



Universidade de Brasília - UnB

Faculdade UnB Gama - FGA

Projeto Integrador de Engenharia 2

PillWatcher - Gerenciamento da Medicação para Lar de Idosos

Professores: Alex Reis, Jose Felicio 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

Projeto Integrador de Engenharia 2

Orientador: Alex Reis, Jose Felicio 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 Consolmagny 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 Consolmagny Fontes e Tiago Rodrigues Pereira. – Brasília, DF, 2020-

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

Orientador: Alex Reis, Jose Felicio da Silva, Paolo Gessini, Ricardo Matos Chaim e Rhander Viana

– Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA
Projeto Integrador de Engenharia 2 , 2020.

1. . 1. . I. Alex Reis, Jose Felicio 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

Lista de ilustrações

Figura 1 – Comunicação entre componentes de software e eletrônicos	27
Figura 2 – Comunicação Entre Entidades e Solução de Software	28
Figura 3 – Descrição dos componentes da estrutura global	29
Figura 4 – Posicionamento dos componentes Elétricos e Eletrônicos	37
Figura 5 – Posicionamento dos sensores fotoelétricos, biométrico, câmera e teclado.	38
Figura 6 – Posicionamento dos motores de passo e o atuador linear.	39
Figura 7 – Posicionamento dos solenoides na mesa de apoio	40
Figura 8 – Fluxograma de operação do Sistema Mecânico	41
Figura 9 – Porção Inferior do contâiner com exemplo de engrenagem. Note a limitação do diâmetro externo máximo	50
Figura 10 – Qualidade da Malha do fuso com engrenagem	55
Figura 11 – Qualidade da Malha do volume de controle	55
Figura 12 – Qualidade Malha da Estrutura tubular	56
Figura 13 – Condições de contorno da interação engrenagem fuso	57
Figura 14 – Tensões equivalentes von Mises no fuso	57
Figura 15 – Tensões equivalentes von Mises na engrenagem	58
Figura 16 – Tensões equivalentes von Mises no subgrupo	59
Figura 17 – Representação das cargas aplicadas à estrutura tubular	60
Figura 18 – Análise da deformação total da estrutura	61
Figura 19 – Análise da Energia de tensão da estrutura	61
Figura 20 – Análise da Tensão Equivalente von Mises	62
Figura 21 – Geometria simplificada para estudo da transferência de calor	63
Figura 22 – Transferência de calor normal ao volume de controle	66
Figura 23 – Transferência de calor dentro do volume de controle	66
Figura 24 – Temperatura máxima alcançada ao longo do tempo	67
Figura 25 – Erros gerados pelas dimensões finitas do método computacional	68
Figura 26 – Sensor Biometria DY50	71
Figura 27 – Interruptor tipo <i>Micro Switch</i>	72
Figura 28 – Sensores de Barreira	72
Figura 29 – Esquemático do circuito do sensor fotoelétrico de barreira	73
Figura 30 – Simulação do Sensor Fotoelétrico de barreira	74
Figura 31 – Sensor Biometria DY50	76

Figura 32 – Módulo PN532	77
Figura 33 – Diagrama de blocos da parte RF	78
Figura 34 – Tag etiqueta RFID 13,56 Mhz	79
Figura 35 – Câmera OV5647 - 5MP	80
Figura 36 – Visor tipo LCD TFT 240x320	85
Figura 37 – <i>AdKeypad</i> com 5 botões	86
Figura 38 – Esquemático <i>AdKeypad</i>	86
Figura 39 – Diagrama Lógico Eletrônico	92
Figura 40 – Rede de Petri do Controle eletrônico	95
Figura 41 – Processo de separação	97
Figura 42 – Extração de texto	99
Figura 43 – Esquema do sistema de alimentação proposto.	103
Figura 44 – Motor de passo selecionado para a movimentação dos compartimentos.	105
Figura 45 – Motor DC selecionado para o acionamento da esteira.	105
Figura 46 – Mini atuador elétrico selecionado para movimentar o copo até a esteira.	106
Figura 47 – Solenoides selecionadas para o projeto.	107
Figura 48 – Configuração e formas de onda típicas do retificador de onda completa. Fonte: Blaabjerg Frede (2018), com modificações do autor.	111
Figura 49 – Configuração do conversor <i>Forward</i> a ser implementado com indicação do fluxo de corrente (setas vermelhas). Fonte: Erickson (1999), com modificações do autor.	114
Figura 50 – Gráficos dos CI's utilizados.	116
Figura 51 – Bateria de Íon-Lítio, 12V 15Ah selecionada para o projeto.	118
Figura 52 – Conversor CC/CC <i>Step-Down</i> utilizado para transformar a tensão de 12V para 5V.	120
Figura 53 – Solução de Software	121
Figura 54 – Software Deploy	124
Figura 55 – MER	125
Figura 56 – Caso de Uso - Mantenedor	126
Figura 57 – Caso de Uso - Sistema	127
Figura 58 – Caso de Uso - Enfermeiro	127
Figura 59 – Caso de Uso - Administrador	128
Figura 60 – Diagrama de Pacotes do Back-end	129
Figura 61 – NFR de confiabilidade	130
Figura 62 – NFR de segurança	131
Figura 63 – NFR de desempenho	131

Figura 64 – NFR de usabilidade	132
Figura 65 – Fluxo de Login	134
Figura 66 – Administrador - Parte 1	135
Figura 67 – Administrador - Parte 2	136
Figura 68 – Administrador - Parte 3	137
Figura 69 – Enfermeiro - Parte 1	138
Figura 70 – Enfermeiro - Parte 2	139
Figura 71 – Enfermeiro - Parte 3	140
Figura 72 – Enfermeiro - Parte 4	141
Figura 73 – Enfermeiro - Parte 5	142
Figura 74 – Enfermeiro - Parte 6	144
Figura 75 – Enfermeiro - Parte 7	145
Figura 76 – Enfermeiro - Parte 8	145
Figura 77 – Paciente - Parte 1	147
Figura 78 – Paciente - Parte 2	147
Figura 79 – Arquitetura de Integração	149
Figura 80 – Logomarca	168
Figura 81 – Estrutura Analítica do Projeto PillWatcher - Ponto de Controle 1 . .	173
Figura 82 – Estrutura Analítica do Projeto PillWatcher - Ponto de Controle 2 . .	174
Figura 83 – Estrutura Analítica do Projeto PillWatcher - Ponto de Controle 3 . .	175
Figura 84 – Estrutura Analítica do Projeto PillWatcher	176
Figura 85 – Planejamento Ponto de Controle 1	178
Figura 86 – Planejamento Ponto de Controle 2	179
Figura 87 – Planejamento Ponto de Controle 2	180
Figura 88 – Planejamento Ponto de Controle 3	181
Figura 89 – Desenho técnico da Estrutura Tubular (5.1)	182
Figura 90 – Desenho técnico das Chapas da Carcaça (5.1)	183
Figura 91 – Desenho técnico do Compartimento Inferior do Contêiner (5.1) . . .	183
Figura 92 – Desenho técnico do cilindro do contêiner (5.1)	184
Figura 93 – Desenho técnico da arruela do contêiner (5.1)	184
Figura 94 – Desenho técnico das rampa seletora do contêiner (5.1)	185
Figura 95 – Desenho técnico da engrenagem do contêiner (5.1)	185
Figura 96 – Desenho técnico do platô superior do contêiner (5.1)	186
Figura 97 – Desenho técnico do rolamento da engrenagem (5.1)	186
Figura 98 – Desenho técnico do suporte da engrenagem no contêiner (5.1) . . .	187
Figura 99 – Desenho técnico da tampa do contêiner (5.1)	187

Figura 100 – Desenho técnico da comporta do contêiner (5.1)	188
Figura 101 – Desenho técnico do conector do contêiner à base (5.1)	188
Figura 102 – Desenho técnico da base dos contêineres (5.1)	189
Figura 103 – Desenho técnico do Canal de Guia (5.1)	189
Figura 104 – Desenho técnico do suporte dos canais de guia (5.1)	190
Figura 105 – Desenho técnico do fuso de atuação nas engrenagens (5.1)	190
Figura 106 – Desenho técnico do suporte dos motores de passo (5.1)	191
Figura 107 – Desenho técnico do mancal e rolamento do fuso (5.1)	191
Figura 108 – Desenho técnico da Canaleta do Subgrupo 1 (5.1)	192
Figura 109 – Desenho técnico da Canaleta do Subgrupo 2 (5.1)	192
Figura 110 – Desenho técnico da Canaleta do Subgrupo 3 (5.1)	193
Figura 111 – Desenho técnico da Canaleta do Subgrupo 4 (5.1)	193
Figura 112 – Desenho técnico da Canaleta do Subgrupo 5 (5.1)	194
Figura 113 – Desenho técnico da mangueira do subgrupo 1 (5.1)	194
Figura 114 – Desenho técnico da mangueira do subgrupo 2 (5.1)	195
Figura 115 – Desenho técnico da mangueira do subgrupo 3 (5.1)	195
Figura 116 – Desenho técnico da mangueira do subgrupo 4 (5.1)	196
Figura 117 – Desenho técnico da mangueira do subgrupo 5 (5.1)	196
Figura 118 – Desenho técnico do funil de saída das mangueiras (5.1)	197
Figura 119 – Desenho técnico da esteira dos copos (5.1)	197
Figura 120 – Desenho técnico da engrenagem da esteira (5.1)	198
Figura 121 – Desenho técnico do suporte do motor DC da esteira (5.1)	198
Figura 122 – Desenho técnico do repositório de copos (5.1)	199
Figura 123 – Desenho técnico do copo de medicamentos (5.1)	199
Figura 124 – Desenho técnico da porta de saída, que se apresenta tanto na saída verdadeira quanto na saída de retorno (5.1)	200
Figura 125 – Estrutural Global em formato CAD	201
Figura 126 – Carcaça da estrutura formato CAD	201
Figura 127 – Porta de saída	202
Figura 128 – Ilustração do Copo	202
Figura 129 – Motor DC na esteira	203
Figura 130 – Motor de passo com fuso	203
Figura 131 – Reservatório de copos com esteira	204
Figura 132 – Detalhes do fuso com engrenagens	204
Figura 133 – Contêiner dos medicamentos	205
Figura 134 – Descrição detalhada do contêiner	206

Figura 135 – Telas de Iniciação	207
Figura 136 – Tela Inicial e Tela da Agenda	208
Figura 137 – Telas de Configuração - Parte 1	208
Figura 138 – Telas de Configuração - Parte 2	208
Figura 139 – Telas de Dispensação do Medicamento	209
Figura 140 – Telas de Aviso - Parte 1	209
Figura 141 – Telas de Aviso - Parte 2	210
Figura 142 – Telas de Aviso - Parte 3	210
Figura 143 – Telas de Biometria	211
Figura 144 – Telas de Reabastecimento e desligamento	211
Figura 145 – Diagrama esquemático da conexão das Raspberry Pi 4 com sensores e microcontroladores	213
Figura 146 – Diagrama esquemático da conexão do microcontrolador 1 com os sensores de barreira	215
Figura 147 – Diagrama esquemático da conexão do microcontrolador 2 com os interruptores e teclado	216
Figura 148 – Diagrama esquemático da conexão do microcontrolador 3 com os drivers das solenoides e atuador linear	218
Figura 149 – Diagrama esquemático da conexão do microcontrolador 4 com os drivers dos motores de passo	219
Figura 150 – PCI do sensor fotoelétrico de barreira	220
Figura 151 – PCI do sistema central	220
Figura 152 – PCI microcontrolador modelo 1	221
Figura 153 – PCI microcontrolador modelo 2	221
Figura 154 – PCI microcontrolador modelo 3	222
Figura 155 – PCI microcontrolador modelo 4	222
Figura 156 – Diagrama esquemático da fonte chaveada do tipo <i>Forward</i>	229
Figura 157 – Diagrama unifilar do circuito do <i>Pill Watcher</i>	230
Figura 158 – Login - Link para o código: Código	233
Figura 159 – Recuperar Senha - Link para o código: Código	234
Figura 160 – Email enviado - Link para o código: Código	234
Figura 161 – Menu de administrador - Link para o código: Código	235
Figura 162 – Gerenciamento de enfermeiros - Link para o código: Código	235
Figura 163 – Alterar dados de um(a) enfermeiro(a) - Link para o código: Código	236
Figura 164 – Deletar um(a) enfermeiro(a) do sistema - Link para o código: Código	236

Figura 165 – Confirmação de retirada do(a) enfermeiro(a) do sistema - Link para o código: Código 237

Lista de tabelas

Tabela 1 – Requisitos Gerais	21
Tabela 2 – Requisitos Estruturais	22
Tabela 3 – Requisitos Eletrônicos	23
Tabela 4 – Requisitos Energéticos	24
Tabela 5 – Requisitos de Software	25
Tabela 6 – Propriedades do Aço Inox 304.	44
Tabela 7 – Propriedades do Aço 1020.	44
Tabela 8 – Propriedades do Polipropileno (PP). (SWALLOWE, 1999).	45
Tabela 9 – Propriedades do Nylon 6.6 (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)	52
Tabela 11 – Número de nós e elementos de malha por simulação	56
Tabela 12 – Propriedades Térmicas dos materiais utilização na simulação. Adaptado de: (SHAPIRO, 2005)	63
Tabela 13 – Comportamento temporal das potências do Sistema (W)	65
Tabela 14 – Resultado para tensão V_{out}	86
Tabela 15 – Levantamento da quantidade de pinos	88
Tabela 16 – Levantamento da carga do projeto.	108
Tabela 17 – Cenários considerados para o dimensionamento dos sistemas de alimentação.	109
Tabela 18 – Parâmetros de projeto do retificador monofásico com ponte de onda completa.	112
Tabela 19 – Componentes selecionados.	112
Tabela 20 – Parâmetros de projeto do conversor <i>Forward</i>	115
Tabela 21 – Componentes selecionados para o conversor <i>Forward</i>	116
Tabela 22 – Determinação da seção dos condutores.	119
Tabela 23 – Custos Preliminares	150
Tabela 24 – Probabilidade do Risco	153
Tabela 25 – Impacto do Risco	153
Tabela 26 – Prioridade do Risco	153
Tabela 27 – Risco de Projeto	154

Tabela 28 – Riscos Externos	154
Tabela 29 – Riscos de Produto	154
Tabela 30 – Riscos e Ações	155
Tabela 31 – Riscos Técnicos Estruturais	156
Tabela 32 – Análise dos Riscos e Ações Estruturais	157
Tabela 33 – Riscos Técnicos Eletrônicos	158
Tabela 34 – Análise dos Riscos e Ações Eletrônicos	158
Tabela 35 – Riscos Técnicos Energéticos	159
Tabela 36 – Riscos e Ações Energéticos	159
Tabela 37 – Riscos Técnicos de Software	160
Tabela 38 – Análise dos Riscos e Ações de Software	161
Tabela 39 – Riscos e Restrições Organizacionais	170
Tabela 40 – Marcos do Projeto	171
Tabela 42 – Lista É/Não é	177
Tabela 44 – Resultados para o projeto do retificador com ponte de onda completa.	225
Tabela 45 – Características dos enrolamentos do transformador e do enrolamento de desmagnetização.	227
Tabela 46 – Principais decisões de Software	231

Sumário

1	INTRODUÇÃO	16
2	PROBLEMÁTICA	18
2.1	Justificativa	19
2.2	Objetivos	19
2.2.1	Objetivos Gerais	19
2.2.2	Objetivos Específicos	19
3	REQUISITOS	21
3.1	Requisitos Gerais do Sistema	21
3.2	Requisitos dos Subsistemas	22
3.2.1	Requisitos Estruturais	22
3.2.2	Requisitos Eletrônicos	23
3.2.3	Requisitos Energéticos	24
3.2.4	Requisitos de Software	25
4	SOLUÇÃO GERAL	26
4.1	Escopo	26
4.2	Lista É/ Não É	26
4.3	Rich Picture	27
4.3.1	Comunicação Entre Componentes	27
4.3.2	Comunicação Entre Entidades e Solução de Software	28
5	SOLUÇÃO ESTRUTURAL	29
5.1	Descrição dos componentes da Estrutura	29
5.2	Posicionamento dos componentes dos Sistemas Elétricos e Eletrônicos	36
5.3	Formato da estrutura e CAD Preliminar	40
5.4	Dinâmica de operação	40
5.5	Escolha de Materiais	43
5.6	Processos de fabricação	46
5.7	Dimensionamento de fuso e engrenagem dos contêineres	49
5.8	Análises Numéricas	54

5.8.1	Elementos da malha	54
5.8.2	Interação Engrenagem com o fuso	56
5.8.3	Análise Estrutural	58
5.8.4	Análise Térmica	62
6	SOLUÇÃO ELETRÔNICA	69
6.1	Módulo de Medição	69
6.2	Sistema de Açãoamento de Atuadores	80
6.3	Central de Controle	83
6.4	Protocolos de comunicação	89
6.4.1	Protocolos internos	89
6.4.2	Protocolos externos	91
6.5	Diagramas Esquemáticos da Conexão dos Sistemas	91
6.6	Arquitetura de Eletrônica	91
6.7	Rede de Petri	92
6.8	Processamento de Imagens	96
6.8.1	Separação dos comprimidos	96
6.8.2	Extração de características	97
6.8.3	Máquina de Vetores de Suporte (SVM)	99
6.9	Plano de Construção	100
6.9.1	Central de Controle	100
6.9.2	Módulo de Medição	101
6.9.3	Módulo de Açãoamento dos Atuadores	101
7	SOLUÇÃO DE ENERGIA	103
7.1	Sistema eletromecânico	104
7.1.1	Motor de passo	104
7.1.2	Motor DC	105
7.1.3	Mini Atuador elétrico linear	106
7.1.4	Solenóide	106
7.2	Fonte de Alimentação Principal	107
7.2.1	Retificador CA/CC	110
7.2.2	Conversor CC/CC	112
7.2.3	Sistema Autônomo de Emergência	117
7.3	Dimensionamento dos Condutores	118
7.4	Sistema de proteção	120

7.5	Barramentos CC	120
8	SOLUÇÃO DE SOFTWARE	121
8.1	Arquitetura da Solução	121
8.1.1	Visão geral	121
8.1.2	Banco de Dados	122
8.1.3	Back-end	122
8.1.4	Front-end	123
8.1.5	Construção e Entrega de Software	123
8.2	Arquitetura da Informação	124
8.2.1	Modelo Entidade Relacionamento - MER	124
8.3	Diagramas UML	126
8.4	Diagramas de Caso de Uso	126
8.5	Diagrama de Pacotes	128
8.6	Nonfunctional Requirements (NFRs)	129
8.7	Inovação no Software	132
8.7.1	IoT - Internet of Things	132
8.7.2	Arquitetura de Microsserviços	133
8.7.3	Reactive Programming	133
8.8	Protótipo de Alta Fidelidade	133
8.8.1	Login	133
8.8.2	Administrador(a)	135
8.8.3	Enfermeiro(a)	137
8.8.4	Paciente	146
9	ARQUITETURA DE INTEGRAÇÃO	148
10	CUSTOS	150
11	RISCOS	152
11.1	Análise Quantitativa de Riscos	152
11.2	Descrição dos Riscos	154
11.2.1	Riscos do Projeto, Externos e do Produto	154
11.2.2	Riscos Técnicos	156
11.2.2.1	Riscos Estruturais	156
11.2.2.2	Riscos Eletrônicos	158
11.2.2.3	Riscos Energéticos	159

11.2.2.4	Riscos Software	160
12	CONSIDERAÇÕES FINAIS	162
	REFERÊNCIAS	163
	APÊNDICES	167
	APÊNDICE A – TERMO DE ABERTURA DO PROJETO (TAP)	168
A.1	Descrição do Projeto	168
A.2	Propósito e Justificativa	169
A.3	Objetivos	169
A.4	Requisitos	169
A.5	Riscos do Projeto	170
A.6	Marcos do Projeto	171
A.7	Premissas e Restrições	171
A.8	Stakeholders	172
	APÊNDICE B – ESTRUTURA ANALÍTICA DO PROJETO (EAP)	173
B.1	Estrutura Analítica por Ponto de Controle	173
B.2	Estrutura Analítica Geral	176
	APÊNDICE C – LISTA É/ NÃO É	177
	APÊNDICE D – CRONOGRAMA	178
	APÊNDICE E – DESENHOS TÉCNICOS PRELIMINARES	182
	APÊNDICE F – MOCKUP DAS TELAS DO DISPLAY	207
	APÊNDICE G – ESQUEMÁTICOS ELETRÔNICOS	212
	APÊNDICE H – PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO (PCI)	220
	APÊNDICE I – MEMORIAL DE CÁLCULOS DA SOLUÇÃO ENERGÉTICA	223
I.1	Dimensionamento do retificador com ponte de onda completa	223
I.2	Dimensionamento do conversor do tipo <i>Forward</i>	226

I.3	Diagramas Unifilares	229
APÊNDICE J – PRINCIPAIS DECISÕES DE SOFTWARE		231
APÊNDICE K – PRINCIPAIS FUNCIONALIDADES DO SOFTWARE		233
K.1	<i>Front-end</i>	233
K.2	<i>Back-end</i>	237
APÊNDICE L – AUTOAVALIAÇÃO		239

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 o 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 Pill Watcher, 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 de alguns fatores intrínsecos, que estão relacionados aos processos produtivos e características específicas do produto, enquanto que os fatores extrínsecos, estão 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, tem-se as 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 ingerir os em diferentes horários do dia, situação essa bastante comum à boa parte da população idosa, o que consequentemente propicia o aumento de erros.

Assim, a partir da análise dos erros, ocorridos nos Estados Unidos pela FDA (MedWatch Program) e USP-ISMP (Medication Errors Reporting Errors), mostra que as causas dos erros são multifatoriais. Os erros mais frequentes estão relacionados à dose, hora e frequência erradas, 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 evitando 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 devam ser 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 sênior 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 e uma entrevista com um farmacêutico. Sendo assim, os questionários foram encaminhados via Internet com o objetivo de selecionar as necessidades do cliente.

3.1 Requisitos Gerais do Sistema

Tabela 1 – Requisitos Gerais

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

3.2 Requisitos dos Subsistemas

3.2.1 Requisitos Estruturais

Os requisitos referentes a parte estrutural e de transporte do projeto são deliberados como sendo:

Tabela 2 – Requisitos Estruturais

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

3.2.2 Requisitos Eletrônicos

Os requisitos referentes a parte eletrônica do projeto são deliberados como sendo:

Tabela 3 – Requisitos Eletrônicos

ID	Requisitos	Prioridade	Ambiente
RC001	Avisar do trancamento da porta com acesso ao estoque	Must have	Sensoriamento
RC002	Avisar a acoplagem dos compartimentos de medicamentos	Must have	Sensoriamento
RC003	Detectar temperaturas fora da faixa de conservação	Must have	Sensoriamento
RC004	Detectar umidade relativa do ar fora da faixa de conservação	Must have	Sensoriamento
RC005	Detectar a passagem de medicamento após sair do contêiner individual	Must have	Sensoriamento
RC006	Assegurar a presença do copo no local de despejo do medicamento	Must have	Sensoriamento
RC007	Detectar a passagem de medicamento no local de despejo do medicamento	Must have	Sensoriamento
RC008	Assegurar quantidade de comprimidos no copo	Should have	Sensoriamento
RC009	Assegurar o transporte do recipiente para porta de saída do dispensador	Must have	Sensoriamento
RC010	Assegurar que o copo não aprovado irá para o módulo de reaproveitamento de medicamentos	Should have	Sensoriamento
RC011	Assegurar a retirada do recipiente por funcionário autorizado	Should have	Sensoriamento
RC012	Detectar a saída do copo do dispensador	Must have	Sensoriamento
RC013	Detectar falhas de sensores no módulo de medição	Should have	Sensoriamento
RC014	Assegurar o abastecimento dos estoques por funcionário autorizado	Must have	Sensoriamento
RC015	Detecção de funcionário autorizado por autenticação física	Must have	Sensoriamento
RC016	Armazenar dados locais na central de dados	Must have	Comunicação
RC017	Haver um sistema embarcado na central de controle	Must have	Comunicação
RC018	Processar dados dos módulos de medição pela central	Must have	Comunicação
RC019	A central de controle deve funcionar de forma desconectada da internet	Must have	Comunicação
RC020	Comunicar a central de controle com o módulo de visualização	Must have	Comunicação
RC021	Comunicar a central de controle com os módulos de medição	Must have	Comunicação
RC022	Comunicar a central de controle com os atuadores	Must have	Comunicação

ID	Requisitos	Prioridade	Ambiente
RC023	Comunicar a central de controle com a central de dados (backend)	Must have	Comunicação
RC024	Assegurar a seleção correta do medicamento no estoque a partir dos dados cadastrados no backend	Must have	Comunicação
RC025	Detectar falhas de comunicação no módulo de medição	Should have	Comunicação
RC026	Controlar o transporte do recipiente	Must have	Controle
RC027	Controlar os atuadores	Must have	Controle
RE RC028	Controlar o trancamento da porta com acesso ao estoque	Must have	Controle
RC029	Controlar o trancamento da porta de saída do copo no dispensador	Must have	Controle
RC030	Controlar a temperatura interna	Should have	Controle

3.2.3 Requisitos Energéticos

Os requisitos referentes a parte energética do projeto são deliberados como sendo:

Tabela 4 – Requisitos Energéticos

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

3.2.4 Requisitos de Software

Os requisitos referentes à solução em software são deliberados como sendo:

Tabela 5 – Requisitos de Software

ID	Requisito	Prioridade	Ambiente
RS001	Cadastrar o administrador do sistema	Must have	Front End/Spring
RS002	Cadastrar um enfermeiro e suas respectivas informações nome completo, sexo, idade, etc.	Must have	Front End/Spring
RS003	Cadastrar um paciente e suas respectivas informações nome completo, sexo, idade, etc.	Must have	Front End/Spring
RS004	Cadastrar receita médica e suas respectivas informações completar futuramente	Must have	Front End/Spring
RS005	Cadastrar medicamento e suas respectivas informações nome, tag, lote, validade, etc.	Must have	Front End/Spring
RS006	Capturar informações do banco de dados para criação do histórico de medicação do paciente	Must have	Spring
RS007	Exibir histórico de medicação do paciente	Must have	Front End/Spring
RS008	Alertar o enfermeiro em relação a medicação de um paciente	Must have	Front End/Back End
RS009	Alertar o enfermeiro quando a medicação de algum dos pacientes assistidos por ele estiver próxima de esgotar	Must have	Front End/Spring
RS010	Comunicar com o dispensador com protocolos MQTT e/ou HTTP	Must have	Spring
RS011	Autenticar login entre perfis separados (administrador, enfermeiro(a))	Should have	Front End/Back End
RS012	Exibir tela para que o enfermeiro confirme se o paciente recebeu a medicação ou não	Must have	Front End/Back End
RS013	Exibir dados cadastrais dos perfis existentes	Must have	Front End/Back End
RS014	Atualizar dados cadastrais do perfis existentes	Must have	Front End/Back End
RS015	Remover logicamente usuários existentes quando for necessário	Must have	Front End/Back End

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.

O compartimento superior do dispositivo contará com uma entrada 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 afim 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.

Na Figura 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.

4.3.1 Comunicação Entre Componentes

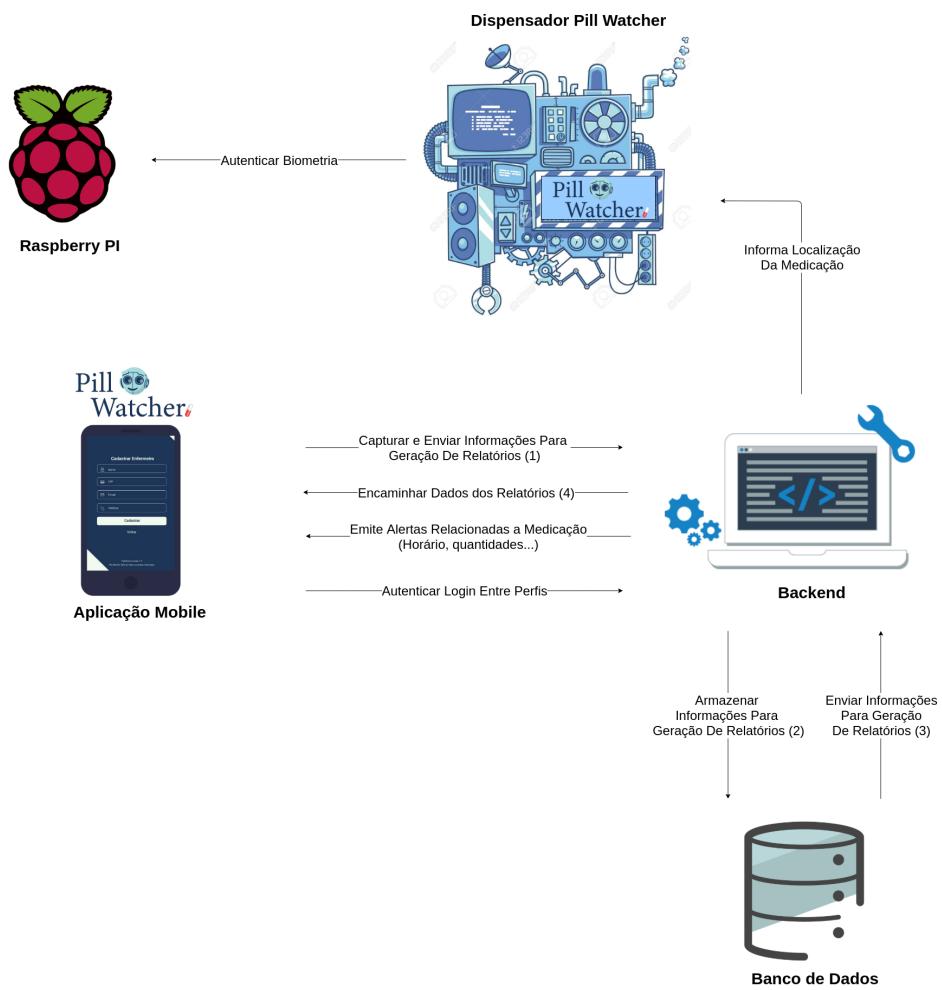


Figura 1 – Comunicação entre componentes de software e eletrônicos

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

4.3.2 Comunicação Entre Entidades e Solução de Software

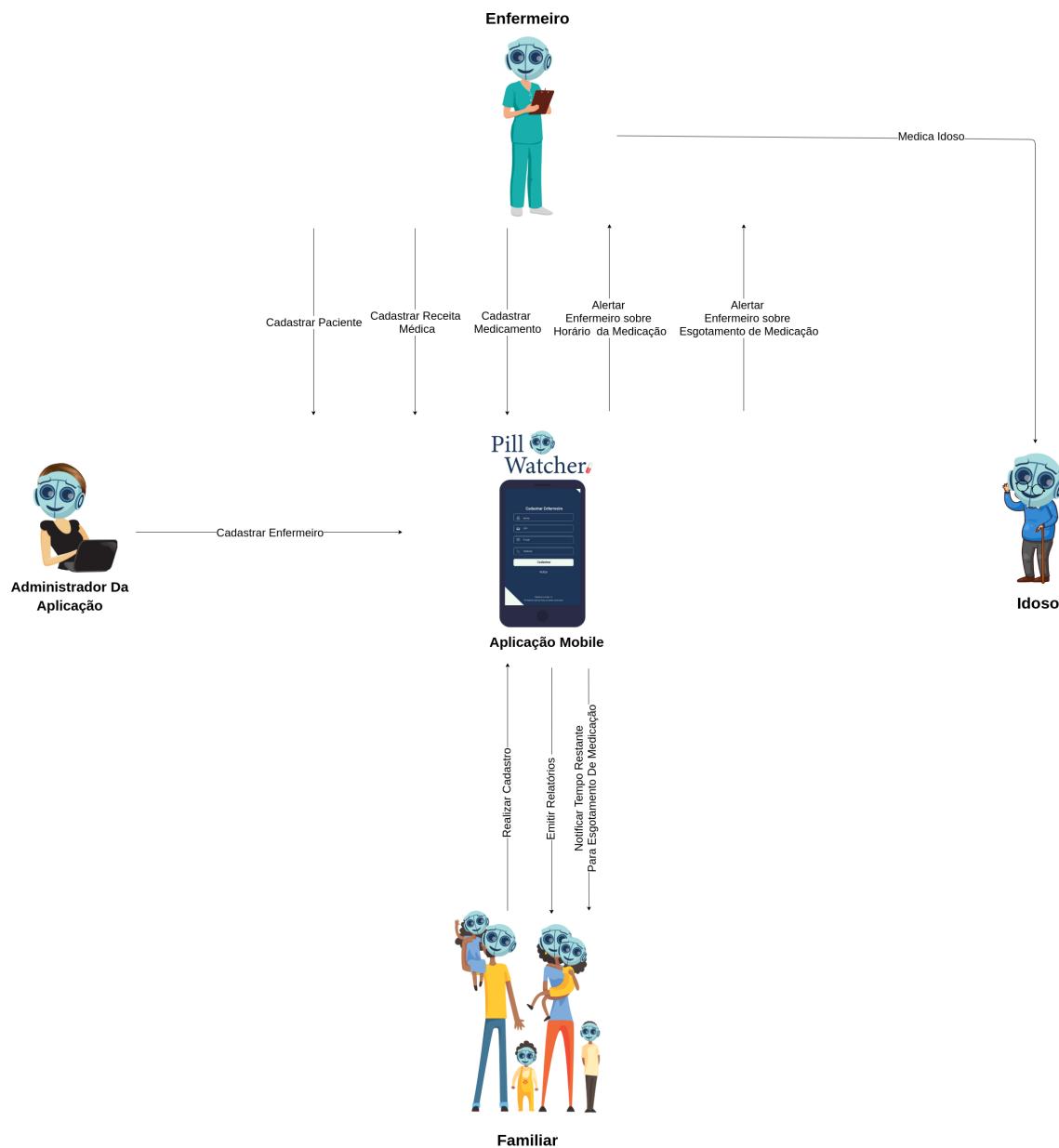


Figura 2 – Comunicação Entre Entidades e Solução de Software

5 Solução Estrutural

A proposta de solução estrutural compreende uma estrutura inicial 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, acoplamento de subsistemas de motorização, evidenciando 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.

5.1 Descrição dos componentes da Estrutura

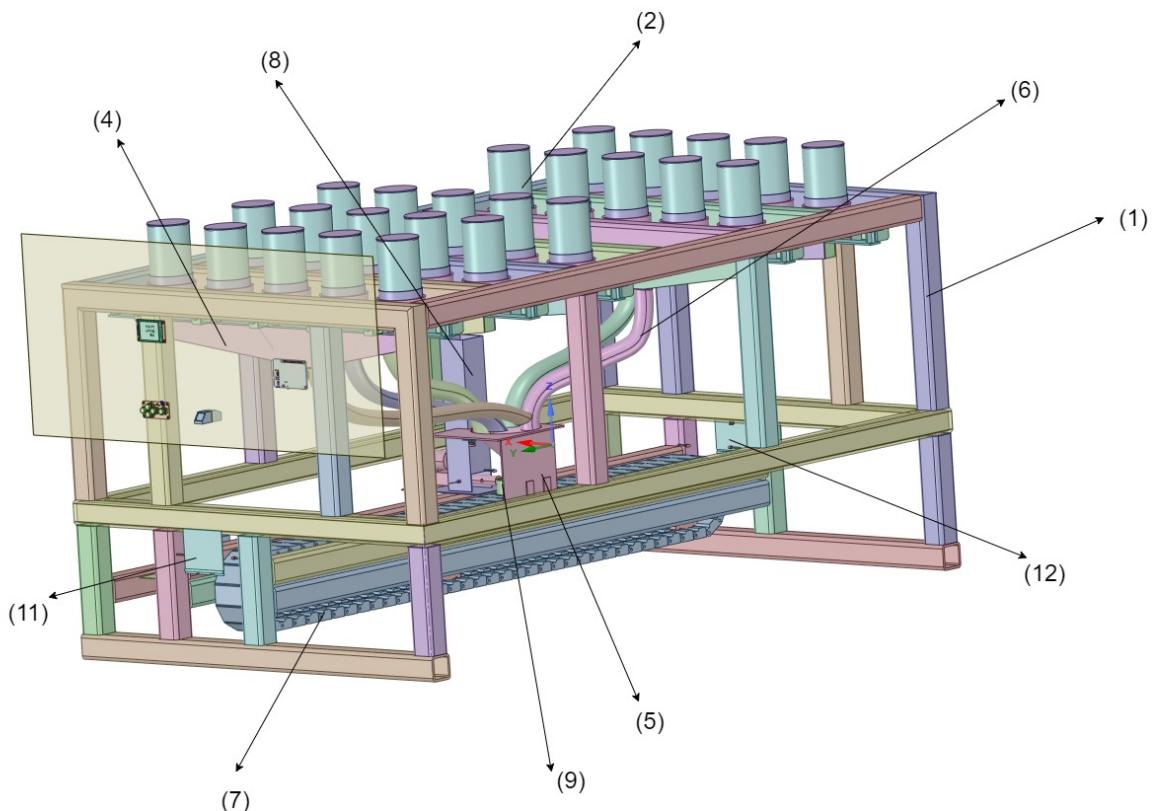


Figura 3 – Descrição dos componentes da estrutura global

1. Estrutura principal: responsável pela proteção dos demais subsistemas de 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 carcaça será constituída de:

a. Tubos de perfil quadrado: Conjunto de tubos perfil quadrado, em formato de gaiola estrutural, a qual proporciona resistência estática e sustentação global das estruturas e de seus sistemas, assim como pontos de ancoragem e referência no projeto. Todos os comprimentos, localização e dimensão do perfil utilizado são apresentadas em seu desenho técnico na Fig. 89.

– 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. As dimensões dessa estrutura estão apresentadas em seu desenho técnico na Fig. 90.

– Material das Chapas: Alumínio.

c. Mancais de suporte dos fusos: Os mancais serão utilizados para ancorar os rolamentos dos fusos, produto que oferece suporte estrutural para os fusos e também conformidade com o movimento rotacional proposto pelos mesmos. Suas dimensões são apresentadas em seu desenho técnico na Fig. 107.

– Material: Aço carbono SAE 1020;
– Diâmetro interno do rolamento: 16mm;
– Tipo de rolamento: Rolos de agulha;

d. Estrutura para suporte do atuador linear do recipiente dos copos, composta de chapas de aço carbono SAE 1020, ancoradas na estrutura tubular para fomentar suporte. Suas dimensões estão explicitadas neste desenho técnico na Fig. 122.

– Material: Aço Carbono SAE 1020

e. Estrutura de suporte da esteira composto por engrenagens e eixos ancorados na estrutura tubular. As dimensões das engrenagens são comerciais pelo próprio fabricante da esteira, e as dimensões dos eixos de suporte são apresentados no desenho técnico na Fig. 120.

- Material: Plástico Polipropileno.
 - f. Estrutura de suporte para os motores de passo dos fusos, ancorada nas paredes laterais dos tubos superiores dos subgrupos, possui suas dimensões especificadas no desenho técnico na Fig. 106.
 - Material: Aço carbono SAE 1020;
 - g. Estrutura de suporte para o motor DC da esteira, ancorada na estrutura tubular. As dimensões desse suporte são apresentadas em seu desenho técnico na Fig. 121.
 - 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. 94.
 - Material: Polipropileno.
 - 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. Escolhido por sua montagem compacta e

considerando que este rolamento não servirá de apoio. Um exemplo de 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. 96.

– Material: Polipropileno.

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. 95.

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. 93 e o rolamento interno na Fig. 97.

- Módulo da Engrenagem: 2 mm.
- Número de dentes: 21.
- Ângulo de pressão: 20° .
- Diâmetro do furo da engrenagem: 10 mm.
- Diâmetro da seção circular do eixo: 20 mm.
- Comprimento da seção circular: 32 mm.
- Lado da extremidade hexagonal: 8,66 mm.
- Comprimento da extremidade hexagonal: 10 mm.
- 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. 91.

– Material: Polipropileno.

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. 98.

– Material: Polipropileno.

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 e da tampa superior são apresentadas no desenho técnico da Fig. 92.

– Material da parede cilíndrica: Aço inoxidável SAE 304.

– Material da tampa: Polipropileno.

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. 100.

– Material: Polipropileno.

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. 101.

- Material: Polipropileno.

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 da Fig. 99.

- Material: Polipropileno.

6. Mesa de apoio: Local responsável por estabelecer a sustentação do suporte e promover local de encaixe para os 25 contêineres. As dimensões dessa estrutura estão apresentadas em seu desenho técnico da Fig. 102.

- 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 - figura 108.
- Canaleta do subgrupo 2 - figura 109.
- Canaleta do subgrupo 3 - figura 110.
- Canaleta do subgrupo 4 - figura 111.
- Canaleta do subgrupo 5 - figura 112.
- Canal de guia - figura 103.
- Suporte do canal de guia - figura 104.
- Material dos componentes: Polipropileno.

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. 118.

- 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 - figura 113.
- Mangueira do Subgrupo 2 - figura 114.
- Mangueira do Subgrupo 3 - figura 115.
- Mangueira do Subgrupo 4 - figura 116.
- Mangueira do Subgrupo 5 - figura 117.
- Material das mangueiras: Silicone.

