICE H – Placas de Circuito Impresso (PCI)

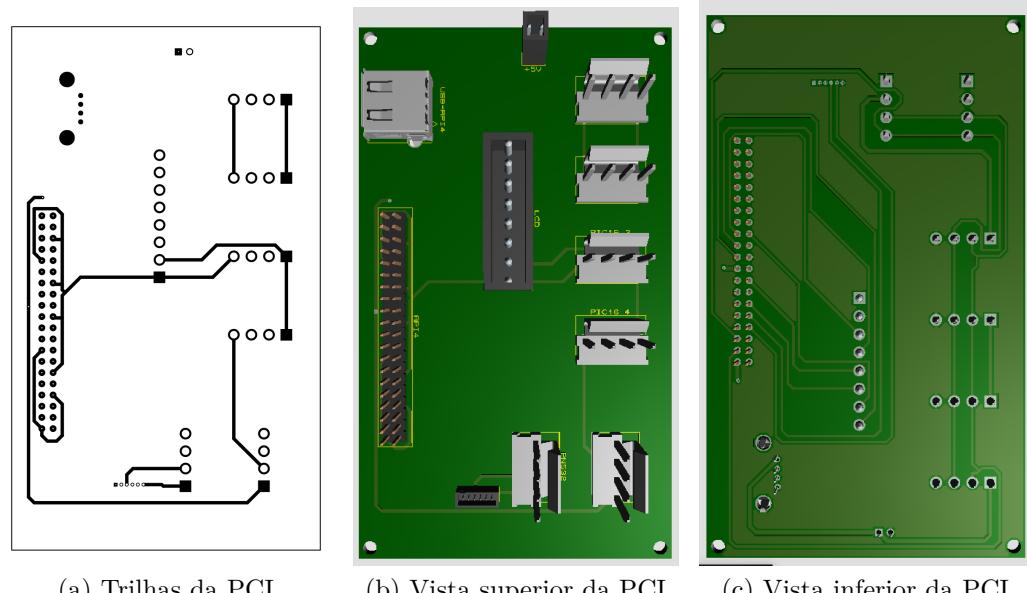


(a) Trilhas da PCI

(b) Vista superior da PCI

(c) Vista inferior da PCI

Figura 198 – PCI do sensor fotoelétrico de barreira

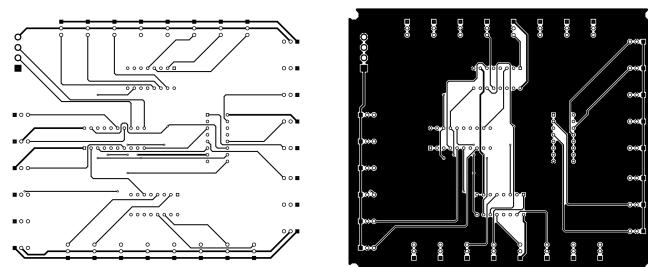


(a) Trilhas da PCI

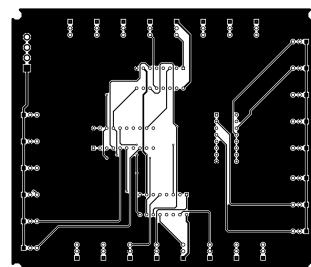
(b) Vista superior da PCI

(c) Vista inferior da PCI

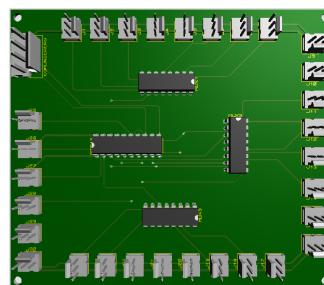
Figura 199 – PCI do sistema central



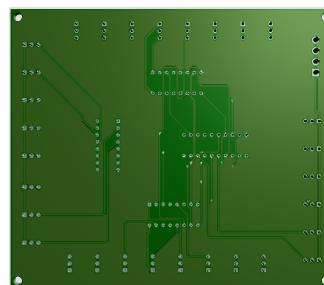
(a) Trilhas da PCI frente



(b) Trilhas da PCI verso

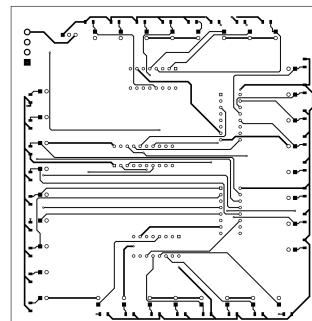


(c) Vista superior da PCI

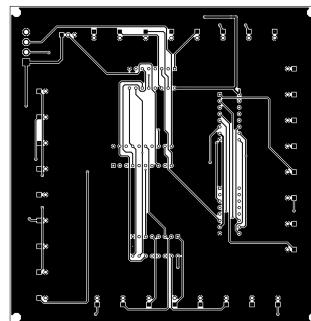


(d) Vista inferior da PCI

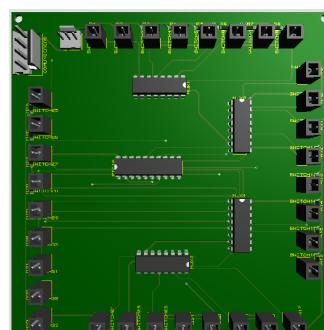
Figura 200 – PCI microcontrolador modelo 1



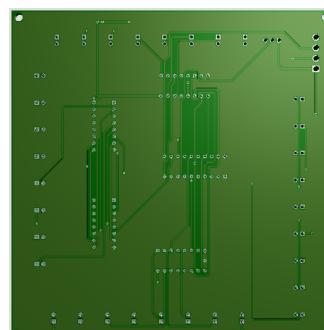
(a) Trilhas da PCI frente



(b) Trilhas da PCI verso



(c) Vista superior da PCI



(d) Vista inferior da PCI

Figura 201 – PCI microcontrolador modelo 2

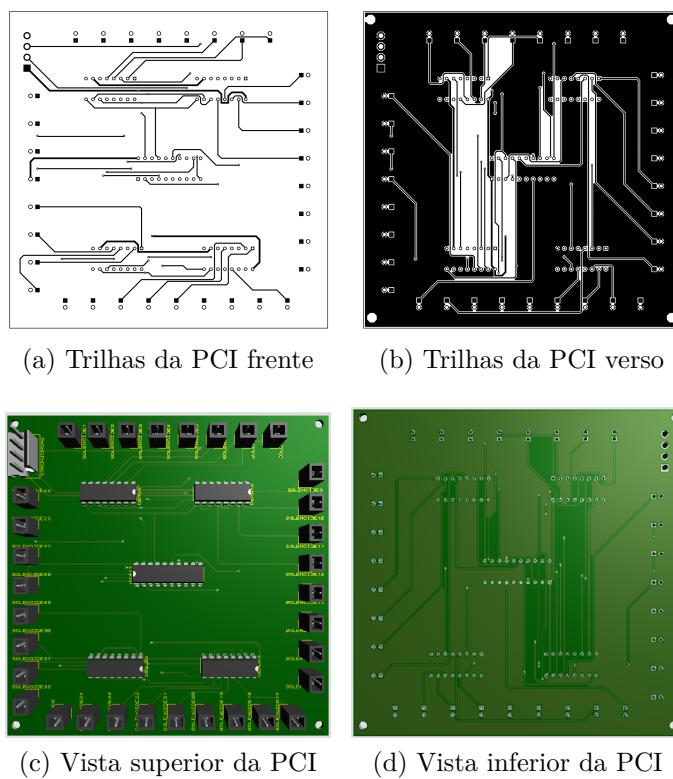


Figura 202 – PCI microcontrolador modelo 3

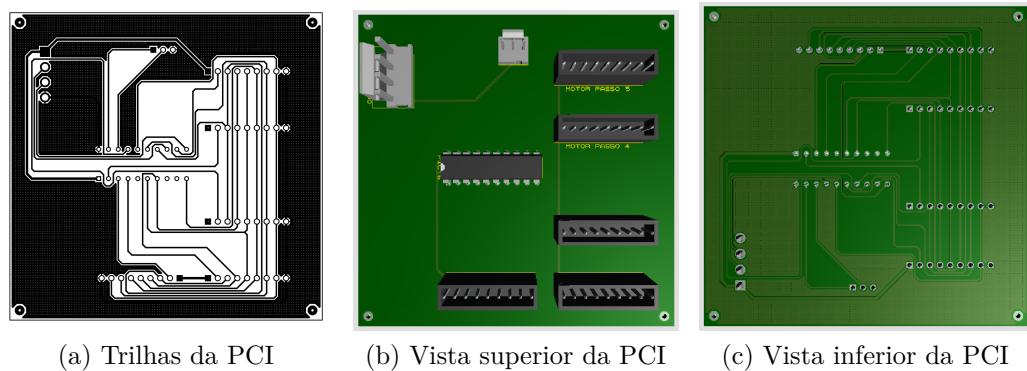


Figura 203 – PCI microcontrolador modelo 4

APÊNDICE I – Memorial de Cálculos da Solução Energética

I.1 Dimensionamento do retificador com ponte de onda completa

A realização de projetos em que a tensão de entrada é variável deve contemplar as piores situações. Sendo assim, a metodologia para a determinação do capacitor e das correntes dos elementos leva em conta a menor tensão, situação em que se terá as maiores correntes nos elementos e o *ripple* será crítico. A escolha da tensão reversa dos diodos e da tensão nominal do capacitor leva em consideração a maior tensão (PETRY, 2013).

Com os parâmetros de projeto definidos na Tab. 20, o dimensionamento dos componentes se deu da seguinte maneira:

A potência de entrada do sistema (P_{in}), considerando as perdas nos seus elementos, é calculada de acordo com a Eq. I.1:

$$P_{in} = \frac{P_0}{\eta} \quad [\text{W}] \quad (\text{I.1})$$

As tensões máxima (V_{Cmax}), mínima (V_{Cmin}) e média aproximada (V_{Cmed}) no capacitor (ou a tensão média de saída) são calculadas, respectivamente, de acordo com as equações I.2, I.3 e I.4:

$$V_{Cmax} = \sqrt{2} \cdot (V_{CA} - 1,4) \quad [\text{V}] \quad (\text{I.2})$$

Subtrai-se 1,4 V da tensão por se considerar a queda de tensão nos diodos, que a cada semiciclo tem uma queda de 0,7 V por diodo.

$$V_{Cmin} = V_{Cmax} \cdot (1 - \Delta V_C) \quad [\text{V}] \quad (\text{I.3})$$

$$V_{Cmed} = \frac{V_{Cmax} + V_{Cmin}}{2} \quad [\text{V}] \quad (\text{I.4})$$

O valor do capacitor (C_o), necessário para atender a especificação de ondulação na

saída, é calculado de acordo com a Eq. I.5:

$$C_o = \frac{P_{in}}{f_r \cdot (V_{Cmax}^2 - V_{Cmin}^2)} \quad [\text{F}] \quad (\text{I.5})$$

O intervalo de condução dos diodos, ou tempo de carregamento do capacitor (t_c), é calculado de acordo com a Eq. I.6:

$$t_c = \frac{\arccos(V_{Cmin}/V_{Cmax})}{2\pi \cdot f_r} \quad [\text{segundos}] \quad (\text{I.6})$$

O período da tensão alternada da rede é calculado de acordo com a Eq. I.7:

$$t_r = \frac{1}{f_r} \quad [\text{segundos}] \quad (\text{I.7})$$

A corrente máxima (I_{dmax}) transferida da rede para o capacitor, durante a condução dos diodos, é calculada de acordo com a Eq. I.8:

$$I_{dmax} = \frac{2 \cdot C_o}{t_c} \cdot (V_{Cmax} - V_{Cmin}) \quad [\text{A}] \quad (\text{I.8})$$

A corrente eficaz (I_{Cef}) no capacitor é calculada de acordo com a Eq. I.9:

$$I_{Cef} = \frac{I_{dmax}}{3 \cdot t_r} \sqrt{3 \cdot t_c \cdot (2 \cdot t_r - 3 \cdot t_c)} \quad [\text{A}] \quad (\text{I.9})$$

Considerando uma forma de onda triangular para as correntes nos diodos, as correntes média (I_{omed}) e eficaz (I_{oef}) na saída da ponte retificadora são calculadas, respectivamente, de acordo com as equações I.10 e I.11:

$$I_{omed} = \frac{I_{dmax} \cdot t_c}{t_r} \quad [\text{A}] \quad (\text{I.10})$$

$$I_{oef} = \frac{I_{dmax}}{3} \cdot \sqrt{6 \cdot \frac{t_c}{t_r}} \quad [\text{A}] \quad (\text{I.11})$$

As correntes média (I_{dmed}) e eficaz (I_{def}) em cada diodo são calculadas, respectivamente, de acordo com as equações I.12 e I.13:

$$I_{dmed} = \frac{I_{dmax} \cdot t_c}{2 \cdot t_r} \quad [\text{A}] \quad (\text{I.12})$$

$$I_{def} = \frac{I_{dmax}}{3} \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot t_c}{t_r}} \quad [\text{A}] \quad (\text{I.13})$$

A tensão reversa máxima dos diodos retificadores D_1 , D_2 , D_3 e D_4 deve tolerar a tensão de alimentação. O diodo selecionado deve suportar, também, a corrente máxima no capacitor e a corrente de surto.

O valor eficaz da corrente drenada pelo próximo estágio da fonte (I_L), que é alimentada pelo capacitor, é calculada de acordo com a Eq. I.14:

$$I_L = \frac{P_o}{V_{Cmed}} \quad [\text{A}] \quad (\text{I.14})$$

O fator de potencia (FP) do primeiro estágio é calculado de acordo com a Eq. I.15:

$$FP = \frac{V_{Cmed} \cdot I_L}{V_{CA} \cdot I_{oef}} \quad [\text{adimensional}] \quad (\text{I.15})$$

A impedância de entrada é considerada puramente resistiva. Sendo assim, R_{ac} é calculada de acordo com a Eq. I.16:

$$R_{ac} = \frac{\sqrt{2} \cdot V_{CAmax}}{I_{Dmax}} \quad [\Omega] \quad (\text{I.16})$$

Onde I_{Dmax} é a corrente máxima não repetitiva do diodo escolhido. A Tab. 63 contempla os resultados dos cálculos supracitados.

Tabela 63 – Resultados para o projeto do retificador com ponte de onda completa.

Parâmetro	Simbologia	Valor
Tensão máxima no capacitor	V_{Cmax}	309,01 [V]
Tensão mínima no capacitor	V_{Cmin}	278,12 [V]
Intervalo de condução dos diodos	t_c	1,20 [ms]
Tensão média de saída	V_{cmed}	293,57 [V]
Corrente máxima de saída da ponte	I_{omax}	10,5 [A]
Corrente média de saída da ponte	I_{omed}	0,75 [A]
Corrente eficaz de saída da ponte	I_{oef}	2,31 [A]
Corrente eficaz no capacitor	I_{Cef}	2,18 [A]
Corrente média em cada diodo	I_{Dmed}	0,38 [A]
Corrente eficaz em cada diodo	I_{Def}	1,63 [A]
Potência de saída	P_o	200 [W]
Fator de potência	FP	0,39

I.2 Dimensionamento do conversor do tipo *Forward*

O projeto proposto consiste em uma fonte chaveada do tipo *Forward*, com uma tensão de entrada bivolt e saída regulada em uma tensão fixa. Com os parâmetros de projeto definidos na Tab. 64, o dimensionamento dos componentes se deu da seguinte maneira:

1. Transformador

O transformador deve ser dimensionado para sua aplicação de limite. Por isso, o *design* será feito para o máximo *duty cycle*, mínima tensão de entrada e a máxima densidade de corrente.

O núcleo que será usado para a construção do transformador deve ser definido. Para isso, calcula-se o produto entre a área total ocupada pelos enrolamentos dentro do núcleo (A_w) e a área central do núcleo (A_e), dada pela Eq. I.17:

$$A_e \cdot A_w = \frac{1,2 \cdot P_o \cdot 10^4}{k_w \cdot k_p \cdot J \cdot f_s \cdot \Delta B \cdot \eta} \quad [\text{cm}^2] \quad (\text{I.17})$$

Sendo $A_e \cdot A_w = 2,69 \text{ cm}^2$, foi selecionado o núcleo E-42/21/15, com $A_e = 1,81 \text{ cm}^2$, $A_w = 1,57 \text{ cm}^2$ e $A_e \cdot A_w = 2,84 \text{ cm}^2$.

O número de espiras do primário (N_p), secundário (N_s) e do enrolamento de desmagnetização (N_d) são calculados, respectivamente, de acordo com as equações I.18, I.20 e I.19:

$$N_p = \frac{V_{i,min} \cdot D}{A_e \cdot \Delta B \cdot f} \quad [\text{adimensional}] \quad (\text{I.18})$$

$$N_s = N_p \cdot 1,1 \cdot \frac{[V_o + (V_f \cdot D)]}{V_{i,min} \cdot D} \quad [\text{adimensional}] \quad (\text{I.19})$$

$$N_d = N_p \cdot \frac{D}{1 - D} \quad [\text{adimensional}] \quad (\text{I.20})$$

2. Diâmetro dos fios dos enrolamentos do transformador

As correntes eficazes nos enrolamentos primário, secundário e de desmagnetização são calculadas de acordo com as equações I.22, I.21 e I.23:

$$I_{p,rms} = \frac{1.2 \cdot P_o}{\eta \cdot V_i \cdot \sqrt{2} \cdot D} \quad [\text{A}] \quad (\text{I.21})$$

$$I_{s,rms} = \frac{I_o}{\sqrt{2}} \quad [\text{A}] \quad (\text{I.22})$$

$$I_{d,rms} = \frac{I_{p,rms}}{10} \quad [\text{A}] \quad (\text{I.23})$$

A espessura dos fios utilizados nos enrolamentos é calculada de acordo com a Eq. I.24:

$$s = \frac{I_{rms}}{J} \quad [\text{mm}^2] \quad (\text{I.24})$$

A Tab. 64 apresenta as características dos enrolamentos calculados.

Tabela 64 – Características dos enrolamentos do transformador e do enrolamento de desmagnetização.