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

- Esteira de copos - figura 119.
- Engrenagem da esteira - figura 120.
- Material dos módulos da esteira: Acetal;
- Material dos pinos: Aço Inox AISI 304;
- Material das engrenagens de movimento: Acetal;
- Peso linear da plataforma com pinos: Aproximadamente 1kg/m.

11. Reservatório de copos: Local responsável por armazenar os recipientes dos medicamentos selecionados antes do uso. Essa estrutura está localizada em um plano adjacente a esteira, e há uma limitação por cantoneiras circulares, para que não haja movimento dos copos dentro da estrutura. As dimensões dessa estrutura são especificadas em seu desenho técnico na Fig. 122.

- 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 do Apêndice E na Fig. 123.

- Material: Polipropileno.

13. Fuso de acoplamento: Estrutura em formato de parafuso sem-fim com coincidência central no eixo dos motores de passo de cada subgrupo, e fixado por meio de um rolamento dentro de um mancal de suporte, oposto ao motor de passo. As dimensões do fuso são especificadas no desenho técnico da Fig. 105.

- Material: Nylon 6.6.

14. Compartimento traseiro: Área onde será efetuada a retirada dos recipientes com medicação extra (com falhas) pelo usuário. As dimensões desse compartimento são apresentadas em seu desenho técnico na Fig. 124.

Material: Aço carbono SAE 1020;

15. Compartimento frontal: Área onde será efetuada a retirada dos recipientes com medicação correta pelo usuário. As dimensões desse compartimento são iguais ao do compartimento anterior.

5.2 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. O maior ponto de decisão foi a facilidade de adaptação do usuário com o dispositivo.

- **Disposição do Sistema de Alimentação e Equipamentos Eletrônicos**

O posicionamento dos componentes do sistema de alimentação se deu pela facilidade de visualização do usuário, limites físicos associados a cabos e espaçamento disponível na estrutura.

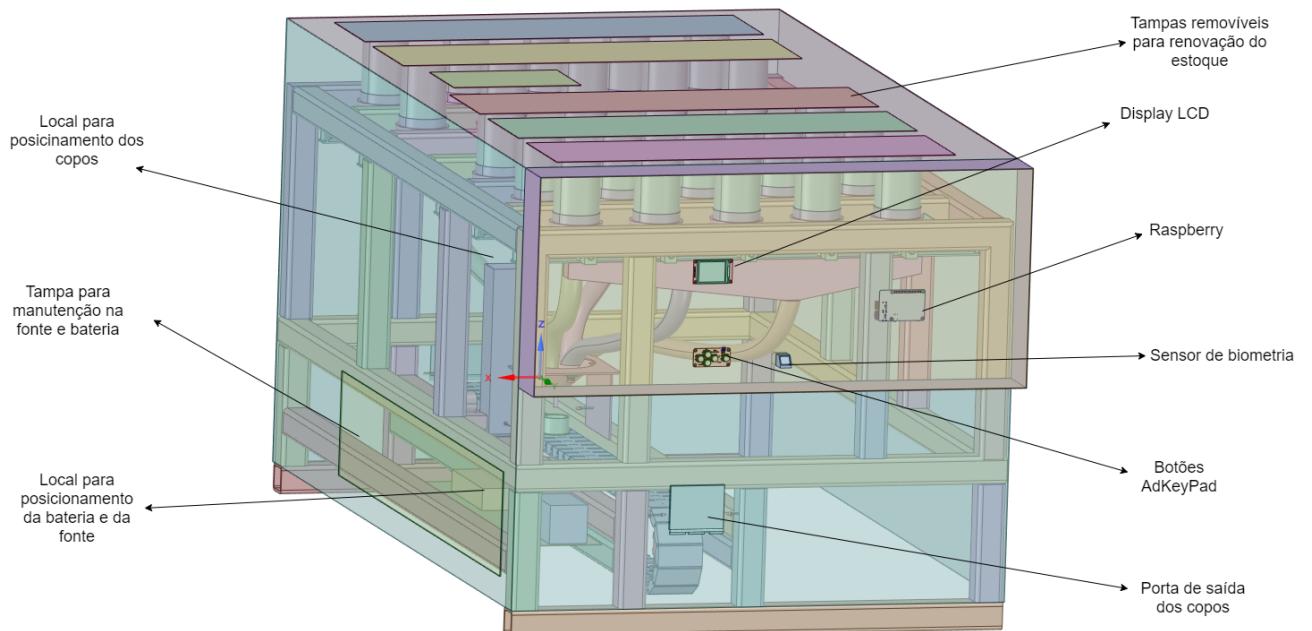


Figura 4 – Posicionamento dos componentes Elétricos e Eletrônicos

A disposição preliminar dos componentes é ilustrada na Fig. 4, com as referências da porta de saída dos copos, e as tampas removíveis. Podemos destacar a presença do tela no painel frontal da máquina, um pouco acima da porta de saída dos copos, o sensor de biometria localizado logo ao lado do display. Na parte interna do painel, temos a *Raspberry* posicionada próxima ao tela por facilidade posterior de instalação dos cabos entre a tela e a central de controle. Ao lado esquerdo do painel frontal, temos o local indicado para o posicionamento da bateria e fonte do sistema, sendo de fácil manutenção pela presença do componente removível posicionado logo à frente do atuador linear. Vale ressaltar como ultima observação que será adaptado uma entrada na lateral indicada na figura para posicionamento dos copos.

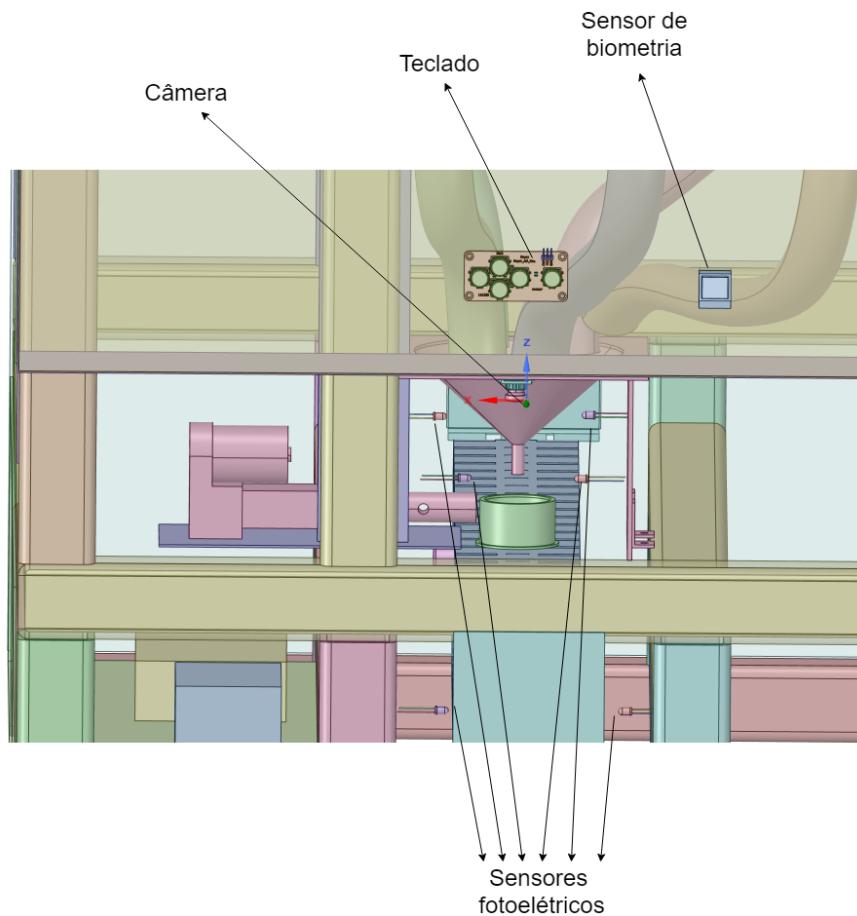


Figura 5 – Posicionamento dos sensores fotoelétricos, biométrico, câmera e teclado.

A disposição dos sensores fotoelétricos, biométrico, Câmera e Teclado estão explicitados na Fig. 5, que proporciona a visualização da estrutura a partir da porta de saída dos copos dos comprimidos.

O posicionamento do Teclado e do Sensor de Biometria se encontram coincidentes com a chapa protuberante na mesma sessão da superfície da porta de saída, enquanto a Câmera está posicionada na chapa de sustentação do funil de saída, orientada a medir a quantidade de comprimidos que se apresenta no copo, próximo a posição inicial de despejo.

Os sensores fotoelétricos possuem posicionamento peculiares, sendo que cada canal de guia em cada contêiner possui 2 sensores fotoelétricos em sua estrutura, para verificação da passagem dos comprimidos. Outro posicionamento deles são nas duas portas de saída, tanto a verdadeira quanto a de retorno, para verificação da retirada do copo pelo enfermeiro. Os outros 2 sensores fotoelétricos estão posicionados na altura da

saída do funil, para verificação da queda dos comprimidos no copo.

- **Disposição do Sistema Eletromecânico**

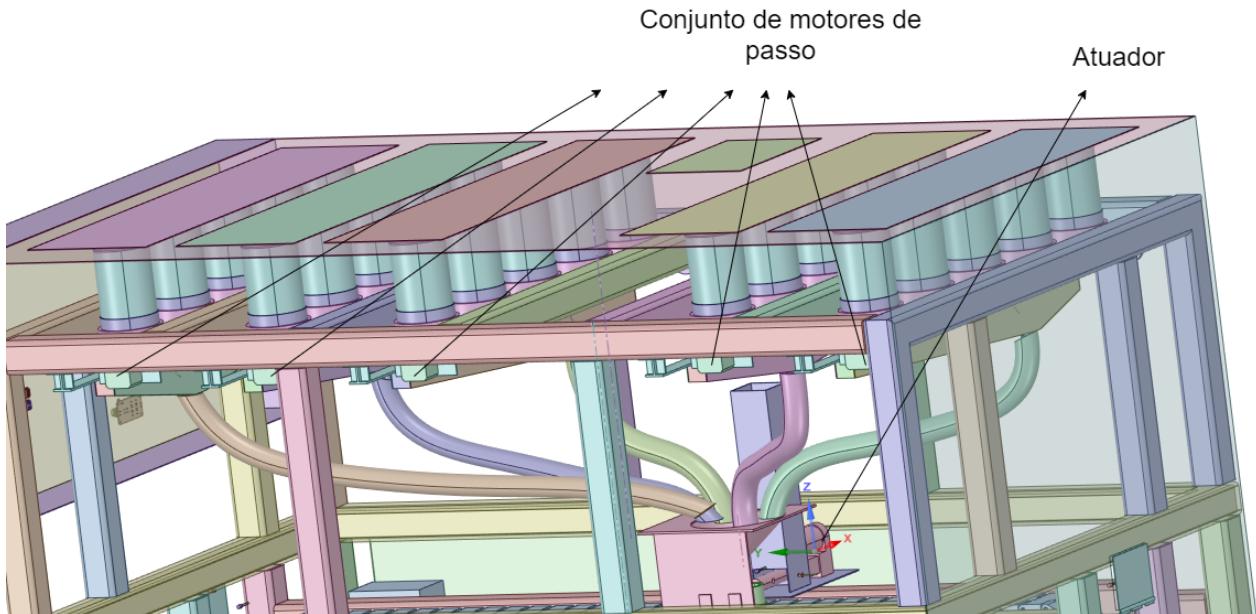


Figura 6 – Posicionamento dos motores de passo e o atuador linear.

Na Fig. 6, pode-se verificar o posicionamento dos motores de passo e do atuador linear no CAD global da estrutura. O posicionamento dos 5 motores de passo se dá de forma que o eixo do motor coincida com o fuso, na altura determinada pelos cálculos de acoplamento conforme a seção 5.7, enquanto sua fixação anterior se dá no posicionamento explicitado no suporte da Fig. 106. Já o atuador linear está posicionado sobre a chapa que sustenta o repositório de copos como a Fig. 122, com o eixo do atuador linear em coincidência com o furo vertical no repositório.

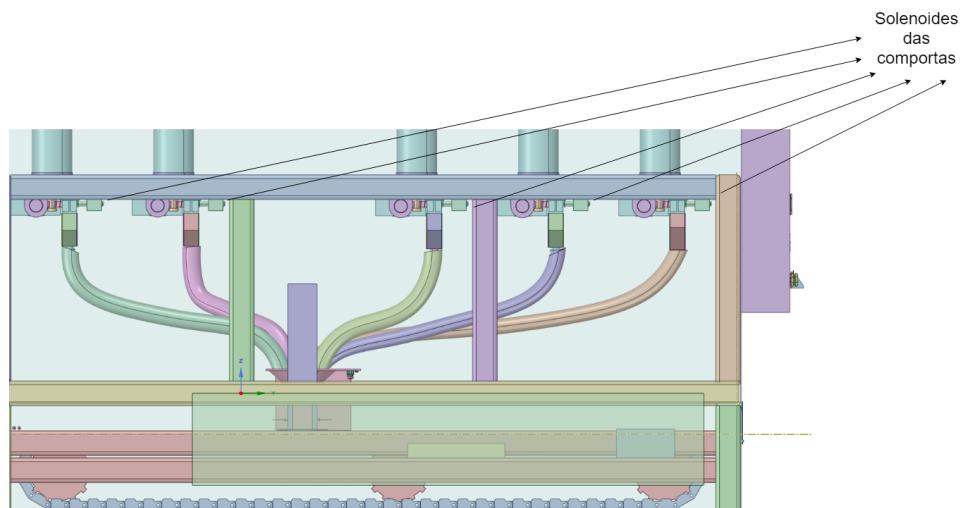


Figura 7 – Posicionamento dos solenoides na mesa de apoio

O posicionamento dos solenoides está explicitado na Fig. 7, 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 do contêiner.

5.3 Formato da estrutura e CAD Preliminar

Os desenhos estarão disponíveis no apêndice E.

5.4 Dinâmica de operação

Após identificados os componentes do sistema, temos a exemplificação de seu funcionamento, feita preliminarmente via o fluxograma da Fig. 8.

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.

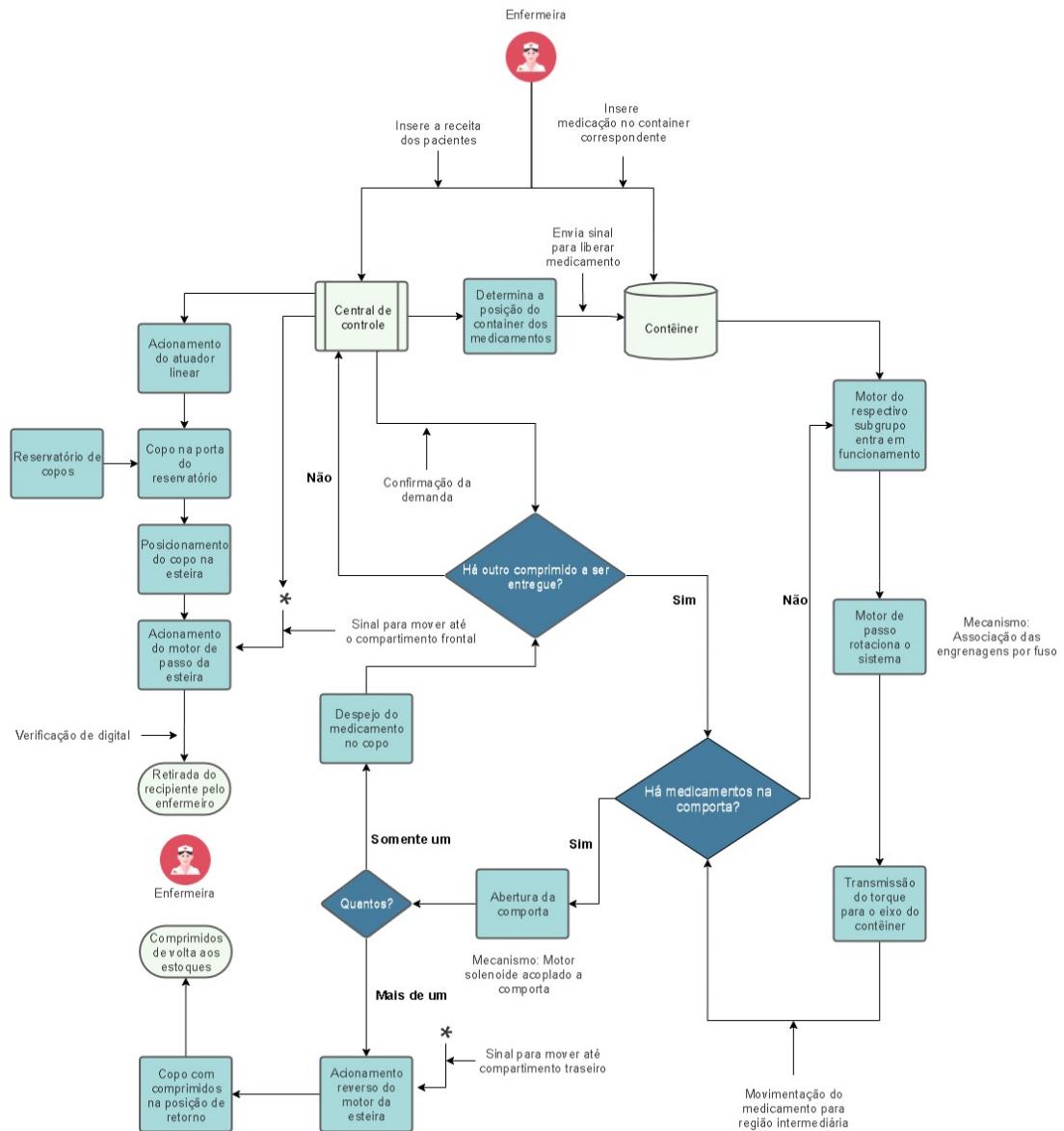


Figura 8 – Fluxograma de operação do Sistema Mecânico

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

4. Açãoamento do micro atuador linear por demanda da central de controle.
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).
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 região intermediária.
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.

5.5 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, dessa forma, a escolha se torna mais limitada 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.

Aço Inox	%C	%Cr	%Ni	Limite de Resistencia (MPa)	Limite de Escoamento (MPa)	Alongamento (%)
304	0,08	0,19	0,10	517	207	30

• 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.

Aço	%C	%Mn	Limite de Resistencia (MPa)	Limite de Escoamento (MPa)	Alongamento (%)
1020	0,18-0,23	0,30-0,60	450	330	36

• Polipropileno (PP)

O presente polímero termoplástico foi escolhido depois de se assumir requisitos essenciais para o sucesso do projeto e buscar o material que mais se adequasse a essas exigências. Segundo ([DILLON; RUBYSTEIN, 2005](#)), o polipropileno é muito utilizado

na indústria farmacêutica para frascos de prescrição, recipientes de medicamentos, tanto ovais como cilíndricos e quadrados, e também para fechamento de recipientes. A seguir são listados os fatores responsáveis pela escolha do polipropileno:

- Baixo custo.
- Reciclável.
- Comportamento mecânico.
- Comportamento plástico.
- Comportamento dúctil.
- Atoxidade
- Baixa absorção de umidade.
- Resistência química.
- Resinas com baixo potencial de contaminação

Tabela 8 – Propriedades do Polipropileno (PP). ([SWALLOWE, 1999](#)).

Polímero	Resistência a tração (MPa)	Alongamento (%)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Massa Específica (g/cm³)
Polipropileno (PP)	25-40	150-600	0,9-1,6	0,90

• Nylon 6.6 (Poliamida PA6,6)

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	Resistência a tração (MPa)	Alongamento (%)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Massa Específica (g/cm³)
Nylon 6.6	80-84	60-300	1,8-3,3	1,14

- **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 mais são próximas do Polipropileno e 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.

5.6 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.

Ainda por soldagem, seriam 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 na geometria apresentada com furações para a fixação do atuador.

- **Suporte da esteira**

Usinagem de um tarugo de aço 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 na estrutura principal.

- **Suporte do motor DC da esteira**

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

- **Componentes poliméricos do contêiner**

Os seguintes componentes seriam produzidos por impressão 3D com filamento de Polipropileno (PP) 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, já 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 pronta, recebe lixamento, fundo anti-corrosão e pintura.

- **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 secionada 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 5 canaletas apresentadas serão produzidas de polipropileno, e sua fabricação é feita a partir da utilização de placas de polipropileno, de espessura 1mm, cortadas nas medidas apresentadas no desenho técnico dessa estrutura(Fig. 108), 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 e furação para atingir a geometria especificada. Depois de pronto, recebe lixamento, fundo anti-corrosão e pintura.

- **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 soldadas na estrutura principal para receber os copos com medicamentos para descarte ou entrega.

5.7 Dimensionamento de fuso e engrenagem dos contêineres

O dimensionamento da engrenagem partiu, em um primeiro momento, dos requisitos dimensionais da estrutura do contêiner. O diâmetro externo da engrenagem (diâmetro primitivo + adendo) deveria ter uma distância suficiente para não atrapalhar

o funcionamento do mecanismo de liberação dos medicamentos. 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.

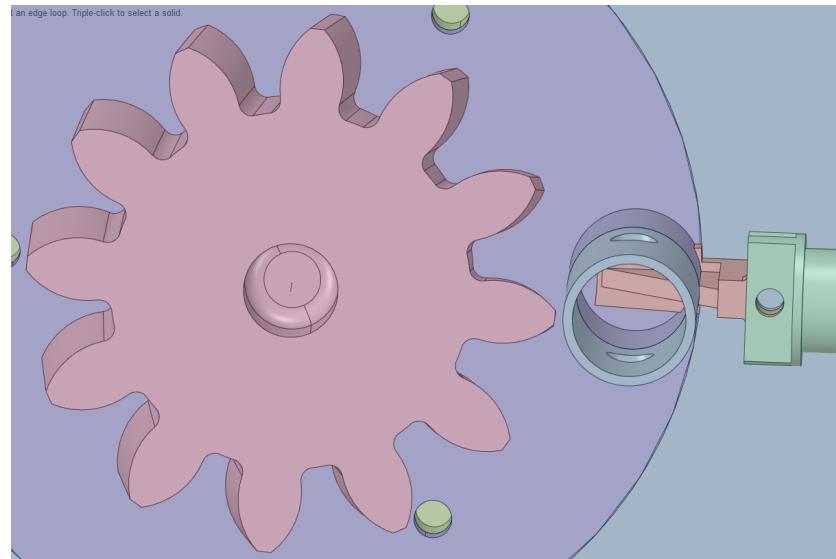


Figura 9 – Porção Inferior do contâiner com exemplo de engrenagem. Note a limitação do diâmetro externo máximo

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 mm. A escolha do ângulo de hélice foi baseada nos valores padrão utilizados na indústria, a escolha do ângulo de pressão, além de baseada 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 equações abaixo foram utilizadas para determinar os outros parâmetros necessários para a definição geométrica das engrenagens:

$$D_p = N_G \cdot M \quad (5.1)$$

$$D_e = D_p + 2M \quad (5.2)$$

$$p_t = \frac{D_p \cdot \pi}{N_G} \quad (5.3)$$

$$p_n = p_t \cdot \cos \psi \quad (5.4)$$

$$p_x = \frac{p_t}{\tan \psi} \quad (5.5)$$

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

$$P_t = \frac{N_G}{D_p} \quad (5.7)$$

$$P_n = \frac{P_t}{\cos \psi} \quad (5.8)$$

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, p_x é o passo axial e P_t e P_n são os passos diametral transversal e normal, respectivamente. ϕ_t é o ângulo de pressão transversal. (SHIGLEY; MISCHKE; BUDYNAS, 2005)

Os valores dimensionais encontrados para a engrenagem do contêiner foram:

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

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° . Seu diâmetro primitivo (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 5.9 onde C é a distância entre o eixo de rotação do sem-fim e da engrenagem.

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

Ou seja, o passo axial do sem-fim deve ser 5,998 mm ou ≈ 6 mm. E, para o diâmetro primitivo do sem-fim neste caso, tomaremos o valor de 19 mm.

$$L = p_x \cdot N_W \quad (5.10)$$

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

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.

- $L = 24$ 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.

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	$0,3683p_x$	$0,3683p_x$
15-30	20	$0,3683p_x$	$0,3683p_x$
30-35	25	$0,2865p_x$	$0,3314p_x$
35-40	25	$0,2546p_x$	$0,2947p_x$
40-45	30	$0,2228p_x$	$0,2578p_x$

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 à qual o par de engrenagens será submetido.

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 4,8 W, ou 0,00643 hp. 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 equação a seguir, onde as medidas são expressas em polegadas e n_W é a velocidade (rpm) do fuso:

$$V_W = \frac{\pi \cdot d_W \cdot n_W}{12} \quad (5.12)$$

Assim, a velocidade encontrada no círculo primitivo do fuso foi de 30,94 ft/min (0,157 m/s). Aplicando a equação de potência, onde H é a potência transmitida pelo fuso em hp:

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

Temos que a força no eixo “z” adotado anteriormente é de 6,858 lbf ou 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 entre um par sem-fim de poliamida (Nylon), submetido a este torque, de acordo com (STARZHINSKY, 2013), seria de $f = 0,12$. Pelas equações:

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

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

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

$$(5.17)$$

As componentes que atuam no contato entre a engrenagem e seu par sem-fim são, portanto:

- $W^z = 30,5 \text{ N}$
- $W^y = 23,8 \text{ N}$
- $W^x = 54,6 \text{ N}$

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. 14 e 15 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 0,157 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](#)).

5.8 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* com *DesignModeler* e *SpaceClaim*. As análises numéricas compreendem três vertentes, sendo a primeira a modelagem da interação fuso-engrenagem, a segunda sendo a simulação estática de um conjunto do subgrupo simplificado e da estrutura tubular de sustentação do sistema e a terceira sendo uma análise térmica do subgrupo estrutural.

5.8.1 Elementos da malha

O primeiro estudo realizado foi a análise dos elementos de malha, responsáveis pela transformação de um problema contínuo e descrito por equações diferenciais analíticas para geometrias simples, substituído por um conjunto de volumes finitos representados por nós e malhas numéricas.

No geral, 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 ([GONÇALVES., 2007](#)). Um elemento fundamental para a análise das malhas é a qualidade, onde quanto maior o refino mais preciso é o resultado aproximado pela malha e temos sua representação nas Fig. 10, 12 e 11.

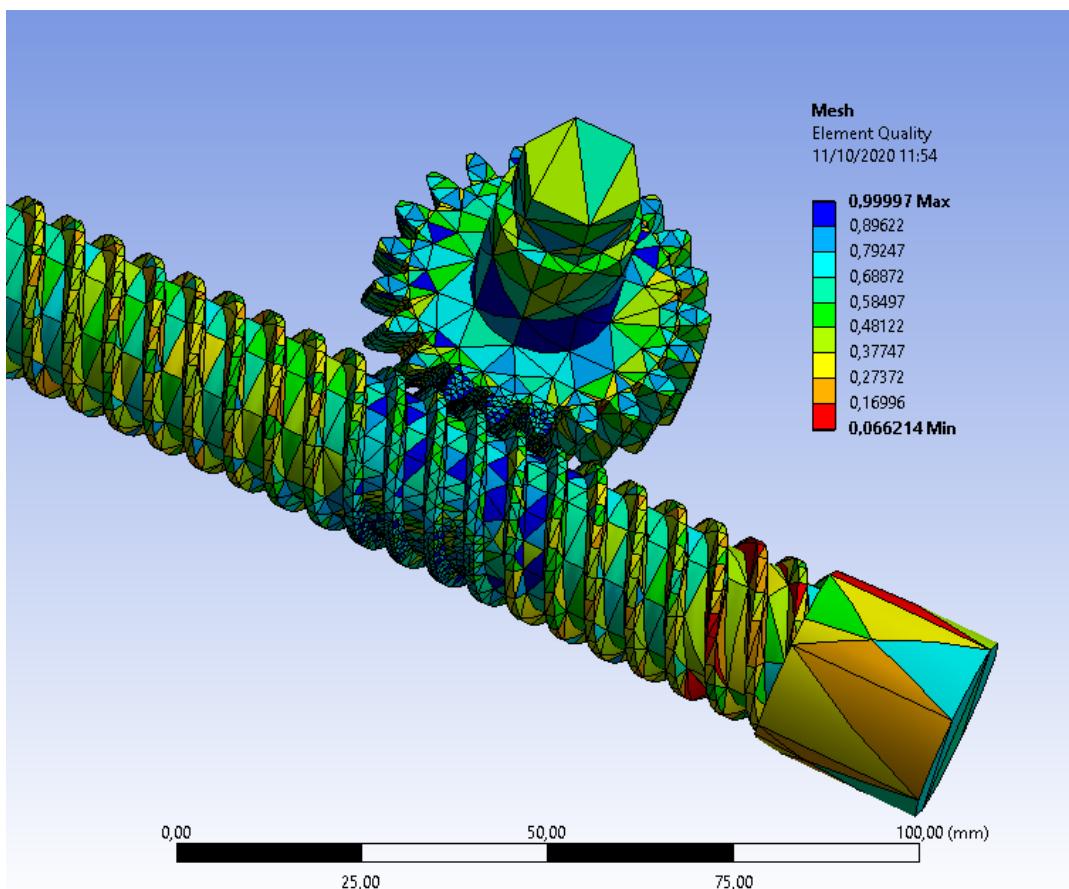


Figura 10 – Qualidade da Malha do fuso com engrenagem

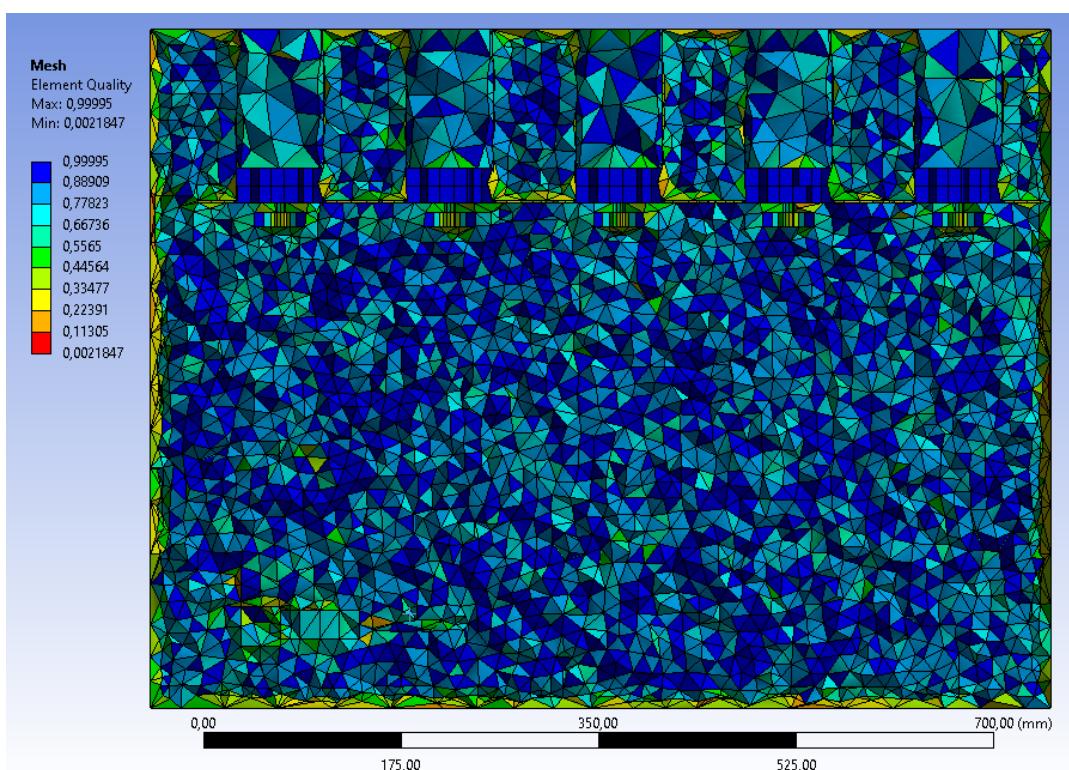


Figura 11 – Qualidade da Malha do volume de controle

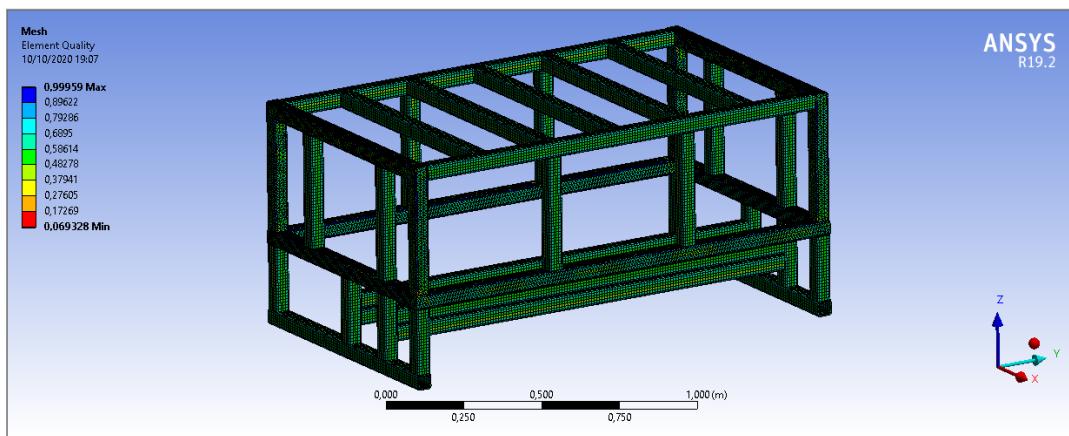


Figura 12 – Qualidade Malha da Estrutura tubular

Com relação a quantidade de nós e malhas para cada simulação, a Tab. 11 ilustra a quantidade de nós e elementos por simulação. Temos como conclusão 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 pelo software *ANSYS*.

Tabela 11 – Número de nós e elementos de malha por simulação

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

Com base nessa análise, é perceptível que a qualidade de elemento encontrada na estrutura tubular também satisfaz a análise estática 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 custar. Conforme já mencionado, para as regiões com contato de interesse, optou-se por uma densidade superior de nós, que é visivelmente clara na Fig. 10 e será discutida mais a fundo no estudo da interação do fuso com a engrenagem.

5.8.2 Interação Engrenagem com o fuso

A análise da interação da engrenagem com o fuso se faz complementar ao estudo do tópico 5.7, 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.

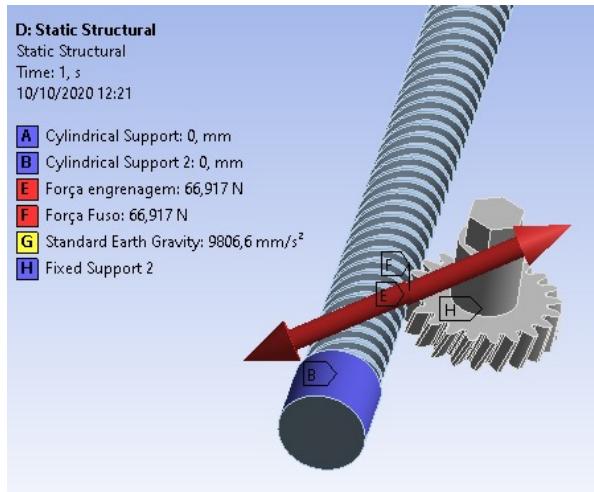


Figura 13 – Condições de contorno da interação engrenagem fuso

Na Fig. 13, 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.

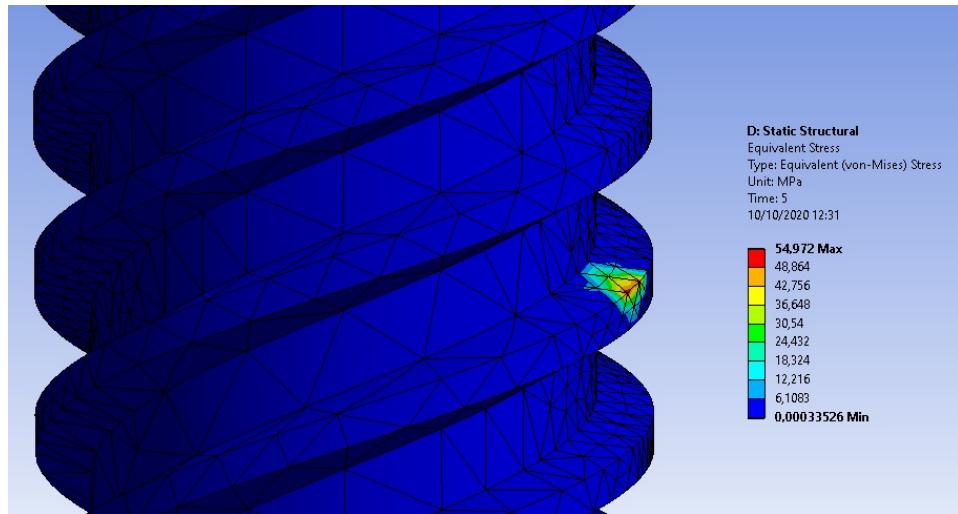


Figura 14 – Tensões equivalentes von Mises no fuso

Nos resultados apresentados nas Fig. 14 e 15, 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 54 MPa, ainda dentro do limite elástico

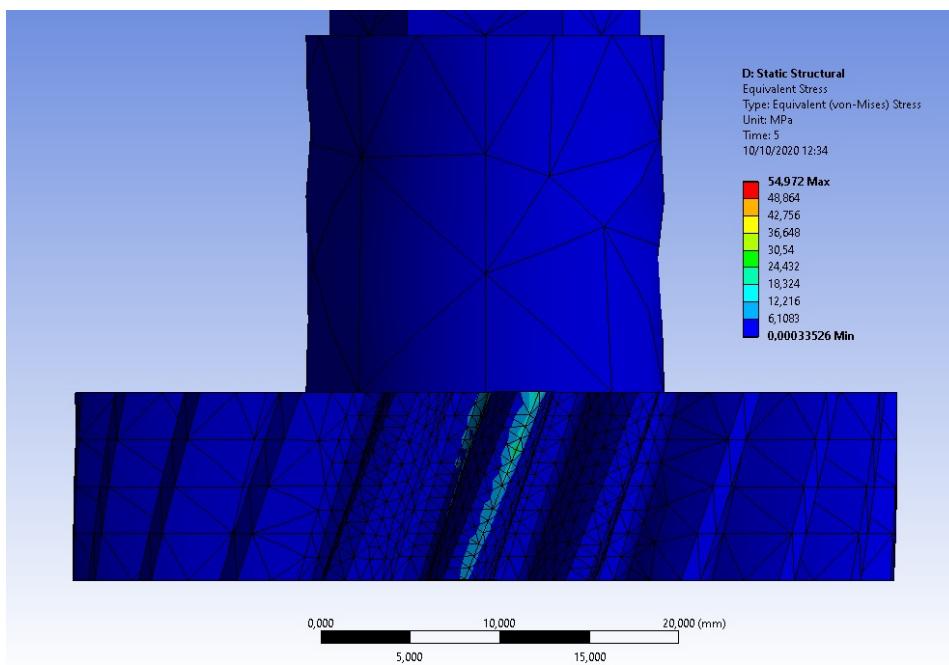


Figura 15 – Tensões equivalentes von Mises na engrenagem

do material. Consideramos que este valor discordante com a região a sua volta como resultado de uma anomalia pontual da malha.

5.8.3 Análise Estrutural

Para análise das cargas geradas por cada subgrupo, foi feita a escolha da simplificação do sistema para o conjunto mostrado a seguir, 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 [5.8.4](#) para maiores detalhes da geometria simplificada).

Para o subgrupo de contêineres, foi considerado os efeitos de rotação do fuso (velocidade 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](#)).

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 0,425 N ou 42g em cada componente cilíndrico. Como se imaginava, a carga aplicada é consideravelmente baixa em relação ao peso próprio da estrutura, que corres-

pondeu a 6,60kg ou 66N 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 igual a 2,92 MPa na mesa dos contêineres, bem abaixo do valor da tensão de escoamento do material da mesa (Tab. 7). Os resultados podem ser conferidos pela Fig.16.

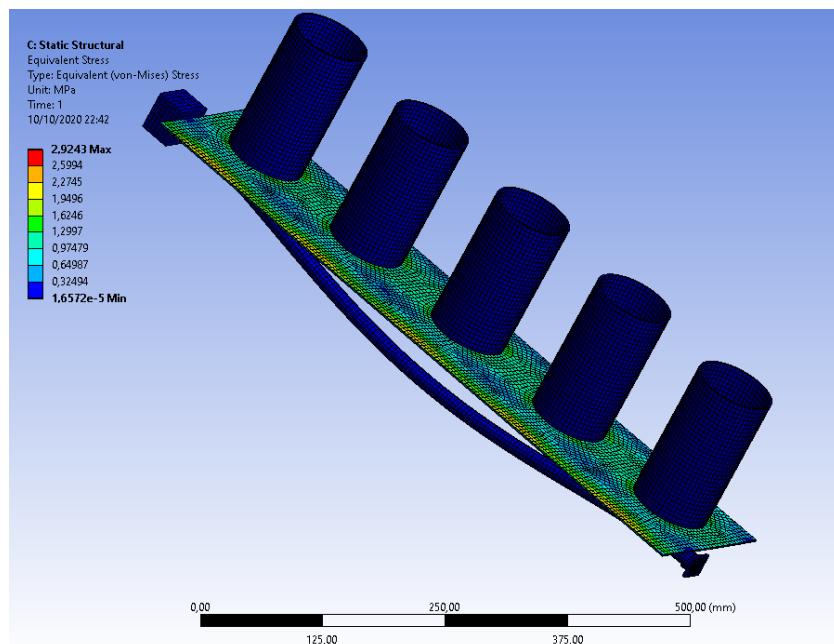


Figura 16 – Tensões equivalentes von Mises no subgrupo

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 a 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 4 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 4 restantes se encontram em posição estática. As forças aplicadas na estrutura podem ser visualizadas na Fig. 17.

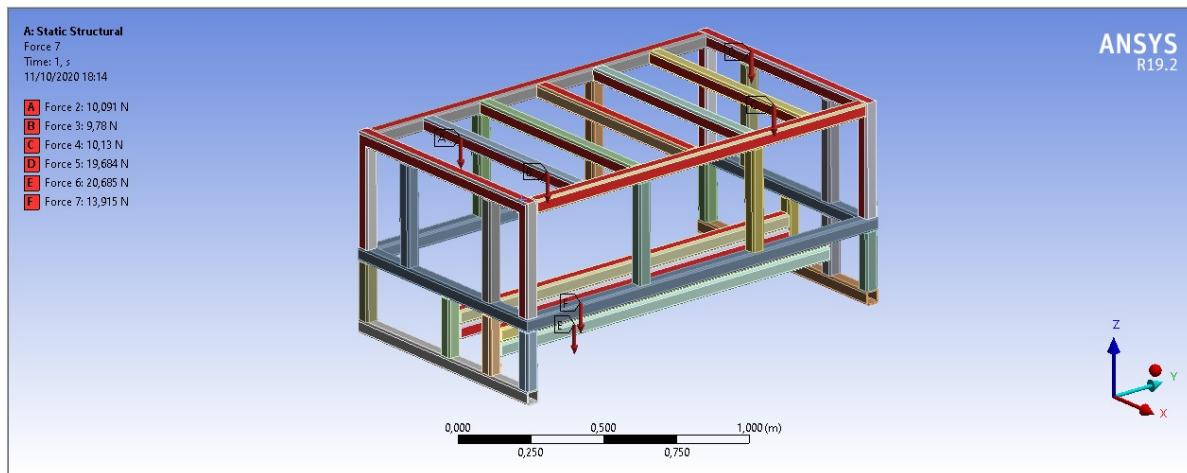


Figura 17 – Representação das cargas aplicadas à estrutura tubular

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

- Forças 1 e 2: 10,091 N, provenientes do resultante dos 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 às 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: 19,684 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: 20,685 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: 13,915 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 7 forças na estrutura, foram ancoradas os dois tubos na porção mais inferior da estrutura, que seriam considerados os apoios fixos para simulação. Após a simulação, foram avaliados 3 considerações a respeito do desempenho da estrutura tubular às cargas aplicadas nele, sendo elas a representação de Deformação total, Energia de Tensão e Tensão Equivalente de Von Mises, onde os valores máximos destas análises são 0,00236 mm, $1,4659 \cdot 10^{-8}$ J e 0,4408 MPa, respectivamente.

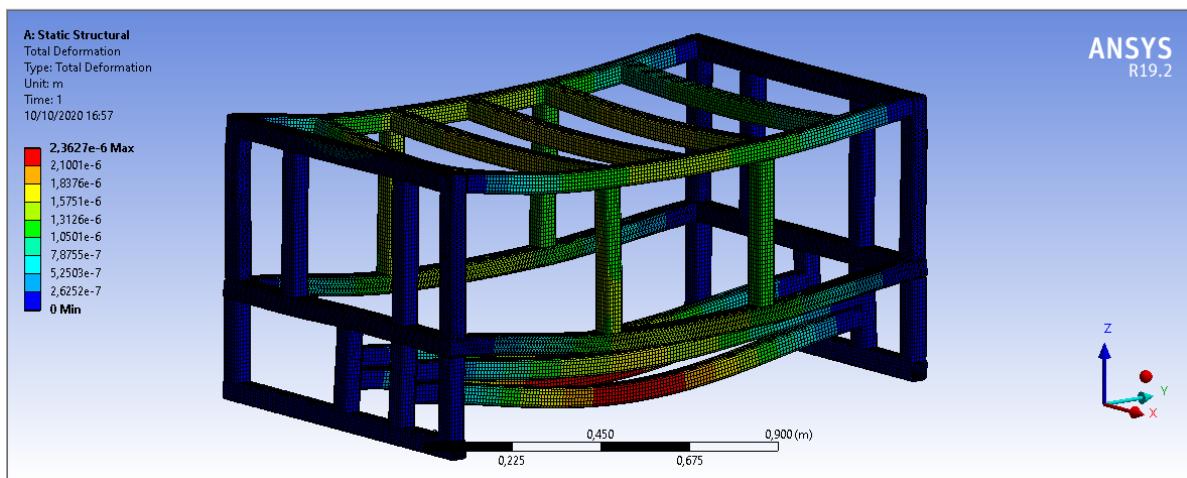


Figura 18 – Análise da deformação total da estrutura

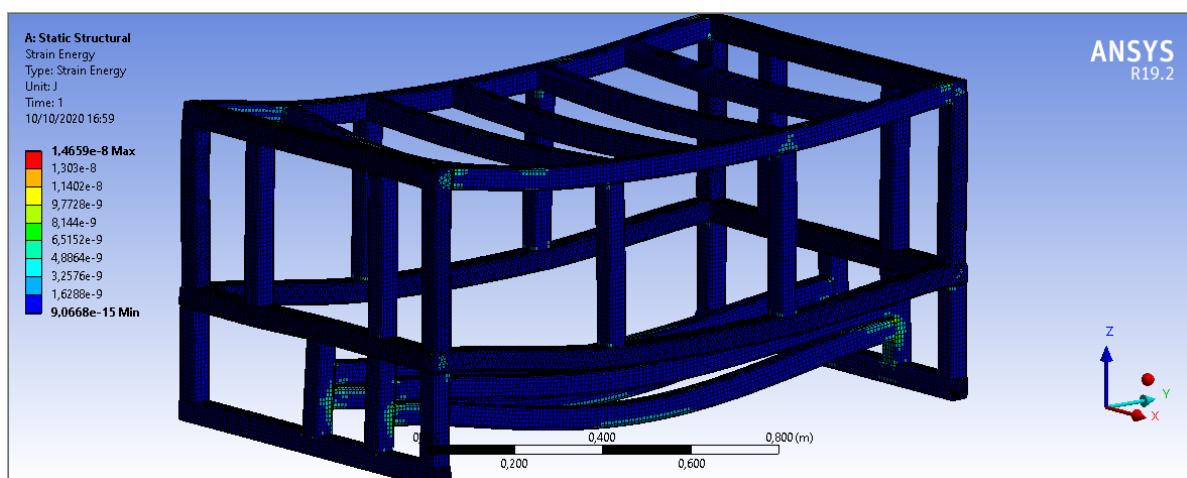


Figura 19 – Análise da Energia de tensão da estrutura

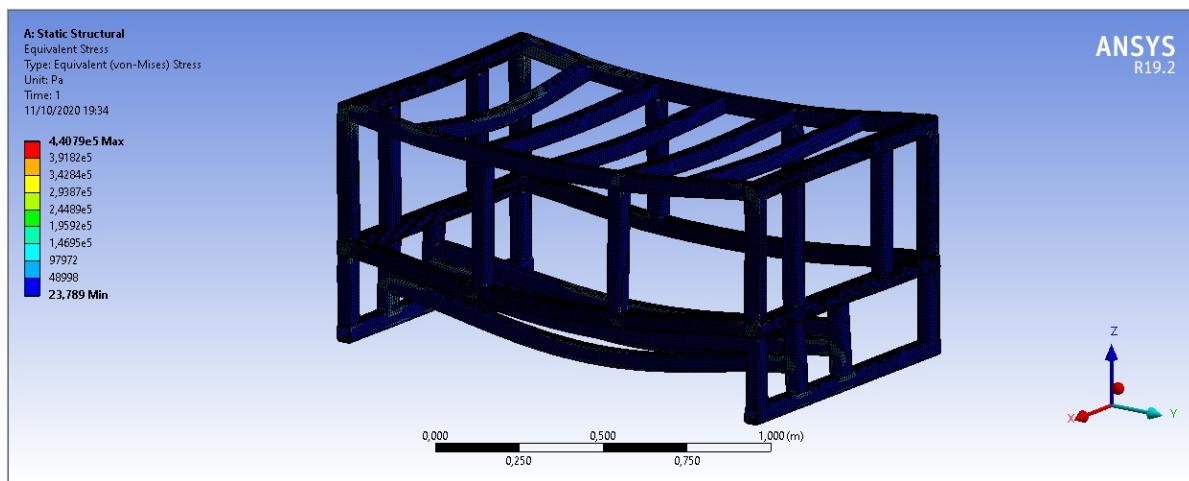


Figura 20 – Análise da Tensão Equivalente von Mises

Pode-se concluir, pelas figuras supracitadas e valores máximos apresentados, que a estrutura comporta facilmente todas as cargas aplicadas, sejam elas estáticas e/ou dinâmicas.

5.8.4 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 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 afim garantir que o fluxo de calor advindo dos componentes eletrônicos não resulte em uma elevada temperatura interna através de arranjos da geometria interna.

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). A figura a seguir mostra a configuração adotada para o problema térmico.

Fisicamente falando, temos um problema que é caracterizado por uma conveção natural com fluido ar, fontes de calor oriundas apenas de componentes eletrônicos, atuando com mecanismos de transmissão por condução do núcleo até a superfície e difusão

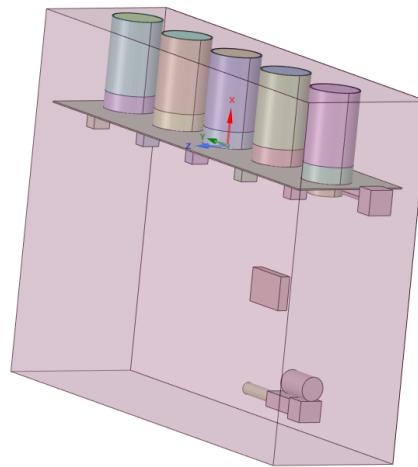


Figura 21 – Geometria simplificada para estudo da transferência de calor

com ar ([SHAPIRO, 2005](#)). Como meios de condução, além dos componentes eletrônicos, teremos as partes físicas do subgrupo.

Tabela 12 – Propriedades Térmicas dos materiais utilização na simulação. Adaptado de: ([SHAPIRO, 2005](#))

Material	Coeficiente de Expansão Térmica ($^{\circ}C^{-1}$)	Calor específico ($\frac{J}{kg \cdot ^{\circ}C}$)	Condutividade térmica isotrópica ($\frac{J}{m \cdot s \cdot ^{\circ}C}$)
Nylon 6.6	0,000128	1520	0,243
Aço Estrutural	$1,2 \cdot 10^{-5}$	434	60,5
Aço Inox 304	$1,7 \cdot 10^{-5}$	510	15
Aço carbono SAE 1020	51,9	486	51,9
Cobre	$1,8 \cdot 10^{-5}$	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, as dimensões são idênticas as paredes cilíndricas nos contêineres (veja a cotagem 92) e do mesmo material (Aço Inoxidável 304).

- Cinco cilindros sólidos substituindo as partes da rampa, plataforma de seleção, engrenagens e compartimentos inferiores, sendo do material Polipropileno e mesmas dimensões da base do conteiner (veja cotagem em 133).
- Mesa de sustentação dos cilindros, com dimensões idênticas as do design inicial (veja cotagem em 102) e do mesmo material (Aço carbono SAE 1020).
- Cinco caixas menores em formato quadricular, representando os motores solenoides e 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, esta um pouco à frente dos cilindros, material genérico (Aço estrutural).
- Estrutura cilíndrica de mesmo comprimento e diâmetro do fuso do design inicial (veja cotagem 95) e do 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 do PC1.
- Caixa de ar formulando o volume de controle da simulação de comprimento suficientemente grande para cobrir toda a estrutura a ser simulada (800x600x230 mm)

Para cargo de informação ao leitor, a Tab. 16 , presente na solução energética, descreve a carga global e potências geradas pelo componentes elétricos e eletrônicos escolhidos 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 *display* 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 *displays* (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 aquecimento e resfriamento. A tabela a seguir ilustra o funcionamento do sistema simplificado:

Tabela 13 – Comportamento temporal das potências do Sistema (W)

Tempo (s)	Raspberry (W)	Atuador Linear (W)	Motor de Passo (W)	Solenoides (W)	Total (W)
0	8,033	0,7425	0	2,50165	11,24745
5	45,8993	24,7425	4,8	2,50165	77,94345
10	12,1493	0,7425	4,8	2,50165	20,19345
30	12,1493	0,7425	4,8	2,50165	20,19345
32	15,8993	0,7425	2,8752	2,50165	22,01865
37	41,0993	24,7425	0	2,50165	68,34345
42	12,1493	0,7425	0	2,50165	15,39345
62	12,1493	0,7425	0	2,50165	15,39345
64	15,8993	0,7425	0	2,50165	19,14345
69	41,0993	24,07425	0	2,50165	68,34345
74	12,1493	0,7425	0	2,50165	15,39345
94	12,1493	0,7425	0	2,50165	15,39345
96	15,8993	0,7425	0	2,50165	19,14345
101	41,0993	24,7425	0	2,50165	68,34345
106	12,1493	0,7425	0	2,50165	15,39345
126	12,1493	0,7425	0	2,50165	15,39345
128	15,8993	0,7425	0	2,50165	19,14345
133	35,0993	24,7425	0	2,50165	68,34345
138	12,4993	0,7425	0	2,50165	15,39345
158	12,4993	0,7425	0	2,50165	15,39345
163	8,3993	0,7425	0	2,50165	11,64345
7200	8,3993	0,7425	0	2,50165	11,64345

Para as condições de contorno do problema, foram estabelecidas curvas de potência com os dados inscritos na Tab. 13 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 $0,005 \frac{W}{m^2}$. 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.

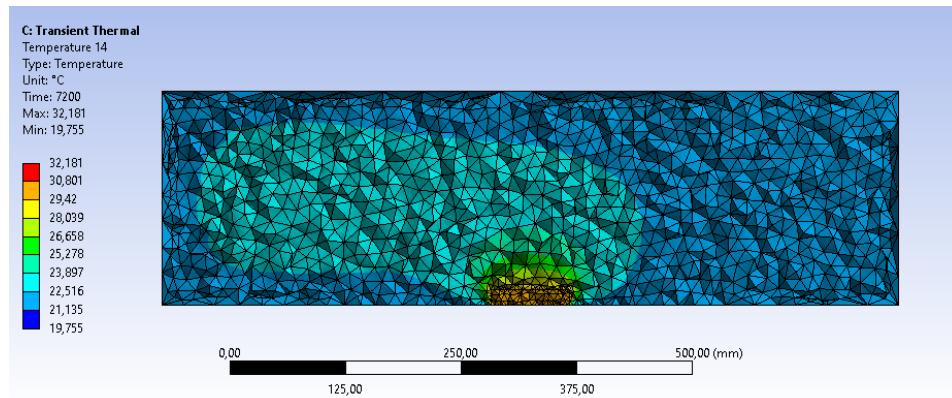


Figura 22 – Transferência de calor normal ao volume de controle

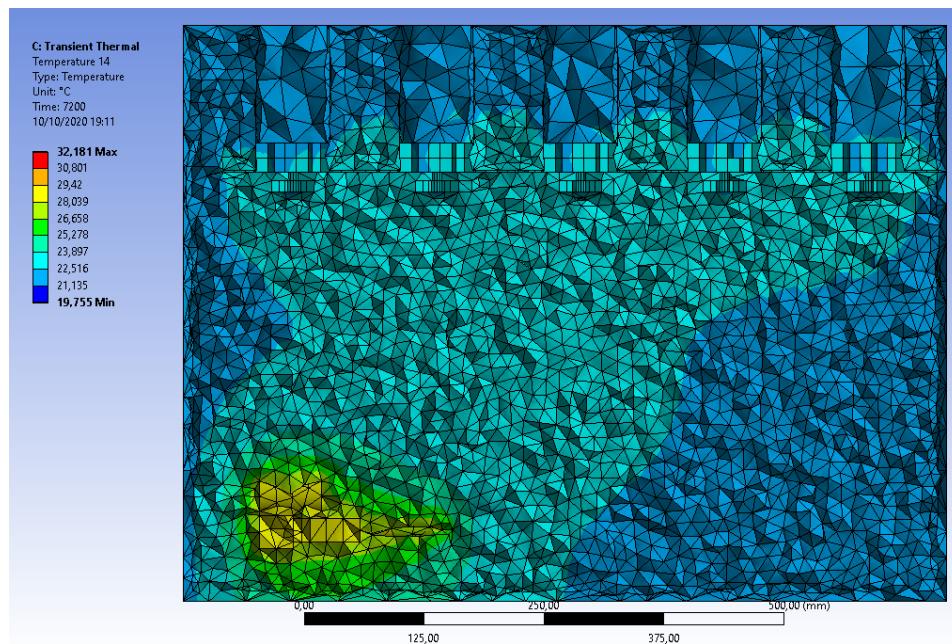


Figura 23 – Transferência de calor dentro do volume de controle

Dos resultados obtidos das Fig. 22 e 23, 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.

Com relação às temperaturas máxima e mínima, iremos fazer o uso do gráfico de convergência da temperatura máxima:

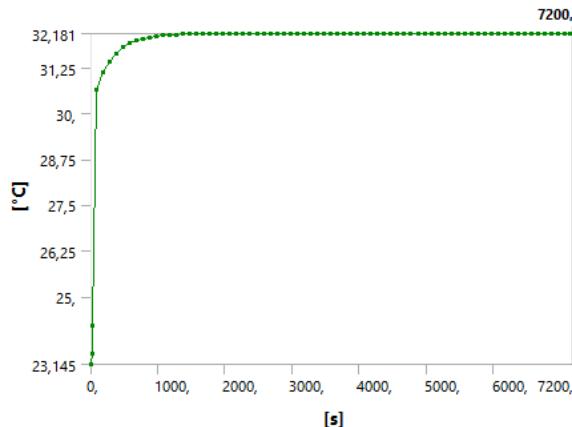


Figura 24 – Temperatura máxima alcançada ao longo do tempo

Observamos que o modelo atinge para o valor limite de temperatura de 32,18 °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 próximas às temperaturas próximas, e não são suficientemente altos para causar uma divergência do resultado final da simulação.

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 acréscimo temperatura global, e consequentemente, aprova a construção de um dispositivo para começar o planejamento de utilização do sistema para armazenagem de

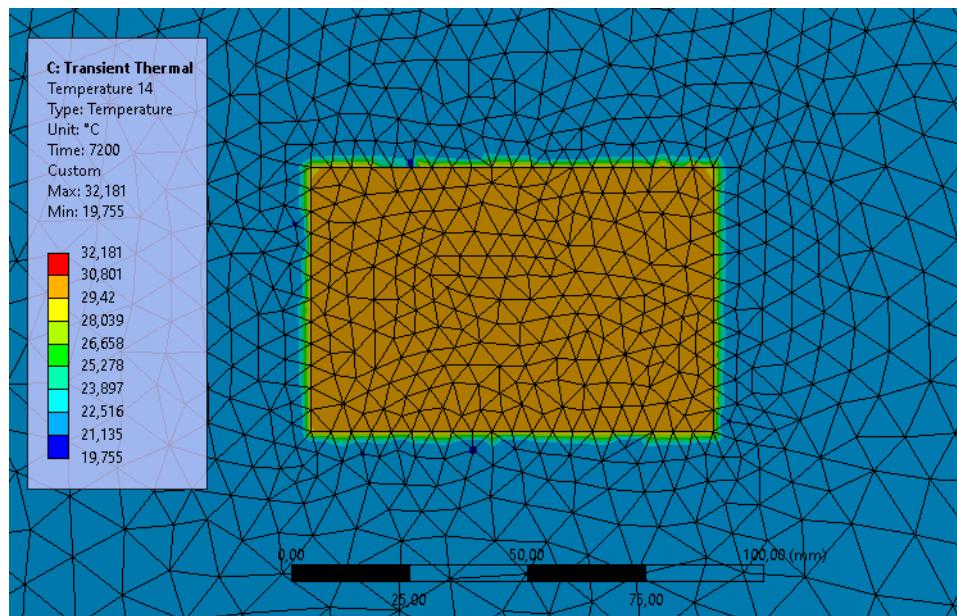


Figura 25 – Erros gerados pelas dimensões finitas do método computacional

medicamentos em casos gerais de temperatura ambiente que compreenderiam de 13,5 °C a 28,5 °C, possivelmente expandíveis 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).

6 Solução Eletrônica

Este capítulo é voltado para o desenvolvimento do sistema eletrônico, apresentando as escolhas de projeto a partir dos requisitos técnicos. Assim, a solução de eletrônica será dividida em 3 sistemas: Módulo de Medição, Central de Controle e Acionamento de Atuadores. Consequentemente, os 3 sistemas possuem grande dependência entre si.

6.1 Módulo de Medição

O módulo de medição é o sistema que tem a funcionalidade de realizar a captura de dados de interesse para uso no controle e na automação do dispositivo. Sendo assim, trata-se de um sistema micro-controlado pela central de controle conectado a vários componentes de detecção e medição. Dessa forma, os componentes de detecção e medição foram selecionados a partir dos requisitos levantados, disponibilidade no Brasil, apresentarem custos acessíveis e escala de medição compatível com a aplicação.

- **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 em uma faixa de temperatura e umidade relativa pré determinada pelo fabricante para não alterar as propriedades químicas e a eficácia dos medicamentos.

Para seleção dos componentes foram priorizados sensores com mais de uma funcionalidade, logo, 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, temperatura e umidade, não são unidades de mudança rápida em pequenos intervalos de tempo (menor 1 segundo) no ambiente em que ele está inserido o sensor escolhido não precisa ter uma taxa de atualização maior que 1 Hz ([WEBSTER; EREN, 2018](#)). Mas é preferível escolher aqueles com maior resolução, funcionar na faixa de conservação do medicamento e uma precisão menor que 1°C para

temperatura e 5% UR para umidade relativa para diminuir a faixa de dúvida do sensor utilizado. Por fim deve ser priorizado os sensores em um módulo comercial que entrega os dados de forma digital em um protocolo compatível com a central de controle da solução eletrônica. 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. Devido a ser um sensor compatível com as faixa de captura, resolução e precisão dos dados, preço de compra menor que 50 reais e o sinal de saída digital no protocolo interface I²C, compatível com a central de controle.

Para este sensor, nenhum condicionamento é necessário para o sinal, por ser realizado internamente no módulo. A conexão do sensor com a central de controle consiste em 4 pinos: VDD/VCC, GND e duas linhas de dados para comunicação I²C (SDA/SCL). Além do mais, possui resolução configurável por software, sendo 8/12bit para umidade e 12/14bit para temperatura. O módulo **HTU21D** está representado na figura 26, e possui as seguintes especificações:

- Alimentação: 1,5V a 3,6V;
- 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% UR a 95% UR): \pm 2% UR;
- Precisão da temperatura: \pm 0,3 °C;
- Máximo consumo de energia (Média de 8 bits de comunicação): 2,7 μ W;
- Comunicação: I²C;
- Dimensões: 15,8 x 15,6 x 2mm;
- Preço: R\$ 18,90.

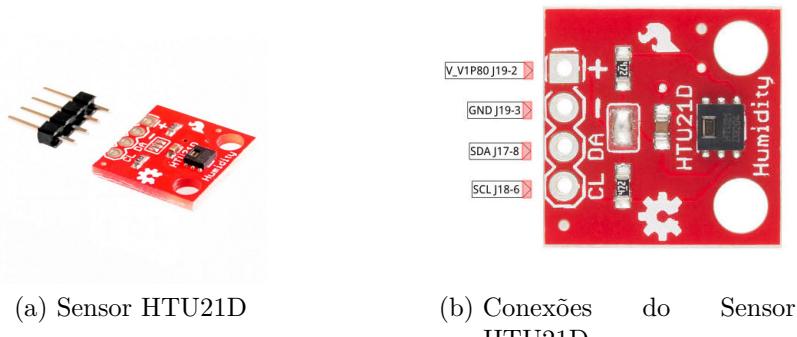


Figura 26 – Sensor Biometria DY50

- **Interruptor**

O uso de interruptores se deve a necessidade de detectar o trancamento do compartimento frontal, por onde ocorre a passagem dos copos com medicamento do dispositivo, e do compartimento traseiro, por onde ocorre o acesso aos contêineres de estoque com medicamento. Da mesma forma, é utilizado para detectar se os contêineres individuais, onde são colocados os medicamentos, foram encaixados corretamente.

Com base na aplicação levantada foram selecionados, de forma qualitativa, os interruptores do tipo *micro switch KW10-B* com haste. Uma vez que, seu uso é ideal para as aplicações de detecção do trancamento das portas e se os contêineres foram encaixados corretamente devido: A direção em que o interruptor é ativado; O mecanismo relacionado ao acoplamento e desacoplamento; A força mínima necessária para a ativação; Necessita de um pequeno espaço de contato; Possui ação rápida; Tem alta sensibilidade; Pequeno deslocamento de operação.

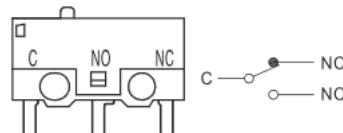
O interruptor tipo *micro switch* **KW10-B** contém 3 pinos de conexão: o terminal 1 - comum, o terminal 2 - normal aberto (em inglês *normal open*) e o terminal 3 - normal fechado (em inglês *normal closed*). Como o uso do interruptor se baseia em realizar uma alteração na conexão I/O com a central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

O interruptor **KW10-B** está representado na figura 27a e a lógica dos terminais podem ser visualizadas na representação esquemática da figura 27b. Ele possui as seguintes especificações para a aplicação em que é utilizado:

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



(a) *Micro Switch*
KW10-B



(b) Conexões do Interruptor

Figura 27 – Interruptor tipo *Micro Switch*

• Sensor Fotoelétrico

Os sensores fotoelétricos trabalham com emissão e recepção de luz e são ideais para aplicações onde faz-se necessário a detecção de objetos sem o contato físico. Dessa forma, estes sensores serão utilizados para detectar a passagem do medicamento sólido tanto na saída das comportas quanto no final da zona de transição. Além do mais, também será utilizado esse sensor para as seguintes detecções: presença do copo no reservatórios de copos, identificação da presença do copo em local predeterminado para recebimento de medicamentos, 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 (foto interruptor), 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 (AMRON, 2018).

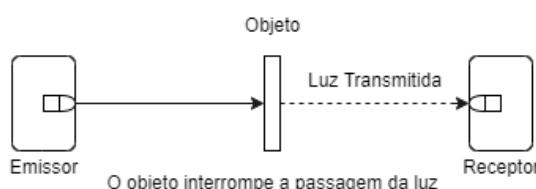


Figura 28 – Sensores de Barreira

Por se tratar de um sensor de simples implementação, o subgrupo optou em 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 equações 6.1 e 6.2:

$$R_{LED} = \frac{(V_{Fonte} - V_{LED})}{I_{LED}} = \frac{(5V - 1.5V)}{20mA} = 175\Omega \quad (6.1)$$

$$P_{R_{LED}} = V_{LED} \cdot I_{LED} = 3.5V \cdot 20mA = 0.07W \quad (6.2)$$

Consequentemente, foi selecionado o resistor de $180\ \Omega$ por se tratar de um resistor comercial. A figura 29 mostra o esquemático do circuito, enquanto a lista descreve os materiais a serem utilizados na construção.

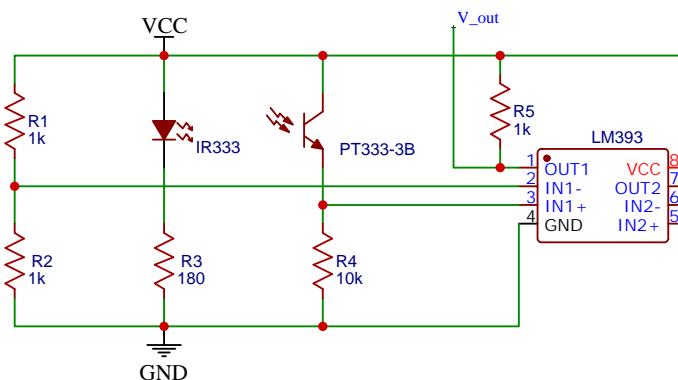


Figura 29 – Esquemático do circuito do sensor fotoelétrico de barreira

- 1 LED IR333;
- 1 Fototransistor PT333-3B;
- 1 CI LM393;
- 1 Resistor de $180\ \Omega$;
- 1 Resistor de $10\ k\Omega$;
- 3 Resistores de $1\ k\Omega$.

Para realizar as simulações foi utilizado o Opto-acoplador **4N25**, no 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 CI e 20 mA para o LED, o que pode ser corrigido na simulação pela alteração do resistor do LED.

Além do mais, foi adicionada uma sequência de pulsos na entrada do LED emissor para representar a passagem do objeto entre o emissor e o receptor. Já que com a passagem do objeto tem-se a ausência de luz e as junções inversamente polarizadas do fototransistor não conduzem corrente elétrica, resultando em uma resistência "infinita". Após a passagem do objeto tem-se novamente a incisão de luz nestas junções e sua resistância diminui, havendo assim a condução de corrente elétrica.

Tendo essa variação de corrente, tem-se também uma variação de tensão e dessa forma é possível utilizar o CI **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 tende a 0V.

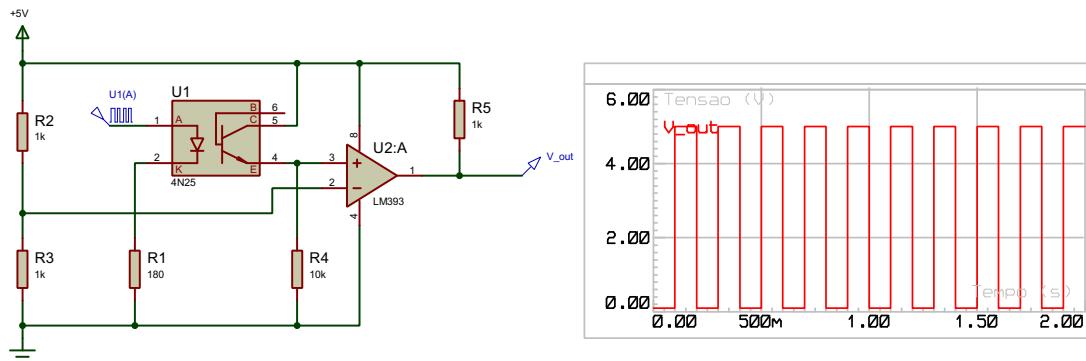


Figura 30 – Simulação do Sensor Fotoelétrico de barreira

Portanto, a partir dessa variação de tensão na saída pode-se detectar a passagem do objeto traduzindo a variação de 5V e 0V para uma representação digital ao ser conectado com a central de controle. Essa conexão utilizando 3 pinos: Terminal 1 é a

alimentação do circuito em 5V, Terminal 2 é o terra (em inglês *Ground* - GND) e o Terminal 3 é a saída do comparador **LM393**, representado como V_{out} na o esquemático da figura 30. Como a saída V_{out} é uma saída digital, ou seja, quando for 0V temos bit 0 e em 5V temos bit 1 não é necessária o uso de um condicionamento de sinal como conversores analógico digital para conexão entre o sensor desenvolvido e a central de controle.

Por último, a partir da simulação foi realizada a placa de circuito impresso conforme a figura 150 no apêndice H.

Para levantamento da corrente total consumida pelo sensor de barreira é levado em consideração a corrente típica de operação para o *LED* emissor (I_{LED}) e a corrente da fonte de alimentação para simulação na figura 30 excluindo o IN25 ($I_{CIRCUITO}$). Como $I_{LED} = 20mA$ e $I_{CIRCUITO} = 5mA$ obtemos a corrente total somando essa correntes. Ou seja, $I_{total} = I_{LED} + I_{CIRCUITO} = 25mA$.

• Sensor de Biometria

O sensor de biometria é utilizado para autenticação de usuários nos mais diversos produtos no mercado. O seu funcionamento se baseia na captura da digital do usuário por meio de uma imagem que posteriormente terá suas características únicas extraídas e comparadas com um banco de dados de digitais cadastradas.

Dessa forma foi escolhido o sensor óptico de digitais **DY50**, figura 31, por ser o mais comum no mercado e possuir um sistema validado para obtenção de digitais. Esse sensor tem a funcionalidade de legitimar o funcionário da clínica geriátrica e permitir realizar funções que necessitam de autenticação. Assim, esse sensor é empregado para liberar o compartimento frontal/traseiro para a retirada da dose medicamentosa do dispensador e realizar o abastecimento do estoque de medicamentos.

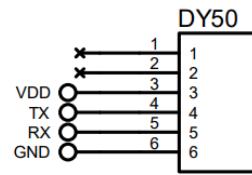
A conexão do sensor com a central de controle consiste em 4 pinos, esquemático na figura 31b: VCC e GND para alimentação, TX e RX para a comunicação UART. O sensor de biometria **DY50** está representado na figura 31a, e possui as seguintes especificações:

- Alimentação: 3,6V a 6V;
- Consumo de corrente máximo: 120 mA;
- Taxa de transmissão : 9600, 19200, 28800, 38400, 57600 bps;
- Comunicação: TTL serial;

- Preço: R\$ 69,00.



(a) Sensor DY50



(b) Conexões do Sensor DY50

Figura 31 – Sensor Biometria DY50

• Sensor de Leitura RFID

O sensor de identificação por radiofrequência (RFID) utiliza um sistema de energização sem fio de etiquetas RFID para obtenção de dados armazenados nelas. Dessa forma, é utilizada uma antena que realiza a energização e captação desses dados numa frequência de 13.56 MHz, que posteriormente são decodificados e enviados por meio do protocolo I²C para central de controle.

O uso do sensor RFID foi pensado para identificar os copos utilizados para armazenar as doses de medicamentos. Desse modo, sua identificação é necessária para determinar o copo que está recebendo a medicação. Para realizar a identificação e logística de distribuição de medicamentos para os pacientes, cada copo tem cores únicas para evitar ministração de doses medicamentosas para pacientes errados.

Com o posicionamento da etiqueta RFID na parte inferior do copo é possível ler sua identificação independentemente da face virada para o sensor. Uma vez que o sensor será posicionado entre as placas da esteira e o sensor poderá identificar etiquetas RFID com uma distância determinada dependendo da antena utilizada. Como as placas da esteira utilizada são feitas de plástico não ocorrerá problemas em relação a interferência na posição onde foi definido.

O modelo **PN532**, figura 32a, foi escolhido pela sua capacidade de distância de ativação das etiquetas chegar à 70mm e sua antena pode ser modificada e direcionada para atender as necessidades de dimensionamento da máquina.

A conexão do sensor de leitura RFID com a central de controle consiste em 4 pinos, esquemático na figura 32b: VCC, GND, SDA e SCL, que são duas linhas de dados para comunicação I²C.

- Alimentação: 5V;
- Interfaces: I²C, SPI e High Speed UART (HSU);
- Distância máxima de leitura/gravação: 7cm;
- Preço: R\$ 33,99.

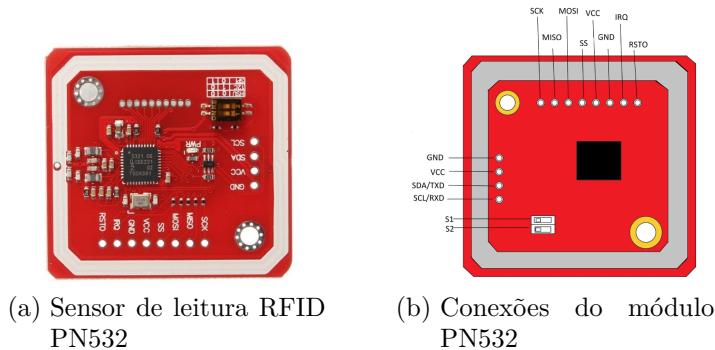


Figura 32 – Módulo PN532

O C.I. controlador RFID PN532 contempla um projeto de circuito com os componentes necessários para conectar uma antena, fornecido pelo fabricante. Este circuito RF consiste em 8 capacitores, 2 indutores, 2 resistores e a bobina de antena simétrica como mostrado na figura 33

O filtro EMC reduz harmônicos de 13,56 MHz e executa uma impedância 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.

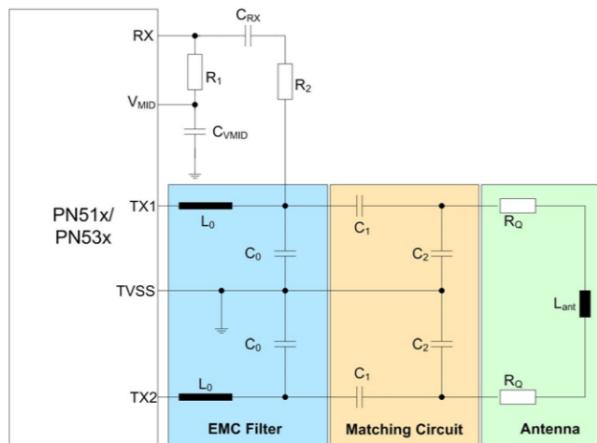


Figura 33 – Diagrama de blocos da parte RF

Como foi escolhido um módulo do sensor de leitura RFID com o PN532 integrado, nele existe uma antena seguindo o projeto do fabricante. Essa antena suporta a distância de até 70mm para leitura e escrita em TAGs RFID compatíveis com a frequência de 13,56 MHz. Essa distância é suficiente para aplicação pois é superior a espessura do módulo da esteira utilizada, 19,9mm na figura 119 do apêndice E.

- *Tag* RFID

Para escolha da tag RFID, primeiro deve ser observado se ela é para o tipo de frequência do sensor RFID utilizado, neste caso 13,56 Mhz. Em seguida, devemos ficar atentos para atender as dimensões e formato do copo utilizado. Pelas cotagens descritas na figura 123 do apêndice E, copo tem base com 55mm de diâmetro e 1,5mm de espessura. Por fim é necessário ser compatível com uma distância mínima de 50mm de leitura e escrita por variar dependendo do tamanho.

Dessa forma foi escolhido a Tag etiqueta RFID 13,56 MHz, representado na figura 34. 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 34 – Tag etiqueta RFID 13,56 Mhz

- **Câmera para Processamento de Imagens**

Atualmente câmeras estão presentes no dia-a-dia da população mundial, porém ainda mais presentes na automatização de processos industriais e verificação de qualidade por meio do processamento de imagens. Dessa forma, o uso de uma câmera foi escolhida para realizar a captação visual dos comprimidos. Posteriormente, a partir do processamento dessas imagens, serão extraídas as características dos comprimidos, sendo possível identificar a quantidade e classificar o tipo de medicamento no copo de forma eficiente e confiável.

A câmera escolhida foi a **OV5647**, figura 35a, por apresentar sensor com capacidade de gerar imagens de até 2592x1944 pixels e preço acessível no Brasil. Ela utiliza o protocolo *Camera Serial Interface* (CSI) para transmitir dados, sendo um padrão compatível para integração com a central de controle. Para realizar a conexão entre a câmera e a central de controle, especificamente o microprocessador utilizado, utilizamos 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 figura 35b,.

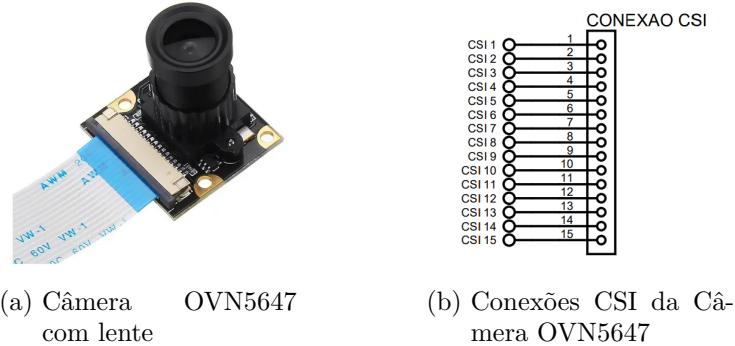


Figura 35 – Câmera OV5647 - 5MP

Para o processamento será aplicada uma técnica que consiste em detectar as bordas dos medicamentos. Com isso é criado máscaras binárias para cada comprimido identificado, isolando o comprimido e extraíndo características do mesmo, como por exemplo, cor e formato.

Após isso, será utilizado um classificador *SVM*, treinado com uma biblioteca de imagens de comprimidos que tiveram as mesmas características extraídas. Sendo assim cruzados os dados dos comprimidos que eram previstos no copo com os dados do classificador SVM, obtendo resultado positivo caso seja verificado que a dose está correta.