Parâmetro	Primário	Secundário	Desmagnetização
Número de espiras	25	22	6
Corrente [A]	10,6	1,11	0,11
Secção [mm ²]	0,25	2,36	0,025
Número AWG	23	13	32

3. Indutor

O indutor de saída é um componente muito importante para a topologia *Forward*. Sua indutância é determinado a partir da Eq. I.25:

$$L = \frac{\left[\left(\frac{N_s}{N_p} \cdot V_i \right) (1 - D) - V_f \right] \cdot D}{0,4 \cdot I_o \cdot f_s} \quad [\text{H}] \quad (\text{I.25})$$

4. Capacitor

Sua capacitância é determinado a partir da Eq. I.26:

$$C = \frac{0,4 \cdot I_o}{2 \cdot \pi \cdot f_s \cdot 0,01 \cdot V_o} \quad [\text{C}] \quad (\text{I.26})$$

5. Transistor

Para a seleção do MOSFET, é necessário determinar a máxima tensão teórica aplicável, que é determinada de acordo com a Eq. I.27:

$$V_t = V_i \cdot \left(1 + \frac{N_p}{N_d} \right) \quad [\text{V}] \quad (\text{I.27})$$

6. Diodos

A tensão teórica no secundário é calculada a partir da Eq. I.28. A tensão no diodo em paralelo na saída D_3 deve ser menor que V_s . A máxima tensão teórica no diodo de desmagnetização D_1 deve ser igual a duas vezes a tensão de entrada.

$$V_s = \frac{N_s \cdot V_i}{N_p} \quad [\text{V}] \quad (\text{I.28})$$

- Díodo de desmagnetização V_{D1} :

$$V_{D1} = V_i + \frac{N_d \cdot V_i}{N_p} \quad [\text{V}] \quad (\text{I.29})$$

- Díodo Série Saída V_{D2} :

$$V_{D2} = \frac{N_p^2 \cdot V_i}{N_s \cdot N_d} \quad [\text{V}] \quad (\text{I.30})$$

- Díodo paralelo Saída V_{D3} :

$$V_{D3} = \frac{N_p \cdot V_i}{N_s} \quad [\text{V}] \quad (\text{I.31})$$

I.3 Diagramas Unifilares

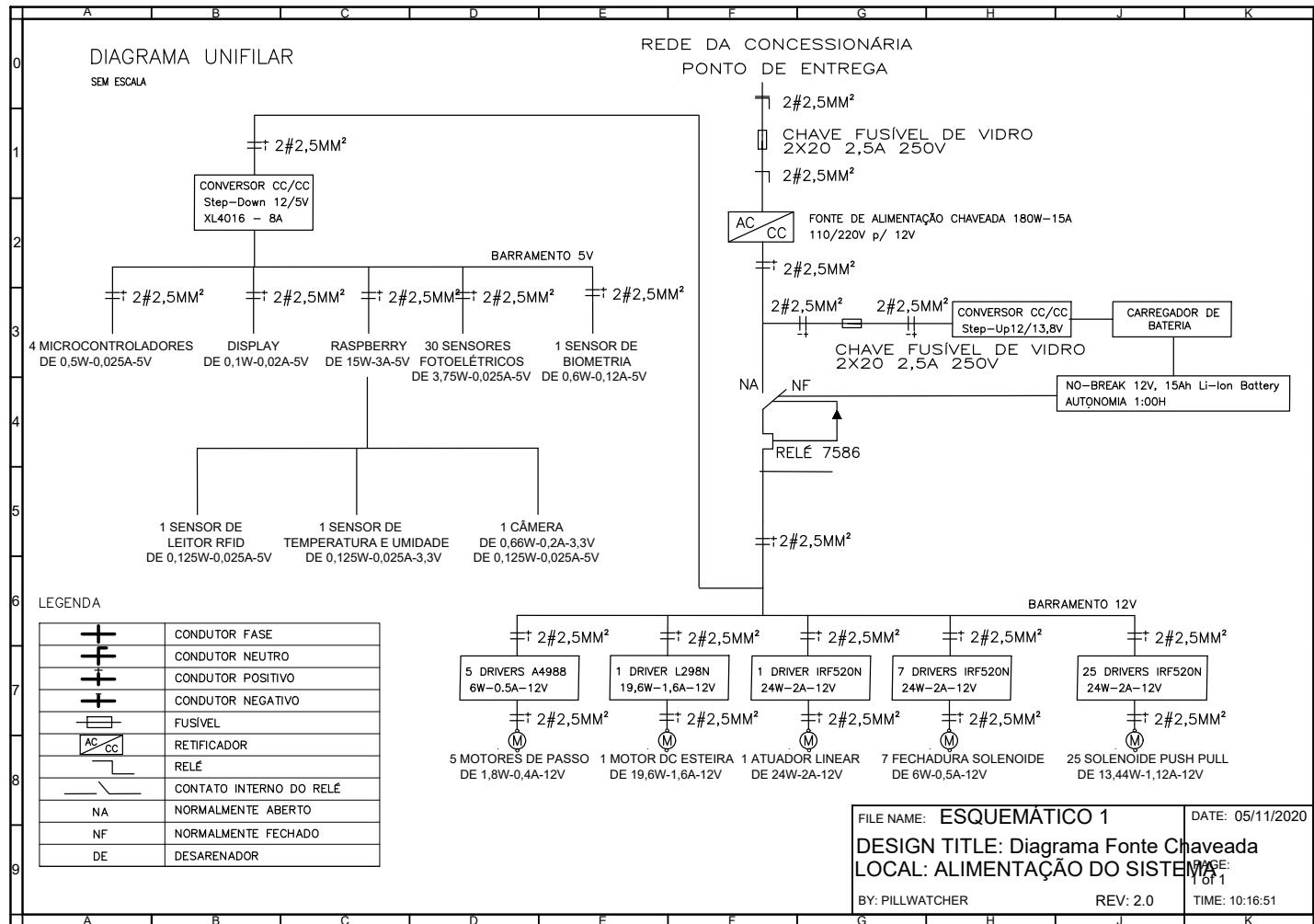


Figura 204 – Diagrama unifilar do circuito do *Pill Watcher*.

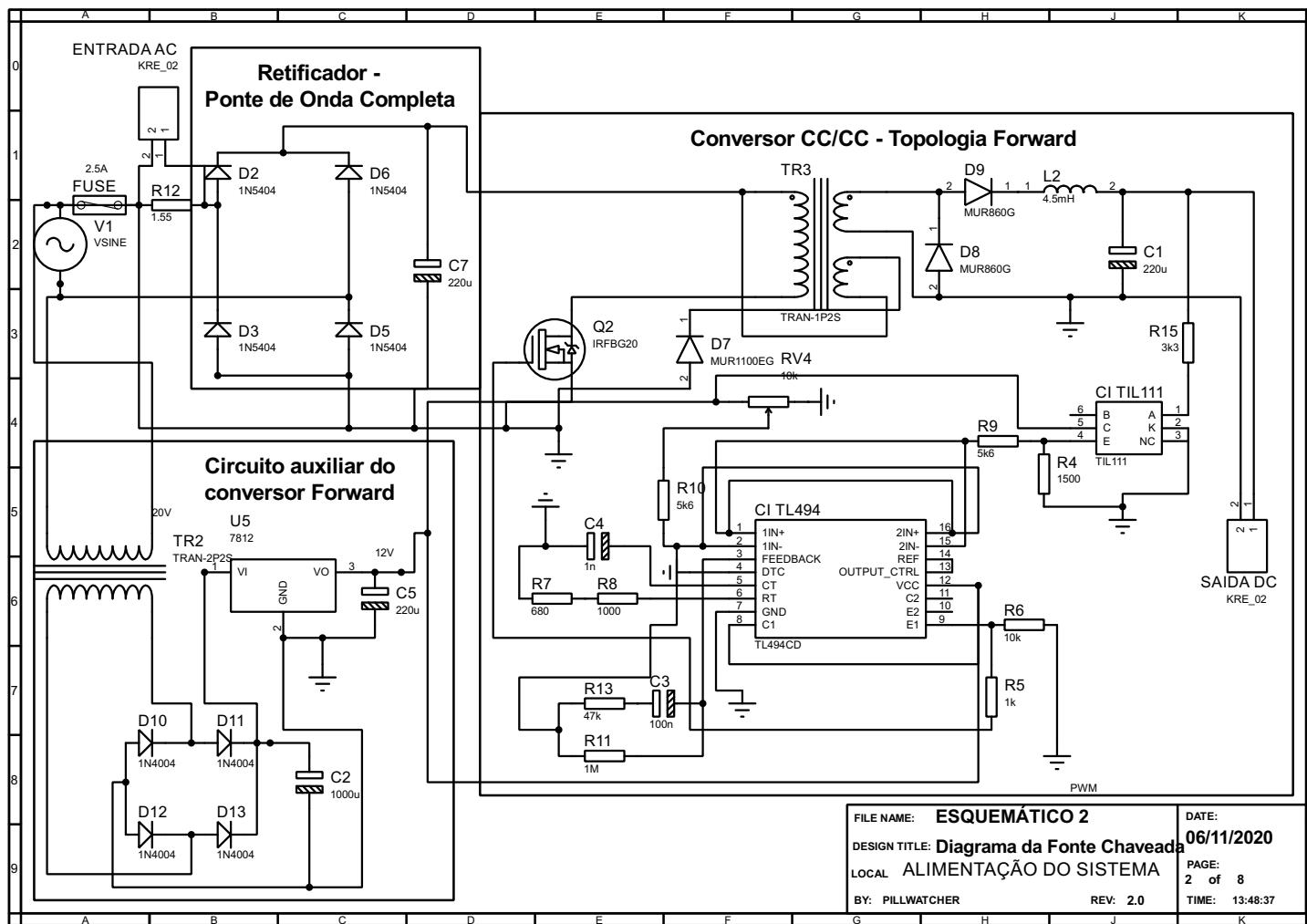


Figura 205 – Diagrama esquemático da fonte chaveada do tipo *Forward*.

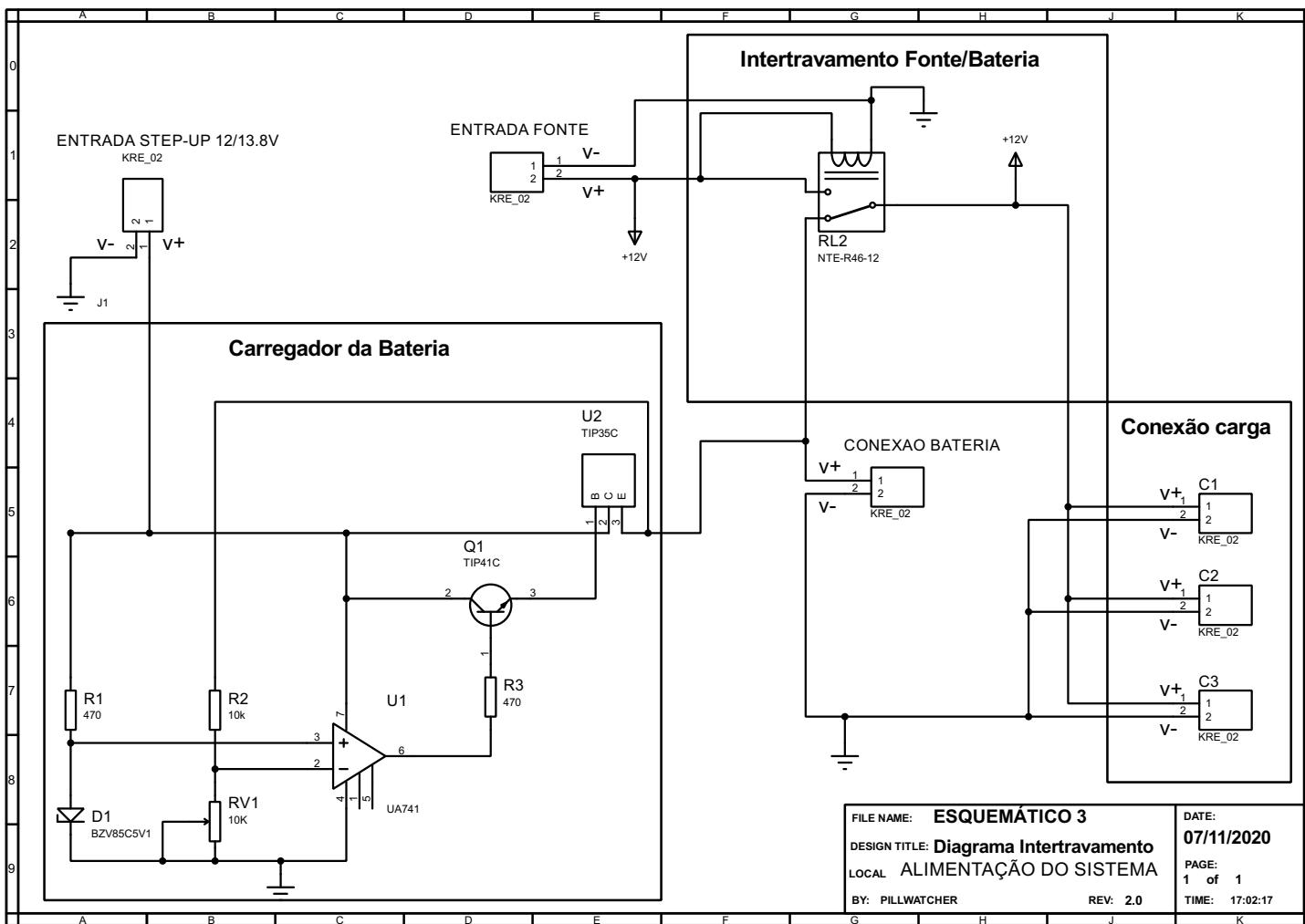


Figura 206 – Diagrama esquemático do carregamento da bateria e do sistema de intertravamento fonte/bateria.

APÊNDICE J – Principais Decisões de Software

Tabela 65 – Principais decisões de Software

#	Decisão	Justificativa
Ponto de Controle 1		
01	Não utilização de uma tecnologia <i>Progressive Web App (PWA)</i> para o <i>front-end</i>	Elicitando melhor os requisitos, analisando o escopo, o prazo e as necessidades do cliente, a equipe notou que a construção de uma aplicação PWA não seria compatível com o prazo e estenderia o escopo. Ademais, uma aplicação somente mobile atenderia melhor as necessidades do cliente e acrescentaria maior valor ao produto.
02	Utilização do <i>React Native</i> para o <i>front-end</i>	A equipe considerou a utilização da tecnologia <i>Flutter</i> . Porém, nenhum dos integrantes teve contato prévio com a tecnologia e, consequentemente, provocaria um risco ao projeto. Destarte, a equipe optou pelo <i>React Native</i> , pois os membros já tiveram experiência com esse.
03	Utilização do <i>Spring</i> para o <i>back-end</i>	A utilização de <i>Spring Boot</i> para a realização do <i>back-end</i> facilita a implementação de uma arquitetura orientada a microsserviços. Além disso, a <i>framework</i> possui vasta documentação e ferramentas que permitem a comunicação entre si das multi plataformas desenvolvidas. Será possível a realização de um <i>API Gateway</i> para unificar as chamadas dos microsserviços.
04	Utilização da arquitetura de microsserviços	A arquitetura de microsserviços permite a utilização de diversas linguagens de programação, <i>frameworks</i> e etc. Além do mais, a manutenção de cada serviço é facilitada devido à centralidade de informações dispostas em cada serviço distinto.
05	Utilização de computação em nuvem via <i>One Click Hosting</i>	A utilização de computação em nuvem via <i>One Click Hosting</i> apresenta-se favorável pelo baixo preço de custo e facilidade de manutenção.
06	Utilização do <i>MySQL</i> para o Banco de Dados	<i>MySQL</i> é um SGBD que a maior parte do grupo tem familiaridade, além da ferramenta atender a demanda do projeto, possuindo até uma interface mais amigável na hora da contrução e gerenciamento das relações do banco, que é com o <i>workbench</i> .

#	Decisão	Justificativa
07	Utilização do protocolo MQTT e de um <i>Broker</i>	O MQTT é um protocolo de troca de mensagens entre máquinas. Esse protocolo é super leve e de baixo consumo de <i>hardware</i> . Ele utiliza uma arquitetura que se chama <i>publication</i> e <i>subscription</i> , onde enviamos uma mensagem pro <i>broker</i> MQTT, que é o servidor central. Com isso, temos que mandar somente dois tópicos na comunicação, que são o tópico da mensagem e o corpo, que é o dado em si. Isso permite que várias máquinas assinem esse tópico e recebam os dados quase que em tempo real, além de ser <i>open source</i> .
08	Utilização de um <i>API Gateway</i>	A criação de um <i>API Gateway</i> centraliza a chamada dos microsserviços em uma única porta e <i>endpoint</i>
09	Utilização do <i>SonarQube Analysis</i>	A equipe visa construir um software de qualidade, portanto, é de extrema relevância a utilização de um meio que forneça métricas acerca desse aspecto. O <i>SonarQube Analysis</i> foi escolhido em razão de ser uma ferramenta a qual os membros possuem experiência prévia. Ele é confiável e atende de forma completa as necessidades do grupo.
10	Utilização do <i>Travis</i> para <i>Deploy</i>	O <i>Travis CI</i> é um serviço de integração contínua, onde ele constrói e testa projetos de software que estão no github, exatamente onde estamos desenvolvendo o <i>Pillwatcher</i> .
11	Utilização do <i>Docker</i>	Hodiernamente, um conceito de alta relevância no mundo de software é a utilização de contêineres que permitem o isolamento e a padronização do ambiente para os desenvolvedores, facilitam o compartilhamento da aplicação com serviços de computação em nuvem e de <i>deploy</i> , entre outras vantagens. Diante disso, é muito importante trazer essa abordagem para o projeto e a ferramenta escolhida foi o <i>Docker</i> , dado que a equipe possui experiência e supre, de maneira adequada, as necessidades do time.
12	Utilização de <i>Reactive Programming</i>	Programação reativa é programar com fluxos de dados assíncronos, através da programação reativa e a utilização do <i>design pattern observable</i> . As chamadas de requisições para a fila MQTT serão realizadas de forma assíncrona, aumentando o desempenho da aplicação.
Ponto de Controle 2		
01	Postergar a construção do <i>front-end</i>	Ao confeccionar o protótipo, percebeu-se um grande número de telas, mais de 45 telas, fato esse que gerou uma enorme preocupação na equipe em relação à viabilidade da construção do código associado ao prazo disponível. À vista disso, a equipe considerou que a parte mais agregadora de valor ao produto é o <i>back-end</i> . Assim, os esforços da equipe devem ser voltados para construção desse de forma completa e com a maior qualidade possível, e o <i>front-end</i> representado pelo protótipo de alta fidelidade.
02	Retirar a API de autenticação	Decidiu-se retirar a API de autenticação, porque ela ficaria em um <i>microservice</i> muito pequeno, com poucas funcionalidades. No entanto, a funcionalidade de autenticação ainda existirá, ficando na <i>API Gateway</i> .

#	Decisão	Justificativa
Ponto de Controle 3		
01	Troca da ferramenta de <i>deploy</i>	Devido ao fato do <i>Broker Mosquitto</i> não possuir suporte no <i>Heroku</i> , decidiu-se por armazenar e configurar os microserviços em nuvem através do <i>One Click Hosting</i>

APÊNDICE K – Principais Funcionalidades do Software

K.1 *Front-end*

Antes da equipe tomar a decisão de focar no desenvolvimento do *Back-end*, justificada na Tab. 65 na seção do Ponto de Controle 2, um segmento do *Front-end* foi desenvolvido. No total, 8 telas estão ilustradas abaixo e estão disponíveis para consulta em [Repositório Github - Front- end](#).



Figura 207 – Login - Link para o código: [Código](#)



Figura 208 – Recuperar Senha - Link para o código: [Código](#)



Figura 209 – E-mail enviado - Link para o código: [Código](#)



Figura 210 – Menu de administrador - Link para o código: [Código](#)

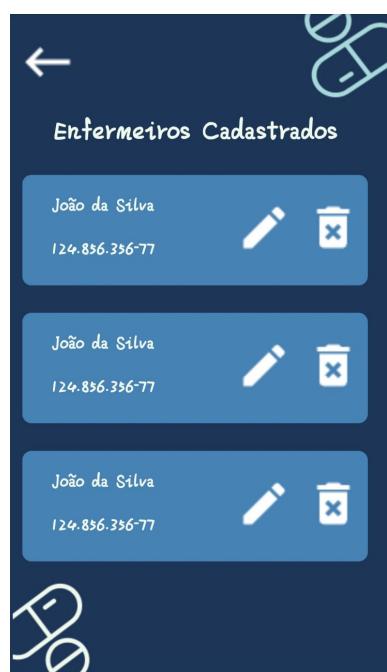


Figura 211 – Gerenciamento de enfermeiros - Link para o código: [Código](#)



Figura 212 – Alterar dados de um(a) enfermeiro(a) - Link para o código: [Código](#)



Figura 213 – Deletar um(a) enfermeiro(a) do sistema - Link para o código: [Código](#)

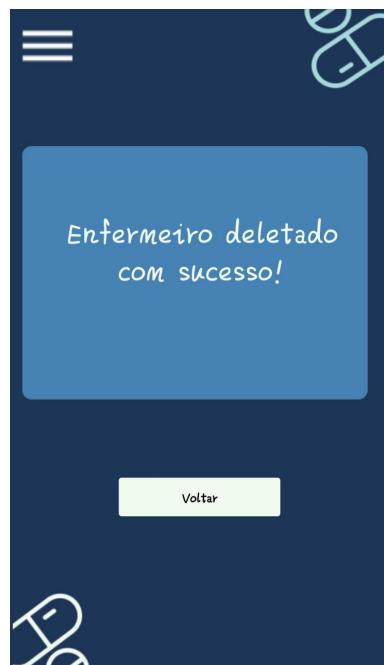


Figura 214 – Confirmação de retirada do(a) enfermeiro(a) do sistema - Link para o código:
[Código](#)

K.2 Back-end

A equipe, com o objetivo de entregar mais valor ao produto, está focada no desenvolvimento da *API Gateway*, como em terminar as configurações de ambiente e *deploy* contínuo. Foram desenvolvidos:

- Quatro (4) microsserviços ([Paciente](#), [Enfermeiro](#), [Administrador](#), [API Gateway](#));
- Um (1) serviço de autenticação;
- Um (1) [ambiente de testes automatizados](#);
- Um (1) [repositório](#) voltado para *scripts* referentes à banco de dados.

A seguir, estão as funcionalidades implementadas e testadas:

1. Criação de banco de dados em tempo de execução;
2. Estrutura inicial de um [API Gateway](#);
3. [Ambiente Dockerizado](#) para Microsserviço de Administrador;
4. [Ambiente Dockerizado](#) para Microsserviço de Paciente;

5. Ambiente *Dockerizado* para Microsserviço de Enfermagem;
6. Criação de um perfil Administrador;
7. Alteração de um perfil Administrador;
8. Busca de um perfil Administrador;
9. Deleção de um perfil Administrador;
10. Criação de um perfil Enfermeiro;
11. Alteração de um perfil Enfermeiro;
12. Busca de um perfil Enfermeiro;
13. Deleção de um perfil Enfermeiro;
14. Criação de um perfil Paciente;
15. Alteração de um perfil Paciente;
16. Busca de um perfil Paciente;
17. Deleção de um perfil Paciente;
18. Configuração de *Integração Contínua* para o Microsserviço de Administrador;
19. Configuração de *Integração Contínua* para o Microsserviço de Paciente;
20. Configuração de *Integração Contínua* para o Microsserviço de Enfermagem;
21. Configuração de *Integração Contínua* para o *API Gateway*;
22. Configuração de *SonarQube* para o Microsserviço de Administrador;
23. Configuração de *SonarQube* para o Microsserviço de Paciente;
24. Configuração de *SonarQube* para o Microsserviço de Enfermagem;
25. Configuração de *Modelagem de Protocolo MQTT*;
26. Configuração de *Modelagem de Publisher MQTT*;
27. Criação de *configuração MQTT*;
28. Criação de *Mensageria MQTT*;

29. Criação de Entidade Suprimentos;
30. Criação de *Collection Postman* para testes automatizados;
31. Documentação de API para microsserviço de Enfermeiro;
32. Documentação de API para microsserviço de Administrador;
33. Documentação de API para microsserviço de Paciente;
34. *Scheduler* para aplicação de medicação;
35. Criação de uma Medicação;
36. Busca de uma Medicação;
37. Deleção de uma Medicação;
38. Busca de todas Medicações;
39. Atualização de uma Medicação;
40. Criação de uma Prescrição;
41. Busca de uma Prescrição;
42. Deleção de uma Prescrição;
43. Busca de todas Prescrições;
44. Atualização de uma Prescrição;
45. Abastecimento da máquina;
46. Busca de Copo *RefID* através de etiqueta ;
47. Sistema de criptografia e autenticação de usuários;
48. Sistema gerenciador e centralizador de APIs (*API Gateway*).

A comunicação entre máquina - software se dá através do protocolo MQTT. A configuração em nuvem é feita através de comandos *bash*, não armazenados em repositórios. Seguem, abaixo, fotos que comprovam as funcionalidades das filas do *broker* MQTT.

```
root      6845      1  0 Nov06 ?          00:00:04 mosquitto_sub -h localhost -t apply-medication
root      7584      1  0 Nov06 ?          00:00:03 mosquitto_sub -h localhost -t create-nurse
root     15212      1  0 Nov05 ?          00:00:06 mosquitto_sub -h localhost -t create-patient
root     15225      1  0 Nov05 ?          00:00:06 mosquitto_sub -h localhost -t create-medication
root     15232      1  0 Nov05 ?          00:00:06 mosquitto_sub -h localhost -t create-supply
```

Figura 215 – Tópicos da Fila MQTT

A figura acima diz respeito à estrutura de tópicos presentes no *Broker* do *PillWatcher*

Figura 216 – Criação de Paciente no Tópico "*create-patient*"

A figura acima retrata um exemplo de mensagem do tópico de criação de pacientes. O mesmo modelo é seguido para os demais tópicos.

A organização do projeto pode ser encontrada [aqui](#).

APÊNDICE L – Plano de Gerenciamento e Configuração de Software

L.1 *Introdução*

Este documento tem como propósito descrever os padrões de desenvolvimento e ferramentas que serão adotadas no decorrer do desenvolvimento e manutenção do *software*, assim como as políticas para tanto.

L.2 *Ferramentas*

Tabela 66 – Tabela das ferramentas utilizadas no desenvolvimento

Ferramenta	Descrição
<i>Git</i>	Ferramenta utilizada para o controle e versionamento do código.
<i>GitHub</i>	Plataforma onde será hospedado o repositório do código da aplicação.
<i>Travis CI</i>	Ferramenta onde os testes unitários terão de passar
<i>SonarCloud</i>	Plataforma <i>open source</i> amplamente adotada para inspecionar continuamente a qualidade do código-fonte e detectar <i>bugs</i> , vulnerabilidades e “ <i>code smells</i> ”
<i>One Click Hosting</i>	Um servidor Linux em nuvem.

L.3 *Políticas de Contribuição*

Folha de Estilo

React.js: A folha de estilo utilizada para a tecnologia *React.js* será a definida pela *AirBNB*, disponível em [AirBNB](#).

Spring: Para a tecnologia *Spring* será utilizado a seguinte folha de estilo, disponível em [Spring](#).

Política de *Commits*

Os *commits* deverão ser atômicos. Para isso, ele deverá conter uma única alteração, seguindo o padrão de folha de estilo, e com uma descrição significativa em inglês, utilizando os verbos no Indicativo para expressar a ação que foi feita. Ex: *Adding AdminService*

Política de *Branches*

As *branches* serão criadas com base no modelo estabelecido pelo *Gitflow*. A *master* é a *branch* principal do projeto. Ela contém todas as funcionalidades estáveis e homologadas.

A *dev* é a *branch* de desenvolvimento. Todas as *branches* deverão ser criadas a partir dela e, quando finalizadas, mescladas (*merged*) nela a partir do *Pull Request*.

As *branches* para as *features* deverão ser criadas a partir da *dev*, e deverão ser nomeadas com a numeração e nome da História de Usuário a ser desenvolvida. Ex.: *feature/us10-perfil-usuario*

Política de Versionamento

Os *Pull Requests* (PR) poderão ser abertos durante o desenvolvimento da *feature*, como *draft* (rascunho) para ser acompanhado, ou após a finalização da implementação. Para o PR ser considerado completo para ser revisado, ele deverá seguir alguns requisitos: seguir o *template* para PRs, padrão de *branches*, padrão de *commits*, e ter a *continuous integration* construída com sucesso.

Pipeline

O *pipeline* de integração contínua deve possuir os passos de verificação de estilo de código e testes. Essas etapas devem ser gerenciadas por uma ferramenta de *Continuous Integration* (CI). O CI deve ser executado toda vez que um PR for aberto e deve ser um critério de bloqueio de *merge*. Enquanto o PR estiver aberto, todo *push* na *branch* executará uma verificação no CI.

APÊNDICE M – Documento de Visão

M.1 *Introdução*

Propósito

Este documento tem como objetivo trazer as definições e características do sistema que será utilizado no *PillWatcher*, definindo o escopo para que toda equipe possa ter conhecimento pertinente ao mesmo e, assim, facilitar o desenvolvimento do *software* em questão, além de definições a respeito das funcionalidades e público alvo.

Escopo

Atualmente, deseja-se fazer várias atividades em tempos mais otimizados. Sabe-se também que certas atividades não estão sujeitas a erros; ou seja, devem ser feitas da maneira exata em que foram propostas. A necessidade constante de aplicar remédios é algo natural na vida de um enfermeiro de um lar de idosos.

Diariamente, enfermeiros precisam ministrar remédios específicos para as pessoas das quais estão cuidando. É necessário, porém, saber exatamente qual remédio deve ser dado em uma determinada hora, pois vidas humanas estão sob cuidados extremos. Sendo assim, qualquer procedimento errado pode comprometer a integridade do paciente.

O projeto vem para automatizar entregas de remédios, facilitando a memória de qual e quando o remédio deve ser aplicado e para qual paciente.

Visão geral

O documento expõe de forma pragmática a fundamentação, o planejamento e a construção do Dispensador, enfatizando a visão de negócio, as barreiras que serão solucionadas, o perfil da equipe incluindo perfis de usuário, principais necessidades dos envolvidos e dos usuários, resumo sobre benefícios para o cliente e recursos de suporte existentes, assim como as principais capacidades da aplicação de forma clara e objetiva, e a documentação que será necessária para o bom andamento do projeto.

M.2 Posicionamento

Oportunidade de Negócios

Tendo em vista a grande quantidade de pacientes que um enfermeiro atende, o controle de medicação se torna um processo desgastante. Com isso, o dispensador objetiva automatizar tal processo, o que possibilitaria que um número maior de pacientes fossem atendidos com margem zero de erros.

InSTRUÇÃO do problema

A Tab. 68 apresenta os tópicos e explicações da instrução do problema:

Tabela 68 – Tabela de Instrução de Posição do Problema

Tópico	Explicação
Problema	Necessidade de medicar uma grande quantidade de pacientes, acertando a dosagem e o horário de ministração de cada paciente, com a intervenção humana nos modelos tradicionais
Funções Afetadas	Intervenção humana no gerenciamento das medicações
Impacto dos problemas	O paciente poder ser medicado no horário errado, com a medicação errada.
Solução	Criar uma máquina e um <i>software</i> que controlem a seleção da medicação e quantidade por paciente, dando rastreabilidade do que foi medicado para cada paciente.

InSTRUÇÃO de Posição do Produto

Para um enfermeiro, o trabalho de separar remédios é um tempo gasto a ser relatado. O Dispensador é uma solução tecnológica que, além de facilitar a entrega dos remédios, também tem o objetivo de lembrar para o enfermeiro a hora e a quantidade exata que cada um de seus pacientes deve tomar seus remédios. Primeiro, o(a) enfermeiro(a) levantarão dados do paciente e, posteriormente, conseguirá gerar relatórios e lembretes (alarmes) para uso dos medicamentos.

M.3 Partes Interessadas

Descrição

- Cliente: Lares de Idosos.

- Usuários: Enfermeiros.
- Equipe: Graduandos em Engenharia de Software, Energia, Automotiva, Eletrônica e Aeroespacial pela Universidade de Brasília, no Campus Gama, discentes das disciplinas de Projeto Integrador 2.

Perfil do Usuário

Os usuários serão enfermeiros dos lares de idosos, os quais têm interesse em automatizar o processo de medicação de seus pacientes.

Alternativas e Concorrência

O produto *PillWatcher* entra no conceito de *business to business*, pois a maioria dos distribuidores de remédio entram como um *business to consumer*, onde não atendem mais de um paciente ou usuário. Exemplos disso são: *Alertmed*, Dispensador Automático De Medicamento, ou DAP101-OP.

Logo, o projeto *PillWatcher* está inserido no contexto de lar de idosos, centros clínicos, e traz justamente a alternativa de gerenciar os medicamentos de uma grande quantidade de pacientes de forma automatizada, trazendo rastreabilidade, e garantindo que o usuário tome a quantidade certa e o remédio correto, sem erro humano.

M.4 Visão geral do Produto

Perspectiva do Produto

O Dispensador oferecerá, de forma automatizada e eficiente, a medicação de pacientes por meio de lembretes e dispensação automática de remédios. Com isso, espera-se uma redução no tempo utilizado para a separação da medicação e, consequentemente, mais tempo para atender outros pacientes.

Resumo das Capacidades

Tabela 70 – Tabela Resumo das Capacidades

Benefícios para o cliente	Recursos
Permitir que o medicamento seja separado automaticamente	As comportas direcionarão os medicamentos para o paciente correto e a quantidade certa
Ser alertado quando for a hora de algum paciente tomar a medicação	Notificação no celular do enfermeiro
Saber o histórico de medicações do paciente	Dentro do aplicativo, o enfermeiro terá essa opção de gerenciar e verificar o histórico do paciente
Ser alertado quanto ao estoque da máquina	O enfermeiro poderá verificar e ser notificado quando um medicamento estiver acabando

Licenciamento e Instalação

O Dispensador utiliza da licença MIT, disponível no [link](#). Para instalar o *software* do Dispensador no seu computador, siga os passos abaixo:

Clone o repositório do Dispensador:

Mais informações disponíveis no [README.MD](#) do projeto.

APÊNDICE N – Documento de Arquitetura

Finalidade

Este documento fornece uma visão geral arquitetural abrangente do *Pillwatcher*, utilizando diversas visões arquiteturais e diagramas para representar as funcionalidades e processos que compõem o sistema. O objetivo deste documento é capturar e comunicar as decisões arquiteturais significativas que foram tomadas em relação ao projeto.

Escopo

O sistema em desenvolvimento proporcionará a automatização de processos repetitivos para enfermeiros. Este documento aborda os padrões arquiteturais escolhidos para o desenvolvimento do projeto, com o objetivo de fornecer um método ágil e conclusivo para o acompanhamento da saúde de pacientes. Será exposto nesse documento toda a lógica de construção do sistema, como também, tecnologias utilizadas, implementação, ambientes de trabalho e *frameworks*.

Arquitetura de solução

A Fig. 217 apresenta a arquitetura de solução de *Software*.

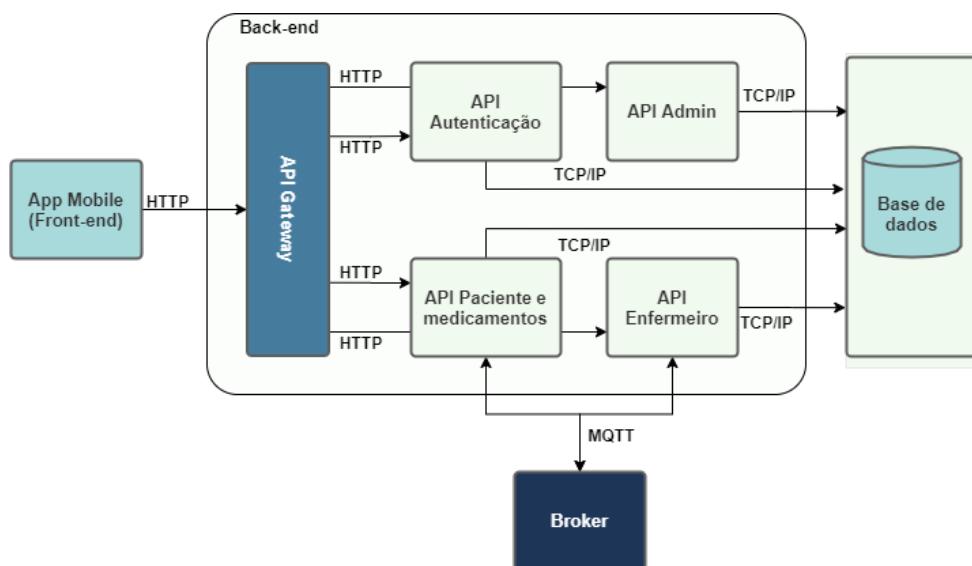


Figura 217 – Arquitetura de Solução de Software

O aplicativo será criado para facilitar o controle de processos do *PillWatcher*. Dentre as metas e restrições arquiteturais se encontram:

- Será criado um aplicativo *mobile*;
- O sistema será desenvolvido em uma tecnologia híbrida, para que possa atender os sistemas *Android* e *iOS* com um menor custo e prazo;
- A aplicação deverá consumir uma *API Gateway*, utilizando o protocolo HTTP;
- O aplicativo será desenvolvido utilizando a linguagem *React Native*;
- O *broker Mosquitto*, ou seja, a fila responsável por armazenar mensagens, se comunicará com a *API Gateway* por meio do protocolo MQTT.

N.1 Visão Lógica

- Banco de Dados é a camada responsável pela modelagem e definição dos dados. Nela são mapeados as entidades da aplicação, seus atributos e suas regras de negócio;
- *Back-end*, em *Spring Boot*, é a camada onde ocorre o processamento da lógica negocial. É o componente do *software* que estabelece conexão com a base de dados para registrar e/ou prover informações a um cliente. Tanto a aplicação móvel quanto ao sistema embarcado instalado no dispensador de remédios se comunicarão com essa camada;
- *Front-end* proverá uma interface para o gerenciamento dos diversos tipos de usuários. Será responsável, também, por facilitar o gerenciamento de receitas médicas de seus pacientes e seus respectivos medicamentos, bem como notificar o(a) enfermeiro(a) quando estiver no horário da medicação e quando o estoque de algum medicamento estiver baixo;
- *Broker* é o elemento responsável por gerir as publicações e as subscrições do protocolo MQTT. Ele é como uma espécie de mediador entre as máquinas, capaz de fazer com que a comunicação de fato ocorra entre elas.

N.2 Visão de Implantação

O sistema pode ser representado por uma arquitetura em camadas, na qual a camada de cima atua como cliente da camada logo abaixo e as interações entre elas são feitas por meio de chamadas de funções.

- Camada de apresentação: É onde ocorre a interação do usuário pelo aplicativo ou pelo *display* da máquina.
- Camada de negócios: O *API Gateway* ficará responsável por estabelecer comunicação com os microsserviços, os quais se comunicarão com o *broker* e com o banco de dados para realizar as validações de regras de negócio.
- Camada de persistência: Será o banco de dados responsável pelo armazenamento e recuperação dos dados, quando solicitados.