O classificador *SVM* foi escolhido por ter solução determinística, não possuindo viés de treinamento e não consumindo muitos recursos do sistema embarcado.

6.2 Sistema de Açãoamento de Atuadores

O sistema de açãoamento de atuadores tem a funcionalidade de controlar os atuadores contidos no dispositivo. Sendo assim, o sistema de açãoamento de atuadores trata-se de um sistema micro-controlado pela central de controle e são utilizados *drivers* que controlam os atuadores do dispositivo. Sendo estes: motor DC, atuador, motores de passo, solenoides para os contêineres e as mini travas elétricas solenóides em cada compartimento de acesso no sistema.

- **Drivers**

Os *drivers* dos atuadores são módulos projetados para prover a potência de ação 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.

- Motores de Passo

O *driver* escolhido para os motores de passo é o módulo com CI **A4988** pois atende as características de carga para funcionamento do motor de passo escolhido, explicado na seção 7.1.1 da solução energética, e inclui a possibilidade de resolução do passo do motor em até 1/16 do considerado passo completo pelo fabricante. 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 a central de controle, especificamente o microcontrolador, e o *driver* A4988 são utilizados 9 pinos:

- **VCC** e **GND** para alimentação da parte lógica
- **MS1**, **MS2** e **MS3** são as 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 reseta o tradutor (bloco interno do CI que traduz as entradas de controle em tensões na saída para movimento do motor de passo) para um estado inicial pre determinado e desativa todas as portas de saída para os motores. Ele 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**, seu controle é baseado na ponte H. Ele atende as especificações elétricas para alimentação do motor DC escolhido, ex-

plicado 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*), presente no microcontrolador. Essa tecnologia varia o tempo de permanência do sinal lógico em baixo e alto, isso acarreta uma resposta que simula uma variação de intensidade de tensão, porém variando apenas o tempo que o sinal está ligado.

Para conexão entre a central 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 A 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.

Para conexão entre a central de controle, especificamente o microcontrolador, e o *driver* A4988 são utilizados 9 pinos:

- Solenoides e Atuador Linear

O *driver* escolhido para os solenoides e o atuador linear o módulo com CI **IRF520N** pois atende as características elétricas para funcionamento deles, explicado nas seções 7.1.4 e 7.1.3 da solução energética. E suas configurações possibilitam a utilização de sinais PWM da porta lógica do microcontrolador para controle.

- **Isolamento**

A natureza dos atuadores gera ruídos de tensão e corrente que devem ser tratados, uma vez que, caso esse ruído chegue ao sistema de controle existe a possibilidade de causar mal funcionamento das funções de todos os circuitos presentes. Portanto, deve-se isolar o sistema de atuadores do sistema de controle. Para isso são utilizados opto-acopladores, que isolam o sistema transferindo sinais por meio de *LEDs* emissores e receptores.

6.3 Central de Controle

A central de controle é o sistema que irá realizar tanto a análise dos dados coletados no módulo de medição quanto o controle do sistema de atuadores do dispositivo. Bem como é por onde comandos são recebidos e enviados no *Backend* - nome que representa a parte da arquitetura de software que interage com a central de controle.

O principal componente da central de controle é o microprocessador embarcado. Adicionalmente também temos aspectos funcionais para os usuários que interagem com o dispositivo. Esta interação é feita pelo subsistema denominado módulo de visualização.

- **Microprocessadores**

A adoção de microprocessadores é bastante comum atualmente em implementações de sistemas embarcados nas mais diversas aplicações. Em especial temos diversos fabricantes que implementaram sistemas usando microprocessadores que tem suporte a vários Sistemas Operacionais (SO) diferentes e incluem uma interface de entradas e saídas digitais com propósito geral, sendo denominadas como computadores de placa única (*Single Board Computers* - SBCs). Alguns exemplos comuns no mercado são as placas *Raspberry's Pi* desenvolvidas pela *Raspberry Pi Foundation*, placas Tinker da ASUS, placas BeagleBoards da Texas Instruments e as placas NVIDIA Jetson da NVIDIA.

A utilização de uma *SBC* é devido necessidade desse sistema desempenhar várias funções que necessitam do suporte de um computador com sistema operacional, realizando operações para área eletrônica 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 o sistema utilizado tenha suporte a protocolos de comunicação I²C, SPI, UART e CSI entre o módulo de medição e visualização e a central de controle. Principalmente em conter pinos GPIO para realizar a conexão física desses protocolos. Além do mais, 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 4GB DDR4**.

A Raspberry Pi 4 B tem suporte físico para os protocolos de comunicação suportados para comunicação entre os componentes da central de controle e sensores específicos do módulo de medição. Ou seja, em seu GPIO existem 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.

Para o armazenamento será o tipo de armazenamento suportado em hardware pela Raspberry Pi 4, sendo 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, por não ser realizado o armazenamento das imagens usadas no processamento de imagens e o banco de dados não armazenar volume de dados grande, 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 **32GBs** 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 impressa 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 a alguns anos no mercado (2018) e seu ciclo de vida terminar em Abril de 2023. O ciclo de vida representa o data fim 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 todos as bibliotecas utilizadas para desenvolvimento da comunicação e controle dos subsistemas da eletrônica como os utilizados pela solução de software.

• Módulo de Visualização

O módulo de visualização é o subsistema 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.

No presente ponto de controle apresenta-se no apêndice F o *mockup* desenvolvido para as telas presentes na interface.

- Visor

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

- **Display:** Tipo LCD TFT 3.2"
- **Controlador:** ILI9341
- **Resolução:** 240x320 pixels
- **Dimensões da tela:** 48.60 x 64.80 mm
- **Interface:** SPI

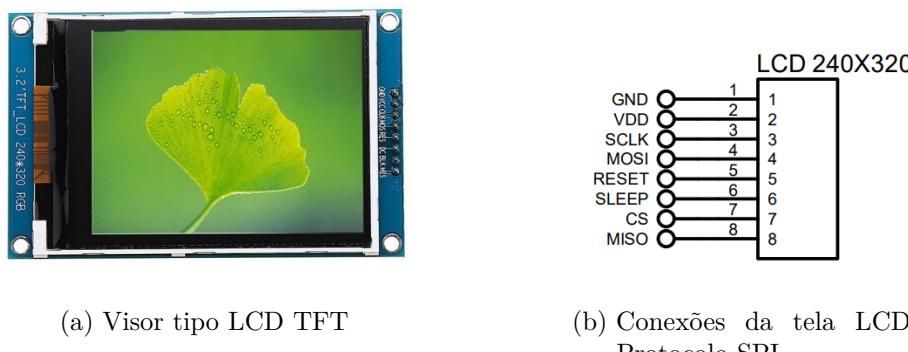


Figura 36 – Visor tipo LCD TFT 240x320

- Teclado

A utilização de uma matriz de botões é necessária para o usuário do dispositivo poder interagir com os menus de opções disponíveis na tela de visualização. Neste caso foi preferível o uso de botões, uma vez que todos os cadastros de medicação, paciente, enfermeiro serão realizados pelo aplicativo e para utilizar menos processamento do sistema microprocessado.

Sendo assim será usado uma configuração de arquitetura chamada de matriz de botões, especificamente uma solução comercial *AdKeypad* com 5 botões como foto na figura 37.



Figura 37 – *AdKeypad*
com 5 botões

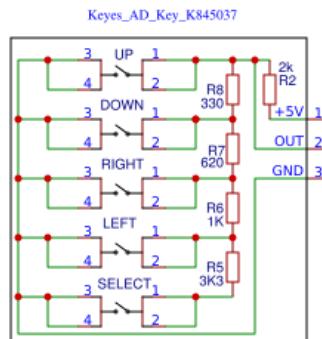


Figura 38 – Esquemático
AdKeypad

Analisando o circuito esquematizado na figura 38 podemos 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 dependendo da tecla que é clicada. Assim obtemos a equação 6.3, que representa o cálculo da tensão V_{out} seguindo as entradas e saídas da figura 38.

$$V_{out} = \frac{R_{EQ}}{R_2 + R_{EQ}} \cdot 5[V] \quad (6.3)$$

Onde R_2 é o resistor de $2k\Omega$ 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 tabela 14.

Tabela 14 – Resultado para tensão V_{out}

Tecla	R_2 [Ω]	R_{EQ} [Ω]	V_{out} [V]
UP	2k	x	0
DOWN	2k	330	0,708
RIGHT	2k	950	1,610
LEFT	2k	1950	2,468
SELECT	2k	5250	3,621

Sua comunicação com microcontrolador é do tipo analógica, fazendo com o que o microcontrolador possua um conversor analógico digital para que seja realizada a leitura dos dados provenientes do teclado. Conforme o esquemático, na figura 38, pode-se observar que existe apenas um pino de dados (2) para esse teclado. Seu funcionamento se baseia em um circuito com várias divisões de tensão. A central de controle irá interpretar

qual botão foi pressionado a partir do sinal digital resultante da conversão analógica digital da tensão de saída no pino de dados (2). Essa conversão é realizada em um microcontrolador, na qual o pino (2) de dados será conectado a uns dos pinos A/D de um dos microcontroladores que são usados no módulo de medição.

• Microcontroladores

Os microcontroladores são utilizados nas mais diversas aplicações de controle e automação. Assim, os microcontroladores possuem os itens essenciais de processamento, aliados a periféricos abundantes para entradas e saídas de dados com um baixo custo, possibilitam o desenvolvimento de sistemas robustos e escaláveis.

Segundo John Morton ([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 deve ser realizado um diagrama do circuito ou representação similar, vendo em particular todas as entradas e saídas necessárias para conectar com o microcontrolador atendem aos requisitos do projeto. Sendo um dos principais fatores de escolha devido a limitação de porta que cada microcontrolador tem. Como, por exemplo, PIC16F54 tem até 12 pinos entrada/saída (em inglês *input/output - I/O*) e a PIC16F57 até 20.

Dado a metodologia de escolha, temos que em nosso projeto os microcontroladores serão utilizados para direcionar dados do módulo de medição para o sistema microprocessado e o mesmo enviar dados de controle para o sistema de acionamento de atuadores. Para direcionamento desses dados entre os microcontroladores e o sistema microprocessado 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 devemos listar a quantidade de cada componente conectado aos microcontroladores e os pinos necessários para cada unidade, excluindo pinos de alimentação como +5V e GND e observando se os pinos utilizados atendem a como o dado vem do sensor, ou seja, se é digital ou é necessário o uso de uma porta com conversão analógico-digital. Na tabela 15 está a compilação da quantidade total de pinos necessários.

Nota: Está sendo levado em consideração que a tela 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.

Tabela 15 – Levantamento da quantidade de pinos

Componente	Quant. (unid.)	Pinos (Un)	Tipo	Pinos (Total)
Sensor de Barreira	30	1	I/O	30
Interruptor Micro Switch	30	1	I/O	30
Teclado	1	1	Analógico	1
Driver A4988	5	7	I/O	35
Driver IRF520N	28	1	I/O	28
Driver Ponte H L298	1	2	I/O	2
Total				126

Analizando a tabela 15 pode-se concluir que os componentes que contribuem para maior quantidade de pinos são os sensores de barreira, interruptores e *driver* IRF520 para os solenoides/atuador linear. Como o uso de cada um desses componentes não é medido ou controlado paralelamente para aqueles que estão nos contêineres, 75 no total sendo 25 para cada tipo, o uso de multiplexadores e demultiplexadores é interessante por diminuir a quantidade de portas de I/O para conectar esse componentes com o microcontrolador. Sendo assim foi escolhido multiplexadores 8x1 e demultiplexador 8x1, especificamente pelo uso do CI CD4051.

O CD4051 é um CI de multiplexação ou demultiplexação com 13 pinos: São 8 pinos entradas/saídas; 1 pino saída/entrada; 3 pinos para chaveamento de qual dos 8 canais é a saídas; 1 pino *ENABLE* que desliga o funcionamento do Ci. Dessa forma, a razão de redução de pinos conectados ao microcontrolador se agruparmos cada grupo de 25 componentes de tipos diferentes é de 11/24 utilizando 3 CD3051 para conectar 24 componentes e ligar um diretamente ao microcontrolador. Ou seja, diminuímos de 126 pinos para 52 a quantidade de pinos necessários.

Para evitar qualquer ruído inerente dos atuadores serão usados microcontroladores exclusivos tanto para o sistema de acionamento dos atuadores quanto para o módulo de medição. Desse modo, é garantida uma integridade dos valores medidos dos sensores no módulo de medição.

Sendo assim, realizamos a separação dos pinos por tipo de sistema em que está conectado (módulo de medição ou sistema de acionamento de atuadores), componentes com maior quantidade (sensores barreira, interruptores e *driver* IRF520N) e adicionando os pinos de conexão 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, da quantidade e tipo de pinos necessária 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 microcontroladores com diferentes quantidade de pinos I/O, conversão A/D de várias resolução 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 5V, compatível com as duas possibilidades disponíveis pela solução energética.

6.4 Protocolos de comunicação

6.4.1 Protocolos internos

Os protocolos internos são aqueles utilizados para comunicação entre os subsistemas e componentes da solução eletrônica.

- I²C

O protocolo I²C descreve o funcionamento de um barramento serial que opera com dois fios, SCL que é responsável por levar o clock do dispositivo mestre para os dispositivos escravos e o SDA para a transferência de dados. Para iniciar uma comunicação com escravos, o mestre coloca o valor lógico da linha SDA em baixo, 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. Ou seja, é uma comunicação bidirecional.

Na aplicação proposta este protocolo é usado para comunicação do dispositivo mestre, sistema microprocessado (Raspberry Pi 4), com dispositivos escravos. Os escravos são os quatro microcontroladores PIC16F677, o sensor de temperatura/umidade e o sensor RFID.

- SPI

O protocolo SPI possui 3 fios fixos e mais um 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. Para controlar qual escravo está sendo usado, é utilizado 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, sistema microprocessado, com a tela LCD TFT 240x320. Devido a ser o protocolo compatível com o controlador da tela escolhida.

- UART

O protocolo UART utiliza dois canais de comunicação, o RX que recebe dados e o TX que envia. Esse protocolo trabalha de forma assíncrona, necessitando de que o transmissor e 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 5 a 9 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, sistema microprocessado, com o sensor de biometria DY50.

- 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.

6.4.2 Protocolos externos

Os protocolos externos são aqueles utilizados para comunicação entre os sistemas de controle e alimentação do dispositivo com o *backend* da solução de software, esse é melhor detalhado [8.1.3](#).

- **HTTP**

O protocolo HTTP será utilizado para requisições de dados do sistema embarcado para o *backend*. 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 *backend*.

- **MQTT**

O protocolo MQTT será utilizado para comandos e confirmações, dessa forma é possível realizar requisições do *backend* 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 *backend*.

6.5 Diagramas Esquemáticos da Conexão dos Sistemas

Os diagramas esquemáticos da conexão entre os componentes dos sistemas da solução eletrônica se encontram detalhados nos Esquemáticos Eletrônicos no apêndice [G](#).

6.6 Arquitetura de Eletrônica

No diagrama lógico da arquitetura geral da eletrônica na imagem [39](#) tem-se a interação dos módulos de medição com a central de controle e a interação do sistema de acionamento dos atuadores com a central de controle. Essa comunicação interna do dispositivo está explicada e esquematizada no apêndice [G](#). Além do mais, nesse fluxograma é apresentada a alimentação necessária para cada componente.

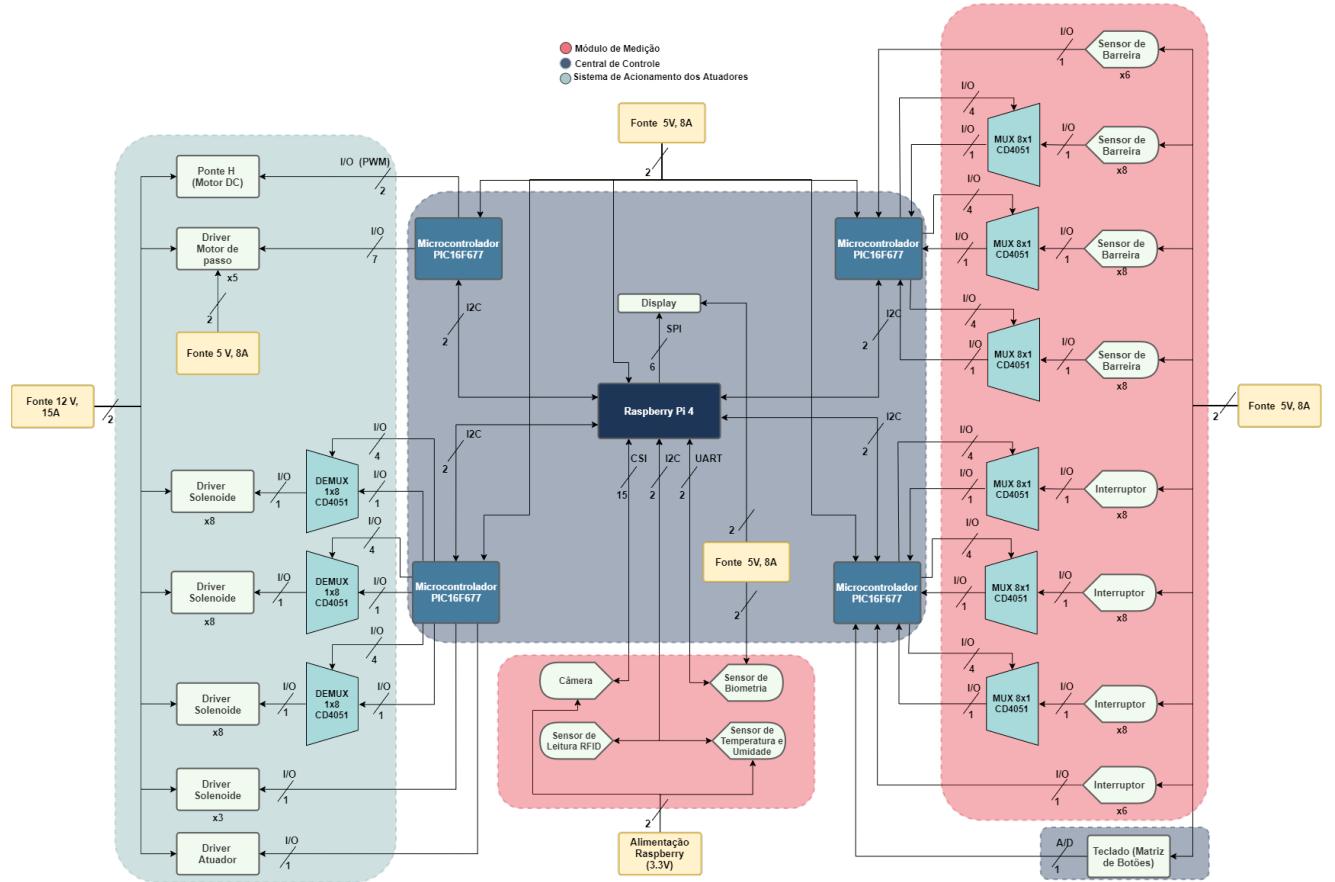


Figura 39 – Diagrama Lógico Eletrônico

6.7 Rede de Petri

A Rede de Petri é uma técnica de modelagem, a qual permite a representação de sistemas com embasamento matemático, e assim relaciona 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 retângulos.
- **Ações:** são usadas para modelar os componentes ativos dos sistemas, são os eventos de transição de um estado para outro, no diagrama são representadas por círculos.
- **Fluxo:** através das ações do sistema é especificado como é a transformação de um estado para outro, no diagrama são representados por setas.

Para representar e modelar o controle do dispositivo utiliza-se a Rede de Petri. Antes de iniciar o processo de controle os medicamentos são retirados das embalagens e são 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 figura 40, 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, no 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 ocorre 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 na tela 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, no final do depósito de copos está posicionado 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. Em seguida, quando o atuador é ativado, 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. 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* da esteira é ativado e ela 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* 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 existe 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. 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 zona de entrega 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 porta superior para adição de medicamentos e retirar os contêineres para limpeza, utiliza-se um interruptor. Com ele é possível detectar se a porta está fechada e se os contêineres estão corretamente encaixados. Caso contrário, deve-se enviar um aviso na tela para que o enfermeiro possa corrigir essas anomalias.

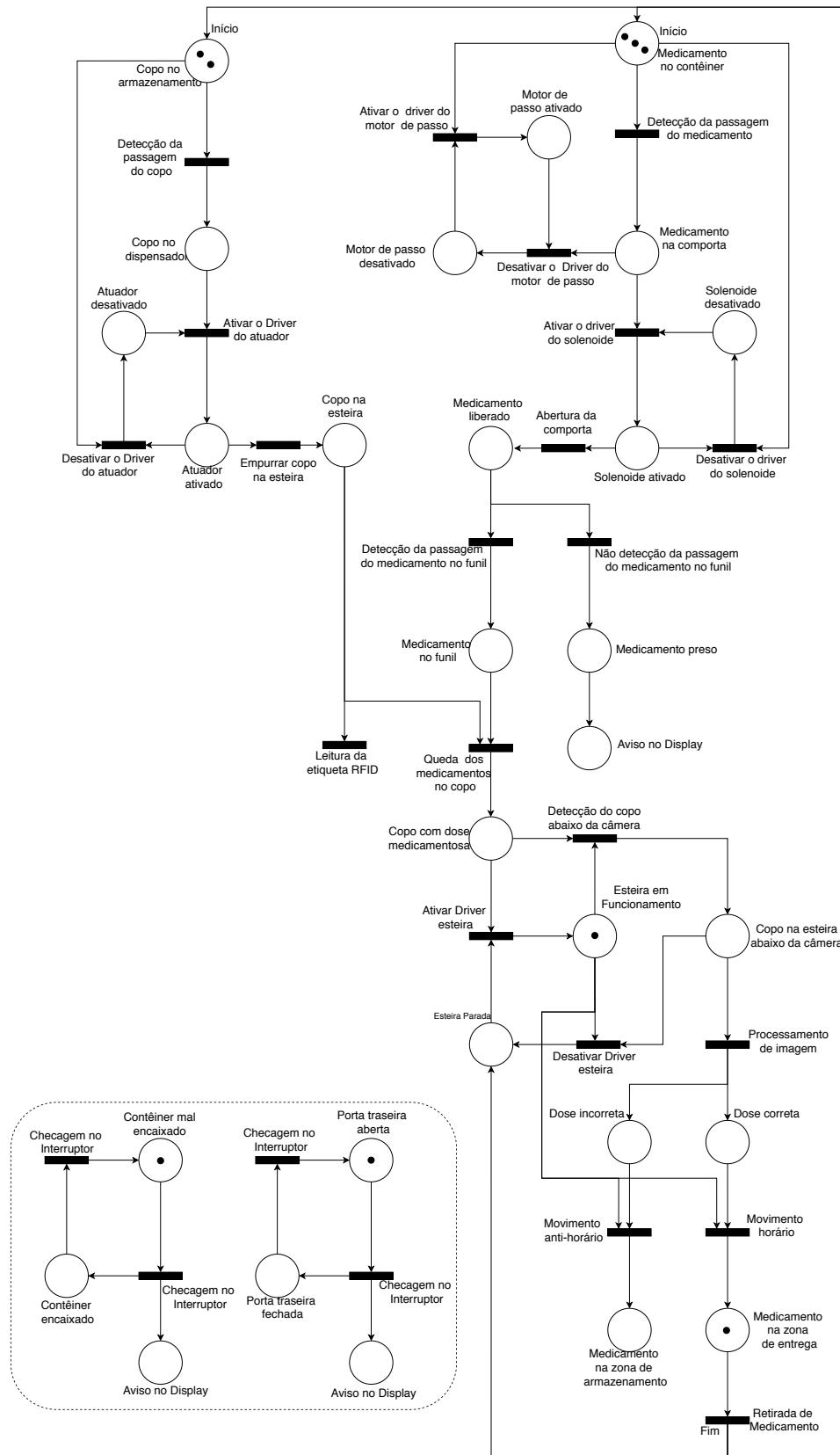


Figura 40 – Rede de Petri do Controle eletrônico

6.8 Processamento de Imagens

6.8.1 Separação dos comprimidos

A primeira etapa para extrair dados da imagem é isolar os comprimidos presentes. Para isso é preciso 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 utilizamos uma imagem do banco de dados, original na figura 41a, e aplicando a conversão para escala de cinza temos o resultado na figura 41b.

Em seguida, é necessário 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 figura 41c.

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 figura 41d.

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 figuras 41e e 41f.

Com a máscara segmentada é possível separar os comprimidos por meio de uma multiplicação com a imagem original, com isso obtemos as figuras 41g e 41h.

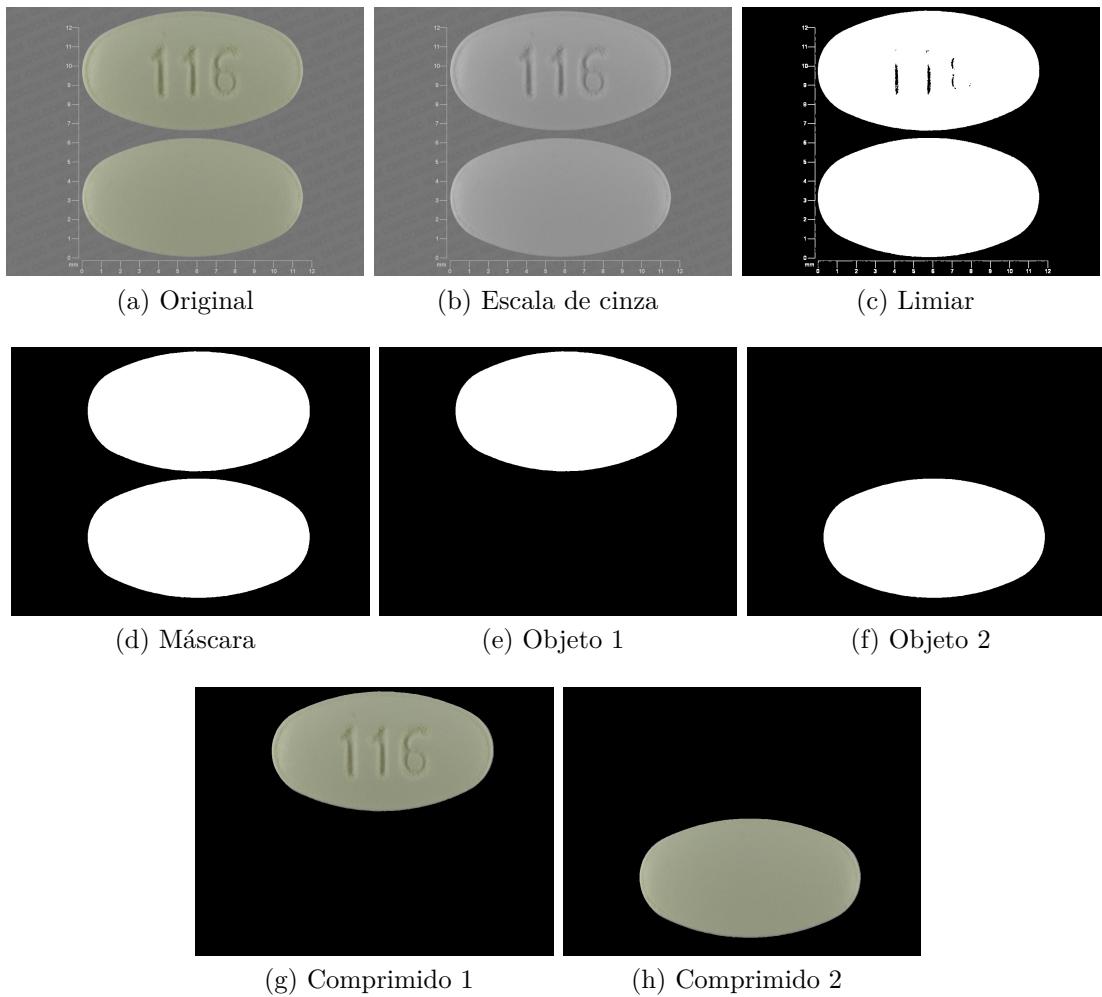


Figura 41 – Processo de separação

6.8.2 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 de cor 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 essa 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**

Para extrair o texto do comprimido é necessário o tratamento da imagem para que os contornos sejam destacados com isso obtemos a figura 42a, porém o objeto de texto ainda possui 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, mostrado na figura 42b.

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 figura 42c.

Para interpretar o texto será utilizado o **Tesseract**, um sistema de reconhecimento óptico de caracteres (OCR) que 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 figura 42d, onde é possível observar a região de interesse que possui texto e o valor reconhecido.

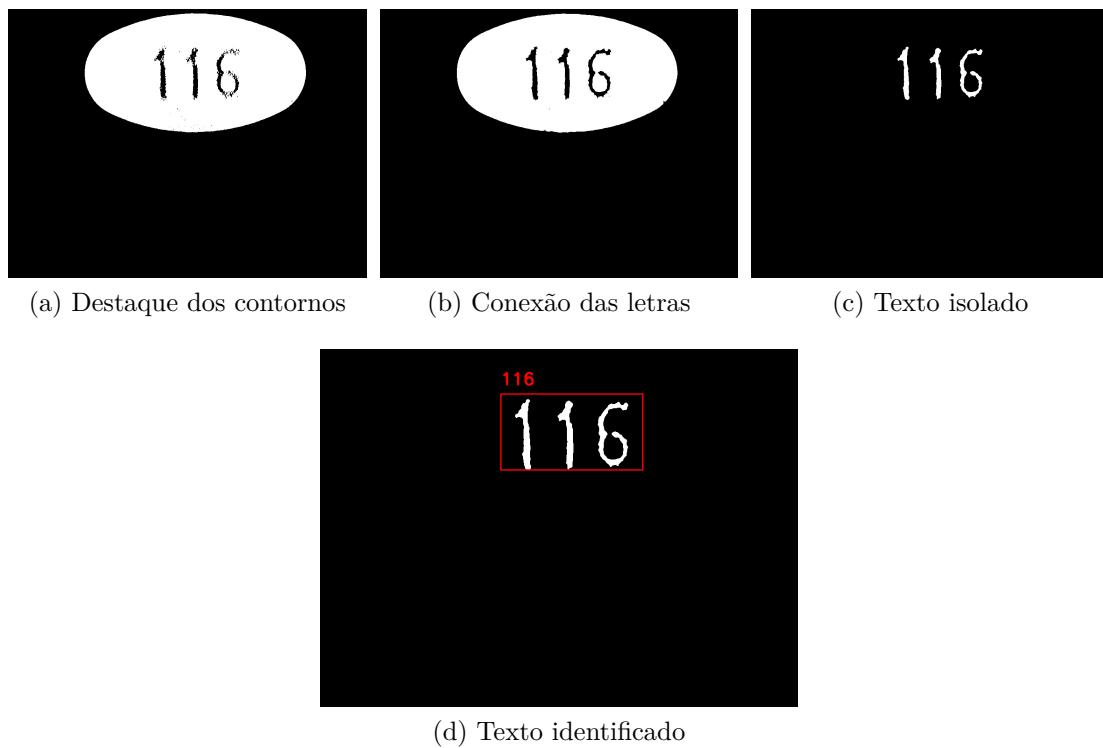


Figura 42 – Extração de texto

6.8.3 Máquina de Vetores de Suporte (SVM)

Para conseguir identificar diversos comprimidos nas imagens é necessário o uso de um classificador. Existe 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 são criados vetores de suporte que separam a área entre classificações, gerando assim os vetores de suporte que deve haver o treinamento da SVM.

Para o treinamento será utilizado um banco de imagens de comprimidos feito pela *National Library of Medicine* que possui 4000 imagens em ambiente controlado e 133000 em imagens amadoras, 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 ensinando ela para identificar características daquele comprimido.

6.9 Plano de Construção

Para construção dos subsistemas da eletrônica foi pensado levando em consideração os esquemáticos descrição na seção 6.5. Desses esquemáticos pode ser gerado as placas de circuito impresso, que serve como base para conexão de todos subsistemas e seus componentes da área eletrônica.

Para o projeto das PCI foi utilizado o software *Proteus* utilizando placas de fibra de vidro de camada dupla. Em alguns casos a camada oposta possui vias passantes para realizar conexões. Foram utilizadas somente angulações de 45 e 60 graus para as vias roteadas em todos os layouts. E também, não existir a inversão da conexão dos pinos conectados, foram utilizados conectores Molex KK e uma legenda em cada PCB para os conectores. As figuras no apêndice H mostram os *layouts* para as placas fabricadas. Ademais, em todos os casos foram utilizadas zonas preenchidas de Ground (GND) na camada de cobre.

6.9.1 Central de Controle

A PCI do sistema central, figura 151, foi criada para funcionar como um *shield* para a Raspberry Pi4. Ou seja, a barra de pinos fêmea 2x20 dessa PCI se conecta com a GPIO da Raspberry Pi 4. Na parte superior é conectado:

- Fonte de alimentação 5V/8A: Cabo com conector Molex KK de 2 pinos fêmea/fêmea;
- LCD 240x320: Cabo com conector Molex KK de 8 pinos fêmea/fêmea;
- Quatro PCBs que contêm os microcontroladores: 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;

Para conectar a câmera OV5647 com a Raspberry é utilizado um cabo *flat* de 15 canais com 300mm de comprimento.

6.9.2 Módulo de Medição

Para o módulo de medição são utilizados duas placas PCI, representadas no esquemático 1 na figura 145, como a PIC16 1 e PIC16 2.

Para a PCI especificada para PI16 1, figura 152, ocorre as seguintes conexões:

- Conexão com a PCI central: Cabo com conexão Molex KK de 4 pinos fêmea/fêmea que foi conectado no conector de legenda PIC16 1 na PCI central.
- 30 Sensores de Barreira: 30 Cabos com conexão Molex KK de 2 pinos fêmea/fêmea com a outra ponta conectada as 30 PCIs representadas na figura 150.

Para a PCI do sensor de barreira, figura 150, além de ser conectado o cabo vindo a PCI PIC16, devemos utilizar 2 cabos adicionais com 2 terminais cada para conectar o PT333-3B e IR333 para cada sensor.

Para a PCI especificada para PI16 2, figura 153, ocorre as seguintes conexões:

- Conexão com a PCI central: Cabo com conexão Molex KK de 4 pinos fêmea/fêmea que foi conectado no conector de legenda PIC16 2 na PCI central.
- 30 Interruptores: 30 Cabos com conexão Molex KK de 2 pinos fêmea/fêmea com a outra ponta conectada aos interruptores no terminal Comum e Normal Fechado (Pino 1 e Pino 2).
- Teclado: Cabo com conexão Molex KK de 3 pinos fêmea/fêmea

6.9.3 Módulo de Açãoamento dos Atuadores

Para o módulo de açãoamento dos atuadores são utilizados duas placas PCI, representadas no esquemático 1 na figura 145, como a PIC16 3 e PIC16 4.

Para a PCI especificada para PI16 3, figura 154, ocorre as seguintes conexões:

- Conexão com a PCI central: Cabo com conexão Molex KK de 4 pinos fêmea/fêmea que foi conectado no conector de legenda PIC16 3 na PCI central.
- 28 *drivers* IRF520N: 28 Cabos com conexão Molex KK de 2 pinos fêmea/fêmea com a outra ponta conectada aos pinos de sinal e GND do *driver* IRF520N.

Para a PCI especificada para PI16 4, figura 155, ocorre as seguintes conexões:

- Conexão com a PCI central: Cabo com conexão Molex KK de 4 pinos fêmea/fêmea que foi conectado no conector de legenda PIC16 4 na PCI central.
- 5 *drivers* A4988: Cabo com conexão Molex de 9 pinos fêmea/fêmea
- *Driver* L298: Cabo com conexão Molex de 3 pinos fêmea/fêmea

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 figura 43.

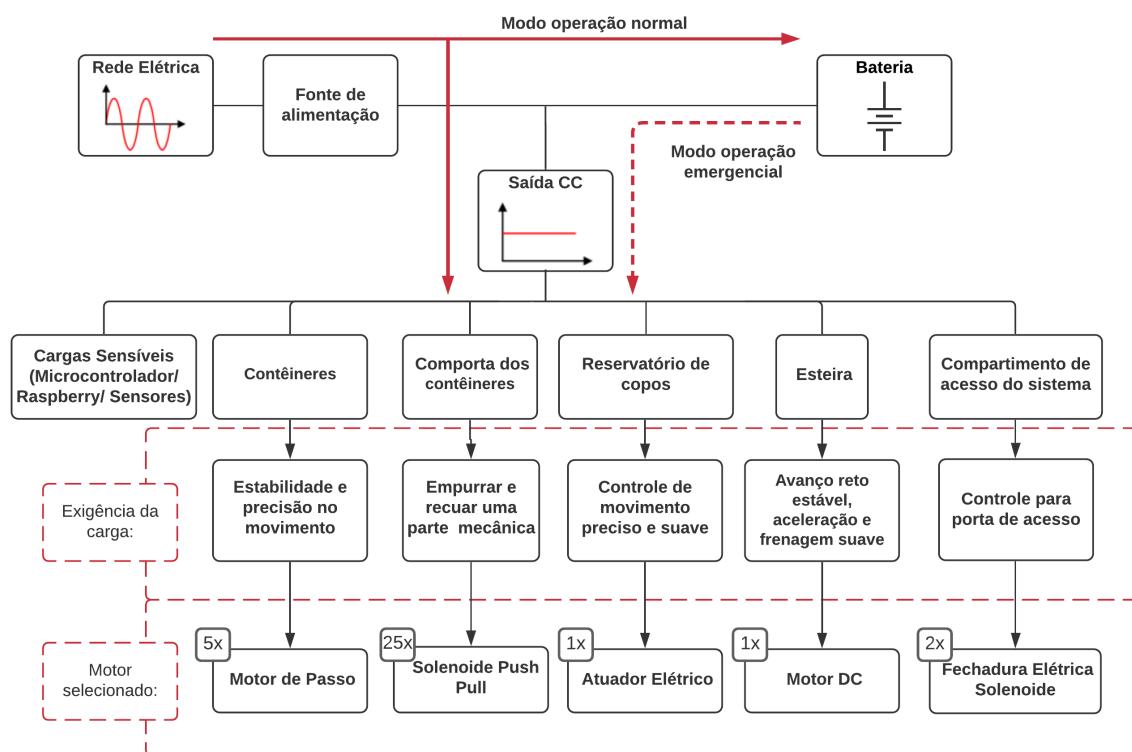


Figura 43 – Esquema do sistema de alimentação proposto.

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 feito 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. Este é capaz de suprir o torque requerido pelo fuso que irá girar os compartimentos. 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:

- A velocidade máxima operacional = 158 rpm;
- Angulo de passo necessário = $1,80^{\circ}\text{deg}$;
- Velocidade angular = 1rps.

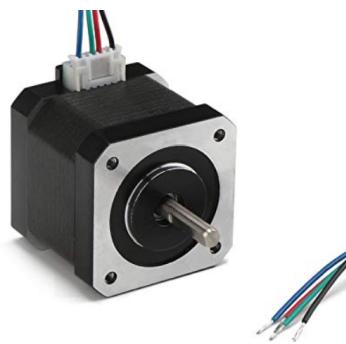


Figura 44 – Motor de passo selecionado para a movimentação dos compartimentos.

O motor dimensionado foi o motor de passo padrão NEMA 17 - KTC-42HS40-0404, da marca Kalatec Automação, representado na figura 44. Este apresenta um torque nominal 0,16 Nm com potência de 4,8 W. O motor apresenta um controle preciso de posição, torque e velocidade, estes que são necessários para fazer girar os contêineres que distribuirá os comprimidos.

7.1.2 Motor DC

O dispensador contará também com 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 duplo. A escolha desse dispositivo se deu ao considerar um menor custo, economia de energia e de fácil operação. Seu dimensionamento levou em consideração os seguintes itens:

- Velocidade nominal = 12 rpm;
- Distância que o copo irá percorrer até a saída = 570 mm;
- Massa do conjunto = 3kg;



Figura 45 – Motor DC selecionado para o acionamento da esteira.

O motor dimensionado foi BRINGSMART 12V, da marca Hugwit Company, representado na figura 45. Este apresenta um torque de 1,8 Nm com potência de 19,2 W.

7.1.3 Mini Atuador elétrico linear

O controle de abertura do 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 46 – Mini atuador elétrico selecionado para movimentar o copo até a esteira.

Dessa forma, o atuador dimensionado foi o mini atuador elétrico linear representado na figura 46. Este apresenta torque de 20N, com haste de 100mm e velocidade constante de 15mm/s.

7.1.4 Solenoide

O dispositivo eletromecânico responsável pela abertura e fechamento das comportas 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.



(a) Solenoide selecionada para abertura da porta dos compartimentos. (b) Solenoide selecionada para o controle da porta de acesso.

Figura 47 – Solenoides selecionadas para o projeto.

A solenoide selecionada para abertura da porta dos compartimentos é da marca ECSZINX, modelo *Push Pull* 12V representado na figura 47a e para o controle da porta de acesso, é uma Mini Trava Elétrica Solenóide 12V da marca AT representado na figura 47b.

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 tabela 16 contém o levantamento da carga do sistema.