N.3 Visão de Dados

Como forma de melhorar a compreensão a respeito da modelagem do banco de dados, foi elaborado um Diagrama Lógico:

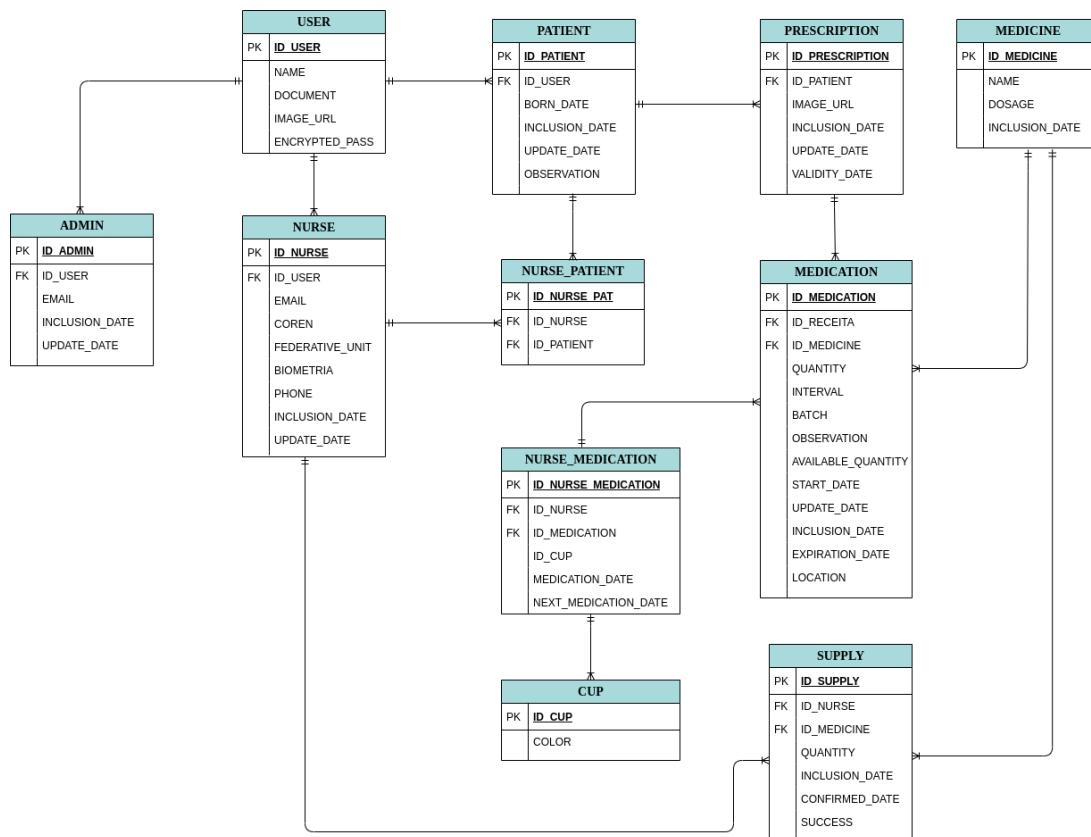


Figura 218 – Diagrama Lógico

Para melhor entendimento, seguem breves explicações de cada entidade:

1. **USER**: um usuário generalizado.

2. *ADMIN*: especialização de *User*, representa o administrador do sistema.
3. *NURSE*: especialização de *User*, representa o enfermeiro do sistema.
4. *PATIENT*: especialização de *User*, representa o paciente do sistema.
5. *NURSE PATIENT*: associação entre paciente e enfermeiro, pois um enfermeiro pode cuidar de vários pacientes, e um paciente pode ser observado por vários enfermeiros.
6. *PRESCRIPTION*: receita médica de um paciente.
7. *MEDICATION*: medicação que compõe uma receita.
8. *NURSE MEDICATION*: associação entre enfermeiro e medicação, pois uma medicação ao paciente é gerida por um enfermeiro.
9. *CUP*: copo para medicação ao paciente.
10. *SUPPLY*: abastecimento feito no dispensador por um enfermeiro.
11. *MEDICINE*: remédio disponível no dispensador e que compõe uma medicação.

APÊNDICE O – OpenAPI

O.1 Swagger

Seguindo as boas práticas de programação *REST*, juntamente com o objetivo de documentar as *APIs* desenvolvidas, a utilização do *SwaggerUI* foi acatada. Trata-se de um *plugin* cujo objetivo é facilitar a visualização dos *endpoints* (funcionalidades) expostos por cada microsserviço. Abaixo, está a demonstração de cada *Swagger* implementado. É possível, através do *Swagger*, realizar a chamada desses *endpoints* e verificar o funcionamento de cada método implementado.

The screenshot shows the Swagger UI interface for a REST API. At the top, there's a green header bar with the title 'swagger' and a dropdown menu 'Select a spec' set to 'default'. Below the header, the main area has a light gray background. It starts with a section titled 'Api Documentation' with a '1.0' badge. Underneath, it says '[Base URL: 192.99.25.198:8081 /]' and provides a link 'http://192.99.25.198:8081/v2/api-docs'. There are three links below: 'Api Documentation', 'Terms of service', and 'Apache 2.0'. A large section below is titled 'Admin Admin Controller' with a collapse arrow. It contains four horizontal cards, each representing a different REST method for managing administrators:

- POST** /v1/pillwatcher/admins Add a new Admin to Pillwatcher
- GET** /v1/pillwatcher/admins/{cpf} Get Admin Data from Specific Id
- PUT** /v1/pillwatcher/admins/{cpf} Update a Admin info on Pillwatcher
- DELETE** /v1/pillwatcher/admins/{cpf} Delete a Admin from given CPF

A figura acima diz respeito à documentação dos *endpoints* para gerenciamento de Administrador para o sistema *PillWatcher*. É possível realizar a chamada de requisições *REST* para realizar cadastro (*REST - Post*), atualização (*REST - Put*), encontrar um Administrador (*REST - Get*) e deleção (*REST - Delete*).

The screenshot shows the Swagger UI for the "Nurse API" version 1.0.0. The top navigation bar includes the "swagger" logo, a dropdown menu for "Select a spec" set to "default", and a search bar. Below the header, the title "Nurse API" is displayed with a "1.0.0" badge. A note indicates the base URL is 192.99.25.198:8082/. The page lists six endpoints:

- Medication** Medication Controller
- Medicine** Medicine Controller
- Patient** Patient Controller
- Prescription** Prescription Controller
- Supply** Supply Controller
- Prescription**

Each endpoint entry includes a brief description and a "View" link represented by a right-pointing arrow.

A figura acima diz respeito aos *endpoints* (métodos) implementados no micro-serviço de Paciente. Ao todo, cinco (5) contextos foram inseridos dentro do serviço. São eles:

- *Medication* - contexto responsável por gerenciar medicações;
- *Medicine* - contexto responsável por gerenciar remédios;
- *Patient* - contexto responsável por gerenciar pacientes;
- *Prescription* - contexto responsável por gerenciar prescrições;
- *Supply* - contexto responsável por gerenciar suprimentos.

The screenshot shows the Swagger UI interface for the "Nurse API 1.0.0". At the top, there's a green header bar with the "swagger" logo and a dropdown menu labeled "Select a spec" set to "default". Below the header, the title "Nurse API 1.0.0" is displayed, along with the base URL "[Base URL: 192.99.25.198:8080 /]" and the API documentation URL "<http://192.99.25.198:8080/v2/api-docs>". A note states "Nurse API" and links to the "Apache License Version 2.0". The main content area is titled "Nurse Nurse Controller" and contains five API endpoints:

- GET** /v1/pillwatcher/nurses Get all Nurses in Pillwatcher
- POST** /v1/pillwatcher/nurses Add a new Nurse to Pillwatcher
- GET** /v1/pillwatcher/nurses/{cpf} Get a Nurse in Pillwatcher
- PUT** /v1/pillwatcher/nurses/{cpf} Update a Nurse info on Pillwatcher
- DELETE** /v1/pillwatcher/nurses/{cpf} Delete a Nurse from given CPF

Por fim, a figura acima diz respeito ao microsserviço responsável pelo gerenciamento de enfermeiros. É possível, através do *Swagger*, verificar a estrutura de cada chamada dos *endpoints*, o *body* (corpo) esperado na mensagem e os possíveis retornos.

Foram desenvolvidos, ao todo, trinta e dois (32) *endpoints* que permitem gerenciar diversas entidades dentro da aplicação. A visualização na nuvem desses *endpoints*, pode ser encontrada nas *urls* listadas abaixo:

- Microsserviço de Paciente - [Swagger](#);
- Microsserviço de Enfermeiro - [Swagger](#);
- Microsserviço de Administrador - [Swagger](#).

APÊNDICE P – Manual de Usuário





Índice

1- Dados do Produto	1
2- Especificação do Produto	2
3- Especificação Técnica	4
4- Instalação do Equipamento	6
5- Operação do Equipamento	8
6- Precauções, Restrições e Advertências	11
7- Conservação e Manutenção	14



1- Dados do Produto

Nome Técnico:

Recipiente para Armazenar

Código de Identificação:

1571230

Regra de Classificação:

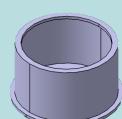
Regra 11

Classe de Risco: Classe I Classe II**Nome Comercial:**

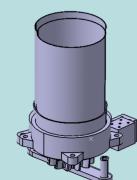
Dispensador de Medicamentos - PillWatcher

Partes e Acessórios:Conta e Aplicativo
para iOS e Android

Bateria



10 Copos



25 Contêineres

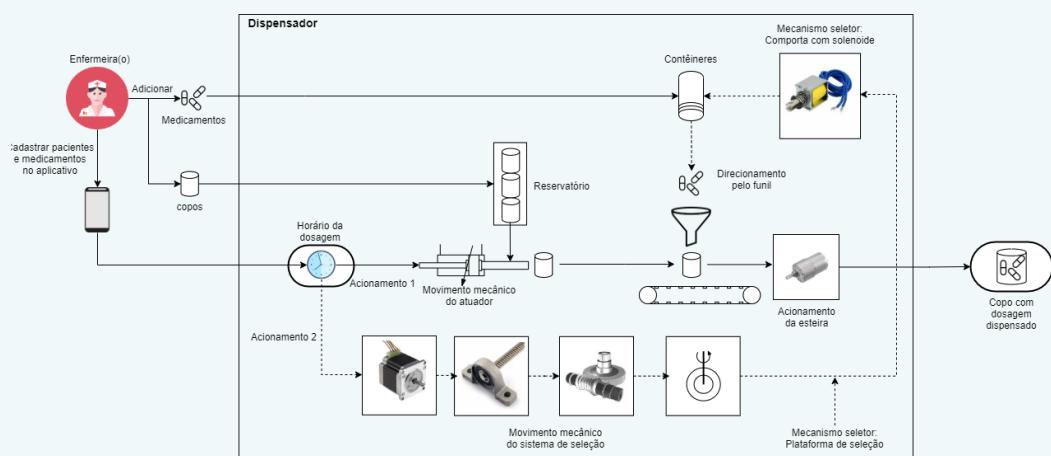


2- Especificação do Produto

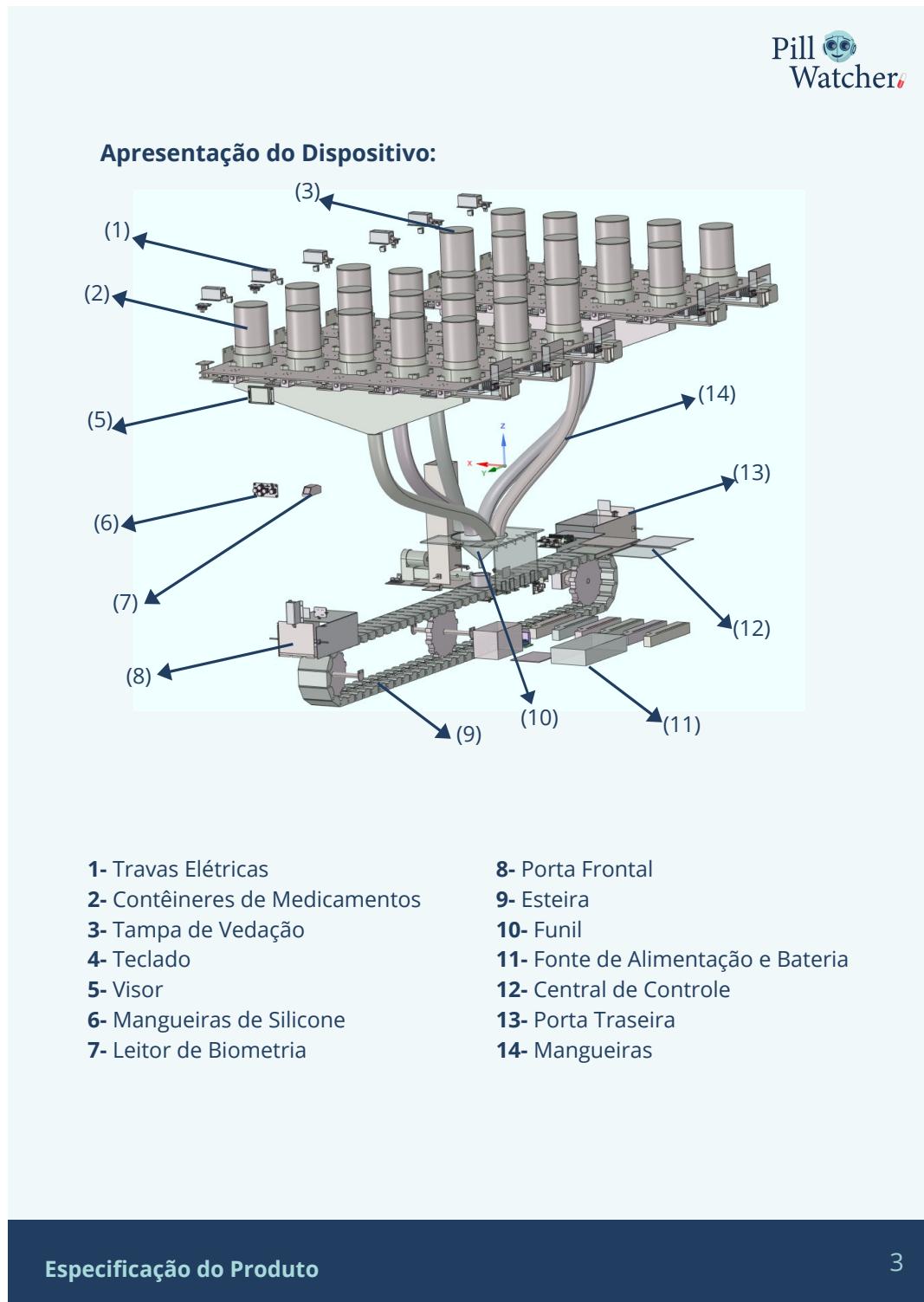
Indicação de Uso/ Funcionalidade:

O dispositivo PillWatcher é um dispensador automático de medicamentos para lares de idosos, o qual tem a capacidade máxima de 25 copos. Sendo assim, além do armazenamento dos comprimidos o equipamento tem mecanismo de alerta no aplicativo para os horários das medicações com separação correta das doses.

Princípio Básico de Funcionamento:



Primeiramente, a enfermeira deve cadastrar no aplicativo o paciente e as suas medicações pré-determinadas na receita médica. É necessário adicionar os medicamentos nos contêineres e os copos no reservatório de copos. Quando atingir o horário da administração da medicação, a partir de mecanismos internos, o copo é direcionado para a esteira e paralelamente a esse processo tem-se a dispensação do medicamento, o qual por meio das mangueiras de silicone os direciona até o funil e, assim, os medicamentos caem no copo. Em seguida tem-se o processamento de imagem que verifica se a dosagem unitária está correta. Por fim, a dose unitária é direcionada para porta frontal.





3- Especificação Técnica

Especificações Físicas

Dimensões do dispensador (C x L x A):	1,66 x 0,92 x 1,44 m
Peso do dispensador:	160 kg
Resistência química:	Resistente a álcool isopropílico, sabão neutro e água, alvejante à base de cloro e agentes de limpeza com água

Condições Ambientais

Temperatura de operação:	13,5 a 28,5 °C
Temperatura de armazenagem:	-30 a 80 °C
Umidade relativa durante a operação:	40 a 85% UR
Umidade relativa durante armazenagem:	35 a 85% UR

Especificações da Fonte de Alimentação

Frequência da linha AC:	60 Hz
Tensão de entrada:	110 a 220 VCA
Tensão de saída:	12 VCC± 2%
Corrente de saída:	15 A
Potência de saída:	180 W
Eficiência em carga máxima:	70% ± 2%
Ventilação:	Natural
Invólucro:	Metálico



Especificações da bateria

Química:	íon-lítio
Tensão de saída:	12 VCC
Capacidade/ Autonomia:	15 Ah
Energia armazenada:	180 Wh
Vida útil:	média de 1000 a 2000 ciclos
Tempo para recarga total:	± 1 hora

Características do visor

- Tela de cristal líquido de alto contraste

Resolução:	240 x 320 píxeis
Interface:	SPI

Controles do Dispensador

1- CIMA/ 2- BAIXO/ 3 -DIREITA/ 4 - ESQUERDA/ 5- SELEÇÃO





4- Instalação do Equipamento



O dispensador PillWatcher somente deve ser instalado e montado pela assistência técnica.

A montagem e a instalação do equipamento já estão incluídos na venda do equipamento.

A correta instalação do equipamento assegura ao cliente o direito à garantia do produto contra defeitos de fabricação. A montagem do dispositivo está disponível no **Manual de Montagem**

Requisitos de Infraestrutura: Rede elétrica e Rede Wi-fi.

1 – Montagem do equipamento

- Entre em contato com a assistência técnica para realizar a montagem do Equipamento

2 – Escolha o local de instalação

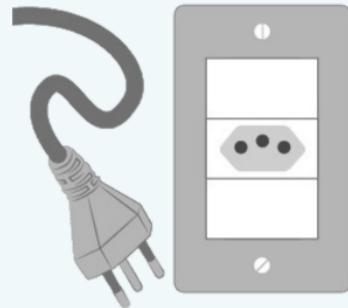
- Não instale o dispositivo ao ar livre ou sob a incidência direta de raios solares.
- Evite a proximidade do dispositivo com produtos químicos ou fontes de calor e locais com frequente manuseio de água.

3- Instalação Elétrica

- Os fios da tomada onde será ligado o seu equipamento devem ser de cobre e ter seção mínima de 2,5 mm², conforme NBR5410.
- O plugue do cabo de alimentação deste equipamento respeita o novo padrão estabelecido pela norma NBR 14136. Assim, caso a tomada da sua residência ainda se encontre no padrão antigo, recomenda-se que providencie a substituição e adequação da mesma ao novo padrão NBR14136, com um eletricista de sua confiança.



O equipamento PillWatcher está classificado como Classe de Isolamento I segundo a norma IEC 61140, onde sua carcaça é metálica e está conectada à terra através de um condutor de proteção (PE). Com isso, de acordo com o Padrão Brasileiro de Plugues e Tomadas, o modelo de plugue do equipamento é de três pinos e a tomada a que ele for conectado deve ser de três orifícios de 4,8 mm devido sua corrente de operação ser 15A.



Não use extensões adicionais ou conectores elétricos do tipo T.



5- Operação do Equipamento



Para operação do dispensador PillWatcher necessita de treinamento operadores no equipamento.

O treinamento dos operadores no PillWatcher já está incluído na venda do equipamento.

Duração: 1 dia
Data marcada: Definida pelo cliente

Condições de Manipulação do Produto: O equipamento só pode ser operado por profissional habilitado

5.1- Passos para Inicialização do Dispositivo



1- Cadastre o número de série do dispositivo no aplicativo .



2- Selecione sua rede Wi-fi



3- Digite a senha da rede Wi-fi

4- Por último, instale o **aplicativo PillWatcher** e faça o cadastro do administrador, enfermeiro e paciente com suas respectivas receitas médicas no aplicativo.



5.2- Passos para Utilização do Dispositivo

- 1-Para ligar o dispositivo, pressione o botão liga/desliga uma vez.
- 2-Coloque os medicamentos nos contêineres individuais conforme descrito na seção **5.3 - Passos para Reabastecimento do Dispositivo**.
- 3-Quando chegar o horário pré-definido na receita médica o dispositivo seleciona os medicamentos corretos para cada paciente cadastrado no aplicativo.
- 4-Quando o dispositivo PillWatcher dispensar a dose individual do paciente é enviada uma notificação por meio do aplicativo e também tem um aviso na tela do dispositivo.
- 5-Caso o medicamento não seja retirado na hora correta, o dispositivo possui avisos a cada 10 minutos para que o enfermeiro não esqueça de retirar a dose individual.
- 6-Para retirar a dose individual é necessário que o profissional da saúde tenha cadastrado a sua biometria.
- 7-Após a dose individual ser retirada do dispositivo pelo profissional da saúde, é necessário marcar no aplicativo que o paciente realmente tomou a medicação.
- 8-Para desligar o dispositivo, pressione o botão liga/desliga uma vez.

5.3- Passos para Reabastecimento do Dispositivo

- 1-Selezione no dispositivo o modo reabastecimento.
- 2-Realize o cadastro dos medicamentos no aplicativo com as seguintes especificações: nome, dose, quantidade, data de validade, lote, posicionamento do medicamento no contêiner, etc.
- 3-Coloque seu dedo no leitor de biometria para abrir os compartimentos superiores.
- 4-Em um ambiente limpo e higienizado retire os medicamentos sólidos das embalagens, frascos, blisters e ampolas. O profissional de saúde que exercer essa função precisa utilizar equipamento de proteção individual (touca, máscara e luva).
- 5-A partir do posicionamento do contêiner selecionado na etapa de cadastro do medicamento no aplicativo, deve-se adicionar um tipo de medicamento por contêiner.



- 6- Feche as portas do compartimentos superior.
- 7- Retire do modo armazenamento.

5.4- Passos para Reabastecimento dos Medicamentos que estão no Compartimento Traseiro

- 1- Selecione no dispositivo o modo reabastecimento.
- 2- Abra o compartimento traseiro.
- 3- Retire os medicamentos que foram separados de forma incorreta
- 4- Feche a porta do compartimento traseiro
- 5- Coloque seu dedo no leitor de biometria para abrir os compartimentos superiores.
- 6- Coloque cada medicamento no contêiner adequado.
- 7- Feche a porta do compartimento superior.
- 8- Retire do modo armazenamento.

5.5- Passos para Reabastecimento dos Copos

- 1- Selecione no dispositivo o modo reabastecimento.
- 2- Coloque seu dedo no leitor de biometria para abrir os compartimentos superiores.
- 3- Adicione os copos esterilizados no compartimento superior do armazenamento de copos.
- 4- Feche a porta do compartimento superior.
- 5- Retire do modo armazenamento.



6- Precauções, Restrições e Advertências



O aparelho só deve ser utilizado sem conexão com a tomada elétrica caso haja interrupção de energia da rede



O carregamento da bateria é feito automaticamente, não é necessário intervenção externa. Basta manter o aparelho conectado à rede elétrica.

- O Indicador de carga da bateria está localizado na tela no painel frontal da máquina.
- Na presença de falha na fonte de alimentação principal, o indicador de carga apresenta:

- Cor verde quando o aparelho estiver totalmente carregado.



- Cor amarela quando o carregamento atingir 50% da carga total.



- Cor vermelha quando o carregamento atingir 25% da carga total.



Caso ocorra um corte temporário do suprimento de energia elétrica, retire o aparelho da tomada. O nobreak oferece energia adicional para realizar o desligamento seguro do equipamento.



Caso precise realizar algum reparo no equipamento, sempre o desligue da tomada antes de abri-lo ou inserir alguma ferramenta em seu interior.



Caso o medicamento fique preso dentro do dispositivo entre em contato com a assistência técnica.



Para realizar a limpeza dos contêineres não deve-se utilizar produtos que deixem resíduos, os quais podem afetar o paciente



Para realizar o processo de retirar o medicamento sólido da sua embalagem deve-se necessariamente utilizar equipamentos de proteção individual.



Não realizar o processo de retirar o medicamento sólido da embalagem em ambiente restrito antes de adequada descontaminação.



Nunca use óleo, graxa, hidrocarbonato ou deixe materiais orgânicos similares em contato com as mangueiras de silicone.



A central de controle não deve ser exposta a umidade ou água já que não possui proteção para tal.



Caso tenha uma falha de conexão com a rede Wi-fi não será possível realizar o reabastecimento.

Notas sobre Armazenamento e Transporte



O produto deve ser armazenado em locais secos e de temperatura moderada, de forma a não colocar em risco seus componentes eletrônicos



Armazene as peças em superfícies macias para evitar que as superfícies com acabamento sejam danificadas.



O transporte do produto da fábrica até o local de instalação deve ser realizado por uma empresa especializada. O produto embalado em caixas deve ser acondicionado em caminhões fechados (tipo baú).



Durante o transporte e armazenamento não deve-se empilhar caixas sobre a caixa do dispositivo.



7- Conservação e Manutenção



A manutenção e o reparo do PillWatcher devem ser realizados por pessoal técnico especializado.

Manutenção Preventiva e Corretiva

Para a segurança do paciente, do operador e terceiros, é recomendada a manutenção preventiva do produto, nas partes, módulos e acessórios em intervalos regulares de no máximo 12 meses.

Programa de Manutenção Recomendado

Manutenção	Período
Inspeção visual	1 vez por semana
Limpeza	Antes do reabastecimento e conforme o necessário
Verificação de Desgaste	A cada 6 meses
Verificação de segurança	A cada 1 ano, após qualquer reparo ou conforme necessário
Troca das mangueiras	A cada 2 anos ou conforme o necessário
Troca da bateria	A cada 5 anos ou conforme o necessário

Inspeção Visual

Antes da inspeção, desligue o PillWatcher e desconecte os cabos de força e adaptadores da tomada. Verifique se há desgaste, danos ou peças faltando no aparelho e nos acessórios. Efetue as substituições necessárias, limpe o aparelho e os contêineres.

Inspecione o sistema em relação aos seguintes itens:

- Cabo de força gasto ou danificado;
- Componentes soltos ou faltando;



- Danos mecânicos;
- Fiação desencapada ou danificada;
- Medicamento preso no interior do dispositivo.

Em caso de falha no funcionamento ou possível dano interno, recomenda-se o chamado imediato de um técnico certificado para a manutenção.

Limpeza Externa do Dispositivo

- 1**-Desconecte o Cabo de força e certifique de que o aparelho esteja desligado;
- 2**-Limpe as superfícies externas com um pano macio umedecido em água e sabão suave ou em álcool isopropílico. Evite a aplicação de líquidos para limpeza nos conectores do cabo de alimentação.

Limpeza dos Contêineres e Mangueiras de Silicone

- 1**-Desconecte o Cabo de força e certifique de que o aparelho esteja desligado;
- 2**-Atenção, mantenha a fonte de alimentação e a bateria sempre secas.
- 3**-Desmontar o dispositivo e retirar as peças dos contêineres e as mangueiras (sua remoção e desmontagem devem seguir as mesmas orientações da montagem para o primeiro uso).
- 4**-Para limpeza dos contêineres, o procedimento o ideal é utilizar apenas um pano úmido com água e sabão neutro, álcool isopropílico, produtos químicos de limpeza para esterilização hospitalar que não interajam quimicamente com aço inoxidável ou polipropileno e equipamentos de esterilização a vapor (o rolamento e a engrenagem com eixo não entram em contato com os medicamentos e não devem ser higienizados).



5-Para a limpeza das mangueiras de silicone pode ocorrer pelo método manual ou automatizado (lavadora ultrassônica ou autoclave a vapor saturado sob pressão de 134 °C), precedida da imersão em solução de detergente enzimático.

6-Após a limpeza das mangueiras de silicone é necessário realizar o enxágue.

7-Antes de realizar a remontagem e instalação dos contêineres é imprescindível que eles estejam completamente secos e livres de resíduos dos produtos utilizados na higienização.

8-Montar novamente o dispositivo

9-A limpeza deve ser realizada regularmente.

Limpeza dos Copos

1-Após a administração dos medicamentos para o paciente, os copos necessitam ser esterilizados para retornarem para o dispositivo.

2-Limpe com um pano macio umedecido em água e sabão suave ou em álcool isopropílico.

3-Retorne os copos para o armazenamento de copos no compartimento superior.

Verificação de Desgaste

A cada 6 meses um técnico deve monitorar o possível desgaste de componentes poliméricos da estrutura, o desbalanceamento e necessidade de manutenção dos componentes rotativos, a presença de oxidação na estrutura metálica e também ruídos estranhos ao funcionamento regular.

Não há necessidade de lubrificação por óleo, graxa ou grafite nos componentes rotativos e seu uso é terminantemente desencorajado. Caso constatados problemas, devem ser realizadas as manutenções preventivas ou corretivas necessárias.



Verificação de Segurança

A comprovação da segurança deve ser efetuada ao menos uma vez por ano, após qualquer reparação ou conforme necessário, de acordo com as normas de segurança IEC 60601-1.

Os testes de segurança relacionados abaixo são realizados anualmente pela assistência técnica a fim de assegurar a conformidade com a norma citada acima:

- **Teste dos Componentes Eletrônicos:** Qualquer falha nos sensores requer que os mesmos sejam trocados;
- **Teste Automático Estendido:** O teste automático estendido do dispositivo checa cada subconjunto principal. Este permite a verificação de falhas para cada um destes subconjuntos, sendo realizados na seguinte ordem:
 1. tela de cristal líquido
 2. circuito interno da placa principal
- **Teste nos Drivers dos Motores e Atuadores:** Qualquer falha nos drivers requer que os mesmos sejam trocados;
- **Verificação de Parafusos de Porcas**
- **Identificar Problemas de Integridade Mecânica**

Siga as instruções de operação do fabricante e entre em contato com o departamento biomédico sempre que o dispositivo necessitar de um teste de desempenho, funcionamento e de segurança



Troca das Mangueiras de Silicone

Após 30 ciclos de esterilização, as mangueiras de silicone devem ser trocadas. Como é recomendado que tenha uma esterilização mensalmente, elas precisam ser trocadas em média a cada 2 anos e meio.

Troca da Bateria

Após 1000 a 2000 ciclos de cargas, a bateria deve ser trocada. Mas como a bateria só utilizada quando tem-se corte temporário do suprimento de energia elétrica, então o período da troca da bateria é variável para cada usuário. Entretanto, levando em conta uma estimativa a troca deve ser realizada a cada 5 anos.

A eliminação de baterias deve ser realizada de uma forma segura para o meio-ambiente. Elimine as baterias corretamente, segundo os regulamentos locais.

APÊNDICE Q – Manual de Montagem



GERENCIADOR DE MEDICAMENTOS



MANUAL DE MONTAGEM





Sumário

1	GERAL	2
1.1	Características do Equipamento	2
1.1.1	Características técnicas	2
2	MONTAGEM	3
2.1	Acessórios	3
2.2	Cabeamento	4
2.2.1	Conexões dos terminais de ligação	4
2.2.2	Conexões da PCI	5
2.2.3	Fixação das canaletas na estrutura	5
2.2.4	Fixação dos cabos	7
2.3	Montagem Estrutural	8
2.3.1	Listas de Materiais	12
2.4	Posicionamento dos componentes na Estrutura	17
2.4.1	Fixação das PCIs	17
2.4.2	Conexão dos componentes eletrônicos	18
2.4.3	Fixações dos componentes na Estrutura	24
2.5	Etapas para Montagem	26





1 Geral

1.1 Características do Equipamento

Dispensador de medicamentos automatizado para até 5 usuários.

Confeccionado com componentes em aço-carbono, aço inox, alumínio, polipropileno e poliamida.

Reservatórios fabricados em materiais de aplicação médica, laváveis e esterilizáveis.

A manutenção ou montagem deve ser realizada por um profissional técnico qualificado. O equipamento deve estar desligado e fora da tomada ao realizar-se qualquer um dos processos. Caso seja necessário, o equipamento deve ser transportado por, no mínimo, duas pessoas adultas.

O técnico responsável pela manutenção ou montagem deve estar em posse de Equipamentos de Proteção Individual (EPI), como luvas e óculos de proteção.

Não se deve utilizar graxas e lubrificantes nos componentes móveis poliméricos, sob risco de degradação precoce e contaminação dos medicamentos. Em toda manutenção, deve ser observado o desgaste de componentes móveis, folgas excessivas ou ruídos anormais ao funcionamento do equipamento.

Na ausência de quaisquer componentes do equipamento durante a montagem, componentes defeituosos ou incorretos, o fabricante deverá ser contatado para provê-los ou realizar a troca.

1.1.1 Características técnicas

- Alimentação: 110/220V
- Bateria interna: de Íon-Lítio
- Dimensões: 1,66 x 0,92 x 1,44 m
- Peso aproximado: 160 kg
- Suporte para medicamentos de: 8 mm - 14 mm de diâmetro ou espessura.



2 Montagem

2.1 Acessórios

As seguintes listas de parafusos, arruelas e porcas serão necessárias para a montagem do produto:

Tabela 1 – Parafusos para montagem estrutural

Identificação	Modelo	Descrição	Quantidade Total
PA	M1.6x5mm	Philips cabeça de panela	24
PB	M2x10mm	Philips cabeça de panela	4
PC	M2.5x8mm	Philips cabeça de panela	4
PD	M3x6mm	Philips cabeça de panela	190
PE	M3x8mm	Philips cabeça de panela	66
PF	M3x10mm	Philips cabeça de panela	4
PG	M3x12mm	Philips cabeça de panela	72
PH	M3.5x14mm	Philips cabeça de panela	2
PI	M4x10mm	Philips cabeça de panela	20
PJ	M4x12mm	Philips cabeça de panela	28
PK	M4x14mm	Philips cabeça de panela Inox 304	75
PL	M4x25mm	Sextavado	40
PM	M5x8mm	Philips cabeça de panela	24
PN	M6x16mm	Philips cabeça de panela	44
PO	M6x30mm	Sextavado	100
PP	M6x45mm	Sextavado	50
PQ	M6x80mm	Sextavado com rosca inteira	18
PR	M8x40mm	Sextavado com rosca inteira	16
PT	M8x60mm	Sextavado com rosca inteira	60

Tabela 2 – Acessório para montagem estrutural

Identificação	Descrição	Quantidade Total
AA	Porca Sextavada M2	16
AB	Porca Sextavada M3	22
AC	Porca Sextavada M4	4
AD	Porca Sextavada M6	196
AE	Porca Sextavada M8	16
AF	Arruela lisa M6x1.6mm	150
AG	Arruela de Nylon (do fabricante)	25



2.2 Cabeamento

Uma instalação de cabeamento estruturado deve exigir uma série de cuidados para garantir perfeitas condições de utilização aos usuários finais. Portanto, para fins de organização, os circuitos foram separados e etiquetados conforme a Fig. 1. A montagem do sistema deve seguir os circuitos pré-determinados para facilitar a identificação e reparo de quaisquer danos nos componentes.

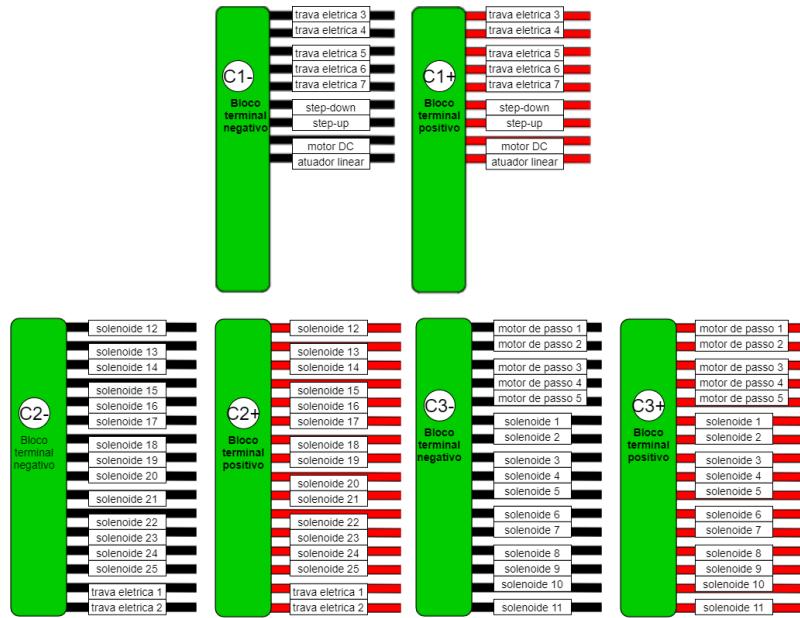


Figura 1 – Identificação dos circuitos nos blocos terminais de fio.

2.2.1 Conexões dos terminais de ligação

Os blocos de terminais devem ser montados em um local seguro, estável e longe de umidade. Para a conexão, retire, utilizando o alicate de desemcarpar cabos, cerca de 1,2 cm de isolamento dos fios que deseja conectar e, em seguida, insira os fios desencapados nos conectores de metal do bloco e os aparafuse até que estejam bem presos, conforme a Fig. 2.



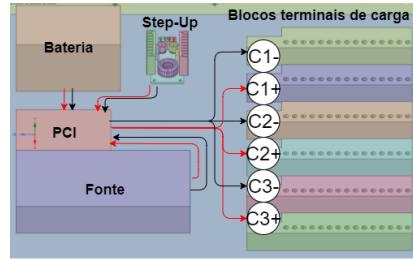


Figura 2 – Conexão do elementos de alimentação.

2.2.2 Conexões da PCI

A Fig. 3 indica como deve ser realizada as conexões da PCI do circuito carregador da bateria e do intertravamento entre fonte e bateria.

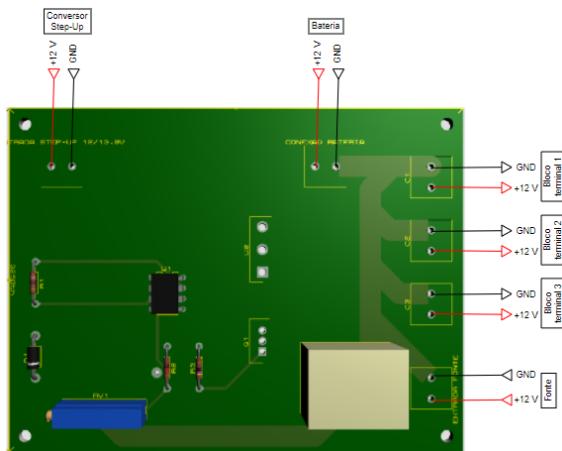


Figura 3 – Conexões da Placa do circuito carregador da bateria e do intertravamento entre fonte e bateria.

2.2.3 Fixação das canaletas na estrutura

Para a fixação das canaletas na estrutura deve-se fazer furos na mesma a cada 150 mm. Nos furos, aperte os fixadutos na estrutura para baixo travando a canaleta sobre a



chapa, conforme a Fig. 5. A canaleta deve ficar disposta na estrutura de acordo com a Fig. 4.

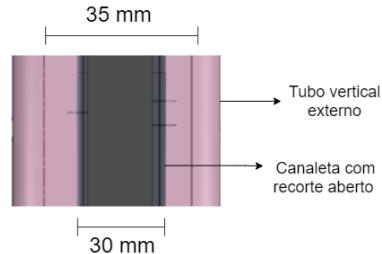


Figura 4 – Disposição das canaletas na estrutura.

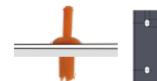


Figura 5 – Fixação da canaleta na estrutura.