Tabela 16 – 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	0,0005	0,0015
Sensor Fotoelétrico	30	5	0,025	3,75
Sensor de Biometria	1	5	0,12	0,6
Sensor de Leitor RFID	1	5	0,025	0,125
Raspberry Pi 4	1	5	3	15
Microcontrolador	4	5	0,025	0,5
Display	1	5	0,02	0,1
Câmera	1	3,3	0,2	0,66
Fechadura Elétrica Solenoide	2	12	0,5	12
Motor de Passo	5	12	0,4	24
Eletroímã Solenoide elétrico - atuador Push Pull	25	5	1,12	140
Motor DC	1	12	1,6	19,2
Atuador Linear Elétrico	1	12	2	24
Driver para Motor de Passo	5	12	0,5	30
Driver IRF 520	28	12	2	672
Driver Ponte H	1	12	1,6	19,2
Total				1157,14

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. Portanto, serão considerados os seguintes cenários representados na tabela 17.

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 17 – 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
Raspberry Pi 4	x1	x1	x1	x1
Microcontrolador	x4	x4	x3	x4
Display	x1	x1	x1	x1
Câmera	x1	x1	x1	x1
Fechadura Elétrica	x2	x2	-	-
Motor de Passo	x5	x1	x1	x1
Atuador Push Pull	x25	x1	-	-
Motor DC	x1	x1	x1	-
Atuador Linear Elétrico	x1	x1	-	x1
Driver para Motor de Passo	x5	x1	x1	x1
Driver IRF 520	x28	x1	-	x1
Driver Ponte H	x1	x1	x1	-
Corrente Total (A)	98,98	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 que 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 Volts 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.

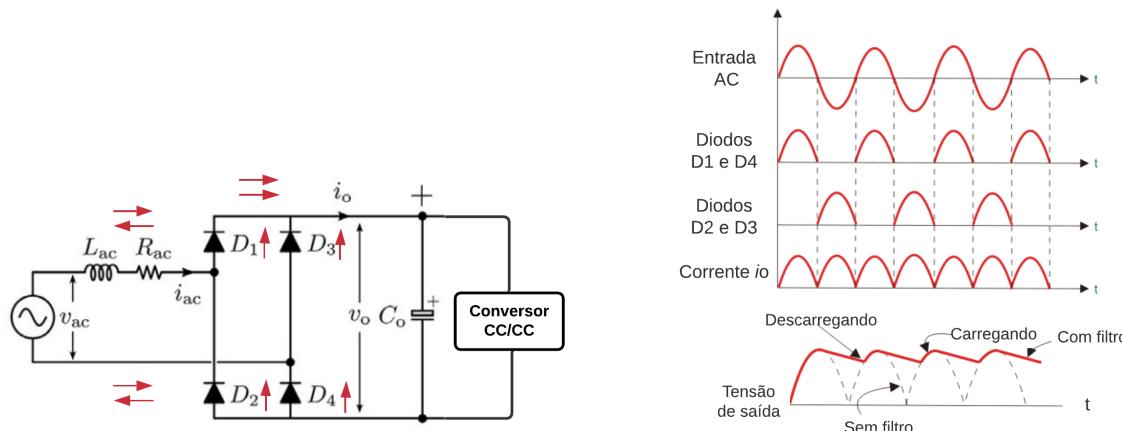
7.2.1 Retificador CA/CC

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 de acordo 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, a configuração está representada na figura 48a, 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. Suas vantagens 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;



(a) Configuração do retificador com ponte de onda completa a ser implementado com indicação do fluxo de corrente (setas vermelhas).

(b) Principais formas de onda do retificador com ponte de onda completa.

Figura 48 – Configuração 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 (figura 48b), podemos descrever a operação do retificador nas seguintes etapas (PETRY, 2013):

- No semicírculo 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 semicírculo 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 18 – Parâmetros de projeto do retificador monofásico com ponte de onda completa.

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

NOTAS: Este design é baseado em valores típicos.

A tabela 19 contém os componentes selecionados para o projeto do retificador. O apêndice I contém o memorial de cálculo detalhado do projeto.

Tabela 19 – 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 1kHz a 1MHz, 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 que se é necessário ter. Tem-se 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 isolação 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 200W e com uma alta corrente de saída, sua configuração pode ser vista na figura 49, 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).

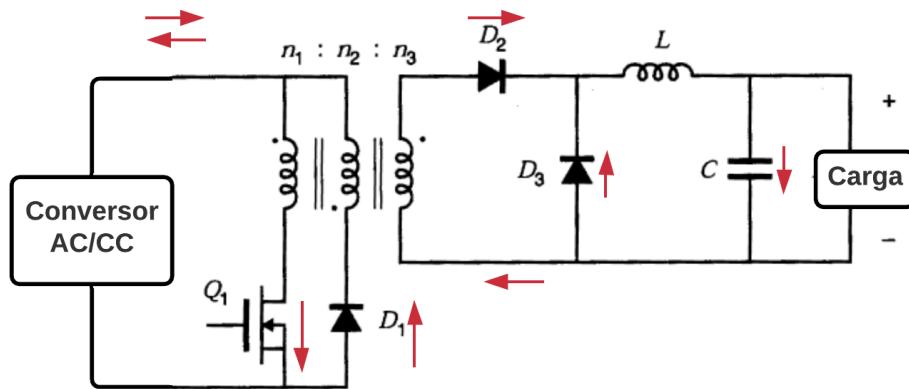


Figura 49 – Configuração do conversor *Forward* a ser implementado com indicação do fluxo de corrente (setas vermelhas). Fonte: [Erickson \(1999\)](#), com modificações do autor.

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 no momento da limpeza do equipamento.
- Não depende de armazenamento de energia, a transferência de ocorre diretamente através do transformador;
- Corrente de saída é 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 20 – Parâmetros de projeto do conversor *Forward*.

Parâmetro	Simbologia	Valor
Tensão de Entrada	V_i	127-220 Vcc
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

NOTAS: Este design é baseado em valores típicos.

Circuitos integradores

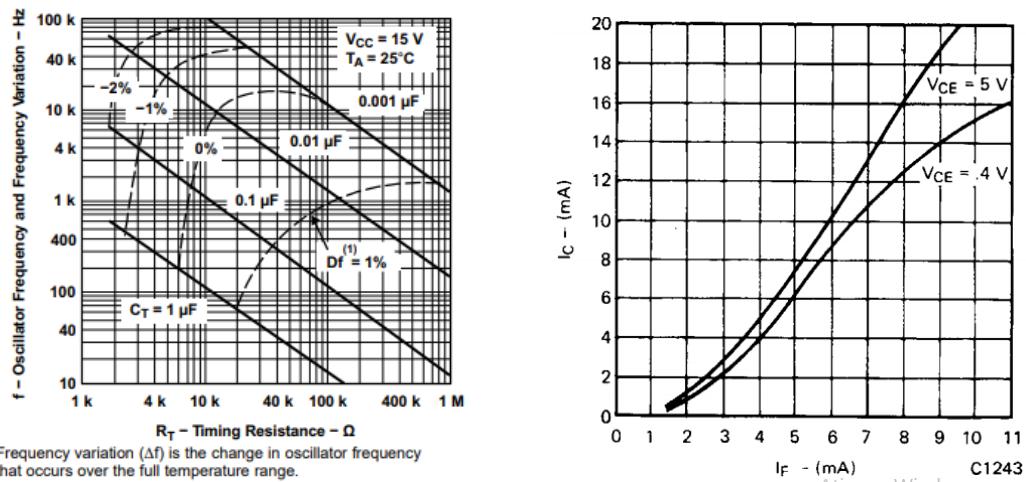
Como a tensão de saída $v(t)$ do conversor é uma função do *duty cycle*, um sistema de controle pode ser construído de forma que varie o *duty cycle* para fazer com que a tensão de saída siga uma determinada referência, a operação deste sistema se dá da seguinte maneira: a tensão de saída é detectada usando um divisor de tensão, que 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 50kHz. 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 figura 50a, utilizaremos uma capacitância de 1nF e uma resistência de $12\text{k}\Omega$, dessa forma, tem-se 50kHz .



(a) Gráfico da frequência de oscilação *versus* resistência e capacitância 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 50 – 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 50b. A tabela 21 contém os componentes selecionados para o projeto da fonte chaveada. O apêndice I contém o memorial de cálculo detalhado para o projeto e o diagrama completo da fonte, figura 156.

Tabela 21 – Componentes selecionados para o conversor *Forward*.

Parâmetro	Modelo/Valor Comercial
Díodo de desmagnetização	MUR110EG
Díodo Série Saída	MUR860G
Díodo Paralelo Saída	MUR860G
MOSFET	IRFBG20
Capacitor	220uF
Indutor	100uH
Circuito de controle	CI TL494
Feedback Isolado	CI TIL111
Núcleo do transformador	E-42/21/15

7.2.3 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 ([MAESTRI, 2018](#)):

- Autonomia do sistema, ou seja, o tempo mínimo que a bateria deverá prover para que o equipamento funcione nos cenários emergenciais é de 1 hora;
- O custo da bateria, este aumenta quanto maior for o tempo de autonomia.
- Profundidade de descarga. A vida útil da bateria é reduzida quanto maior for a profundidade de descarga.

Ao considerar uma autonomia da bateria (o tempo mínimo que a bateria deverá prover), de acordo com a corrente de projeto estabelecida em [7](#) (15A), de uma hora.

Será utilizada uma Bateria de Lítion Íon modelo CRG-01203M, considerando carga suficiente para a disponibilidade no mercado e autonomia desejada. A escolha dessa bateria deu-se pela alta densidade de energia e elevado potencial, baixo índice de auto-descarga e elevadas correntes de descarga. Optou-se pela opção de apenas uma bateria no dispensador, para não alterar as dimensões e melhor atender o projeto.

A bateria escolhida para alimentar o projeto, tem as seguintes especificações: Capacidade de carga 15Ah, tensão nominal 12 V, corrente de carga normal 2A e corrente de descarga contínua normal de 7,5A.

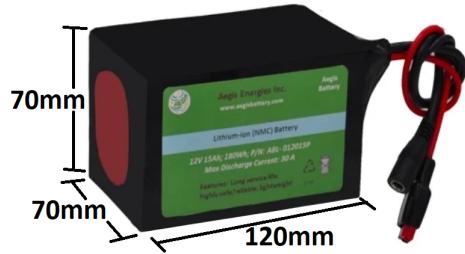


Figura 51 – Bateria de Íon-Lítio, 12V 15Ah selecionada para o projeto.

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 – 15A/12V, de 5 Terminais.

As proteções são essenciais para reduzir a probabilidade e as consequências das falhas. Apesar de apresentarem um custo a mais no projeto, as proteções acrescentam confiabilidade ao sistema. Para a proteção da bateria, foi utilizado um fusível de vidro 5x20 - 2,5A 250V, que se abre no caso de uma corrente excessiva. Por meio de uma verificação periódica será possível observar o status da bateria no mostrador de cristal líquido (*Liquid Crystal Display - LCD*) do equipamento.

7.3 Dimensionamento dos Condutores

O dimensionamento dos condutores foi realizado com base na norma NBR 5410/2004. O objetivo principal desta norma é estabelecer condições a que devem satisfazer as instalações elétricas de baixa tensão a fim de garantir a segurança de pessoas e animais, 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 tabela 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 equação 7.1, 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.

$$I_{projeto} = \frac{P_{circuito} \cdot 1,2}{V \cdot FP \cdot \eta} \quad (7.1)$$

Tabela 22 – Determinação da seção dos condutores.

Circuito	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

7.4 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.

$$I_{fusivel} = 1,2 \cdot \frac{P_{\text{operação}}}{V_N \cdot FP \cdot \eta} = \frac{222 \cdot 1,2}{110 \cdot 1 \cdot 1} = 2,42 \quad A \quad (7.2)$$

Para o cálculo, equação 7.2, foi considerado a tensão de entrada igual a 110 pois seria a situação mais crítica. A categoria de utilização do fusível será gG para a proteção de linha que atuará na presença tanto de curto-círcuito como de sobrecarga. Foi selecionado um fusível de vidro 5x20 - 2,5A 250V.

7.5 Barramentos CC

As cargas que exigem tensão específica no projeto são: microcontroladores, raspberry, *display* e sensores fotoelétricos e de biometria, todos em um nível de 5V. Somada as correntes das cargas, obteve-se 4,015A. Portanto, necessita-se de um conversor abajador de tensão (*Step Down*), optou-se pelo módulo regulador de tensão XL4016, com entrada de 4-40V até 8A e saída de 1.25V A 36V.



Figura 52 – Conversor CC/CC *Step-Down* utilizado para transformar a tensão de 12V para 5V.

8 Solução de Software

8.1 Arquitetura da Solução

8.1.1 Visão geral

O escopo da solução de software envolve a implementação de uma interface *Front End* e de microsserviços gerenciados por um *API Gateway*. Envolve também a criação de módulos que ficarão instalados em componentes eletrônicos (*Sistema Embarcado*). O objetivo da solução consiste em estabelecer a comunicação usuário - máquina através de um dispositivo móvel. Serão utilizados conceitos como Arquitetura de Microsserviços, *Internet of Things*, *Reactive Programming* e *Cloud Deploy*. A figura abaixo representa uma visão ampliada da solução de software.

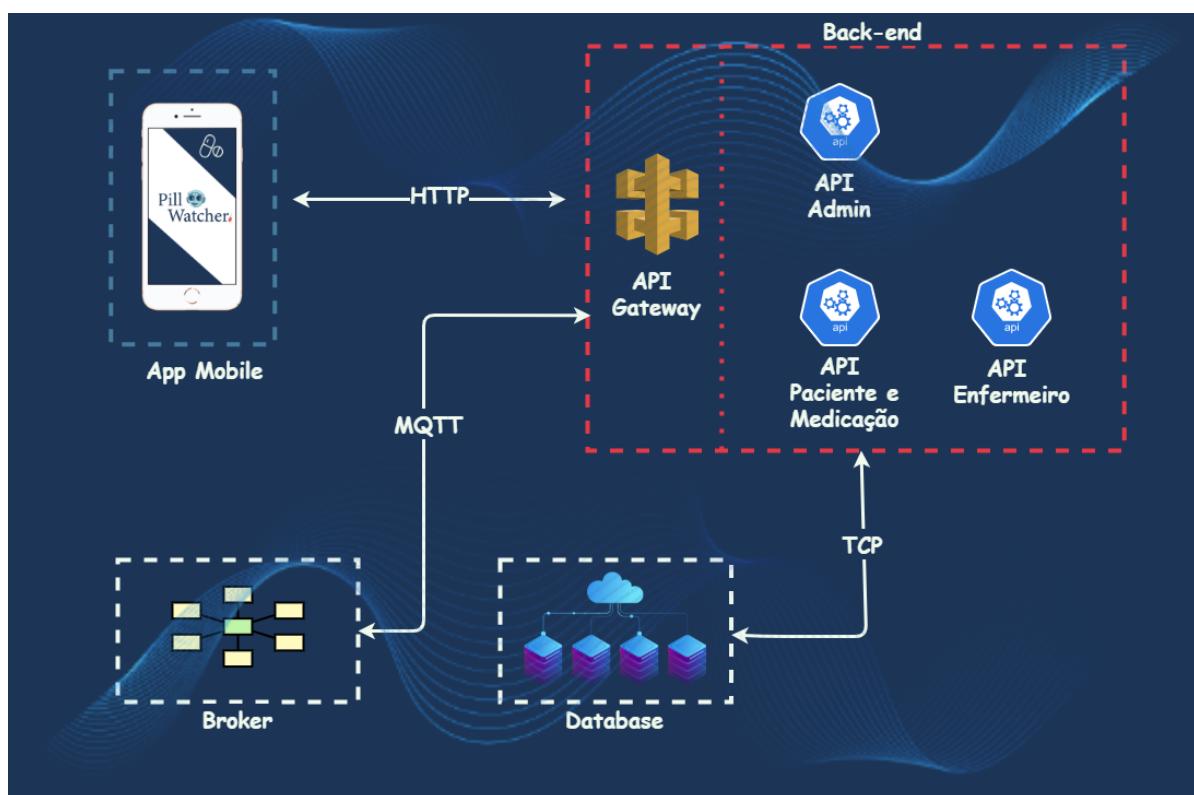


Figura 53 – Solução de Software

8.1.2 Banco de Dados

Para armazenar dados referente à biometria, cadastro de pacientes, medicações, receitas e quaisquer tipo de conteúdos que se relacionam com a solução, 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 serão armazenados localmente, dentro da aplicação física, gerenciados pela *Sistema Embarcado*.

O armazenamento na nuvem é adquirido de um fornecedor externo, que tem e opera capacidade de armazenamento físico de dados e entrega essa pela Internet com um modelo de pagamento conforme o uso. 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](#)).

8.1.3 Back-end

O *Back-end* 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.

Será desenvolvido com a arquitetura de microsserviços, utilizando o *framework* Spring (Boot, Data, Security) e *libs* (bibliotecas) em *Python* para a validação de impressões digitais. Tais aplicações estabelecerão comunicação entre si através de um sistema gerenciador (API Gateway), utilizando *Spring Cloud*.

Também será responsável por fazer a integração com o dispensador de medicamentos, utilizando os conceitos de *Internet of Things*. Para essa integração, será utilizado o *middleware* de filas *Mosquitto* para o repasse e recebimento de informações. 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.

8.1.4 Front-end

A aplicação móvel, desenvolvida utilizando o *framework React Native*, 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 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.

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

8.1.5 Construção e Entrega de Software

Para realizar a validação de alterações realizadas em código fonte, optou-se utilizar *TravisCI* para integração contínua, onde 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;
- *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;
- *Deploy*: a solução é implantada em um ambiente de produção e/ou desenvolvimento.

O *SonarQube* conforme descrito acima na etapa de *SonarQube Analysis*, trata-se de uma ferramenta em código aberto desenvolvida pela empresa *SonarSource* para inspeção contínua da qualidade do código, execução de revisões automáticas com análise estática do código para detecção de odores de código e vulnerabilidades de segurança em mais de 20 linguagens de programação. 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 (os quais o SonarQube mede e valida).

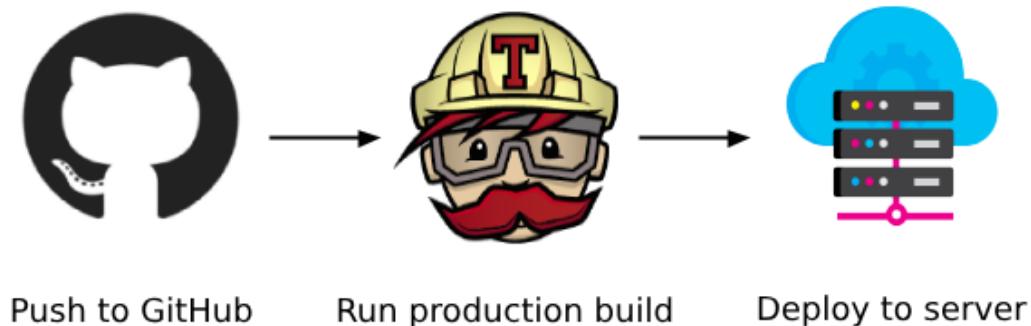


Figura 54 – Software Deploy

A etapa de *Deploy*, listada acima, depende que haja um ambiente pré configurado para ser realizada. Para isso, optou-se utilizar *Docker* para conteinerização de softwares auxiliares e a *One Click Hosting* para hospedagem dos serviços em nuvem.

8.2 Arquitetura da Informação

8.2.1 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. Fora 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.

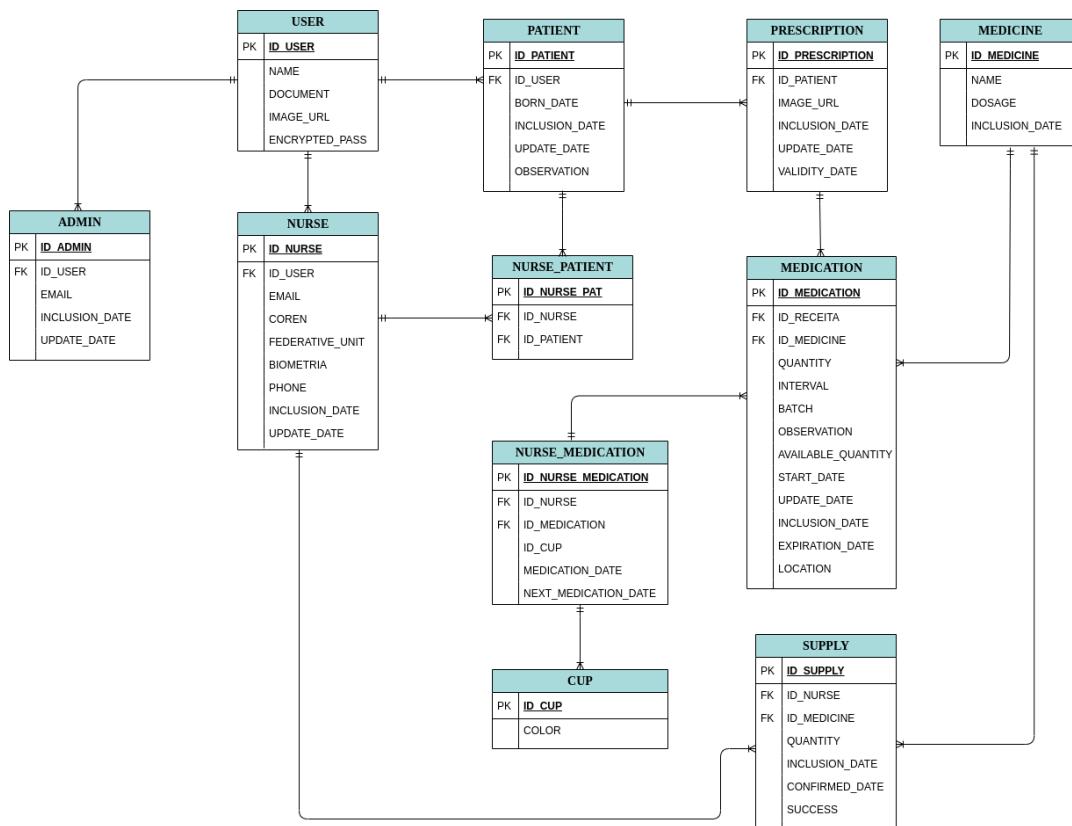


Figura 55 – MER

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. 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.

8.3 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.

8.4 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 tem os diagramas separados dos principais usuários do sistema.

1. Diagrama de Caso de Uso do Mantenedor

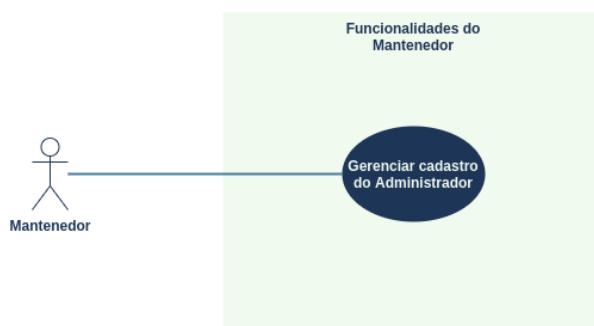


Figura 56 – Caso de Uso - Mantenedor

Nesse diagrama, foi listada a principal e única funcionalidade do usuário mantenedor.

2. Diagrama de Caso de Uso do Sistema

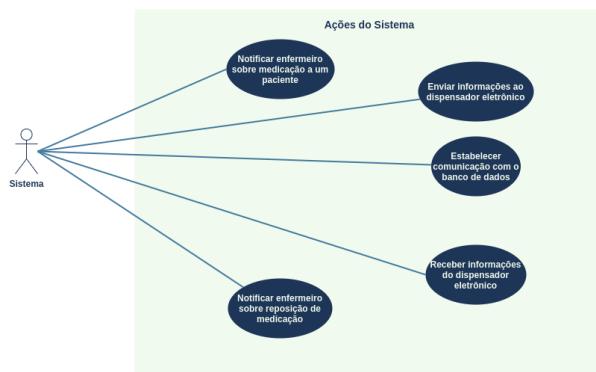


Figura 57 – Caso de Uso - Sistema

Nesse diagrama foram listadas as principais ações do sistema. O Diagrama de Caso de Uso 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

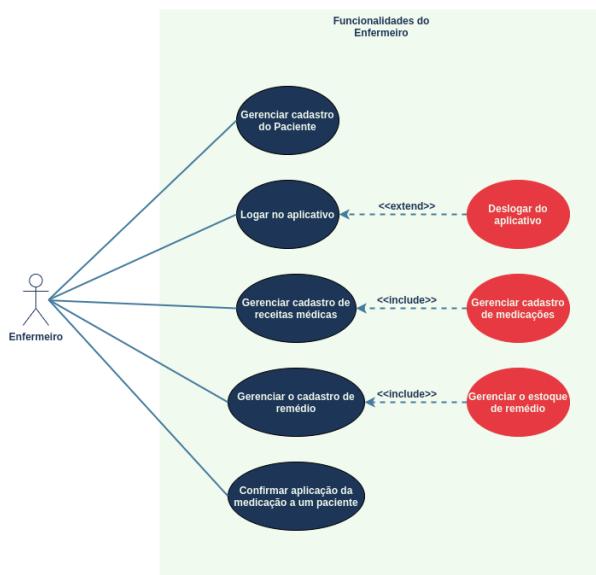


Figura 58 – Caso de Uso - Enfermeiro

Nesse diagrama, foram listadas as principais funcionalidades do enfermeiro. Esse é o usuário principal do sistema.

4. Diagrama de Caso de Uso do Administrador

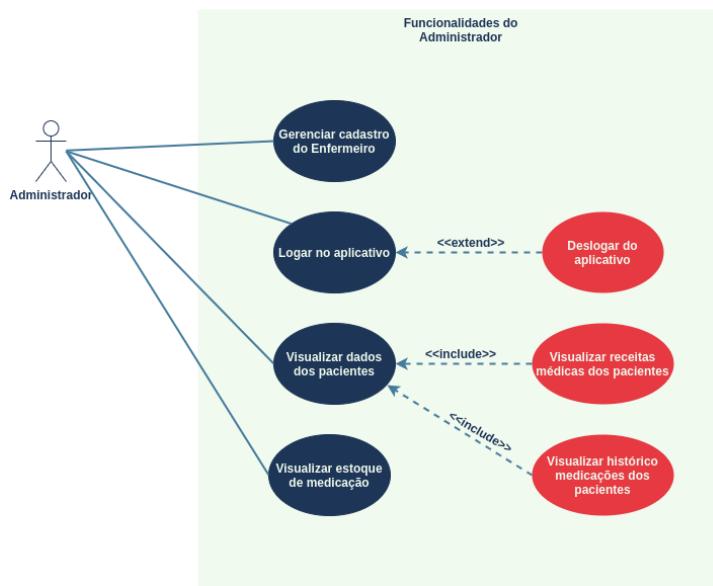


Figura 59 – Caso de Uso - Administrador

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

8.5 Diagrama de Pacotes

Diagramas de pacotes são módulos do sistema divididos em agrupamentos lógicos mostrando a dependência entre eles. Foi diagramado os pacotes que fazem parte da solução back-end, como mostra a imagem 60. 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 representação 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.

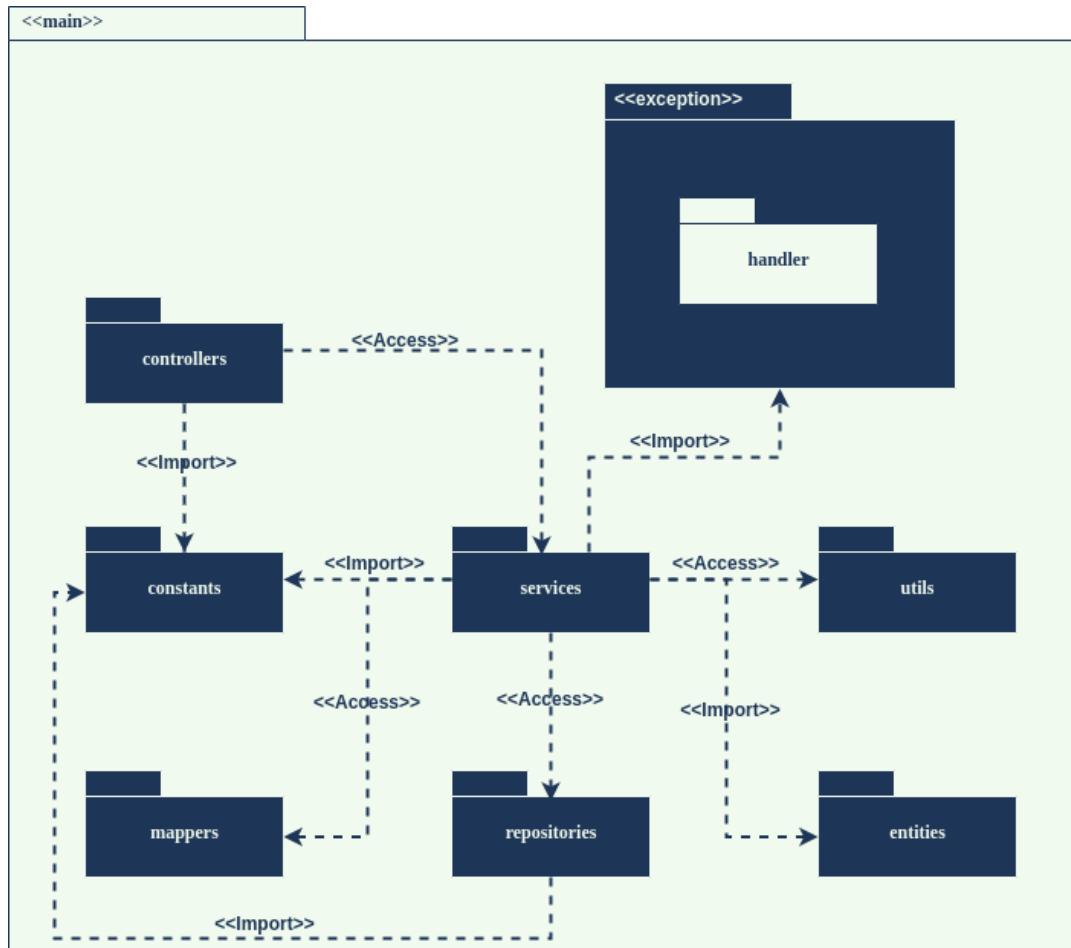


Figura 60 – Diagrama de Pacotes do Back-end

8.6 Nonfunctional Requirements (NFRs)

Os Requisitos Não Funcionais (NFRs) definem os atributos do sistema, como segurança, confiabilidade, desempenho, escalabilidade e usabilidade. Eles servem como restrições ou 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 figura 61. Para atingir essa meta, foram levantadas 3 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, a solução atua em um cenário sensível, assim 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 e dos familiares.

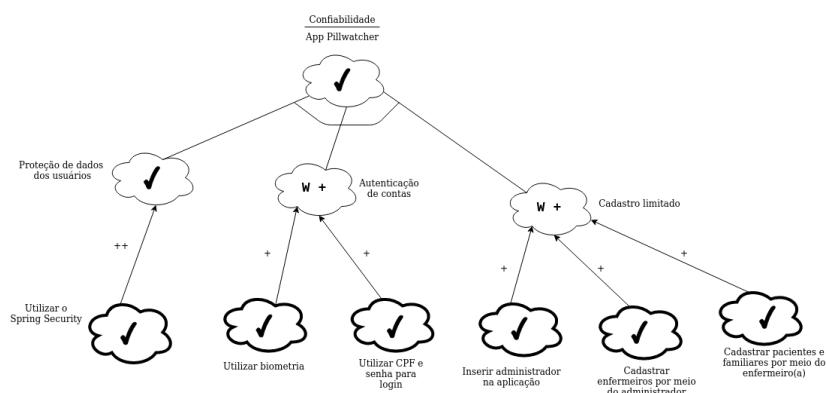


Figura 61 – NFR de confiabilidade

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 figura 62. Para garantir a autenticidade do sistema será implementado um sistema de autenticação de dados do usuário que poderá ter acesso à aplicação. 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 fica por conta da verificação e execução dos testes de software como por exemplo os testes unitários.

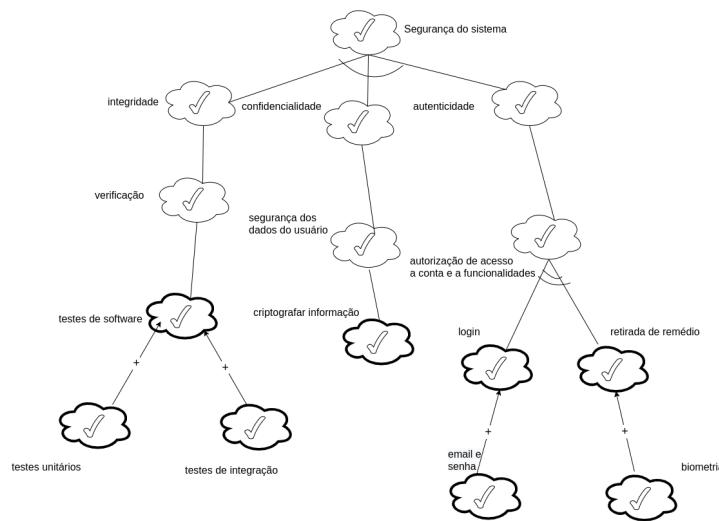


Figura 62 – NFR de segurança

Com relação aos aspectos relevantes que afetam o desempenho da aplicação, temos a redução do uso de memória por meio de uma dinâmica de páginas que reduzam 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 se darão por meio da hospedagem de um servidor eficiente como o Heroku.

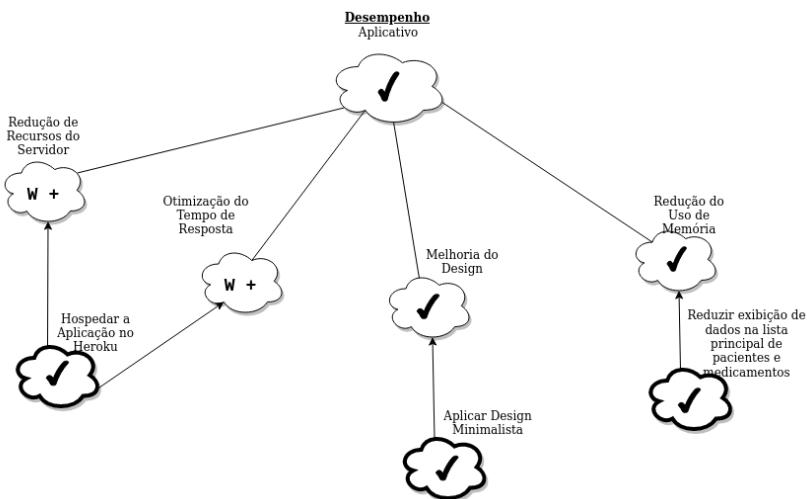


Figura 63 – NFR de desempenho

Para atender aos módulos de usabilidade da aplicação e consequentemente atender as necessidades de utilização do usuário, estaremos dando enfoque em três pontos

principais: Boa comunicação, por meio da utilização de 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.

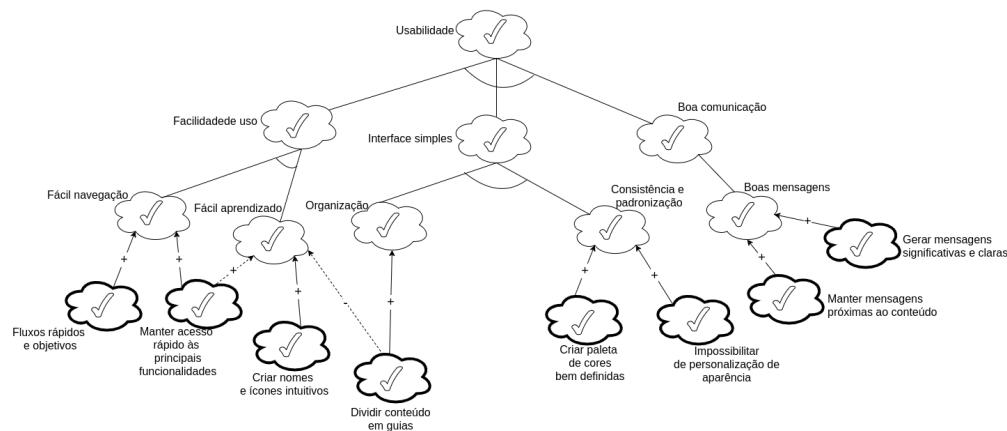


Figura 64 – NFR de usabilidade

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 protocolos 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 a 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.

8.7.3 Reactive Programming

A programação reativa é um paradigma de programação assíncrona, preocupado com fluxos de dados e a 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).

8.8 Protótipo de Alta Fidelidade

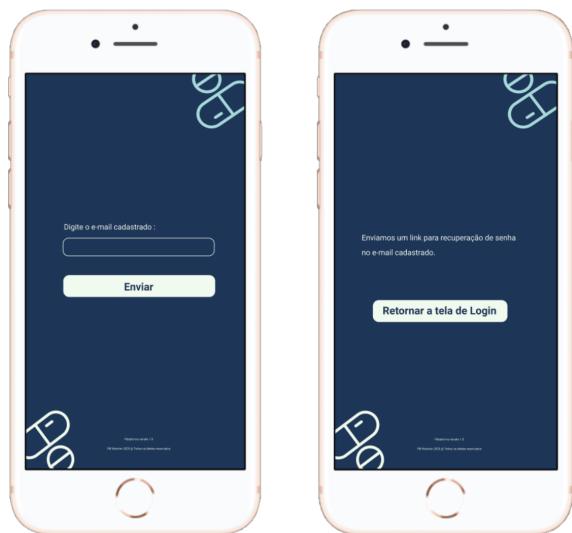
A prototipagem de alta fidelidade é a técnica que mais se aproxima do produto final. Por meio da aplicação dessa, é possível avaliar questões de Interface do Usuário (UI - User Interface) e de Experiência do Usuário (*UX - User Experience*). Sendo esses conteúdos extremamente relevantes em termos de desenvolvimento de *front-end*. Abaixo está ilustrado o protótipo desenvolvido para o Pillwatcher dividido por fluxo de cada perfil de usuário.

8.8.1 Login

A tela 65a será exibida logo após a inicialização da aplicação móvel. A tela de login será responsável por autenticar os usuários via CPF e senha e por oferecer a opção de recuperação de senha, caso o usuário a tenha esquecido. A figura 65a retrata o fluxo de recuperação de senha. Caso essa opção tenha sido selecionada, o próprio digitará o email cadastrado na terceira tela e receberá um *feedback* dessa ação na quarta tela.



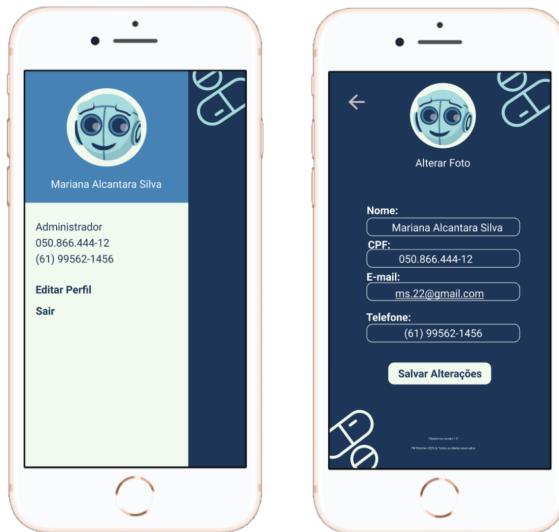
(a) Tela inicial e tela de login



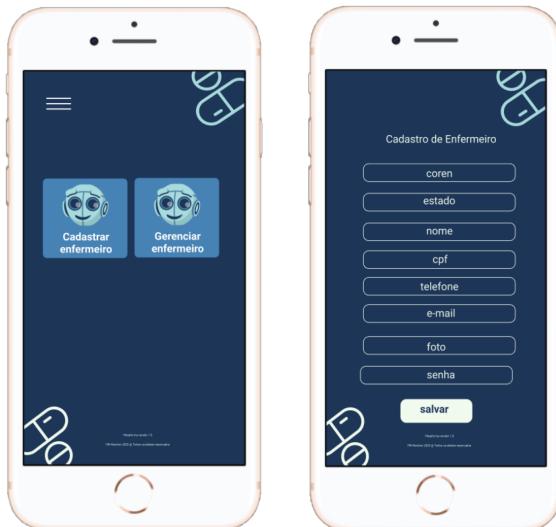
(a) Fluxo para recuperar senha

Figura 65 – Fluxo de Login

8.8.2 Administrador(a)



(a) Sidebar e tela para alterar dados do perfil

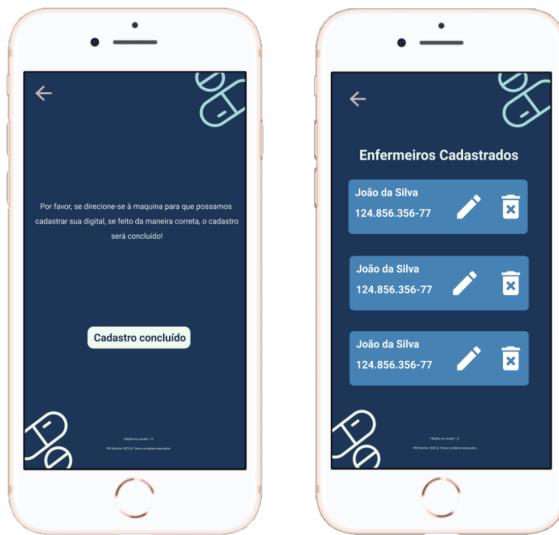


(a) Menu Inicial e Etapa 1 do cadastro de enfermeiro(a)

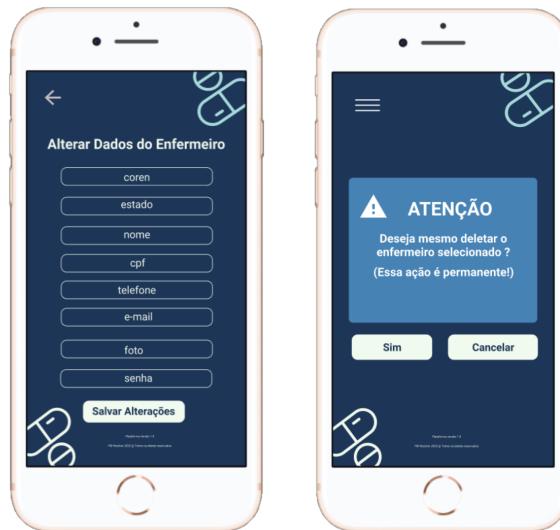
Figura 66 – Administrador - Parte 1

A figura 66a representa a *sidebar* do administrador que contém a foto de perfil, o tipo de usuário, o CPF, o telefone e as opções de editar perfil e sair. Caso o usuário selecione editar perfil, será apresentada a segunda tela onde o usuário pode alterar os dados que foram cadastrados. Já a figura 66a apresenta o menu inicial do administrador, onde

o possibilita de cadastrar um(a) enfermeiro(a) e gerenciar os enfermeiros cadastrados. Por fim, a última tela demonstra a primeira etapa do cadastro de um enfermeiro.