A Fig. 6 representa a conexão dos cabos da solenoide com o *driver* IRF 520N. O drive é alimentado pela fonte 12V, assim sua fiação está conectada a fonte e ao conector Molex KK do *driver*. A solenoide está conectada ao conector do *drive*.

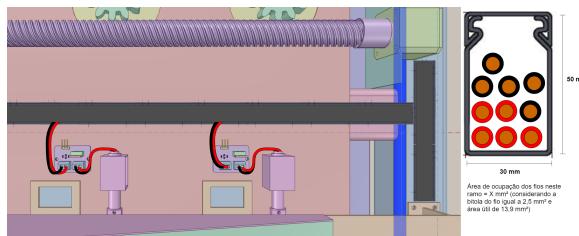


Figura 6 – Conexão com as solenoides e *driver* IRF520N

A Fig. 7 representa a conexão dos cabos do atuador linear com o *driver* IRF 520N.



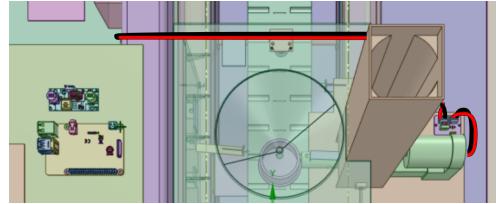


Figura 7 – Conexão com a *driver* IRF520N do atuador linear

A Fig. 8 esquematiza como a saída dos blocos terminais para as canaletas.

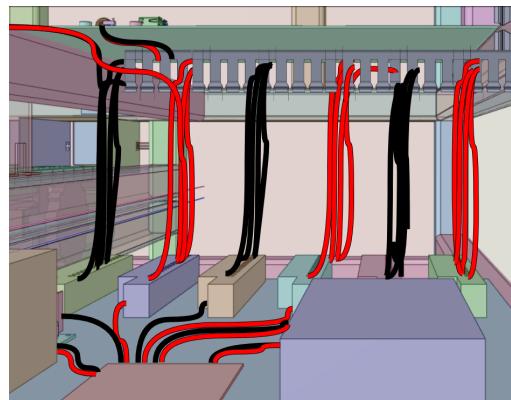


Figura 8 – Disposição dos cabos na saída dos blocos.

2.2.4 Fixação dos cabos

Os círculos em rosa, caracterizados na Fig. 9, representam o trajeto para o posicionamento das solenoides, motores de passo e trava elétrica. De acordo com a Tab. 3, os elementos da coluna 5A até 5F representa o distanciamento dos condutores para os motores de passo. A coluna 1A até 1F representa o distanciamento dos cabos para a mini trava elétrica. As demais colunas demonstram a distância dos condutores das solenoides.



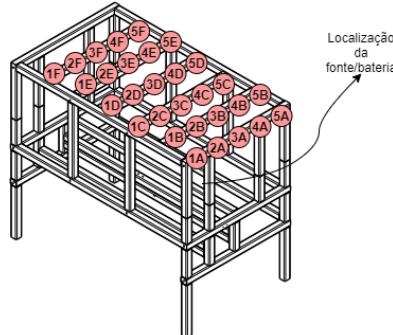


Figura 9 – Identificação dos circuitos para dimensionamento das distâncias dos condutores.

Tabela 3 – Distância em metros dos condutores, tendo como referência a Fig. 9.

	A	B	C	D	E	F
1	1.8	1.6	1.4	1.6	1.8	2.0
2	1.6	1.4	1.2	1.4	1.6	1.8
3	1.4	1.2	1.0	1.2	1.4	1.6
4	1.2	1.0	0.8	1.0	1.2	1.4
5	1.0	0.8	0.6	0.8	1.2	1.2

Conforme o dimensionamento dos condutores no projeto, todos os cabos tem seção de 2,5 mm² e foi utilizado o fio cabo flexível de cobre, da marca ScCabos, pois é recomendado para aplicações que exigem cabos com maior flexibilidade, assim atendendo o projeto.

2.3 Montagem Estrutural

A montagem de estruturas mais complexas está disposta nesta seção, trazendo vistas explodidas dos contêineres detalhados, uma montagem da mesa com detalhamento para o encaixe do suporte dos contêineres nas Fig. 10 e 11, respectivamente. Também é apresentada uma montagem da mesa de apoio, mancal do fuso, motor de passo e mangueras (Fig. 12). Além de uma última montagem com a esteira, seus componentes, funil de saída, atuador linear, dentro outros, apresentada na Fig. 13.



Com o intuito de facilitar a montagem e posicionamento dos produtos auxiliares, a Tab. 4 ilustra quais componentes e quais respectivos acessórios baseados nas tabelas anteriores (Tab. 1 e 2) serão utilizados na montagem.

Tabela 4 – Componentes para fixação na estrutura

Número	Componente	Descrição	Unidades	Peças para fixação
1	(B)	Câmera	1	4 PA, 4 AA e sem arruelas
2	(G)	Driver L298	33	4 PG, sem porcas ou arruelas
3	(G)	Driver A4988	5	Nenhuma, encaixe
4	(G)	Driver IRF520	33	2 PG (Fig. 12), 2 PG e 2 AB (Fig. 12), sem arruelas
5	(G)	Raspberry Pi 4	1	4 PC, sem porcas ou arruelas
6	(G)	Conversor Step-up	1	4 PD, sem porcas ou arruelas





Número	Componente	Descrição	Unidades	Peças para fixação
7		Conversor <i>Step-down</i>	1	4 PD, sem porcas ou arruelas
8		Teclado <i>AdKeypad</i>	1	4 PK e 4 AC, sem arruelas
9		Visor LCD	1	4 PF e 4 AB, sem arruelas
10		Sensor RFID	1	2 PH, sem porcas ou arruelas
11		Trava elétrica	8	4 PA ((Fig. 23)F), 4 PG e AB ((Fig. 23)B)
12		Zonas de retirada dos copos	1	2 PP e AD
13		Suporte da Chave Interruptora	10	2 PK e 4 AD (23), 2 PK sem porcas (23) e 4 PJ (23)
14		Chave Interruptora	35	Nenhuma, encaixe





Número	Componente	Descrição	Unidade	Peças para fixação
15		Sensor de biometria	1	Nenhuma, encaixe
16		Canaletas dos cabos	9[m]	60 fixa-dutos
17		Fixador de parafusos das canaletas	60	Nenhuma, encaixe
18		Fonte	1	Nenhuma, encaixe
19		Placa de Circuito Impresso do Módulo de Controle 1	1	2 PE, sem porcas ou arruelas
20		Placa de Circuito Impresso do Módulo de Controle 2	1	4 PE, sem porcas ou arruelas
21		Placa de Circuito Impresso do Módulo de Controle 3	1	2 PE, sem porcas ou arruelas
22		Placa de Circuito Impresso do Módulo de Controle 4	1	4 PE, sem porcas ou arruelas





Número	Componente	Descrição	Unidade	Peças para fixação
23		Placa de Circuito Impresso do Módulo de Controle 5	1	4 PE, sem porcas ou arruelas
24		Placa de Circuito Impresso do Sensor de Barreira	30	2 PE e 2 AC, sem arruelas

2.3.1 Listas de Materiais

As seguintes listas (Fig. 10 a 13) servem como auxílio para a montagem do complexo apresentado.



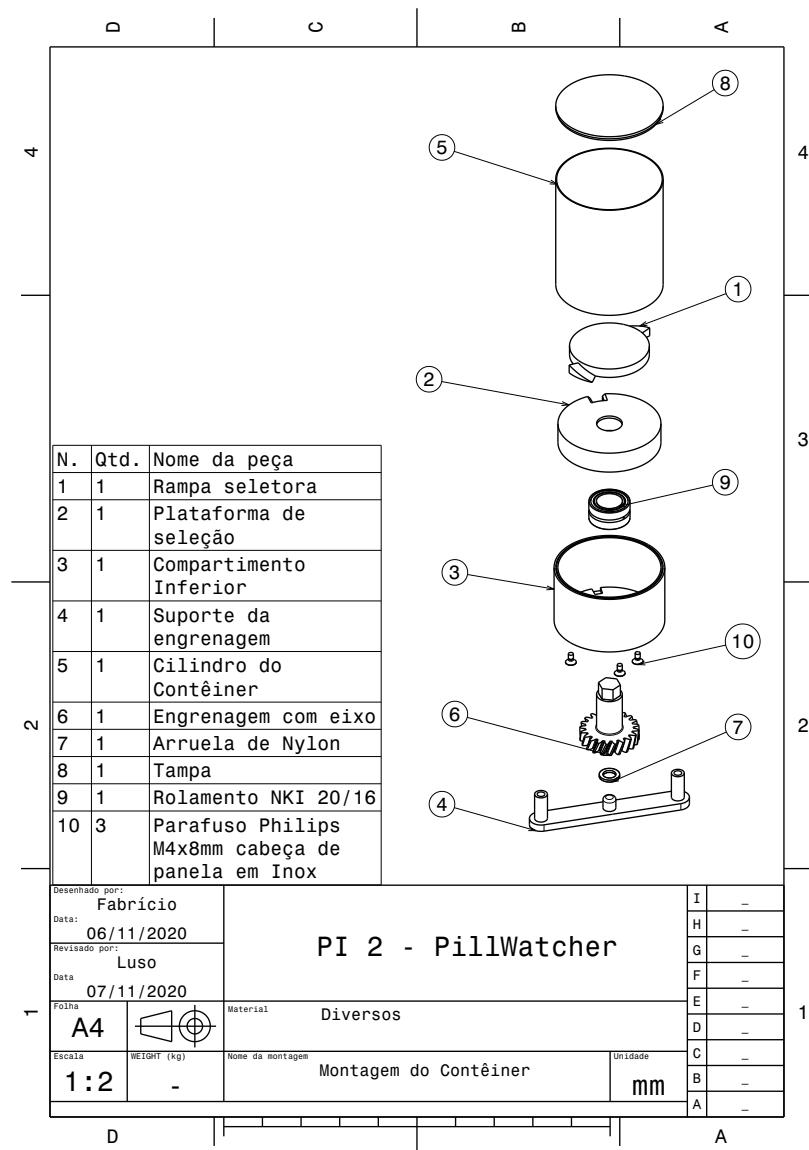


Figura 10 – Montagem do Contêiner

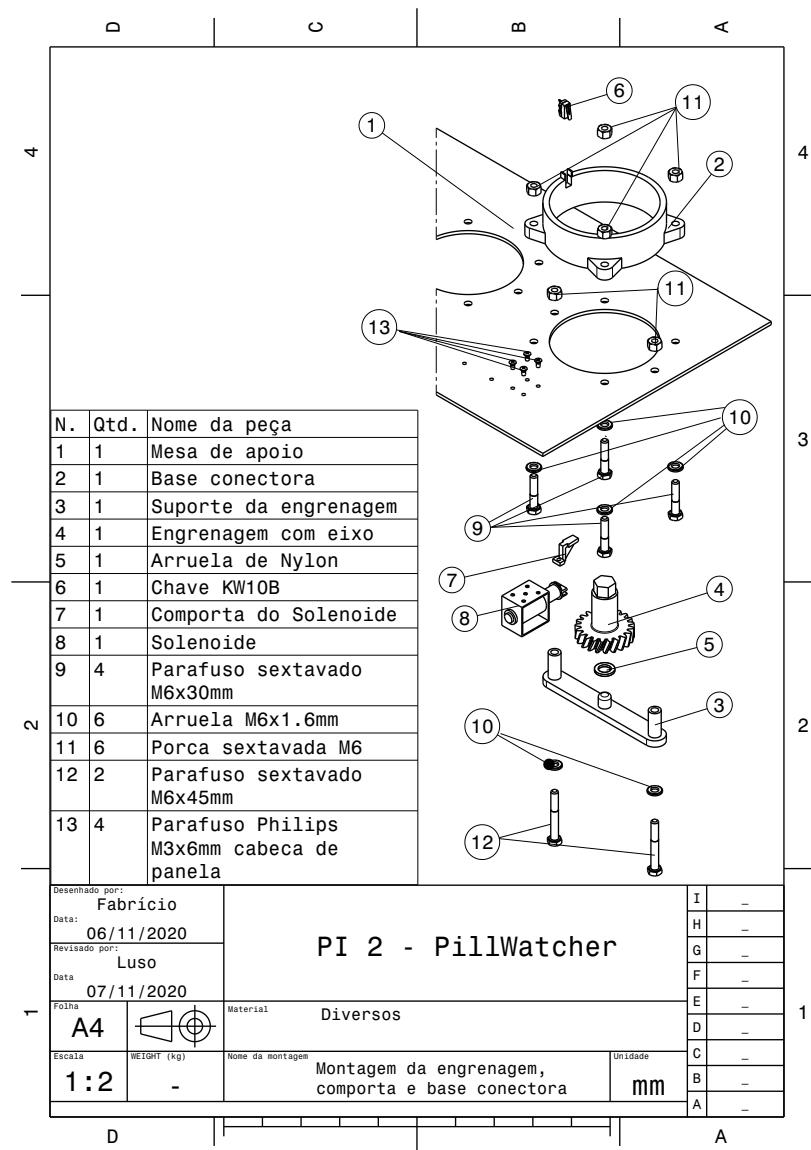


Figura 11 – Montagem da engrenagem, comporta e base conectora

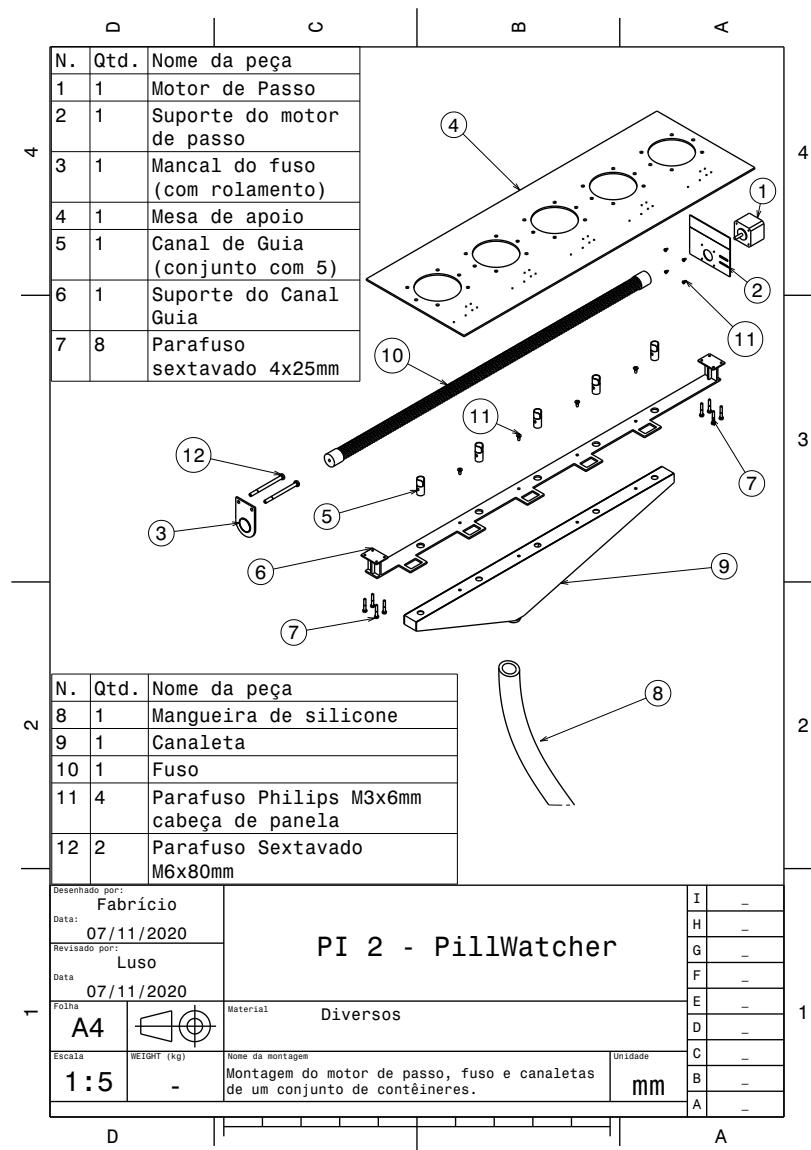


Figura 12 – Montagem do motor de passo, fuso e canaletas



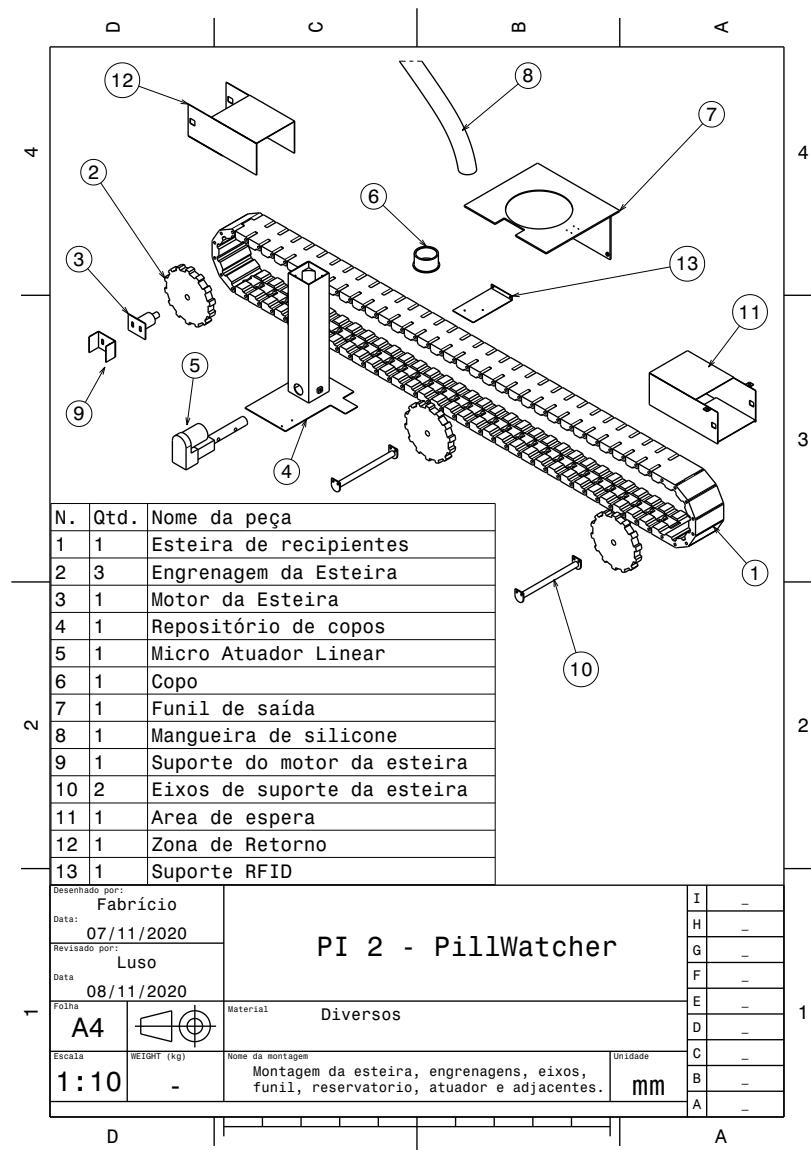


Figura 13 – Montagem da esteira e adjacentes.



2.4 Posicionamento dos componentes na Estrutura

2.4.1 Fixação das PCIs

A fixação das PCIs se faz de maneira similar ao de outros componentes, mas para fins de interpretação, serão ilustradas duas figuras informando o posicionamento das PCIs, com enfoque na Fig. 14, que ilustra os furos da placa do Módulo de Controle e seu formato final com o posicionamento das PCIs (Fig. 15).

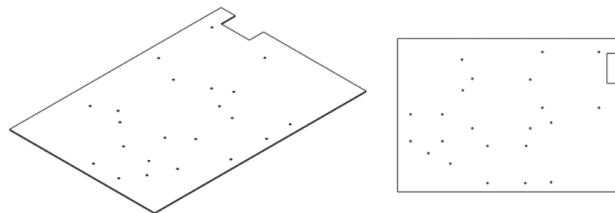


Figura 14 – Módulo de Controle sem o posicionamento dos eletrônicos

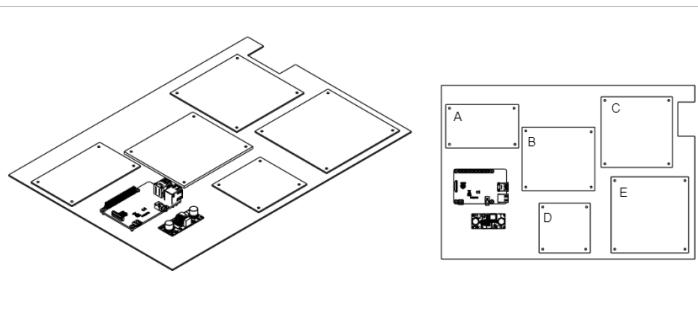


Figura 15 – Módulo de Controle com componentes posicionados

A montagem será dada pela lista a seguir:

- A: Placa de Circuito Impresso PCI1 (18).
- B: Placa de Circuito Impresso PCI2 (19).
- C: Placa de Circuito Impresso PCI3 (20).





- D: Placa de Circuito Impresso PCI4 (21).
 - E: Placa de Circuito Impresso PCI5 (22).

2.4.2 Conexão dos componentes eletrônicos

Para facilitar a montagem, deve-se conectar o cabeamento nas placas antes de montar o restante da estrutura. Conforme a Fig. 16, deve-se conectar a *Raspberry Pi* 4, o sensor de leitura RFID (PN532), o sensor de biometria (DY50), o sensor de temperatura e umidade (HTU21D), o visor, a fonte (5V e 8A) e as 4 PCIs das Fig. 18, 19, 20 e 21.

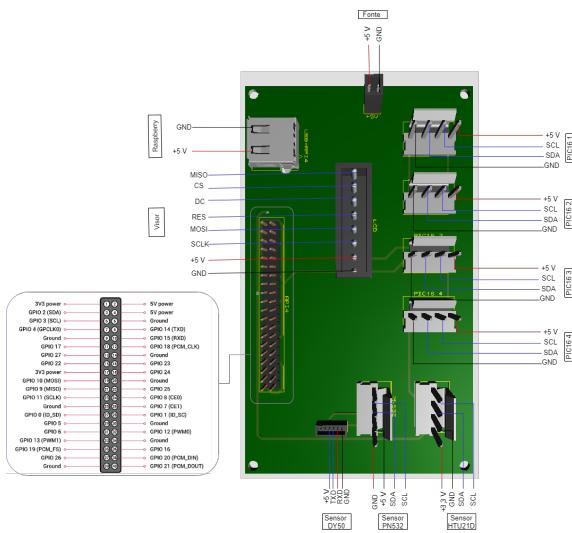


Figura 16 – Cabeamento da Placa do Módulo de Controle

A conexão entre a *Raspberry Pi* 4 e a PCI da Fig. 16 é feita usando um cabo IDE entre o GPIO da *Raspberry Pi* 4 e a barra de pinos macho 2x20 da PCI. As conexões realizadas usam os seguintes cabos:

- Fonte de alimentação 5 V/8 A: Cabo com conector *Molex* KK de 2 pinos fêmea/fêmea;
 - Visor LCD 240x320: Cabo com conector *Molex* KK de 8 pinos fêmea/fêmea;



- Quatro PCIs das Fig. 18, 19, 20 e 21: 4 Cabos com conector *Molex KK* de 4 fêmea/fêmea;
- Sensor Temperatura e Umidade HTU21D: Cabo com conector *Molex KK* de 4 pinos fêmea/fêmea;
- Sensor RFID PN532: Cabo com conector *Molex KK* de 4 pinos;
- Sensor de Biometria: Cabo com conector *Molex KK* de 6 pinos;
- Porta USB tipo A: Cabo com USB tipo A macho e USB tipo C macho

Na *Raspberry Pi* 4 são conectados os seguintes componentes:

- Cabo *flat* de 15 canais com 300 mm no *socket ZIF*. Outra ponta dessa cabo é conectado na câmera OV5647;
- Cabo USB tipo C vindo da PCI na porta de alimentação;
- *SD Card* de 32GBs com a imagem do OS Ubuntu 18.04.03 modificado para o projeto no respectivo *socket*.

A Fig. 17 indica como se deve realizar o posicionamento das conexões do VCC, GND, diodo emissor (**IR333**) com o positivo no pino 1 e o fototransistor (**PT333-3B**) com o emissor no pino 2 conforme o indicado.

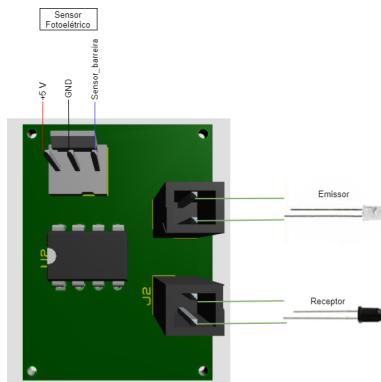


Figura 17 – Cabeamento da Placa do Sensor Fotoelétrico de barreira

A Fig. 18 indica como deve ser realizada as conexões da placa com a PCI do sensor de barreira e a PCI do Módulo de Controle.



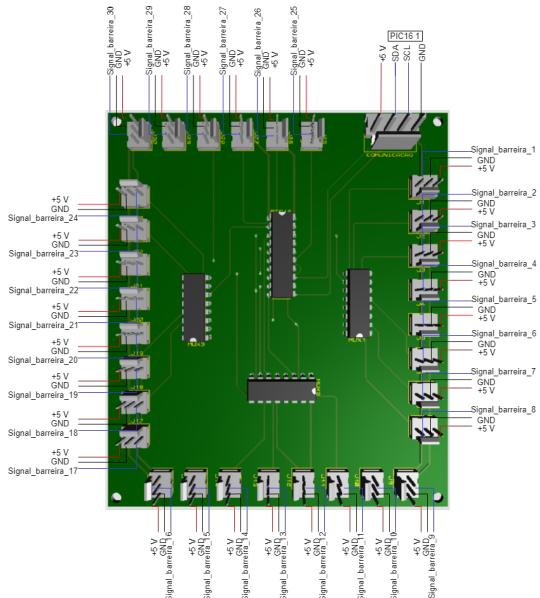


Figura 18 – Cabeamento da Placa do Módulo de Medição e Identificação dos Sensores de Fotoelétricos

As conexões realizadas na PCI da Fig. 18 usam os seguintes cabos:

- **Conexão com a PCI do Módulo de Controle:** Cabo com conexão *Molex KK* de 4 pinos fêmea/fêmea;
 - **Conexão com as 30 PCIs dos Sensores de Barreira:** 30 Cabos com conexão *Molex KK* de 2 pinos fêmea/fêmea.

A Fig. 19 indica como deve ser realizada as conexões com as chaves do tipo *micro switch* (**KW10-B**) e a PCI do Módulo de Controle.

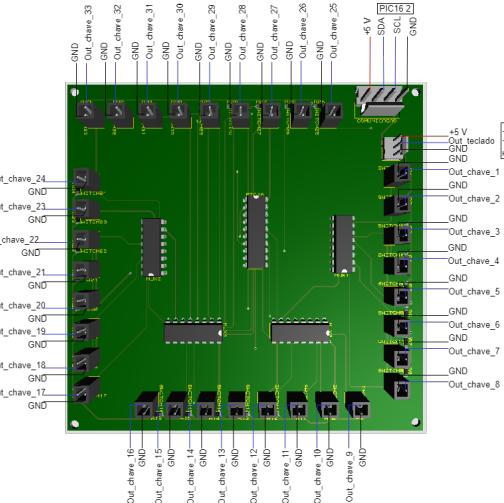


Figura 19 – Cabeamento da Placa do Módulo de Controle das Chaves

As conexões realizadas na PCI da Fig. 19 usam os seguintes cabos:

- **Conexão com a PCI do Módulo de Controle:** Cabo com conexão *Molex KK* de 4 pinos fêmea/fêmea;
- **Conexão com as 33 Chaves *Micro Switch*:** 33 Cabos com conexão *Molex KK* de 2 pinos fêmea/fêmea com a outra ponta conectada as chaves no terminal Comum e Normal Fechado (Pino 1 e Pino 2);
- **Teclado:** Cabo com conexão *Molex KK* de 3 pinos fêmea/fêmea.

A Fig. 20 indica como deve ser realizada as conexões da placa com os 32 *drivers* dos solenóides (**IRF520N**), o *driver* do atuador (**IRF520N**), teclado e a PCI do Módulo de Controle.



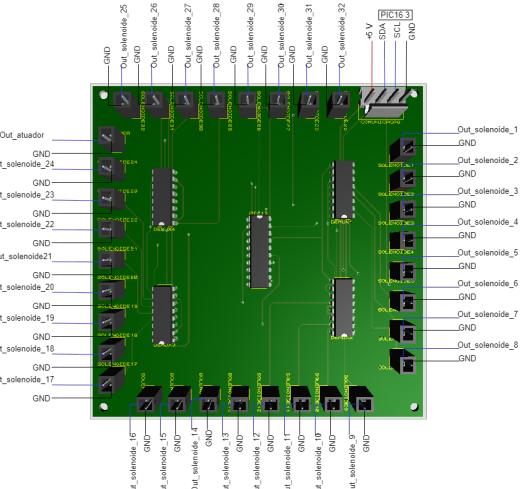


Figura 20 – Cabeamento da Placa do Módulo de Controle dos Solenoides e Atuador

As conexões realizadas na PCI da Fig. 20 usam os seguintes cabos:

- **Conexão com a PCI do Módulo de Controle:** Cabo com conexão *Molex KK* de 4 pinos fêmea/fêmea;
- **Conexão com as 32 solenoides (*driver IRF520N*):** 32 cabos com conexão *Molex KK* de 2 pinos fêmea/fêmea com a outra ponta conectada aos pinos de sinal e GND do *driver IRF520N*;
- **Conexão com o Atuador Linear (*driver IRF520N*):** Um cabo com conexão *Molex KK* de 2 pinos fêmea/fêmea com a outra ponta conectada aos pinos de sinal e GND do *driver IRF520N*.

O da solenoide vem de fábrica com um conector *Molex KK* não compatível com a conexão do *driver*. Sendo assim, é necessário sua remoção e o desencapamento dos fios vermelho e preto da solenoide. Em seguida, os fios são inseridos no borne de duas entradas do *driver IRF520N* (Vermelho no V+ e Preto no V-).

Para a conexão do atuador com o *driver IRF520*, os fios do atuador são inseridos no borne (Positivo em V+ e Negativo em V-).



A Fig. 21 demonstra como deve ser realizada as conexões da placa com os 5 *drivers* dos motores de passo (**A4988**), o *driver* do motor DC (**L298N**) e a PCI do Módulo de Controle.

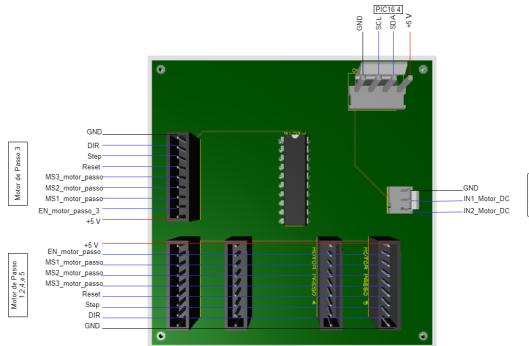


Figura 21 – Cabeamento da Placa do Módulo de Controle dos Motores de Passo

As conexões realizadas na PCI da Fig. 21 usam os seguintes cabos:

- **Conexão com a PCI do Módulo de Controle:** Cabo com conexão *Molex KK* de 4 pinos fêmea/fêmea;
- **Conexão com os 5 motores de passo (*driver* A4988):** Cabo com conexão *Molex* de 9 pinos fêmea / pinos fêmea;
- **Conexão com o motor DC (*Driver* L298):** Cabo com conexão *Molex* de 3 pinos fêmea / pinos fêmea.

Para conexão do motor de passo (NEMA 13) com *driver* A4988, os fios são conectados na seguinte ordem:

- Fio vermelho do motor no terminal 2B;
- Fio azul do motor no terminal 2A;
- Fio verde do motor no terminal 1B;
- Fio preto do motor no terminal 1A.

Para conexão do motor DC no *driver* L298, os 2 fios (motor) são inseridos no borne de 2 entradas para o motor A (ao lado do borne de 3 que se conecta a alimentação para o *driver*).



2.4.3 Fixações dos componentes na Estrutura

A estrutura tubular em aço também servirá de ancoragem para alguns componentes, com a fixação especificada pela Fig. 22, e também pelo texto subsequente. Aqui se justificam somente parafusos de fixação da estrutura tubular nas chapas da carcaça.

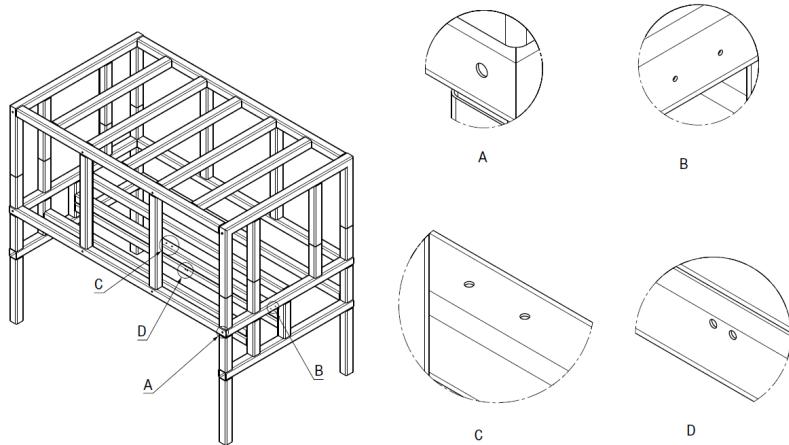


Figura 22 – Estrutura tubular de aço SAE 1020

A montagem será dada pela lista a seguir:

- Furos A: 8 furos em cada lado da tubulação, destinados à ancoragem da carcaça em alumínio, distribuídos uniformemente conforme espaçamento do desenho técnico dos tubos.
- Furos B: 2 furos de instalação das travas elétricas (11) nas portas de saída da esteira, dispostas na face do painel e na face anterior.
- Furo C: 4 furos de fixação do suporte do funil, feitos com 4 parafusos PM.
- Furo D: 2 furos de ancoragem dos eixos fixos das engrenagens da esteira.

Com o auxílio da Tab. 4, montará-se os objetos de acordo com o representado na Fig. 23.



APÊNDICE R – Entrevista com o Farmacêutico

Foi realizada uma entrevista com farmacêutico Darlan Rodrigo da Silva.

- (Sofia) Existem padrões para dimensão de medicamentos? Qual órgão regulamenta? Quais são as medidas mais comuns?**

(Farmacêutico) Os medicamentos sólidos podem ser divididos em: comprimidos, capsulas e drágeas. Sendo assim, de comprimidos a Novalgina de 1g é a que possui maior diâmetro no mercado, já capsula gelatinosa é um pouquinho maior porem é mais maleável que o comprimido e varia de acordo com o objetivo de sua utilização como por exemplo: O local de absorção (sublingual que precisa ser absorvido rapidamente e que devido a esse fator é uma medicação muito sensível a umidade). O comprimido que não é revertido, apenas feito na compressora de medicação é suscetível a umidade e possuem uma absorção mais lenta devido ao fato de ter sido desenvolvido para ser dissolvido no fim do trato gastrointestinal e absorção do princípio ativo. A escolha do formato envolve a marketing utilizada pela empresa (se será redondo, encapsulado ou não, a cor da medicação...). Logo eu não diria que existe uma medida específica, pois é muito variável e não existe uma especificação que regularmente um padrão mais ligado a cosmética das medicações.

- (Sofia) Existe um tamanho máximo do medicamento para ocorrer a deglutição?**

(Farmacêutico) Por exemplo a capsula, ela é um pouquinho maior e muito maior que aquelas capsulas como a de omeprazol ou de manipulação em que se faz muito encapsulamento, maior que estas eu nunca vi. Existe uma vitamina que é muito utilizada por gestante chamada *Teri da Bayes* que possui um formato elíptico, pouco maior que uma capsula, mas bem maleável. Mas raramente vai ter uma medicação com tamanho maior que de uma capsula, o que você vai ter é uma variação nos formatos. Mas agora o que vocês podem fazer é com base na capsula, tirar um tamanho máximo.

- (Sofia) Nós podemos retirar medicamentos que estejam no blister ou em frascos?**

(Farmacêutico) Existem algumas farmácias que fazem a desblistagem (retirada do medicamento do blister). O blister é um dispositivo de armazenagem bastante seguro contra a umidade pois duas coisas com que o medicamento sofre muito e que deve ser tomado cuidado é a umidade e a temperatura. A umidade é devido ao fato de que se você deixar entrar umidade nele, ele esfarela depois. O recomendado é deixar em um local com temperatura de no máximo 30°C e em ambiente fora de umidade. Não teria problema você retirar ele, o problema é onde ele ficará armazenado depois. Então no caso do projeto de vocês que se baseia em colocar em um novo recipiente separado, que esse recipiente possa ser bastante vedado medicamente, e que não permita entrada de umidade, que seja algo bem vedado mesmo e ai não terão problema com relação a afetar a medicação com fatores externos (umidade e temperatura).

4. **(Sofia) Quanto tempo os medicamentos podem ficar fora da embalagem segundo os padrões de segurança?**

(Farmacêutico) Vai depender da validade do produto, contando que se tenha esse cuidado com a temperatura e umidade, ai vocês se baseiam pelo lote e validade dele.

5. **(Sofia) Para o manuseamento dos remédios no abastecimento do dispositivo, quais cuidados devem ser tomados para não haver contaminação?**

(Farmacêutico) É ai na questão de tirar do blister teria que ter todo um cuidado de manuseio da medicação, então nesse caso a deblistagem deveria ser realizada com cuidado, pois você esta retirando ele de um lugar limpo e fechado para um outro local que também deve estar esterilizado. Nessa transferência devem ser tomados esses cuidados (utilizando luvas, toucas, máscaras). Então talvez tenha que ser acompanhado de um procedimento para isso.

6. **(Sofia) Na bula da medicação é especificado se o medicamento é hidrofílico ou termolábil? Existem medicamentos sólidos Termolábeis?**

(Farmacêutico) Comprimidos orais quanto menos umidade e controle de temperatura de 15°C até 30°C está ok, mais que isso já podemos ter algum tipo de problema na medicação. Medicação com outras faixas de temperatura nos temos também que são refrigerados em temperatura de geladeira e com isso precisam ficar armazenadas nessa condição. Quais medicações são essas? Geralmente são medicações injetáveis, como vacinas, medicações para tratamento de câncer, dificilmente em comprimidos. Você pode observar na embalagem.