(a) Etapa 2 do cadastro de enfermeiro(a) e tela 1 do gerenciamento de enfermeiros



(a) Alterar dados do(a) enfermeiro(a) e tela 1 do fluxo de deletar um(a) enfermeiro(a)

Figura 67 – Administrador - Parte 2

Na imagem 67a são retratadas a etapa 2 de cadastro de enfermeiro que solicita que o usuário se dirija até a máquina para registrar sua identidade biométrica e a primeira tela do fluxo de gerenciamento de enfermeiros que lista todos os enfermeiros

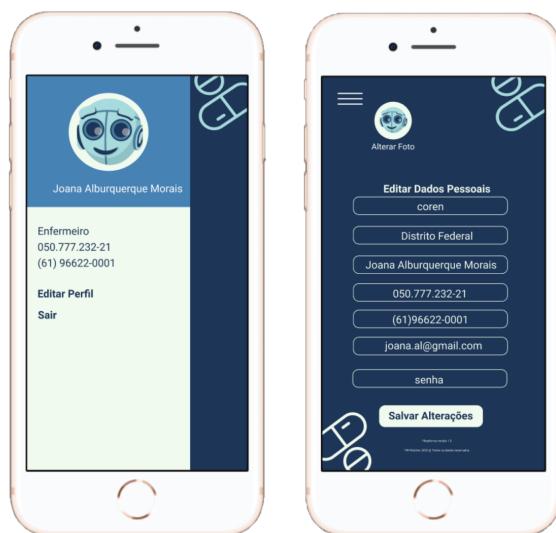
cadastrados e para cada um é possível editar os dados ou deletá-lo do sistema. A gravação 67a demonstra, caso essa alternativa tenha sido selecionada na tela anterior, a tela de editar os dados e a primeira tela do fluxo de deletar um enfermeiro do sistema que solicita a confirmação do usuário para completar essa ação.

A Tela 68 é responsável por fornecer o *feedback* de completude da ação de apagar um enfermeiro do sistema.

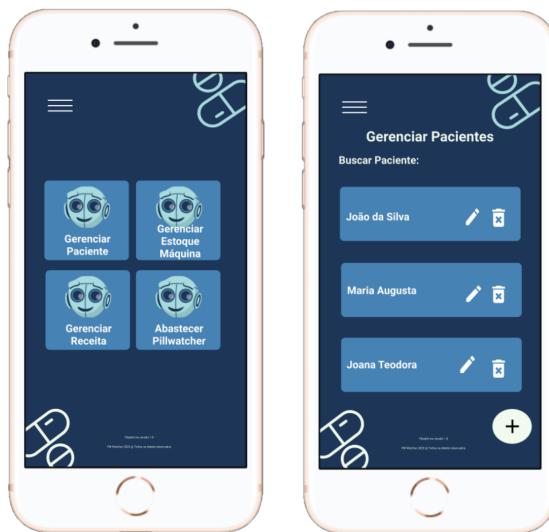


Figura 68 – Administrador - Parte 3

8.8.3 Enfermeiro(a)



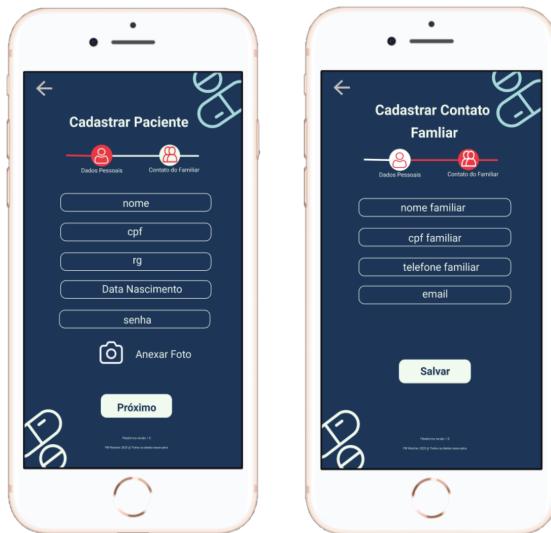
(a) Sidebar e tela para alterar dados do perfil



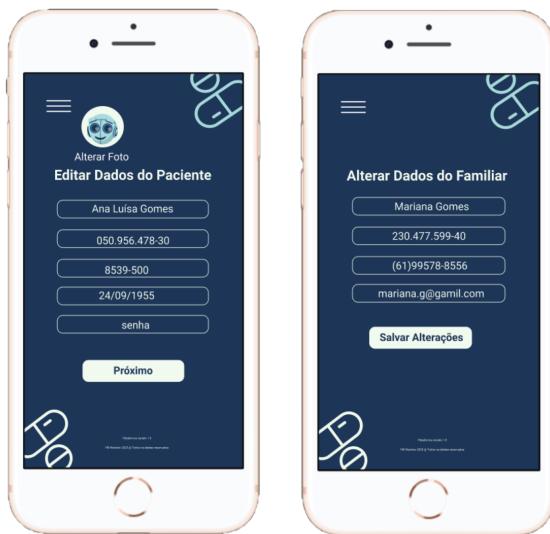
(a) Menu inicial e tela 1 de gerenciar pacientes

Figura 69 – Enfermeiro - Parte 1

Após a realização do login por parte do enfermeiro, o próprio será direcionado para o menu inicial, onde terá as opções de gerenciamento. No canto superior esquerdo, encontra-se o link para a *sidebar*, a qual terá a opção de sair e de editar dados do usuário. No menu principal, encontra-se a opção de gerenciar paciente, uma das mais importantes, que é representado pela tela 69a. Nessa tela, as funcionalidades servem para dar ao enfermeiro total controle dos dados do paciente.



(a) Etapa 1 e 2 de cadastro de um paciente



(a) Etapa 1 e 2 para alterar dados de um paciente

Figura 70 – Enfermeiro - Parte 2

As telas referentes à imagem 70a referem-se ao cadastro de paciente, que fora dividido em duas partes. A primeira diz respeito onde os dados do paciente são colocados e a segunda onde se inserem os dados de algum familiar responsável.

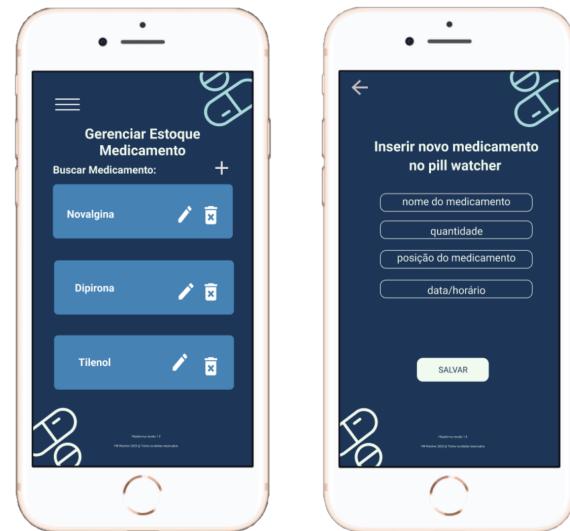
Na terceira tela da imagem 70a o enfermeiro pode editar os dados de paciente. O paciente não terá essa opção. O próprio deverá entrar em contato com o enfermeiro e informar os dados que serão atualizados. A quarta tela da imagem 70a é para a edição dos dados do familiar, que será feito da mesma forma dos dados do paciente.

A primeira e segunda tela da imagem 71a mostram um fluxo de deleção de algum paciente. Quando um enfermeiro clicar em excluir, uma mensagem de atenção aparecerá, e, se o enfermeiro clicar na opção 'Sim', a tela 71a de confirmação de deleção será mostrada, com a opção de voltar para a tela de gerenciamento de paciente.

O enfermeiro possui também a opção de gerenciar o estoque da máquina, através do menu inicial clicando em um botão chamado "Gerenciar Estoque". Tal botão conecta-se com a tela 71a. O gerenciamento de estoque possui o mesmo padrão de gerenciamento de paciente, onde é possível inserir um novo medicamento. Para tal, a tela 71a foi elaborada para isso.

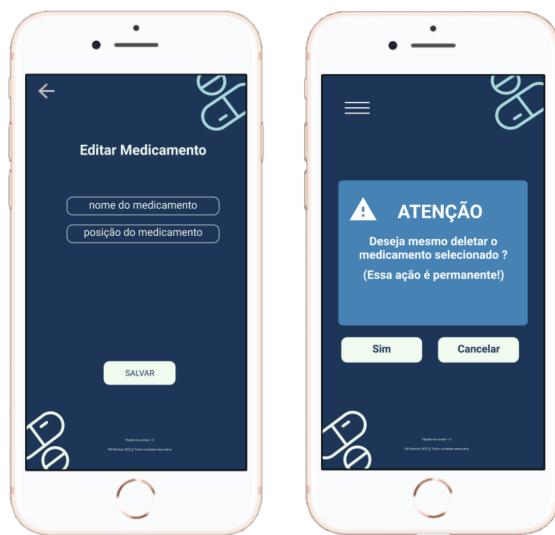


(a) Fluxo para deletar um paciente do App

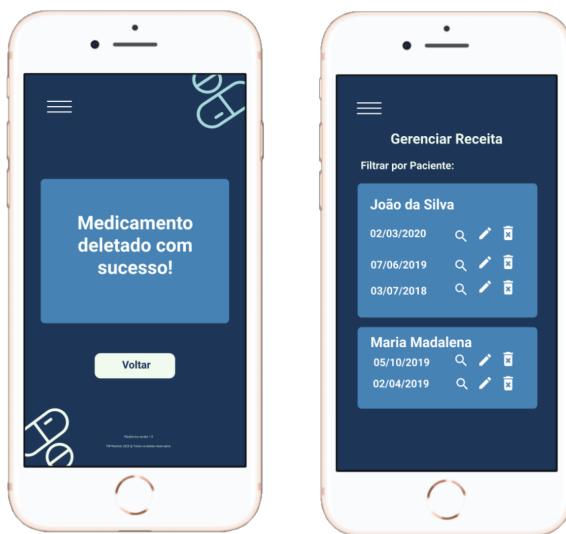


(a) Tela inicial de gerenciar estoque da máquina e tela para inserir novo medicamento na máquina

Figura 71 – Enfermeiro - Parte 3



(a) Tela para editar dados do medicamento da máquina e tela 1 do fluxo para deletar um medicamento da máquina



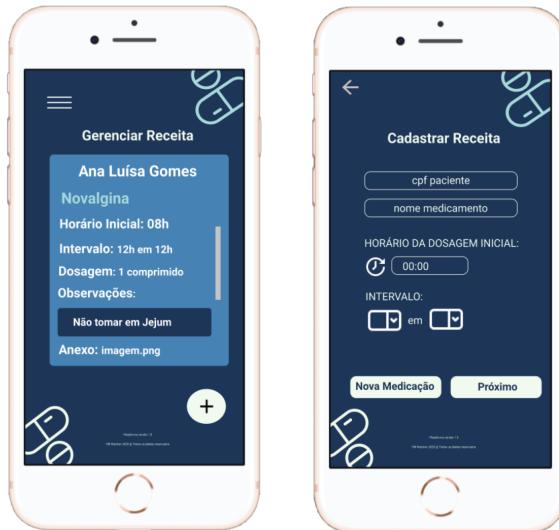
(a) Tela 2 do fluxo para deletar um medicamento da máquina e tela 1 do fluxo de Gerenciar Receita

Figura 72 – Enfermeiro - Parte 4

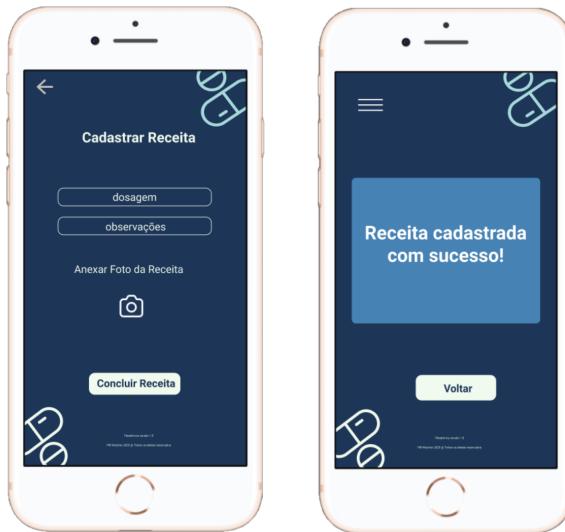
A primeira tela da imagem 72a contém os campos onde o enfermeiro poderá atualizar os dados de medicamento na máquina. A segunda tela apresenta a ação de deletar um medicamento, o qual, por sua vez, verifica se o medicamento realmente deve ser deletado. Caso o enfermeiro clique na opção 'Sim', a tela de confirmação aparecerá,

com o botão voltar, que permite ao usuário voltar para a página de gerenciamento de medicamentos.

A imagem 72a mostra a funcionalidade de gerenciar receita de paciente, com o nome do paciente seguido dos remédios que o próprio toma. Os botões de deletar, editar e adicionar receita estão presentes nessa página.



(a) Visualizar receita e tela 1 do fluxo para cadastrar uma receita



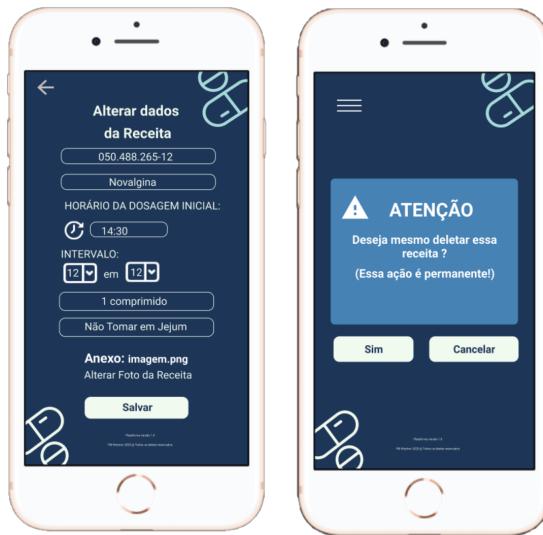
(a) Tela 2 e 3 do fluxo para cadastrar uma receita

Figura 73 – Enfermeiro - Parte 5

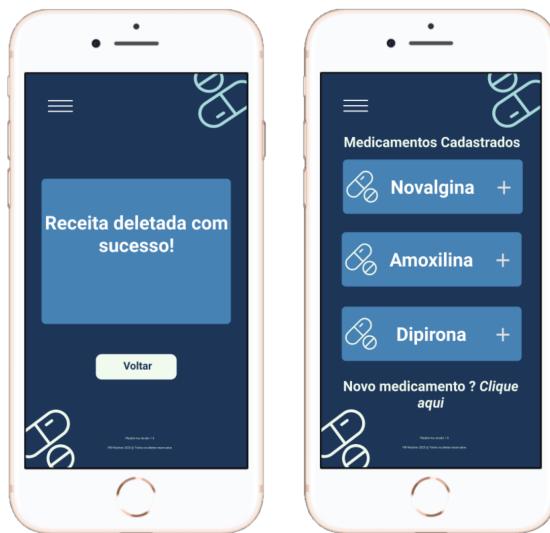
Ao clicar em uma receita específica, a primeira tela da imagem 73a aparecerá,

com as informações de cada medicamento. A segunda tela mostra o cadastro de receita, que é feito em duas etapas. A segunda, terceira e quarta tela mostram o fluxo completo. Por fim, a quarta tela diz respeito à confirmação do cadastro.

Quando o enfermeiro clicar no botão de editar dados de receita, a primeira tela da imagem 74a aparecerá. Após a inicialização da tela, é realizada a atualização dos dados. A segunda e terceira tela representam o fluxo de deleção de receita, onde a primeira diz respeito à confirmação por parte do usuário e a segunda evidencia que a receita fora realmente deletada.



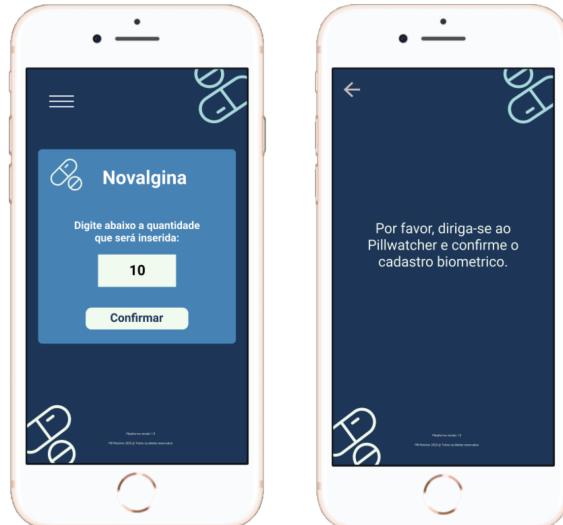
(a) Tela para alterar dados da receita e tela 1 do fluxo para deletar uma receita



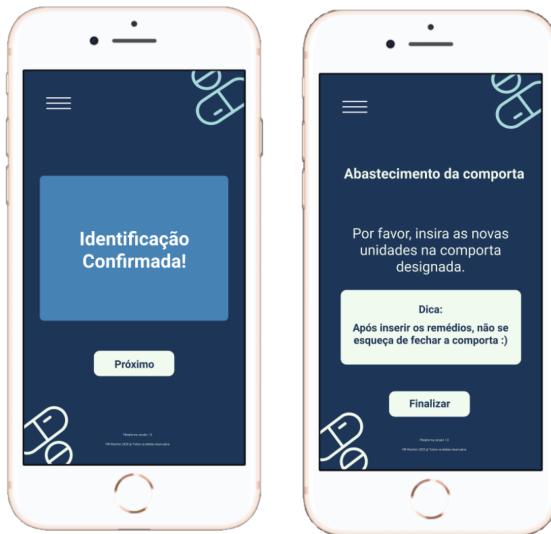
(a) Tela 2 do fluxo para deletar uma receita e tela 1 do fluxo de abastecimento da máquina

Figura 74 – Enfermeiro - Parte 6

A última tela mostra a lista de medicamentos cadastrados na máquina, onde o enfermeiro pode ser direcionado para a página de adição de medicamento, junto com um botão que chama a tela de cadastro de medicamento.



(a) Telas 2 e 3 do fluxo de abastecimento



(a) Telas 4 e 5 do fluxo de abastecimento

Figura 75 – Enfermeiro - Parte 7

O enfermeiro deve informar a quantidade de cápsulas que serão adicionados na máquina. A segunda tela informa ao usuário que é necessário a confirmação biométrica. Se a confirmação for realizada com sucesso a terceira tela aparecerá, e a quarta tela informará ao usuário que os remédios já poderão ser inseridos na comporta.



(a) Tela 6 do fluxo de abastecimento e tela de notificação de retirada de medicação

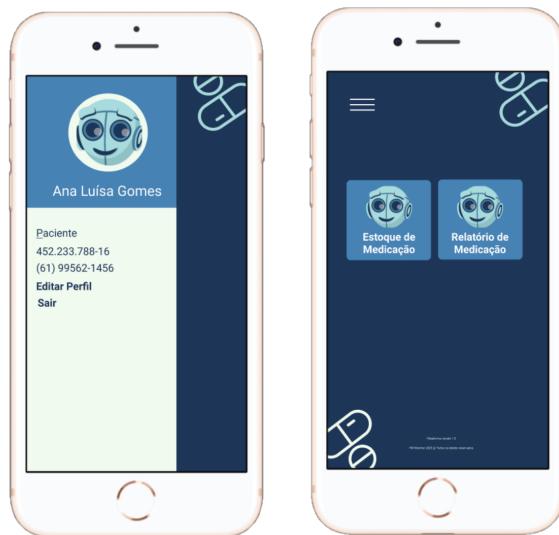
Figura 76 – Enfermeiro - Parte 8

[76a](#) demonstra a tela de *feedback* do abastecimento da máquina e ao lado é

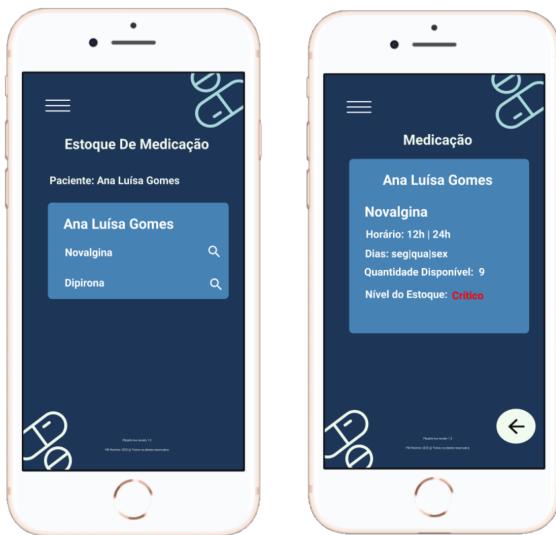
apresentado a notificação para retirada de uma medicação na máquina contendo o nome do enfermeiro, o paciente, a medicação e as observações e o botão "Entregue" para o enfermeiro confirmar a entrega da medicação.

8.8.4 Paciente

Em 77a são representadas a *sidebar* do paciente com a foto, tipo de usuário, CPF, telefone e opções de editar perfil e sair e o menu inicial do paciente que o permite visualizar o estoque e o relatório de medicação. Ao lado (77a), é apresentado o fluxo de visualizar estoque. Na tela 1 é exibido o nome do paciente, todas as suas medicações juntamente com a opção de mostrar mais detalhes sobre essa, caso esse caminho seja acionado, é mostrado o nome do paciente, o nome da medicação, o horário, os dias, a quantidade disponível e o nível do estoque.



(a) Sidebar e menu inicial



(a) Tela 1 e 2 do Gerenciamento de Estoque Pessoal

Figura 77 – Paciente - Parte 1



(a) Relatório semanal de medicação

Figura 78 – Paciente - Parte 2

78a expõe o relatório semanal de medicações de um paciente com a data, o nome do medicamento, o enfermeiro e o status.

9 Arquitetura de Integração

A arquitetura de integração contém aspectos da solução de eletrônica, energia, estrutura e software e está representado na figura 79. Para a alimentação dos componentes no dispositivo a solução de energia projetou uma fonte de 12V e 15A para realizar a alimentação dos *drivers* do motor DC, do motor de passo, do solenoide e do atuador. Para o restante dos componentes eletrônicos será utilizado um regulador de tensão de 12V para uma saída de 5V e 8A, representado no diagrama como a fonte de 5V e 8 A.

A solução eletrônica está representado pelos subsistemas do modulo de medição, módulo de interação e módulo de acionamento dos atuadores. A conexão entre esse módulos é feita pela central de controle representada pelo microprocessador e microcontroladores. Para comunicação entre a 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 *frontend* é representado pelo módulo de interação e se comunica com o *backend*, em específico o módulo de exposição, por meio do protocolo HTTP.

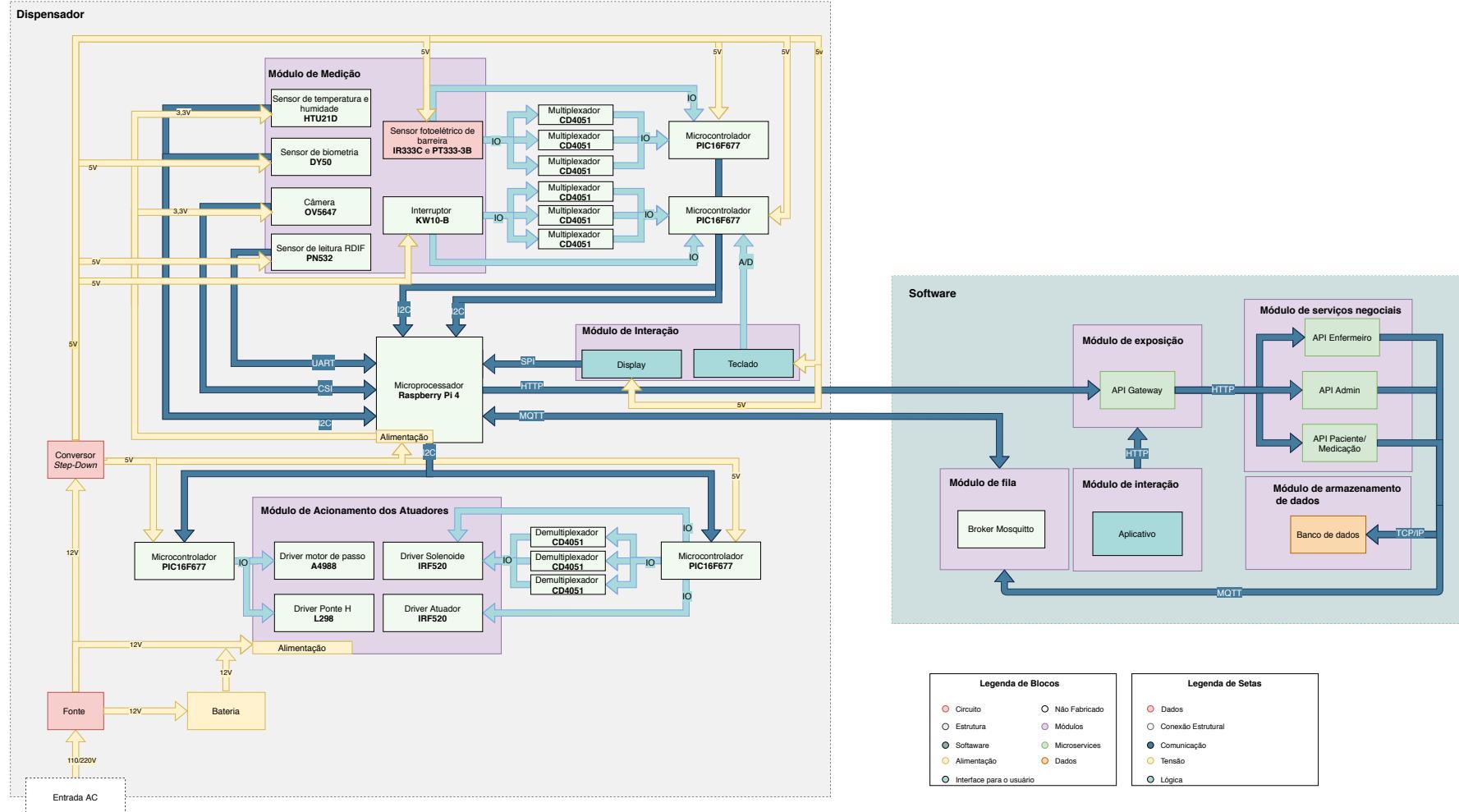


Figura 79 – Arquitetura de Integração

10 Custos

Os custos preliminares para a construção do projeto foram levantados a partir dos principais gastos de cada área e compilados na tabela a seguir.

Tabela 23 – Custos Preliminares

ID	Componente	Modelo	Fornecedor	Qty.	Preço R\$	
					Unitário	Final
CC1	Microprocessador embarcado	Raspberry Pi 4 B 4Gbs	FilipeFlop	1	R\$ 619,99	R\$ 619,99
CC2	Microcontrolador	PIC16F677	Baú da Eletrônica	4	R\$ 12,27	R\$ 49,08
CC3	Sensor de Temperatura e Umidade	HTU21D	Curto Circuito	1	R\$ 18,90	R\$ 18,90
CC4	Interruptor	Micro Switch kW-10 B	Baú da Eletrônica	27	R\$ 0,76	R\$ 54,72
CC5	Emissor e Receptor de IR	IR333C e PT333-3B	Robo Core	30	R\$ 2,50	R\$ 75
CC6	CI Comparador	LM393	Hu Infinito	30	R\$ 0,69	R\$ 20,70
CC7	Sensor de Biometria	DY50	Mercado Livre	1	R\$ 69,00	R\$ 69,00
CC8	Sensor de Leitura de RFID	PN532	Mercado Livre	1	R\$ 33,99	R\$ 33,99
CC9	Etiqueta Tag RFID (10 un.)	x	Filipe Flop	1	R\$ 15,90	R\$ 15,90
CC10	Câmera	OV5647	Amazon	1	R\$ 69,90	R\$ 69,90
CC11	Display	LCD TFT 3,2"	FilipeFlop	1	R\$ 119,90	R\$ 119,90
CC12	Teclado	Adkeypad 5 Botões	MSS Eletrônica	1	R\$ 12,90	R\$ 12,90
CC13	Clis Mux/Demux	CD4051	Hu Infinito	9	R\$ 1,25	R\$ 11,25
CC14	Ponte H	L298N	FilipeFlop	1	R\$ 22,90	R\$ 22,90
CC15	Driver Solenoides/Atuador	IRF520N	Baú da Eletrônica	28	R\$ 8,46	R\$ 236,88
CC16	Driver Motor de Passo	A4988	Baú da Eletrônica	5	R\$ 17,90	R\$ 89,50
CC17	Pormenores	x	x	x	x	R\$ 150,00
CC						R\$ 1670,51
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
x						
CA						R\$ 3312,26
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

ID	Componente	Modelo	Fornecedor	Qtd.	Preço R\$	
					Unitário	Final
CE1	Tubos de perfil quadrado	50x50x1,5	Obramax	20m	R\$ 16,15/m	R\$ 323,00
CE2	Mancais de suporte dos fusos	DI 23mm	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 23mm DI 16mm	Mercado Livre	5	R\$ 28,90	R\$ 144,50
CE5	Chapa de aço para suporte do atuador	Aço 200x100x1,5	Aladim Metais	1	R\$ 19,70	R\$ 19,70
CE6	Cantoneira perfil circular	Aço 29x29 300mm	BAGLINOX	4	R\$ 5,97	R\$ 23,88
CE7	Chapas da carcaça externa	Aço 590x925x1,0	Aladim Metais	4	R\$ 64,72	R\$ 323,00
CE8	Engrenagens de suporte da esteira	Nylon, RD 21, CR38	Unirons	4	R\$ 57,52	R\$ 230,00
CE9	Eixos de suporte da esteira	Nylon, 89mm	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	Aladim metais	4	R\$ 28,50	R\$ 114,00
CE12	Fusos mecânicos de plástico	Tarugo D16mm L1m	Plastecno	5	R\$ 20,00	R\$ 100,00
CE13	Copo para medicamentos de PE	Protótipo em ABS	3D Hubs	8	R\$ 23,94	R\$ 191,52
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	16mm x 20mm 2 metros	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	660mm x 32mm x 259mm x 378mm	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
CE						R\$ 7040,70
Total						R\$ 12.296,65

11 Riscos

O plano de risco tem como objetivo descrever quais são os riscos do projeto, como eles serão monitorados e controlados ao longo das *sprints*, visando entender seus impactos, 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 do intervalo de Muito Baixa, Baixa, Média, Alta e Muito Alta, representado pela porcentagem na tabela 24.

Tabela 24 – 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: quanto o risco impacta no projeto. Sendo assim, o impacto é quantificado a partir do intervalo de Muito Baixo, Baixa, Médio, Alto e Muito Alto, representado com a descrição na tabela 25.

Tabela 25 – 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. Conforme tabela abaixo:

Tabela 26 – 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 27 – Risco de Projeto

ID	Risco	Consequência
1	Mudança Arquitetural	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 <i>issues</i> 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 28 – Riscos Externos

ID	Risco	Consequência
8	Greve na Unb	Viabilidade do projeto
9	Integrante ficar doente	Issue não feita
10	Dificuldade de comunicação com as clínicas geriátricas durante a pandemia	Dificuldade no levantamento dos requisitos do cliente

Tabela 29 – Riscos de Produto

ID	Risco	Consequência
11	Solução não atender as expectativas do usuário final	Erro na parte de 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 30 – Riscos e Ações

ID	Ação	Ação Reativa	Probabilidade	Impacto	Prioridades
1	Mitigar	Pensamento crítico a respeito da arquitetura e procurando professores e outros suportes para a sua construção	3	5	15
2	Prevenir	Validando constantemente com os stakeholders	3	4	12
3	Prevenir	Realizando sempre todos os rituais e incentivando a comunicação por issue	5	5	25
4	Mitigar	Mantendo o pensamento critico e estratégico a 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 a 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

11.2.2.1 Riscos Estruturais

Tabela 31 – 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 contêneres	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
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 32 – 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 compridos 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
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 afim 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, 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 cotagem suficientemente grande para evitar obstrução do reservatório	1	3	3
16	Prevenir	Garantir espaçamento suficientemente pequeno para evitar rotação do copo	1	3	3

11.2.2.2 Riscos Eletrônicos

Tabela 33 – 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 a funcionalidades
5	Falha no sistema de controle central	Perda de todas as funcionalidades
6	Falha na autentificação por biometria	Não abertura das prontas de armazenamento e retirada do medicamento
7	Falha no controle dos atuadores	Perda da capacidade do transporte de medicamento
8	Corromper banco de dados local	Perda de dados atualizados
9	Falha 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 34 – 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

11.2.2.3 Riscos Energéticos

Tabela 35 – Riscos Técnicos Energéticos

ID	Risco	Consequência
1	Mau funcionamento da fonte principal de alimentação	Falha na execução do firmware; 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 drive 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
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 36 – 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

11.2.2.4 Riscos Software

Tabela 37 – 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 Docker	Equipe com dificuldades de subir a aplicação em sua máquina pessoal e atraso do planejamento
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 foi identificado
10	Integração entre <i>Raspberry</i> e <i>backend</i> não funcionar	não tem como ser atualizado os locais dos medicamentos, nem enviado 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 38 – 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 sprint 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 moscow 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 microserviço	4	4	16
6	Mitigar	Criar um docker para a api e outro pro front, evitando com 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 commits, no qual a funcionalidade só será adicionada na branch master 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 Considerações Finais

Este trabalho foi desenvolvido no contexto da disciplina Projeto Integrador 2, pela Universidade de Brasília UnB no Campus da Faculdade do Gama (FGA), e consiste no segundo de três pontos de controle da matéria.

No decorrer do segundo ponto de controle, a concepção da ideia do produto passou por algumas modificações. Esse desenvolvimento pode ser justificado em termos de aspectos técnicos associados à solução. Basicamente, ao aplicar princípios de engenharia em uma solução idealizada, detectou-se as limitações dos sistemas físicos sobre esse modelo, considerando soluções disponíveis no mercado e a interação mútua entre todas as engenharias para as decisões de projeto.

Indo a fundo no aspecto de decisões, foram realizadas mudanças na área de *software*, onde foi necessário postergar a construção do *front-end*. Em um aspecto geral, corrigiu-se tópicos exigidos por parte dos docentes no seu *feedback* sobre o Ponto de Controle 1 para todas as engenharias.

Do ponto de vista financeiro, poucas alterações foram implementadas. Entretanto, o valor final do projeto aumentou em razão da delimitação técnica de certos dispositivos, redimensionamento de componentes eletrônicos e elétricos e refinamento da solução estrutural.

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 72.
- ASKELAND, D. R.; WRIGHT, W. J. Ciência e engenharia dos materiais. p. 338–362 and 426–458, 2019. Citado na página 43.
- BARBI, I. Projeto de fontes chaveadas. 2001. Citado na página 107.
- 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.
- BLAABJERG FREDE, e. *Control of Power Electronic Converters and Systems*. 2018. Citado 5 vezes nas páginas 4, 110, 111, 113 e 114.
- 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 18.
- 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 16.
- 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 124.
- DILLON, P.; RUBYSTEIN, L. *Managing Pharmaceutical Waste: Best Management Practices for Plastic Medication Containers from Consumers*. 2005. Disponível em: <https://nerc.org/documents/plastic_medication_container_bmp.pdf>. Citado na página 44.
- 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 84.
- 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 122.

- ENGPROCESS. *Mosquitto – Entenda suas funcionalidades e vantagens!* eng-process.com.br/, 2018. [Online; accessed 10-Outubro-2020]. Disponível em: <<https://engprocess.com.br/mosquitto/>>. Citado na página 132.
- ERICKSON, R. *DC-DC power converters*. 1999. Citado 4 vezes nas páginas 4, 113, 114 e 115.
- FEEC, U. *RETIFICADORES NÃO-CONTROLADOS E FATOR DE POTÊNCIA*. 2002. Citado na página 110.
- FILHO, F. M. d. A. et al. Administração de medicamentos: conhecimento de enfermeiros do setor de urgência e emergência. 2011. Citado na página 18.
- FREIRE, C. C. *Adesão e condições de uso de medicamentos por idosos*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2009. Citado na página 18.
- 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 16.
- FREITAS, T. et al. Idosos e família: asilo ou casa. *O portal dos psicólogos*, 2006. Citado na página 16.
- 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 16.
- 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 54.
- 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.
- 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 16.
- 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 126.
- 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.

- MAESTRI, H. G. *Dimensionamento de um sistema fotovoltaico autônomo para alimentação de um dispositivo de monitoramento de parâmetros elétricos em linhas de transmissão*. 2018. Citado na página 117.
- MORTON, J. *The PIC microcontroller: your personal introductory course*. [S.l.]: Elsevier, 2005. Citado na página 87.
- 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 16.
- PETRY, P. C. A. *Retificadores Monofásicos com Filtro Capacitivo*. 2013. Citado 2 vezes nas páginas 111 e 223.
- 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 69.
- 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 16.
- SANTOS, G. D. Projeto de elevador residencial. 2016. Citado na página 104.
- 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 44.
- 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 122.
- SHAPIRO, N. H. e. a. *Introdução à Engenharia de Sistemas Térmicos*. [S.l.]: John Wiley And Sons, Inc., 2005. 618 p. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 63.
- SHIGLEY, J. E.; MISCHKE, C. R.; BUDYNAS, R. G. *Projeto de engenharia mecânica*. [S.l.]: Bookman, 2005. Citado 4 vezes nas páginas 9, 50, 51 e 52.
- 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 18.
- 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 9 e 45.

WEBSTER, J. G.; EREN, H. *Measurement, Instrumentation, and Sensors Handbook: Two-Volume Set.* [S.l.]: CRC press, 2018. Citado na página [69](#).

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.



Figura 80 – 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 clínicas 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 se pode controlar os medicamentos, registro, gerenciamento de doses diárias em horários específicos para múltiplos pacientes assim como preparar automaticamente doses de vários pacientes em mesmo horário pré-programado e permite a emissão de histórico de consumo dos medicamentos pelos pacientes.
- How much? (Quanto) O custo total do projeto ficou estimado em aproximadamente R\$ 10.000,00

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, ou seja, na prescrição, transcrição, distribuição, administração e monitorização das reações adversas. Entretanto, existe um número crescente de erros envolvendo a ministração de medicamentos, o que poderia ser diminuída com a utilização de um dispensador automático.

A.3 Objetivos

O objetivo principal 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 medicamentos;
- O sistema deve ter alguma forma de identificação e comprovação do paciente;
- O dispositivo e o aplicativo deve ter interface fácil de uso;
- Visualização do histórico de medicamentos dos pacientes;
- Facilidade e segurança no abastecimento de medicamento;

A.5 Riscos do Projeto

Tabela 39 – 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 tabela 40.