7. **(Sofia) Quais seriam os principais medicamentos e dosagens utilizados por pacientes de casa de repouso?**

(Farmacêutico) Essa pergunta já é muito específica específica, o que eu posso falar a respeito é que eu não sei exatamente qual a incidência de medicamento x ou Y em casas de repouso para idosos por exemplo, agora o que eu comento que acho que faria todo sentido, seria estudar as medicações utilizadas para o tratamento de doenças que afetam mais os idoso como: pressão alta, diabetes, sistema nervoso central, antidepressivos e medicação para dor. Então esse tipo de medicação eu acho que são bem comuns nesses locais

8. (Sofia) Podemos utilizar o mesmo compartimento para um mesmo medicamento, mas para dois ou mais pacientes?

(Farmacêutico) Olha, poderia misturar neste compartimento com alguns detalhes. Exemplo um compartimento com novalgina que tem que ser dada de 6 em 6 horas para seu João e Dona Maria. os medicamentos podem ficar juntos deste que sejam do mesmo lote e data de fabricação, pois se algum comprimido tiver algum problema você não consegue identificar o lote. Outro cuidado importante é saber se a dosagem que será armazena e a dosagem que o paciente precisará receber são as mesmas, uma vez que um medicamento pode ter mais de uma dosagem.

9. (Sofia) Após a utilização de um determinado compartimento por um determinado tipo de medicamento, existe a necessidade de higienização para um próximo medicamento?

(Farmacêutico) Com certeza, isso é bem importante. Até na industria uma máquina de produção ela é utilizada para produzir vários medicamentos, porém é realizado uma limpeza completa do equipamento. E como eu garanto que a limpeza foi bem feita? a industria realiza vários testes. No dia dia nos também temos que ter esse cuidados, o comprimido vai soltando um pó, pode quebrar... Então pode ter alguns problemas. Com existem pessoas que são alérgicas a determinado tipo de medicação, isso é um problema ou pode sobrar um comprimido lá dentro. Então essa limpeza é extremamente relevante. Uma limpeza que garanta que não se tem mais resquícios da medicação anterior. Água e sabão podem resolver. Só tem que tomar cuidado com a umidade, o compartimento deve ser bem seco para não afetar o medicamento.

10. (Sofia) Qual o melhor material para o compartimento de armazenamento dos comprimidos?

(Farmacêutico) O inox é o melhor dos mundos, mas ele é caro e mais complicado de trabalhar que o plástico em si. Acho que tem farmácias que possuem umas caixinhas de plástico com repartições para você colocar horário, é feito de plástico. O inox

visualmente e para limpeza é melhor, mas o plástico é tranquilo também até porque a medicação ficará ali só por alguns dias e logo vai acabar. Não sei se chegaram a pensar em algo que pode ser descartável, que pode ser destacado quando acabar ou algo assim.

11. (Sofia) Caso o medicamento não seja retirado do dispositivo no horário correto, qual o tempo máximo que pode ocorrer na administração da entrega dessa medicação?

(Farmacêutico) Vai depender muito da medicação que a pessoa está tomando e dos horários que ela toma. Cada fármaco tem um tempo de atuação no organismo, quando você ingere uma dipirona depois de 20 minutos á 30 minutos ela é absorvida no estomago e a dipirona entra na corrente sanguínea e ai o gráfico de concentração sanguínea da dipirona vai aumentando e atingir um pico máximo e depois vai descendo até ser eliminada. Antes dela ser eliminada você já administra uma outra dose para continuar com o efeito terapêutico dela, só que tem um detalhe, você precisa saber como funciona a curva para cada medicamento. Se você toma de 6 em 6 horas, depois de 6 horas como tá o nível de dipirona no organismo? está com feito terapêutico? sim, ainda não está com febre. Agora quanto tempo mais eu posso ficar sem a dose para que n senta as reações? Isso tem que ser avaliado pois não existe um padrão. Então é uma pergunta em que não temos como saber quanto tempo padrão para todos eles, e deve ser especificado em bibliografia para cada um deles.

12. (Sofia) A nossa intenção é liberar a dose medicamentosa individual, pois tem alguns pacientes que precisam tomar mais de um medicamento no mesmo horário. Então ficamos na dúvida se nesse no copinho da dose precisaria ter varias indicações como o nome do paciente, horário, dose, via, frequência ou se somente o nome do paciente ou indicação no aplicativo já seria suficiente ?

(Farmacêutico) A dose é importante pelo seguinte, a gente pode ter concentrações diferentes do princípio ativo para um mesmo produto (1g, 500g) Então precisa ser especificado para quem será, a dosagem que será ministrada, o horário... teria que ter essa descrição para evitar problemas, pois podemos ter mesma medicação com dosagens diferentes e isso pode ser complicado, mas se todas essas informações ficarem no aplicativo já seriam suficientes e não seria necessário etiquetar o copo.

13. (Sofia) Quais as principais normas farmacêuticas de armazenamento e admissão de comprimidos?

(Farmacêutico) Olha, eu diria para vocês que um local bem legal de consultar e se informarem é a resolução 304 e 301 da Anvisa de distribuição, armazenamento e transporte de medicamentos.

APÊNDICE S – Questionário para Instituições de Longa Permanência para idosos

1. Qual o nome da instiçāo de longa permanēcia de idosos e unidade em que trabalha?

R: Lar dos Velhinhos São francisco de Assis

2. Quantos pacientes tem na instiçāo de longa permanēcia de idosos?

R:54

3. Quantos tipos de remédios são dados diariamente para os pacientes?

R: Comprimido e alguns líquidos

4. Quais são os principais remédios tomados na instiçāo de longa permanēcia de idosos?

R: Losartana 50mg, Anlodipino 5mg, Ácido Acetilsalicílico (A.S) 100mg, Metformina 500mg e 850mg, Metformina XR 500mg, Rivotril em Gotas, Clonazepam 2mg, Diazepam 5mg, Quetiapina 25mg e 50 mg e Haldol 1mg e 5mg.

5. Qual o principal tipo de embalagem desses medicamentos?

R: Blister

6. Qual a maior quantidade de remédios que um paciente toma em um mesmo horário?

R: Sem resposta

7. Na instiçāo de longa permanēcia de idosos possui algum estoque de comprimidos emergenciais ou apenas os medicamentos levados pelos responsáveis do paciente?

R: Possui estoque

8. Como é controlado o estoque de medicamento de cada paciente?

R: Cada morador tem um recipiente onde são guardadas os medicamentos a serem utilizados durante o mês

9. Como os remédios são separados?

R: Por dia

10. Como é feito a entrega dos remédios aos pacientes?

R: São colocados em fitas por morador e por horário

11. Como é feita a comunicação dentro da instição de longa permanência de idosos da entrega do remédio para os pacientes, para que não ocorra dupla medicação ou não medicação?

R: Existe uma fita por morador

12. Como se procede quando dois ou mais pacientes tomam medicamentos no mesmo horário?

R: Os cuidadores é que administram o medicamento de cada morador nos horários estabelecidos

13. Como é feita a comprovação que o paciente tomou o remédio?

R: O cuidador espera o morador tomar a medicação e se necessário verifica.

14. Qual o procedimento para quando uma receita expira?

R: O lar recebe visita médica a cada 15 dias e nessas visitas as receitas para o próximo mês são providenciadas

15. Como é feito o gerenciamento das receitas? (recebimento, armazenamento, controle)

R: As receitas são providenciadas para o próximo mês e quando o medicamento está terminando, a compra é efetuada. Existe um cuidador responsável pelos medicamentos

16. Qual a utilidade em obter um dispositivo automático que ajude a controlar os horários e a separação dos medicamentos?

R: Útil

17. Qual a utilidade de um aplicativo para confirmar a medicação e o paciente?

R: Útil

APÊNDICE T – Auto Avaliação

Projeto PillWatcher		
Ponto de Controle 3		
Nome	Matrícula	Descrição da Contribuição
Grupo Técnico de Estrutura (Engenharia Aeroespacial/Automotiva)		
Diogo P. Sousa	12/0115590	
Fabrício de A. Oliveira	16/0027772	Revisão do texto do relatório e dos desenhos técnicos. Correções no CAD e no posicionamento de componentes. Participação na elaboração do manual de montagem e elaboração de listas de materiais (<i>Bill of Materials</i>) para o manual de montagem. Sugestões para o manual de usuário. Participação na integração entre estrutura e alimentação.
Luso de J. Torres	15/0051808	Avaliação e validação do tópico de legislação, auxílio produção do manual do usuário, construção conjunta do manual de montagem, simulação da análise dinâmica, correções da formatação do documento conjunta, correções na escrita das propriedades dos materiais, arranjo dos textos de descrição das peças, descrição dos componentes da estrutura, construção conjunta da <i>Bill of Materials</i> , validação do texto de todas as áreas implementação das animações da estrutura, elaboração dos algoritmo do funcionamento do motor na simulação estrutural, elaboração das imagens estruturais do relatório, orientação do grupo, coordenação conjunta da integração dos componentes físicos e descrições no relatório.
Marcos Paulo R. Garcia	16/0014123	Atualização final do CAD, com todos os componentes estruturais, eletrônicos e energéticos, com sua devida localização espacial e locais de fixação. Auxílio no plano de montagem e fabricação dos componentes que compõem todo o projeto. Atualização dos Desenhos Técnicos dos componentes estruturais, com cuidado aos algarismos significativos e legenda das figuras. Leitura e revisão de toda a solução estrutural e apêndices correspondentes à área. Especificação do rolamento do mancal dos fusos. Atualização da tabela de custos, com as adaptações advindas ao CAD nesse ponto de controle. Adaptação científica dos textos da solução estrutural. Auxílio no <i>Bill of Materials</i> . Auxílio na confecção do manual do usuário.

Projeto PillWatcher		
Ponto de Controle 3		
Nome	Matrícula	Descrição da Contribuição
Grupo Técnico de Controle e Alimentação (Engenharia Energia/Eletrônica)		
Gabriel G. Carmona	16/0028558	Desenvolvimento de processamento de imagens, desenvolvimento de firmware de microcontroladores, desenvolvimento de códigos da central de controle, desenvolvimento das PCIs do sistema embarcado.
Luiza Carolina C. Gonçalves	13/0143791	Escrita do plano de teste de energia, atualização da planilha de custos, auxílio na integração entre energia e estruturas, auxílio na realização do manual de montagem, auxílio nos cálculos do dimensionamento dos condutores e da caneleira. Revisão dos cálculos do dimensionamento dos motores.
Rebeka P. Gomes	16/0017491	Elaboração e dimensionamento da PCI, auxílio no dimensionamento dos condutores e canaletas. Auxílio na realização do manual de montagem. Auxílio na integração de energia e eletrônica e energia e estruturas. Escrita dos elementos de organização e proteção/acabamento.
Sofia C. Fontes	16/0018234	Refatoração da Documentação do PC2, desenvolvimento capítulo sobre legislação, realização do manual de usuário, realização do manual de montagem, refatoração do diagrama de integração de subsistemas entre eletrônica, energia e estruturas, desenvolvimento do plano de testes de integração e descrição das normas empregadas na PCI
Tiago R. Pereira	16/0072620	Refatoração da Documentação do PC2, revisão da legislação, revisão da documentação de eletrônica, escrita do plano de testes da eletrônica, melhoria do plano de construção da eletrônica, atualização da planilha de custos, auxílio na integração entre eletrônica com estruturas e alimentação, formatação do documento em L ^A T _E X, organização dos entregáveis para controle e alimentação

Projeto PillWatcher		
Ponto de Controle 3		
Nome	Matrícula	Descrição da Contribuição
Grupo Técnico de Software		
Amanda V. Pires	15/0004796	Nesse ponto de controle, trabalhei mais na codificação. Assim, participei da criação dos <i>swaggers</i> das APIs, da codificação dos <i>microservices</i> , na integração IOT com o dispositivo eletrônico e o <i>broker</i> Mosquitto, no banco de dados e no servidor em nuvem. Participei também dos testes realizados na aplicação. Fiz ajustes pontuais no relatório.
Filipe D. Lima	16/0006163	Nesse ponto de controle, trabalhei mais na codificação, mas também contribui com o relatório. Assim, participei da criação dos <i>swaggers</i> das APIs, da codificação dos <i>microservices</i> , na integração IOT com o dispositivo eletrônico e o <i>broker</i> Mosquitto, no banco de dados e no servidor em nuvem. Fiz o <i>deploy</i> do <i>back-end</i> , banco de dados e <i>broker</i> na nuvem. Coloquei os resultados que tivemos nesse PC3 no relatório e melhorei alguns apêndices.
Gabriela C. de Moraes	16/0006872	Participei da reestruturação da parte de <i>software</i> no relatório, realizei correções apontadas pelo grupo e pelo <i>feedback</i> do PC2, trabalhei na refatoração e na padronização do protótipo, além de realizar melhorias nesse. Contribuí na descrição do protótipo refatorado para o relatório e auxiliei na codificação.
Geovanne S. Saraiva	15/0035756	Participei da refatoração da parte de <i>software</i> no relatório, adicionei os apêndices de documento de arquitetura, documento de visão e de gerenciamento e configuração de <i>software</i> , trabalhei na melhoria do protótipo de alta fidelidade, auxiliei na codificação do <i>backend</i> .
Kamilla C. Souza	16/0010969	Participei da refatoração do protótipo de alta fidelidade, fiz a descrição das telas do protótipo em relatório e auxiliei o grupo na refatoração e correção da escrita do relatório.

APÊNDICE U – Avaliação Geral

Nesse capítulo temos a avaliação realizada pela gerencia para cada membro. Sendo avaliados o desenvolvimento geral para os três pontos de controle.

Projeto PillWatcher					
Ponto de Controle 3					
Nome	Matrícula	Pontualidades de Entrega	Qualidade de Entrega	Desempenho	Observações
Grupo Técnico de Estrutura (Engenharia Aeroespacial/Automotiva)					
Diogo P. Sousa	12/0115590	5	4	3	Muito atarefado. Quase não contribuiu no projeto. Sumiu do grupo a 5 dias
Fabrício de A. Oliveira	16/0027772	10	9,8	9	
Luso de J. Torres	15/0051808	10	10	10	
Marcos Paulo R. Garcia	16/0014123	8	10	9,5	Atraso na entrega final do CAD
Grupo Técnico de Controle e Alimentação (Engenharia Energia/Eletrônica)					
Gabriel G. Carmona	16/0028558	10	10	10	
Luiza Carolina C. Gonçalves	13/0143791	10	10	10	
Rebekka P. Gomes	16/0017491	10	10	10	
Sofia C. Fontes	16/0018234	10	10	10	O membro que mais contribui para o andamento do projeto.
Tiago R. Pereira	16/0072620	10	10	10	Disposto a ajudar as demais áreas, ótima comunicação.
Grupo Técnico de Software					
Amanda V. Pires	15/0004796	10	10	10	
Filipe D. Lima	16/0006163	9,8	9,8	10	Ótimo empenho no projeto e presente nas decisões do projeto.
Gabriela C. de Moraes	16/0006872	10	10	10	
Geovanne S. Saraiva	15/0035756	10	10	10	
Kamilla C. Souza	16/0010969	10	10	10	

Anexos

ANEXO A – RDC Nº 185, de 22 de outubro de 2001

Todos produtos médicos implantáveis e os produtos médicos invasivos cirurgicamente de uso a longo prazo enquadram-se na Classe III, exceto no caso de se destinarem:

- a) a ser colocados nos dentes, neste caso pertencem à Classe II;
- b) a ser utilizados em contato direto com o coração, sistema circulatório central ou sistema nervoso central, neste caso pertencem à Classe IV;
- c) a produzir um efeito biológico ou a ser absorvidos, totalmente ou em grande parte, neste caso pertencem à Classe IV;
- d) a sofrer uma transformação química no corpo ou administrar medicamentos, exceto se forem destinados a ser colocados nos dentes, neste caso pertencem à Classe IV.

3. Regras Adicionais Aplicáveis a Produtos Médicos Ativos

Regra 9

Todos produtos médicos ativos para terapia destinados a administrar ou trocar energia enquadram-se na Classe II, exceto se suas características são tais que possam administrar ou trocar energia com o corpo humano de forma potencialmente perigosa, considerando-se a natureza, a densidade e o local de aplicação da energia, neste caso enquadram-se na Classe III.

Todos produtos ativos destinados a controlar ou monitorar o funcionamento de produtos médicos ativos para terapia enquadrados na Classe III ou destinados a influenciar diretamente no funcionamento destes produtos, enquadram-se na Classe III.

Regra 10

Os produtos médicos ativos para diagnóstico ou monitoração estão na Classe II:

- a) caso se destinem a administrar energia a ser absorvida pelo corpo humano, exceto os produtos médicos cuja função seja iluminar o corpo do paciente no espectro visível;
- b) caso se destinem a produzir imagens "in-vivo" da distribuição de radiofármacos;
- c) caso se destinem ao diagnóstico direto ou a monitoração de processos fisiológicos vitais, a não ser que se destinem especificamente à monitoração de parâmetros fisiológicos vitais, cujas variações possam resultar em risco imediato à vida do paciente, tais como variações no funcionamento cardíaco, da respiração ou da atividade do sistema nervoso central, neste caso pertencem à Classe III.

Os produtos médicos ativos destinados a emitir radiações ionizantes, para fins radiodiagnósticos ou radioterapêuticos, incluindo os produtos destinados a controlar ou monitorar tais produtos médicos ou que influenciam diretamente no funcionamento destes produtos, enquadram-se na Classe III.

Regra 11

Todos produtos médicos ativos destinados a administrar medicamentos, fluidos corporais ou outras substâncias do organismo ou a extraí-los deste, enquadram-se na Classe II, a não ser que isto seja realizado de forma potencialmente perigosa, considerando

a natureza das substâncias, a parte do corpo envolvida e o modo de aplicação, neste caso enquadram-se na Classe III.

Regra 12

Todos os demais produtos médicos ativos enquadram-se na Classe I.

4. Regras Especiais

Regra 13

Todos produtos médicos que incorporem como parte integrante uma substância, que utilizada separadamente possa ser considerada um medicamento, e que possa exercer sobre o corpo humano uma ação complementar à destes produtos, enquadram-se na Classe IV.

Regra 14

Todos produtos médicos utilizados na contracepção ou para prevenção da transmissão de doenças sexualmente transmissíveis, enquadram-se na Classe III, a não ser que se trate de produtos médicos implantáveis ou de produtos médicos invasivos destinados a uso de longo prazo, neste caso pertencem à classe IV.

Regra 15

Todos produtos médicos destinados especificamente a desinfectar, limpar, lavar e, se necessário, hidratar lentes de contato, enquadram-se na Classe III.

Todos produtos médicos destinados especificamente a desinfectar outros produtos médicos, enquadram-se na Classe II.

Esta regra não se aplica aos produtos destinados à limpeza de produtos médicos, que não sejam lentes de contato, por meio de ação física.

Regra 16

Os produtos médicos não-ativos destinados especificamente para o registro de imagens radiográficas para diagnóstico, enquadram-se na Classe II.

a) Classe I atual Corresponde a classe I anterior;

Regra 17

Todos produtos médicos que utilizam tecidos de origem animal ou seus derivados tornados inertes, enquadram-se na Classe IV, exceto quando tais produtos estejam destinados unicamente a entrar em contato com a pele intacta.

Regra 18

Não obstante o disposto nas outras regras, as bolsas de sangue enquadram-se na Classe III.

Figura 220 – RDC 185/01 - Página 11