Tabela 40 – 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 submeter-se a movimentos bruscos, visto que o mesmo estará com os medicamentos armazenados;

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 no 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 e 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 (EAP)

B.1 Estrutura Analítica por Ponto de Controle

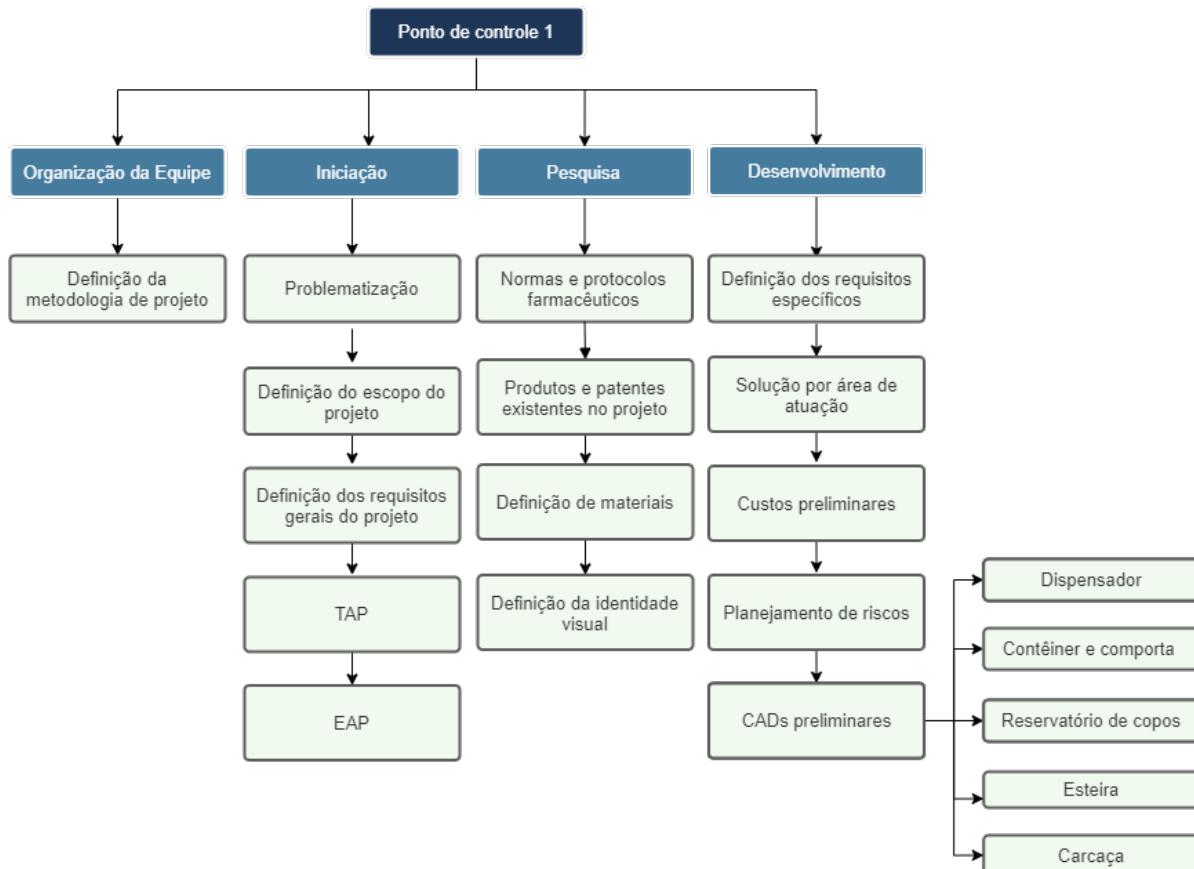


Figura 81 – Estrutura Analítica do Projeto PillWatcher - Ponto de Controle 1

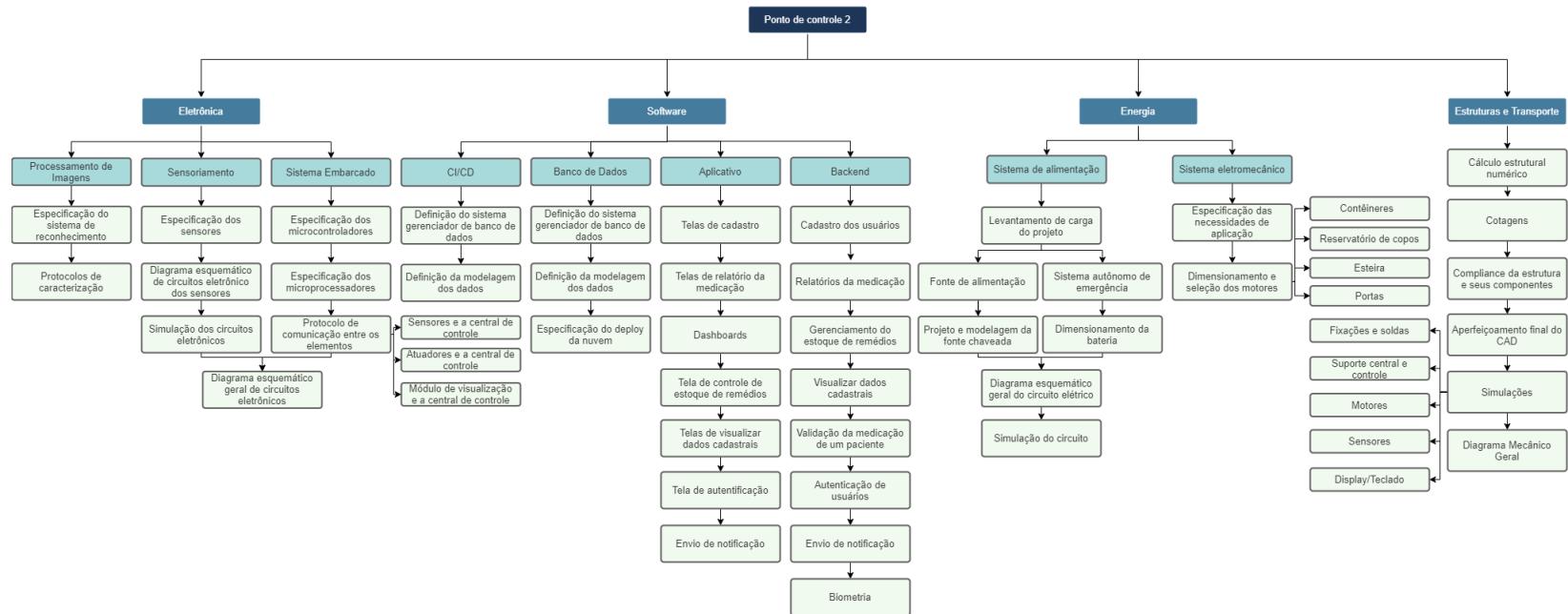


Figura 82 – Estrutura Analítica do Projeto PillWatcher - Ponto de Controle 2

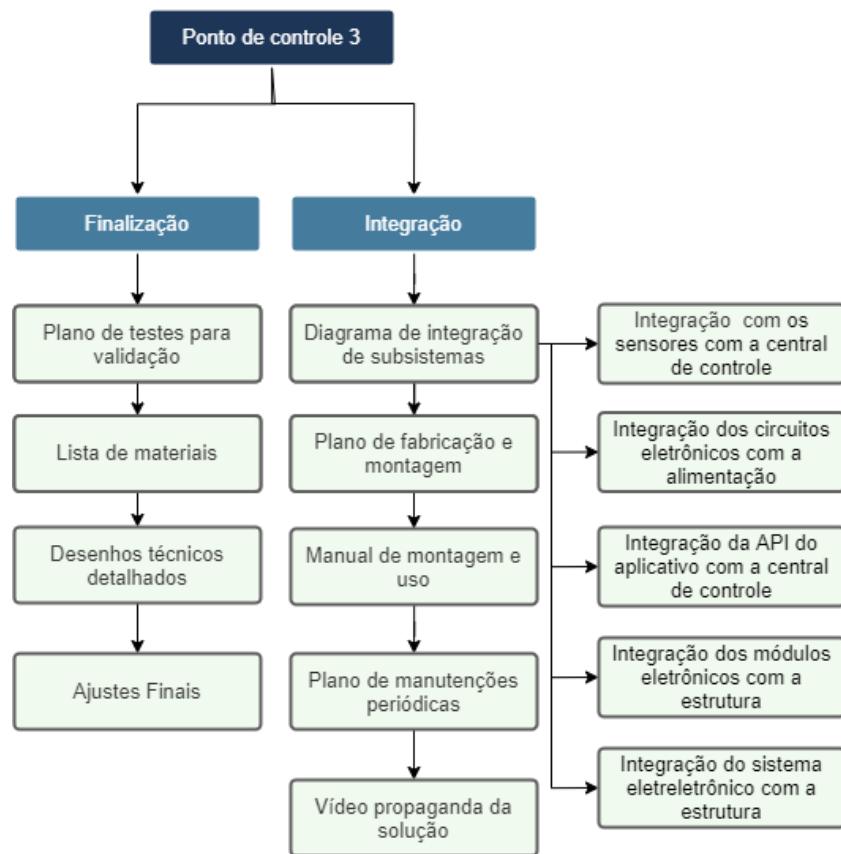


Figura 83 – Estrutura Analítica do Projeto PillWatcher - Ponto de Controle 3

B.2 Estrutura Analítica Geral

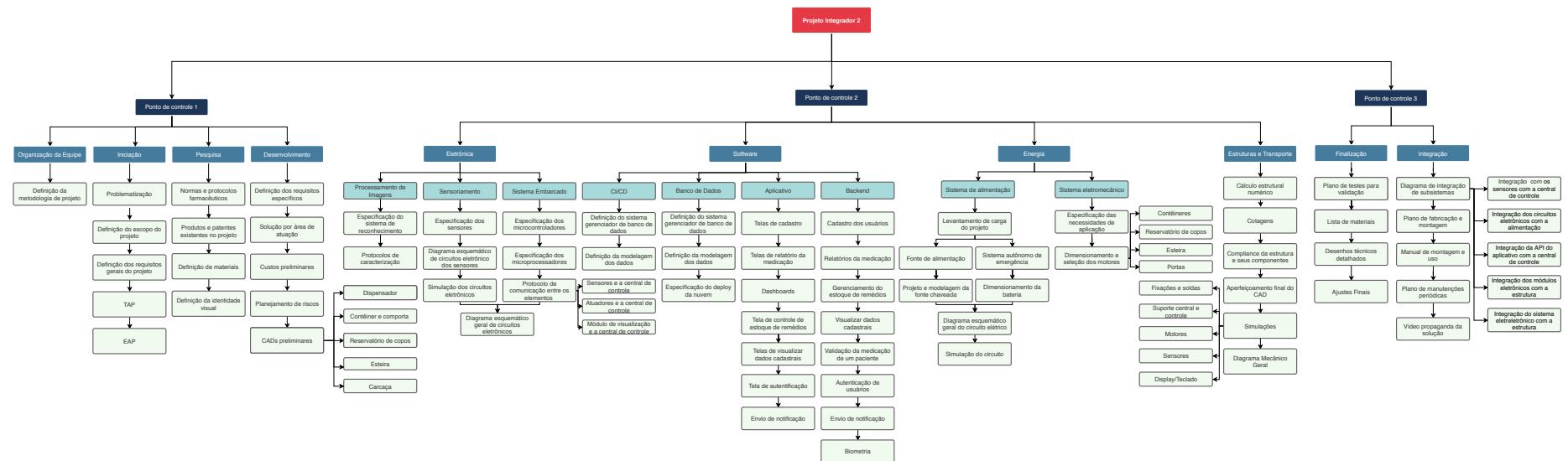


Figura 84 – Estrutura Analítica do Projeto PillWatcher

APÊNDICE C – Lista É/ Não É

Tabela 42 – 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 85 – 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 86 – 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 87 – 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 88 – Planejamento Ponto de Controle 3

APÊNDICE E – Desenhos Técnicos Preliminares

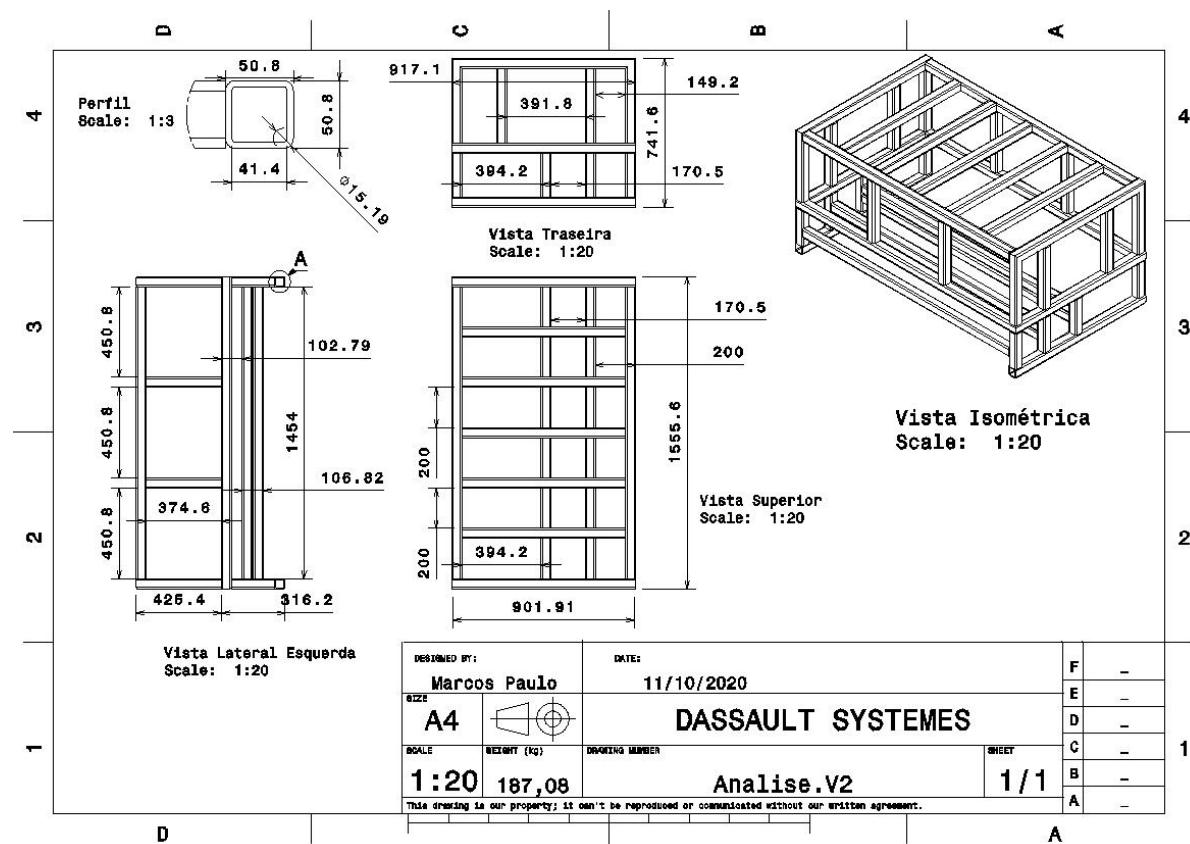


Figura 89 – Desenho técnico da Estrutura Tubular (5.1)

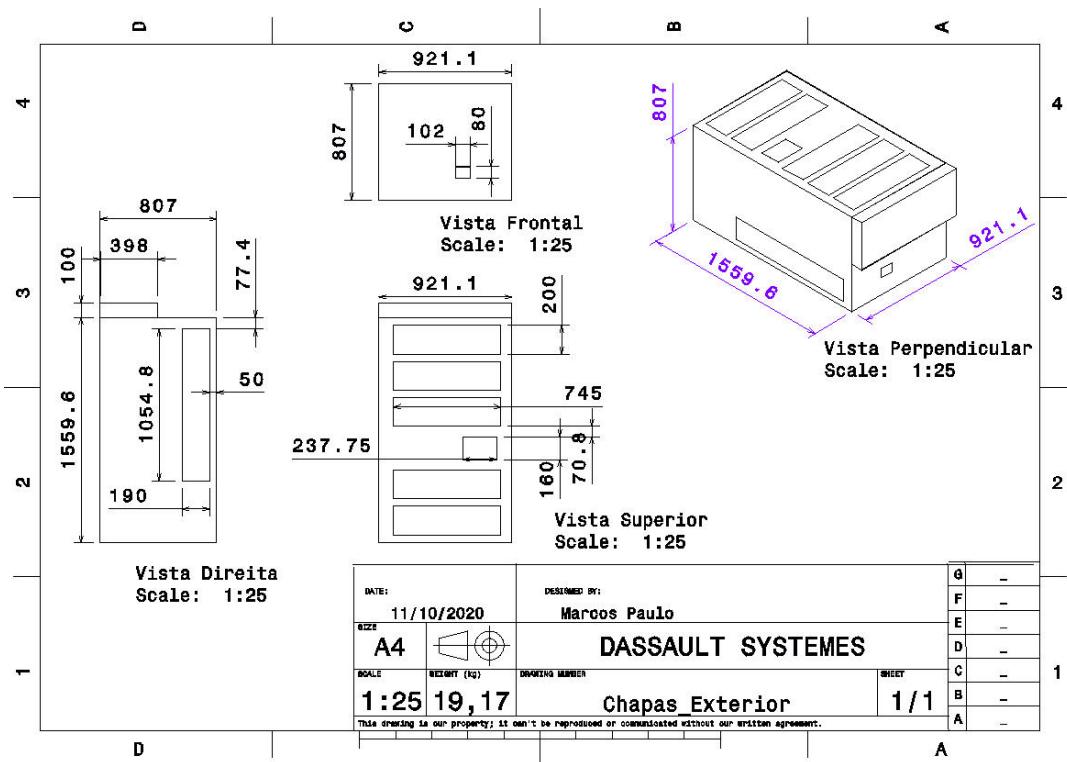


Figura 90 – Desenho técnico das Chapas da Carcaça (5.1)

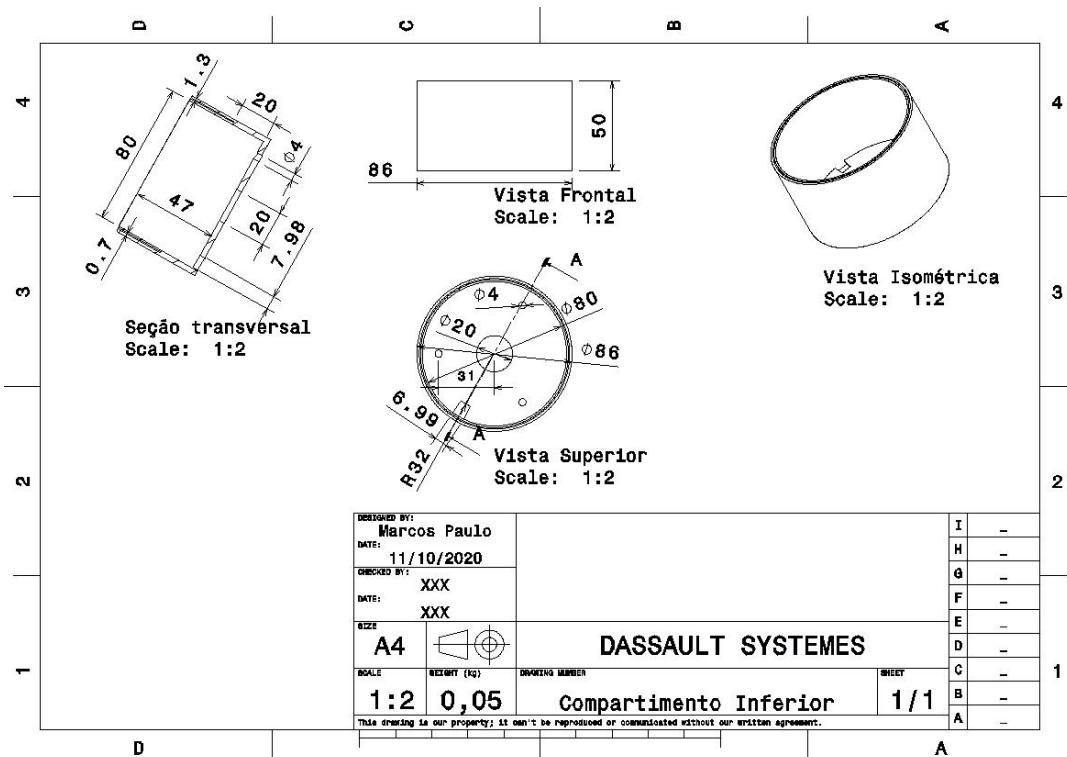


Figura 91 – Desenho técnico do Compartimento Inferior do Contêiner (5.1)

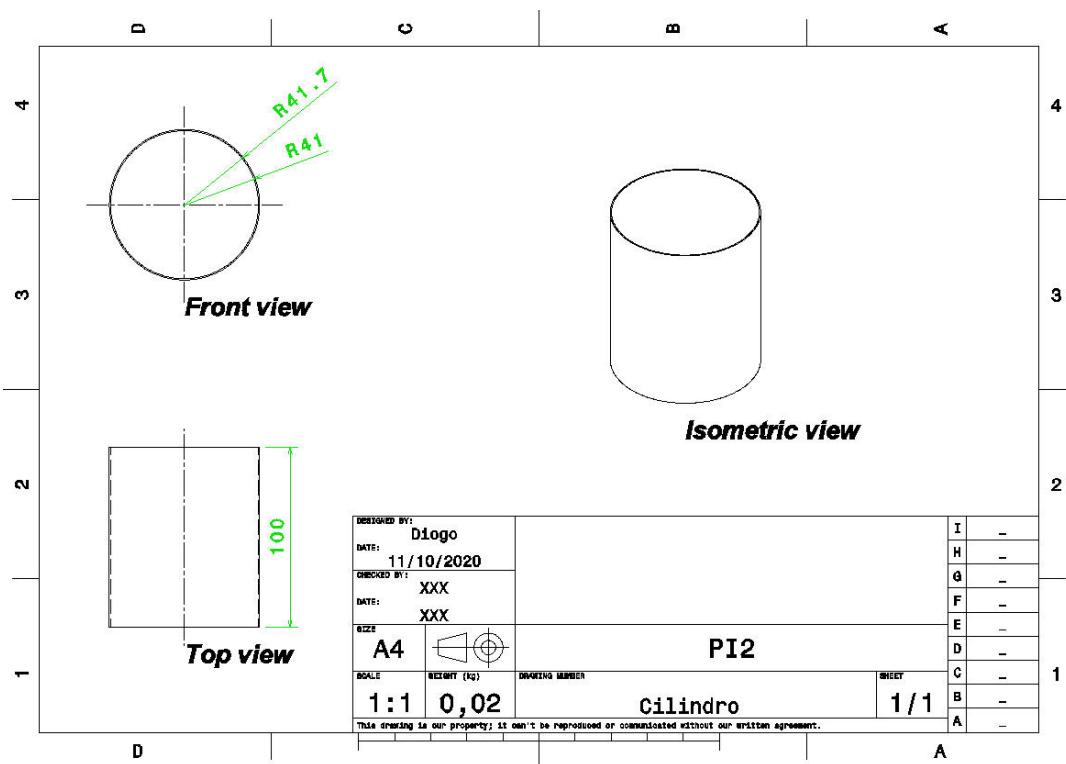


Figura 92 – Desenho técnico do cilindro do contêiner (5.1)

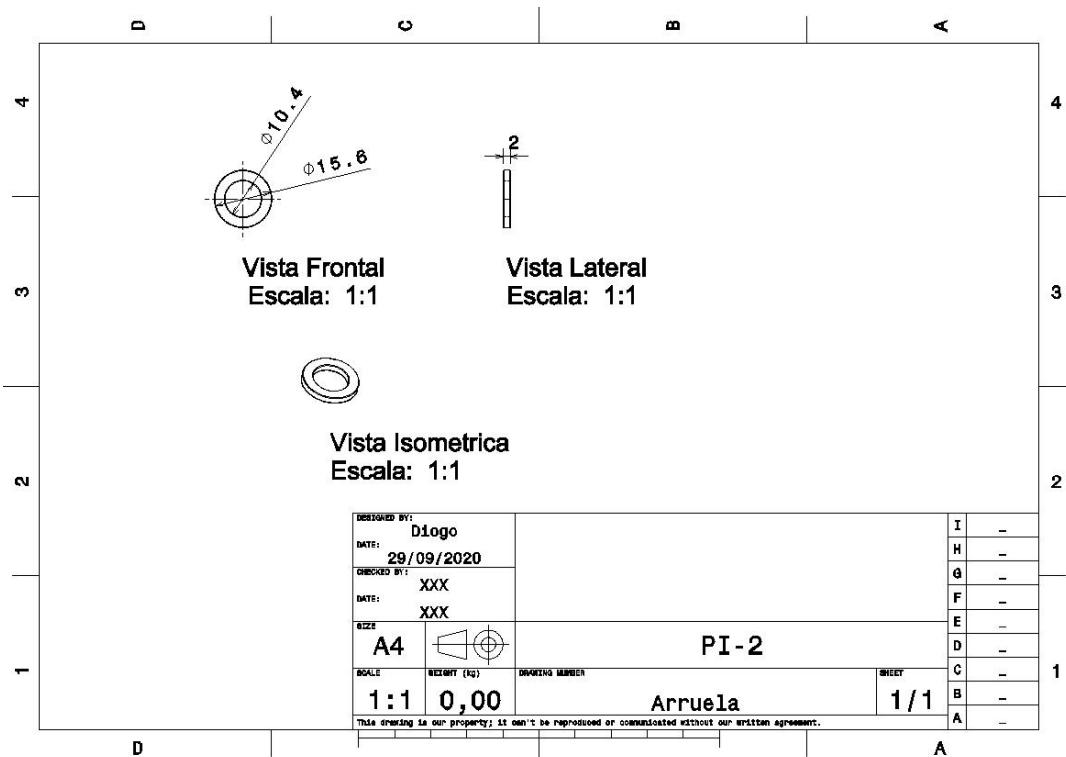


Figura 93 – Desenho técnico da arruela do contêiner (5.1)

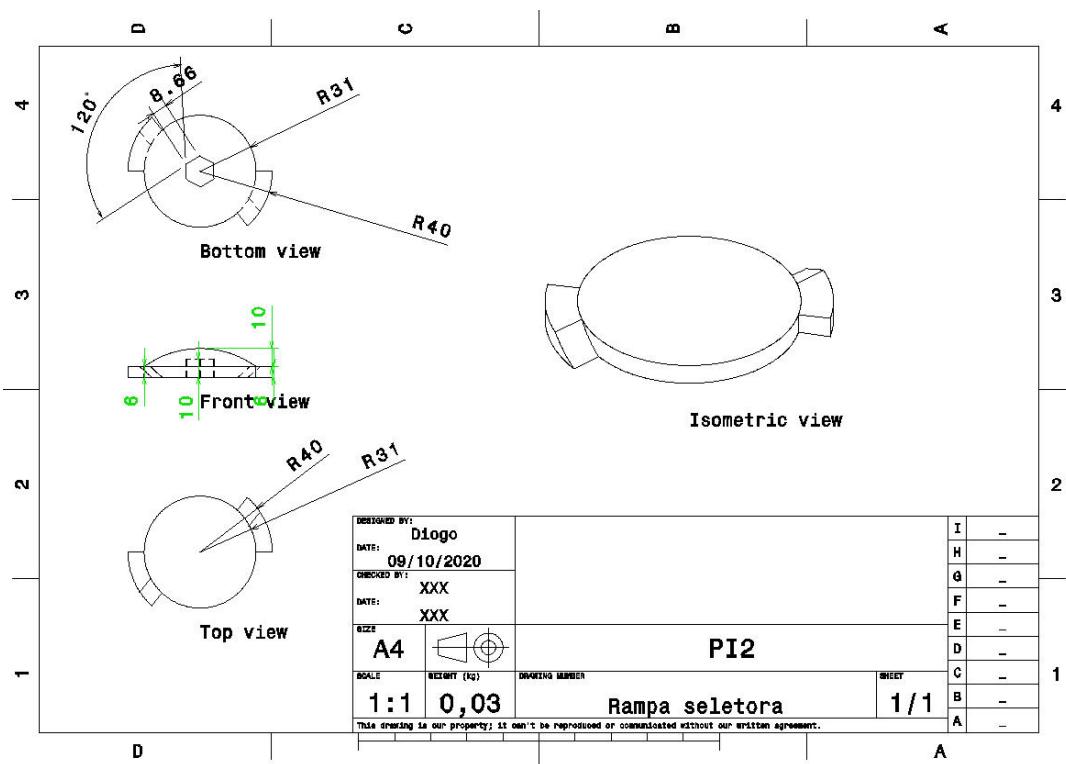


Figura 94 – Desenho técnico das rampa seletora do contêiner (5.1)

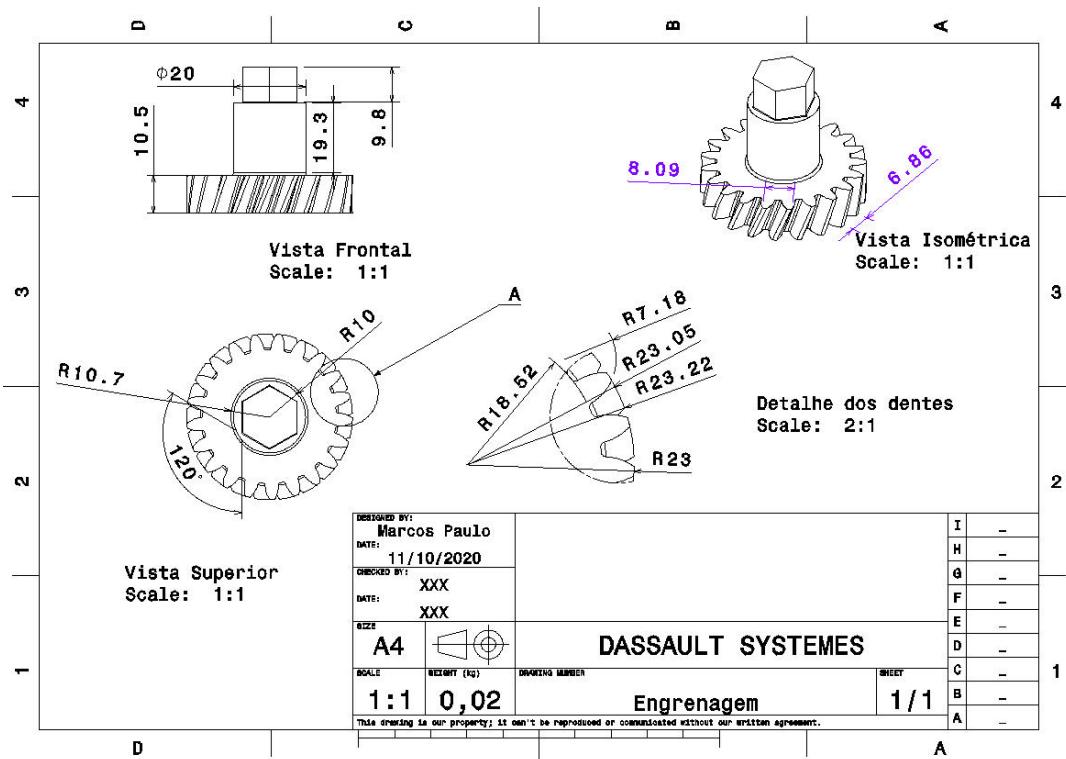


Figura 95 – Desenho técnico da engrenagem do contêiner (5.1)

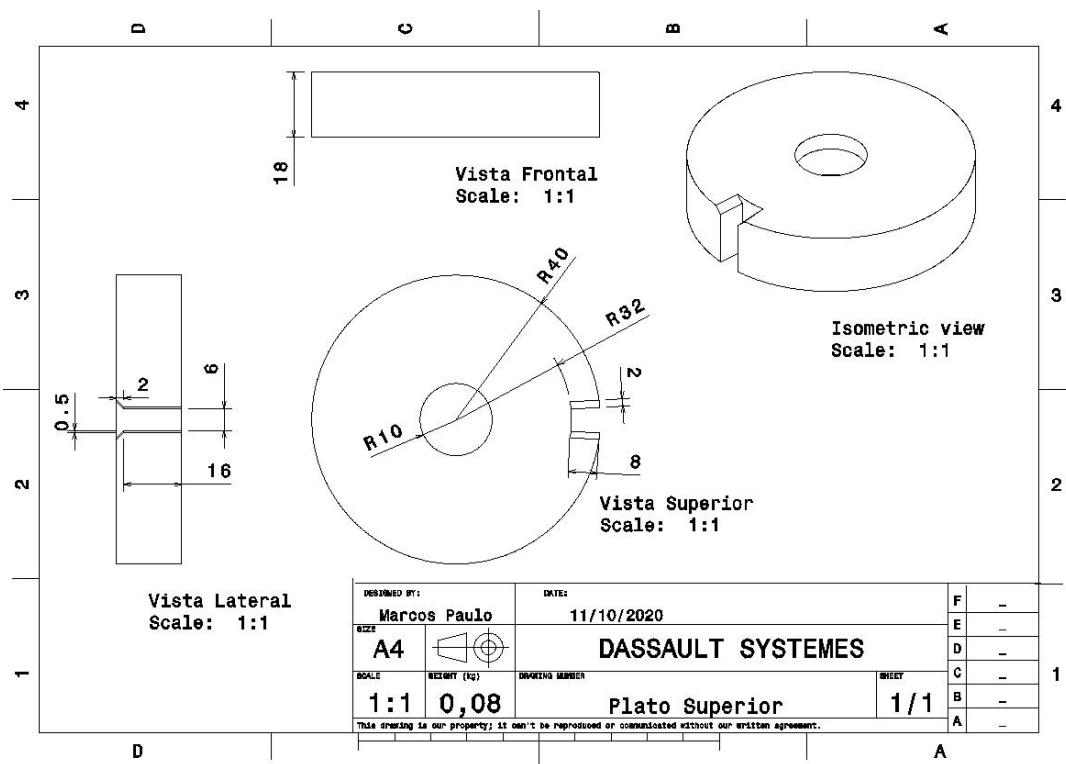


Figura 96 – Desenho técnico do platô superior do contêiner (5.1)

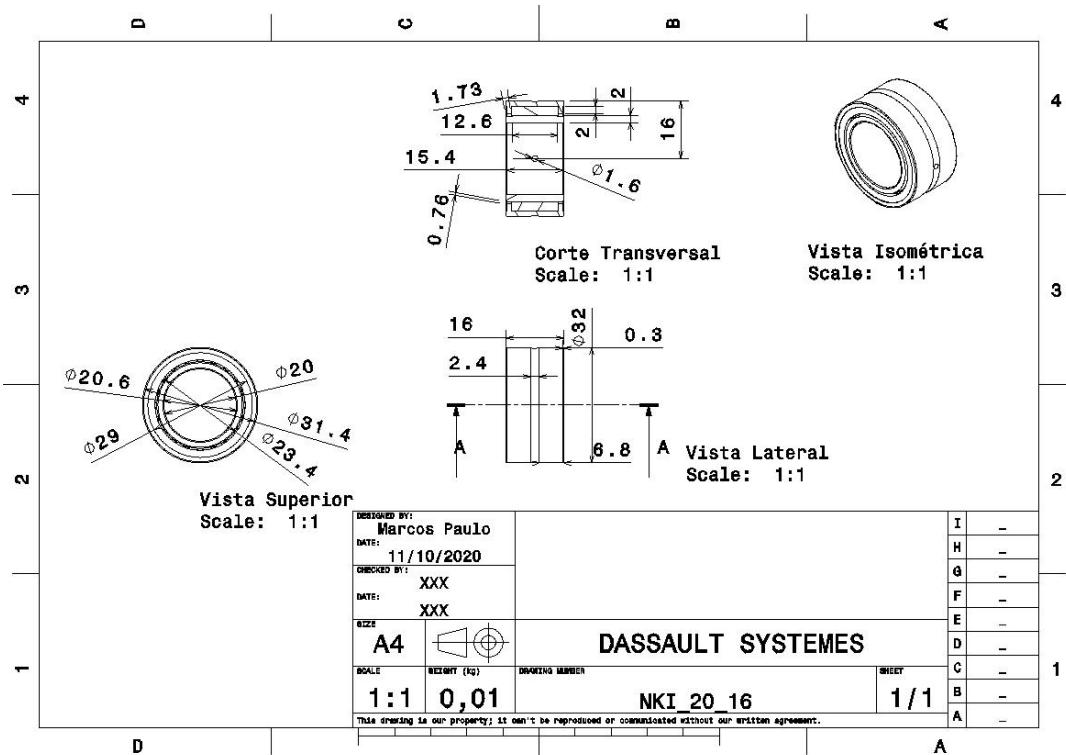


Figura 97 – Desenho técnico do rolamento da engrenagem (5.1)

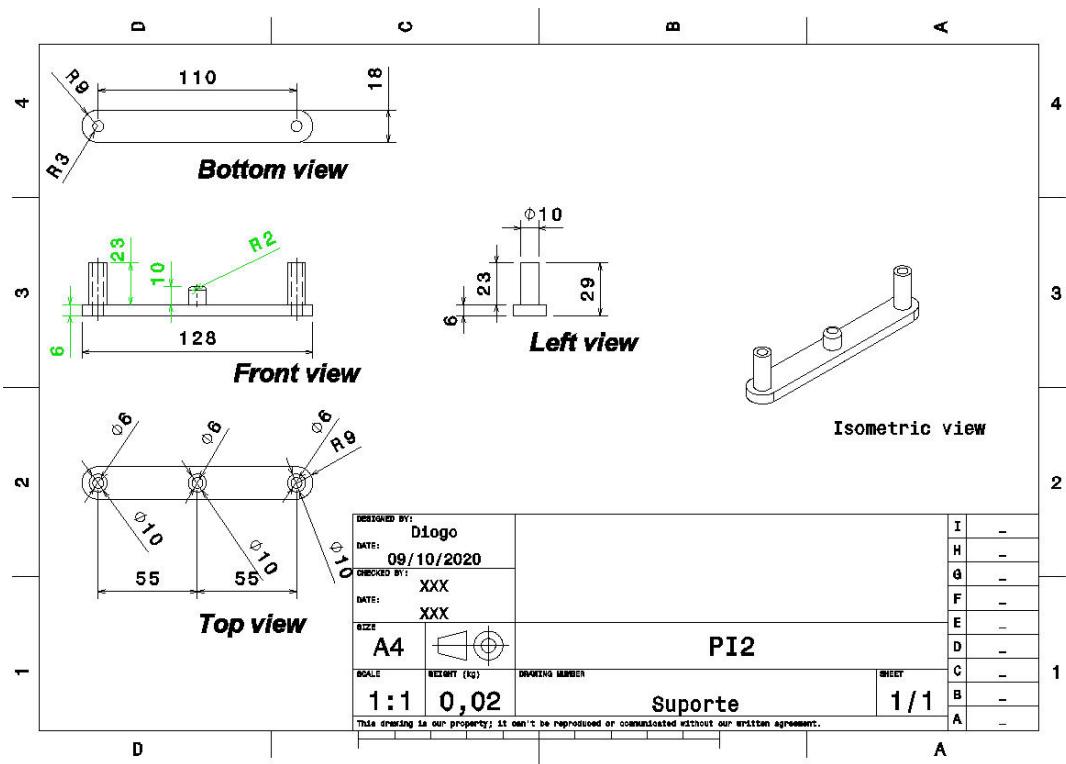


Figura 98 – Desenho técnico do suporte da engrenagem no contêiner (5.1)

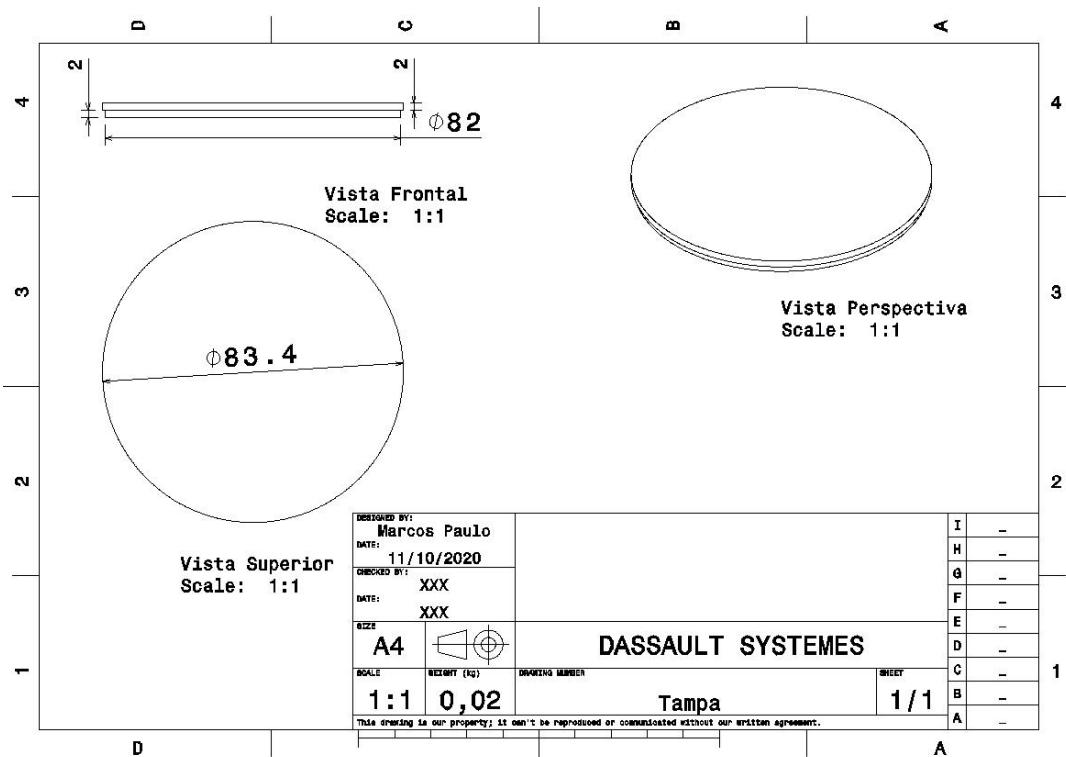


Figura 99 – Desenho técnico da tampa do contêiner (5.1)

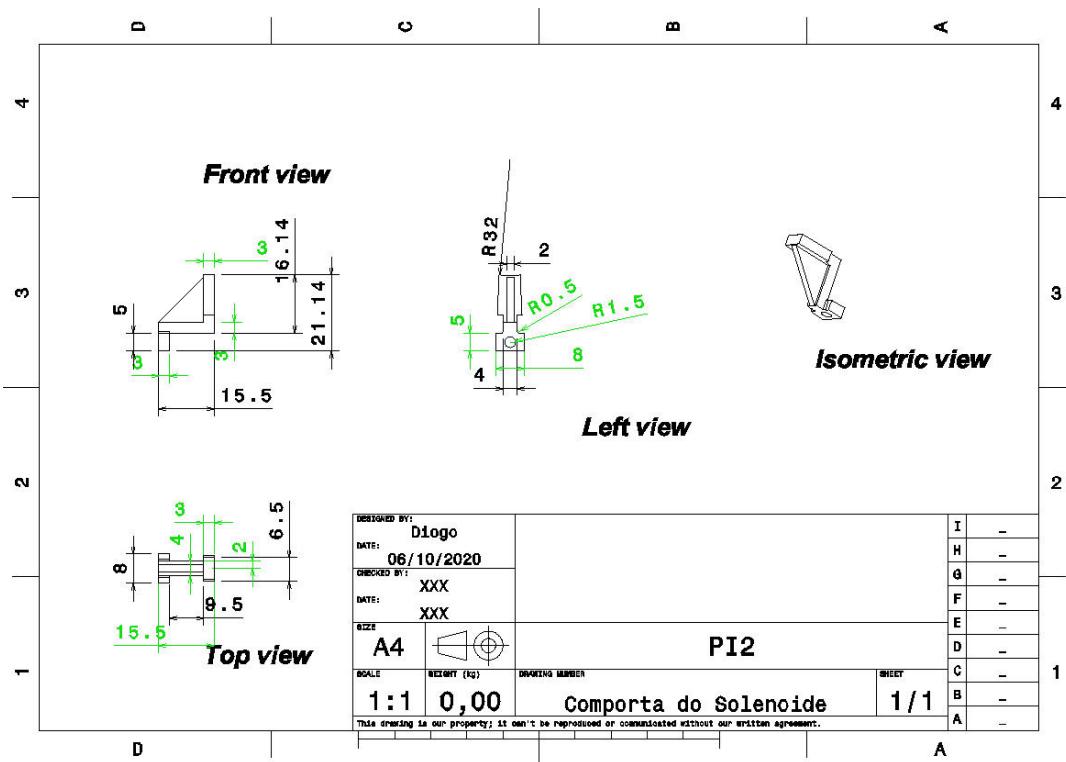


Figura 100 – Desenho técnico da comporta do contêiner (5.1)

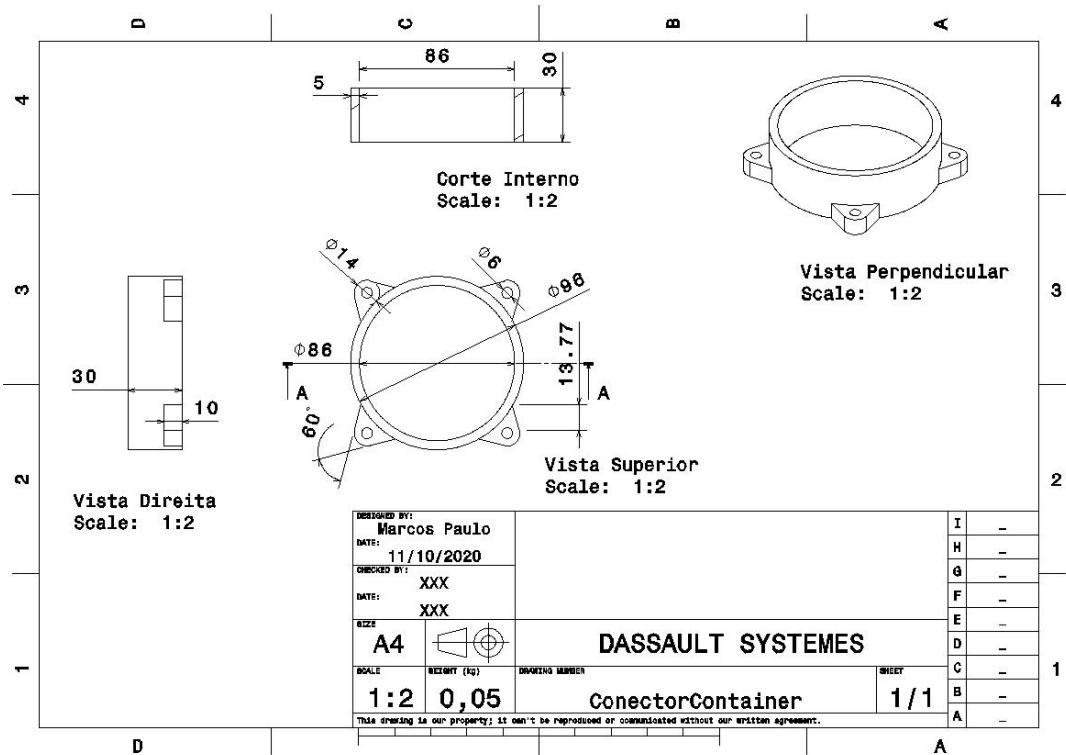


Figura 101 – Desenho técnico do conector do contêiner à base (5.1)

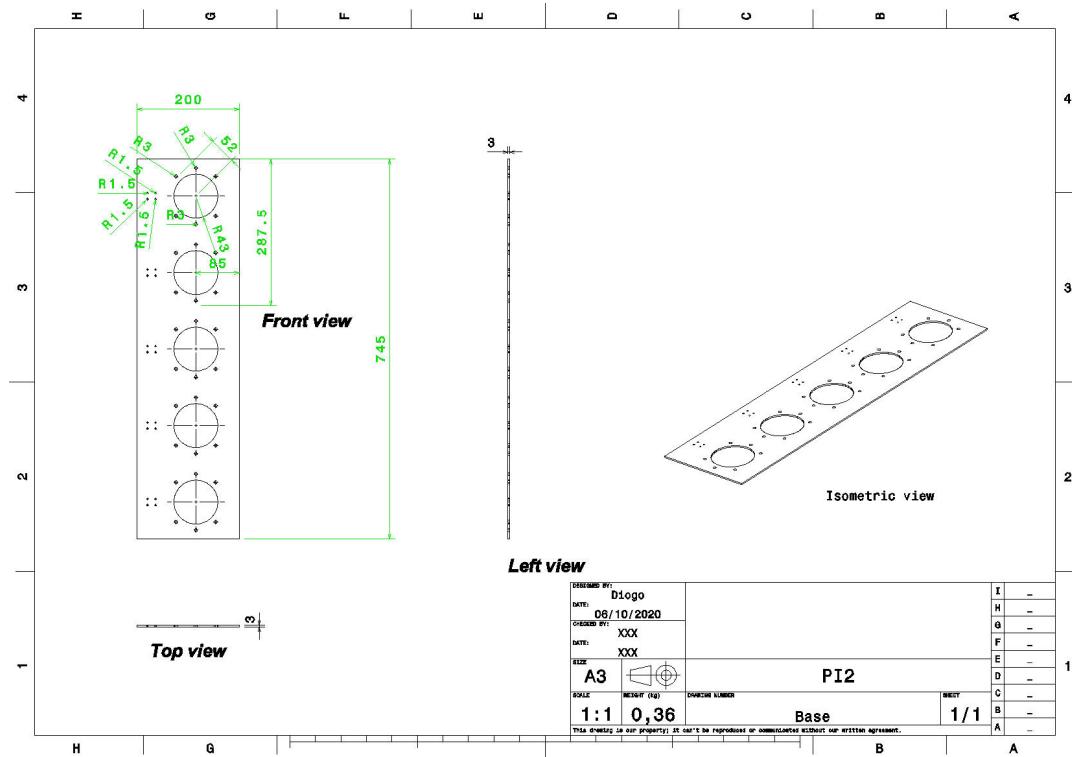


Figura 102 – Desenho técnico da base dos contêineres (5.1)

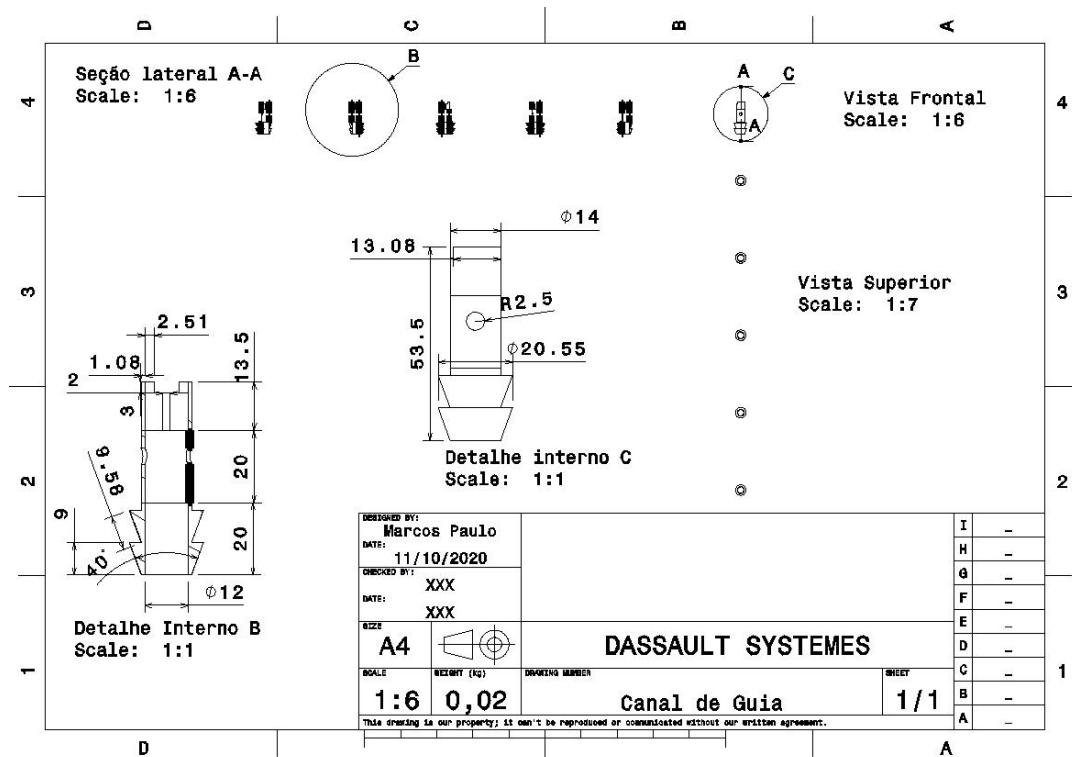


Figura 103 – Desenho técnico do Canal de Guia (5.1)

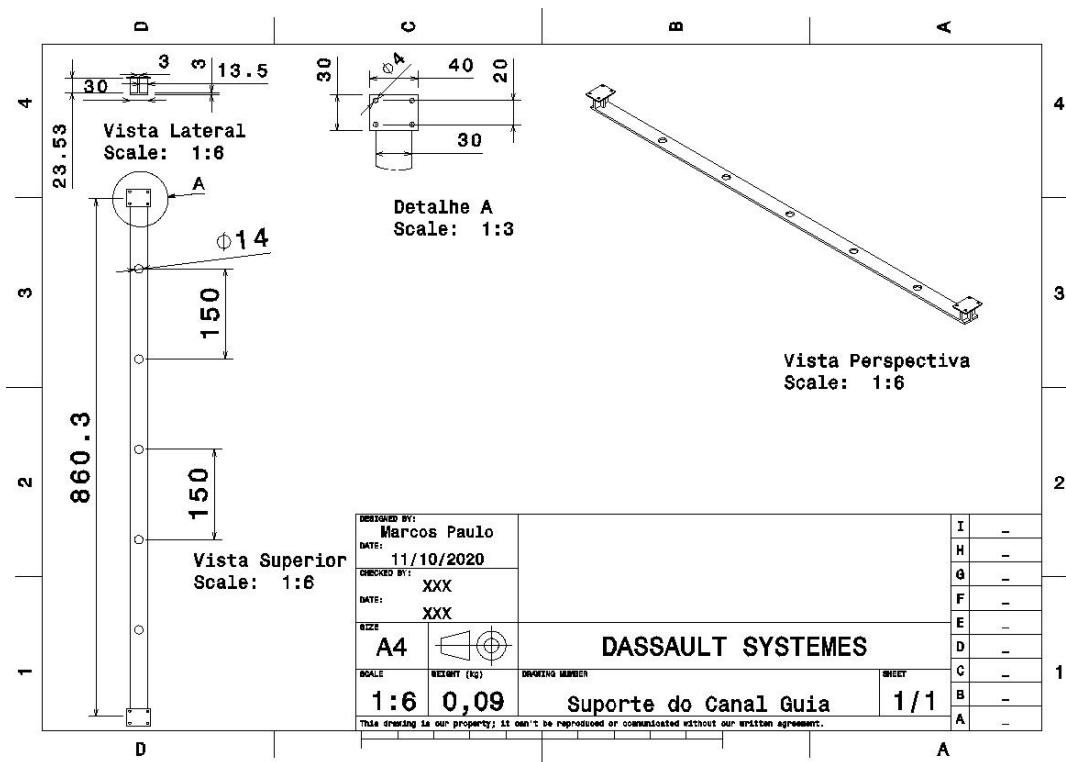


Figura 104 – Desenho técnico do suporte dos canais de guia (5.1)

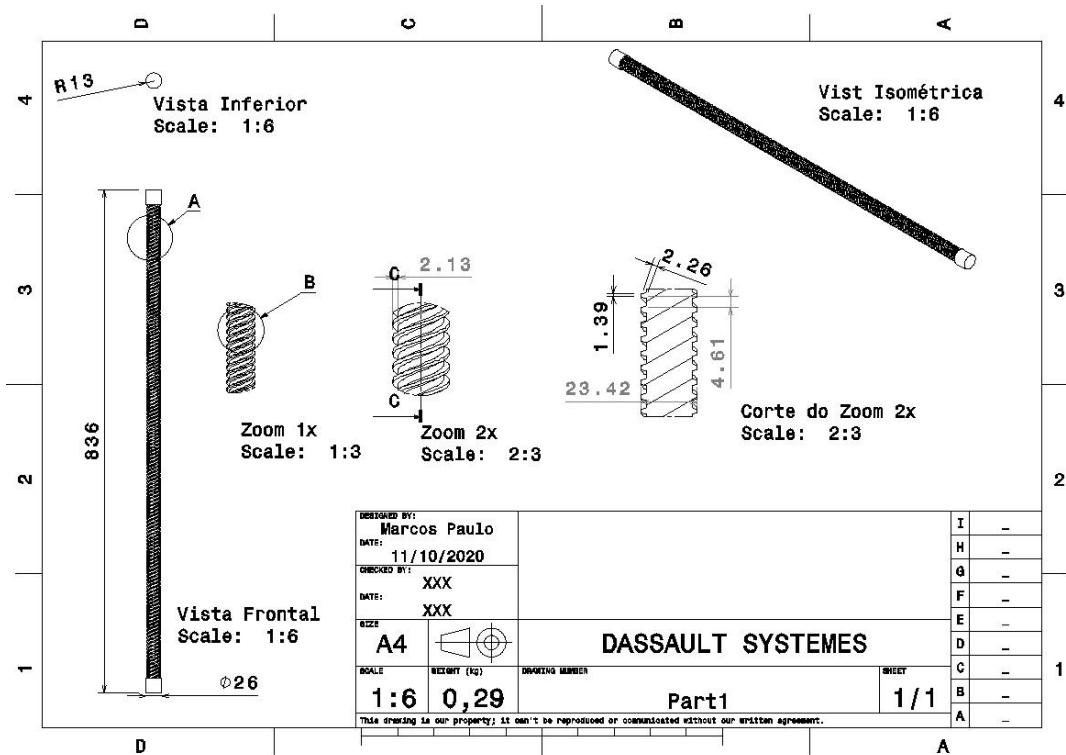


Figura 105 – Desenho técnico do fuso de atuação nas engrenagens (5.1)

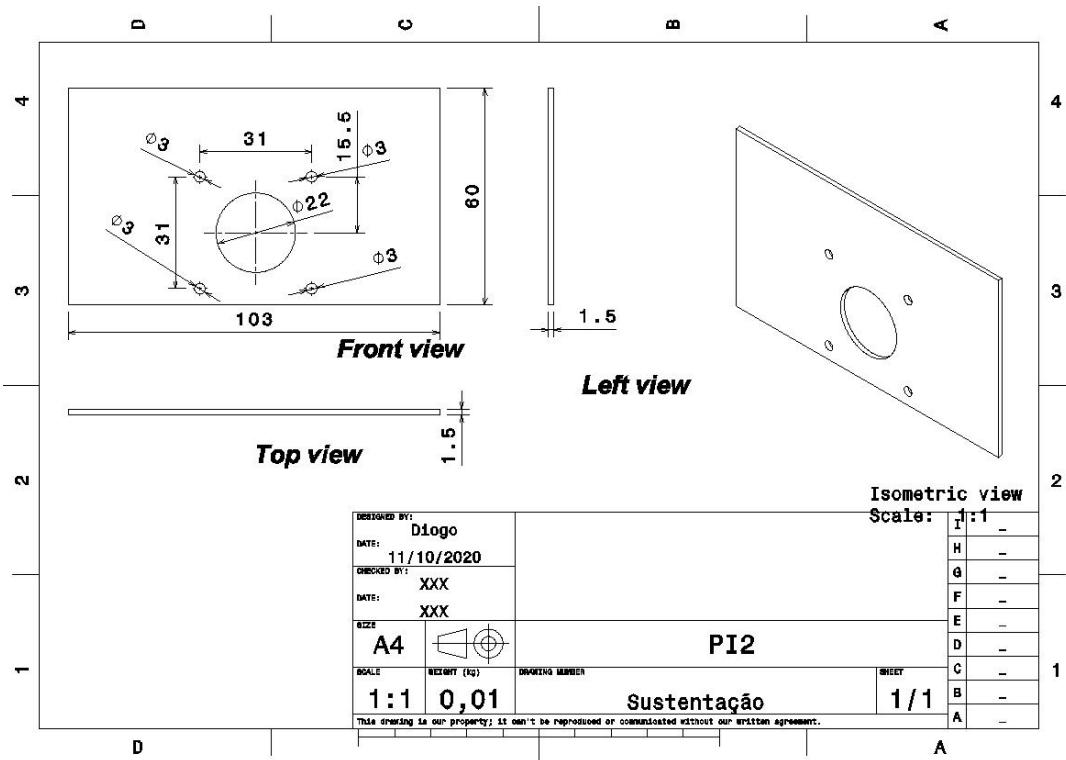


Figura 106 – Desenho técnico do suporte dos motores de passo (5.1)

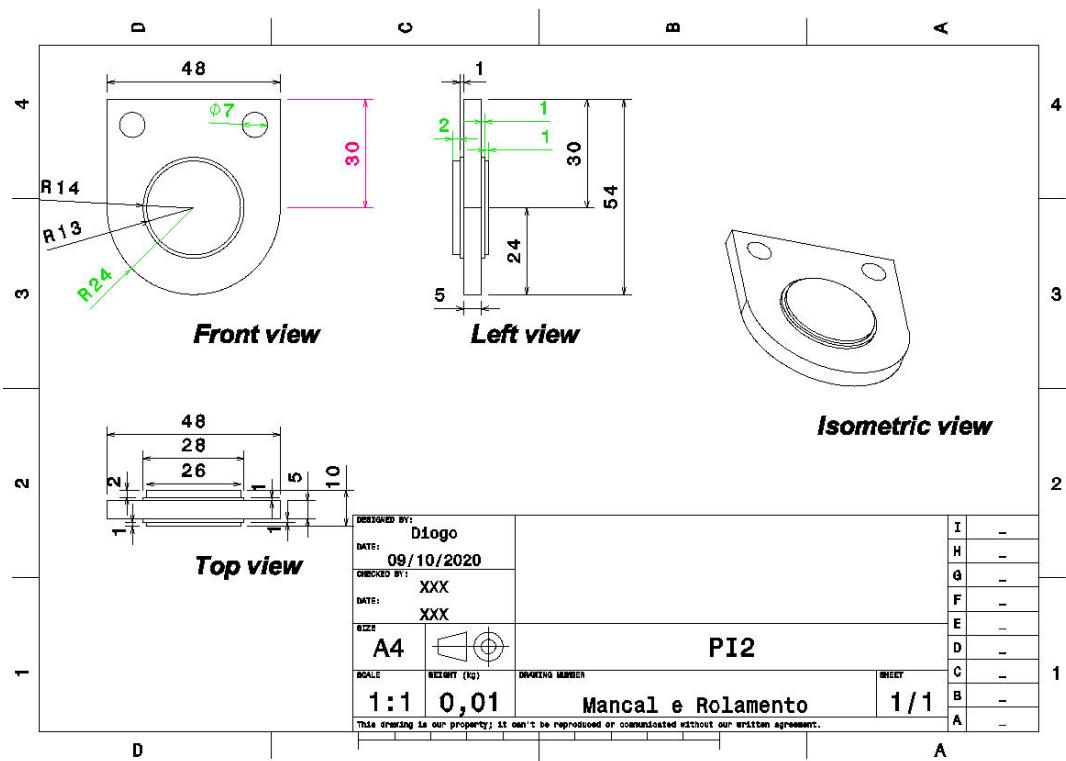


Figura 107 – Desenho técnico do mancal e rolamento do fuso (5.1)

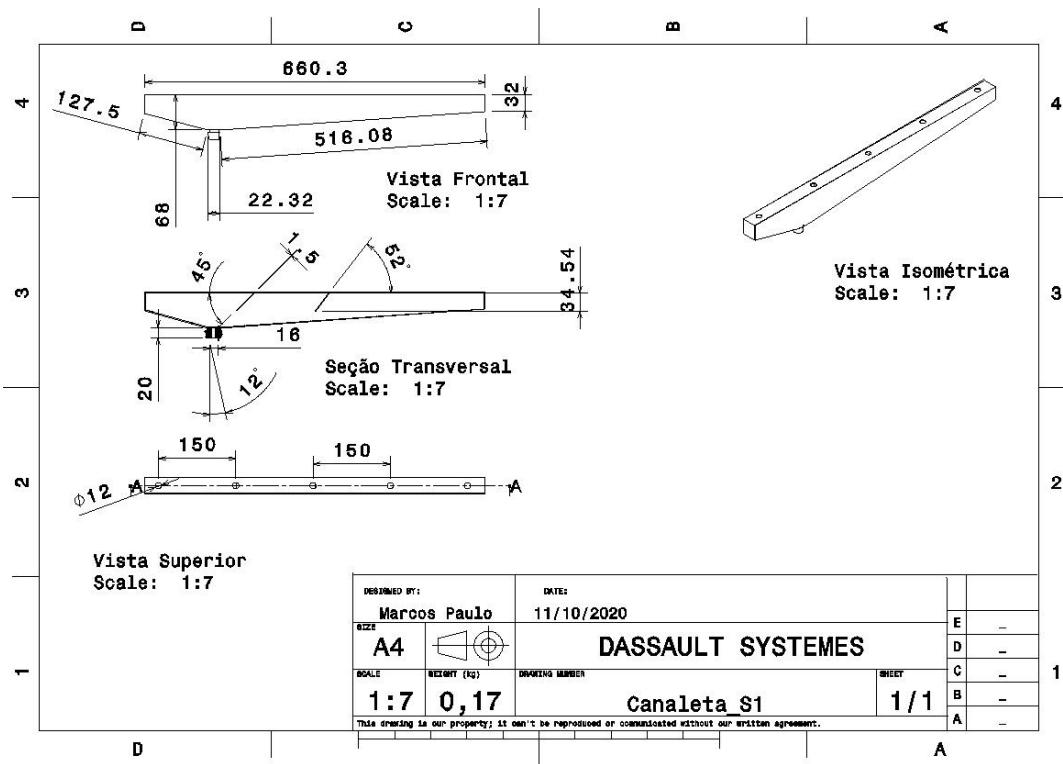


Figura 108 – Desenho técnico da Canaleta do Subgrupo 1 (5.1)

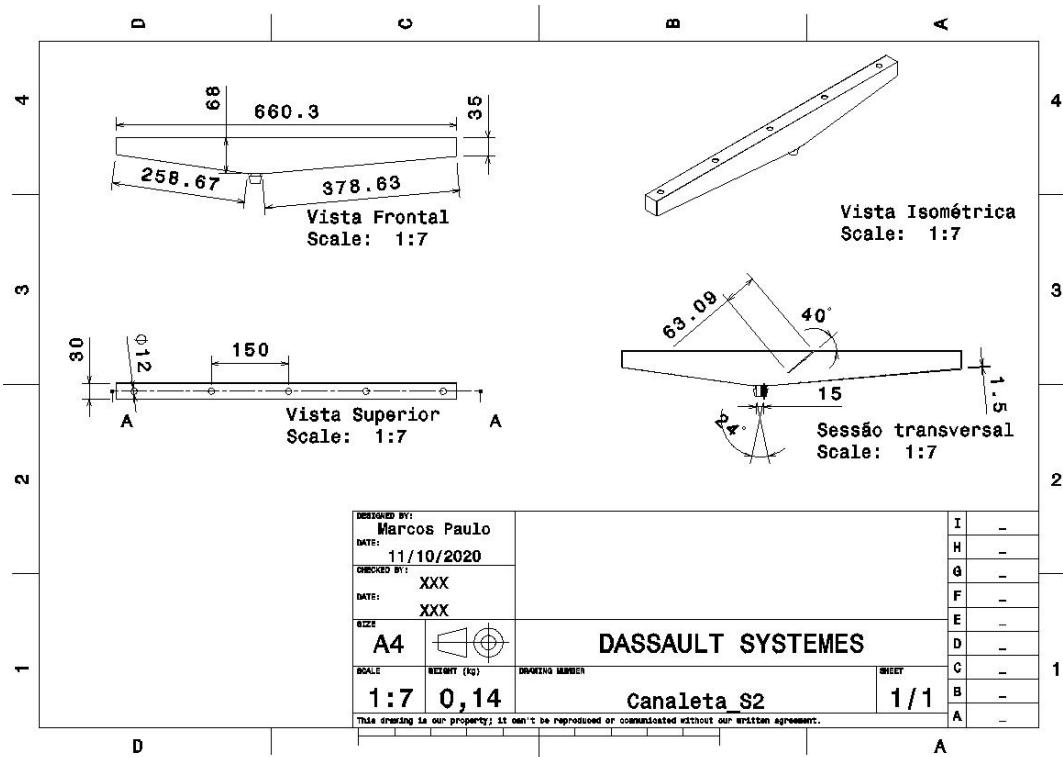


Figura 109 – Desenho técnico da Canaleta do Subgrupo 2 (5.1)

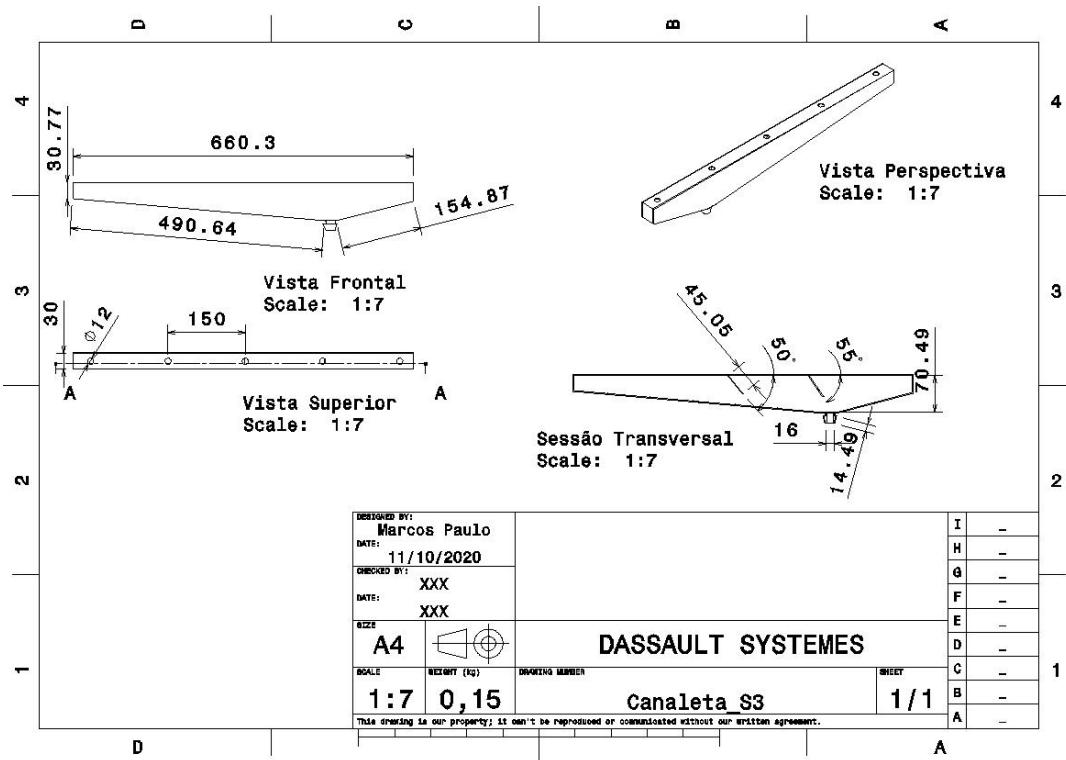


Figura 110 – Desenho técnico da Canaleta do Subgrupo 3 (5.1)

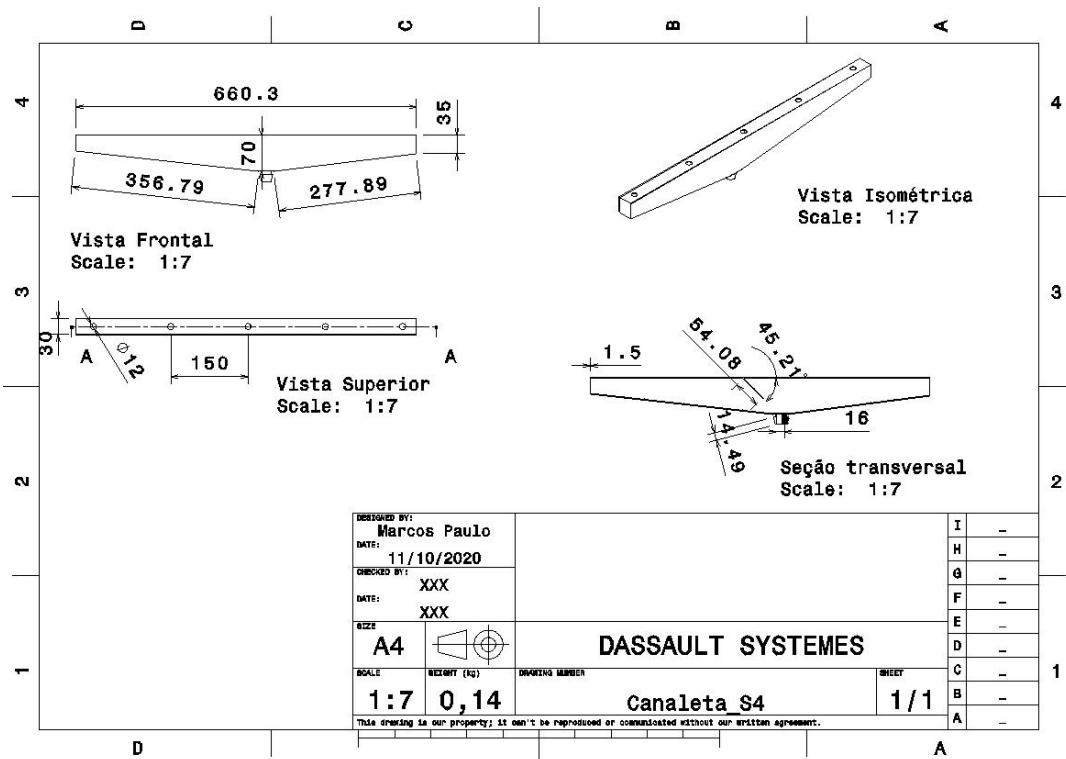


Figura 111 – Desenho técnico da Canaleta do Subgrupo 4 (5.1)

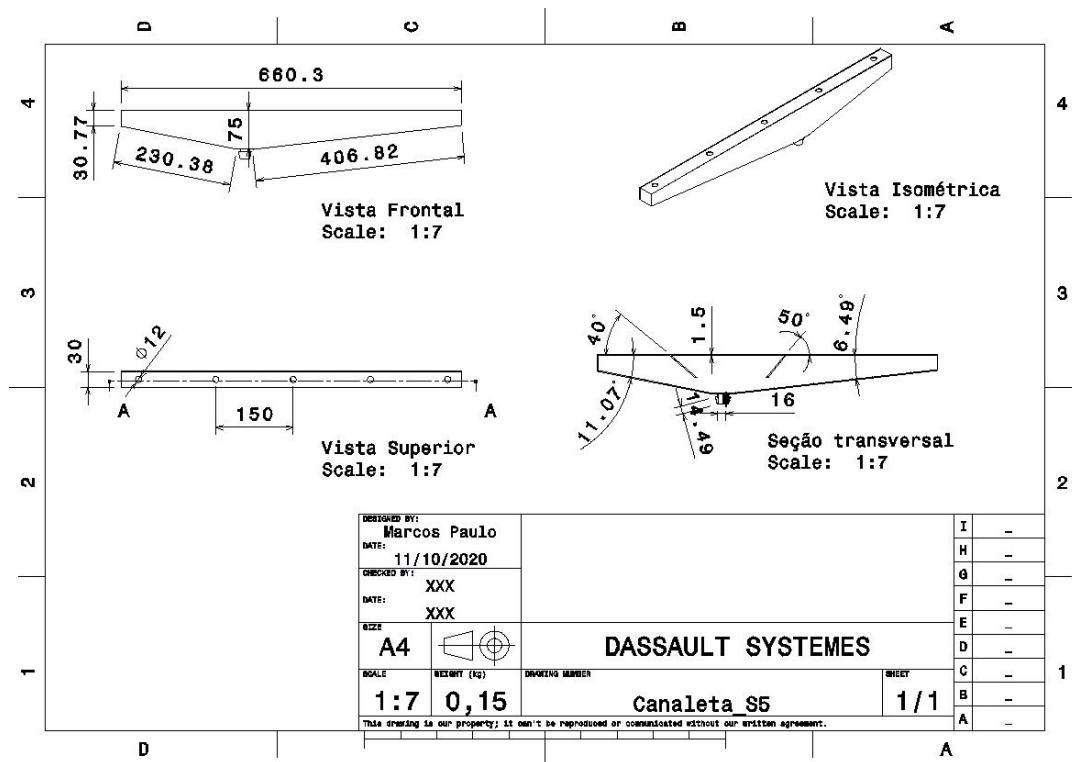


Figura 112 – Desenho técnico da Canaleta do Subgrupo 5 (5.1)

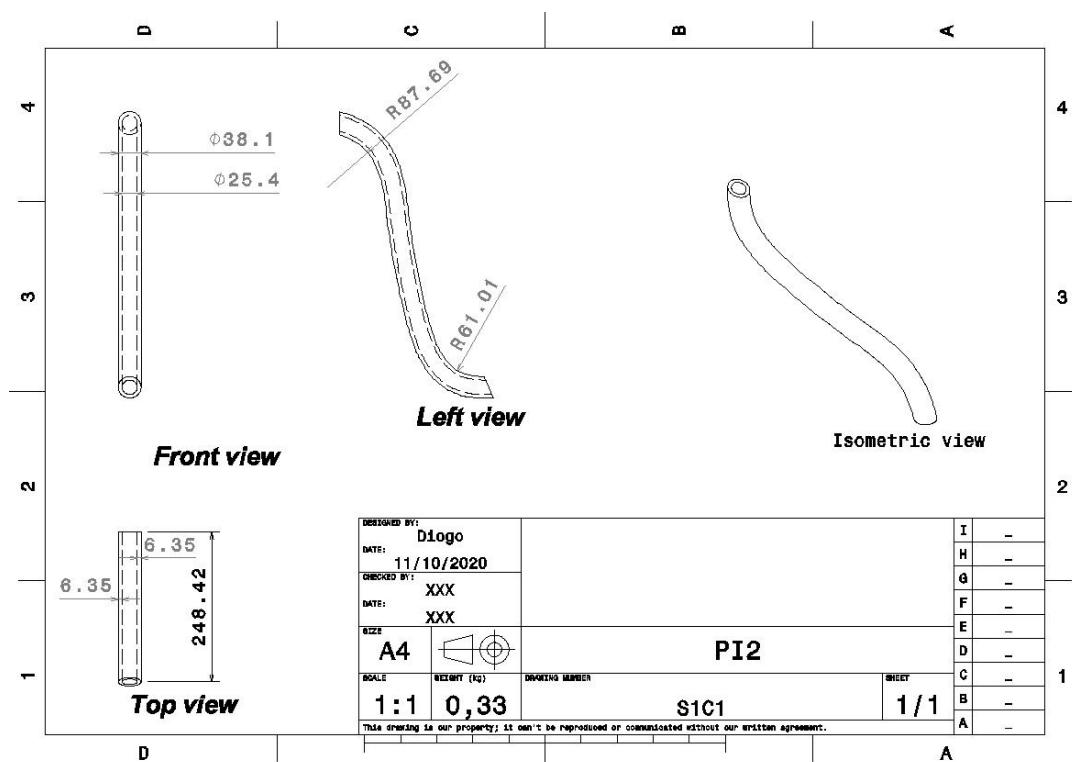


Figura 113 – Desenho técnico da mangueira do subgrupo 1 (5.1)

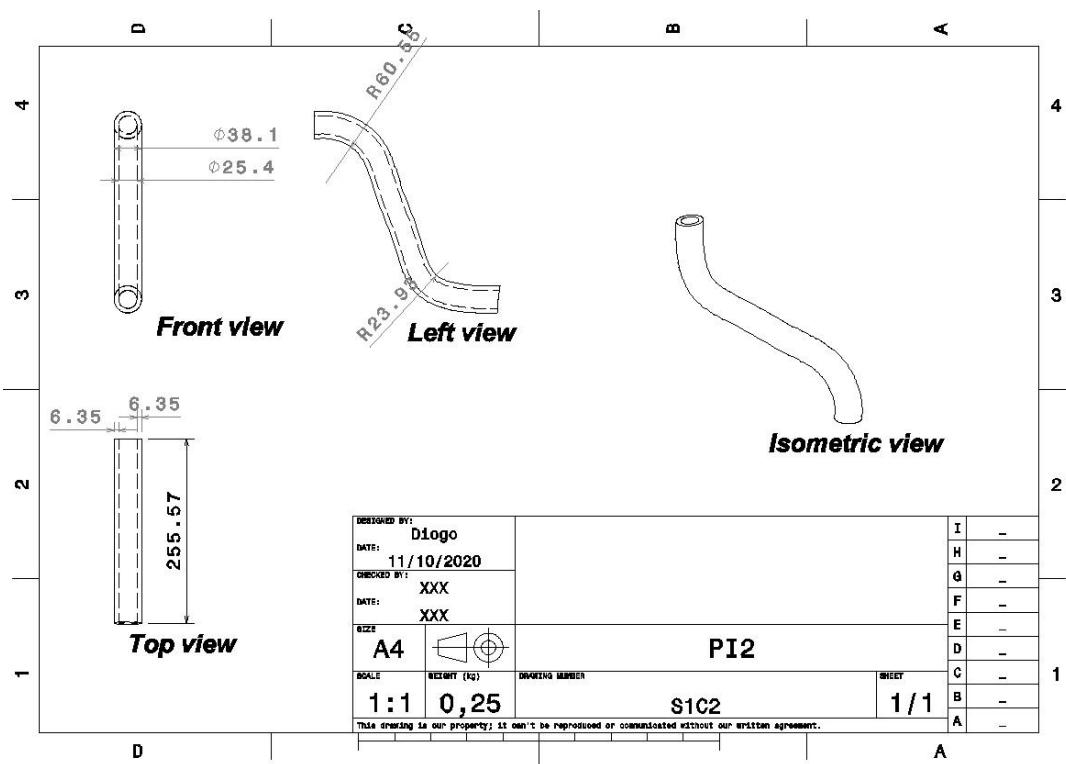


Figura 114 – Desenho técnico da mangueira do subgrupo 2 (5.1)

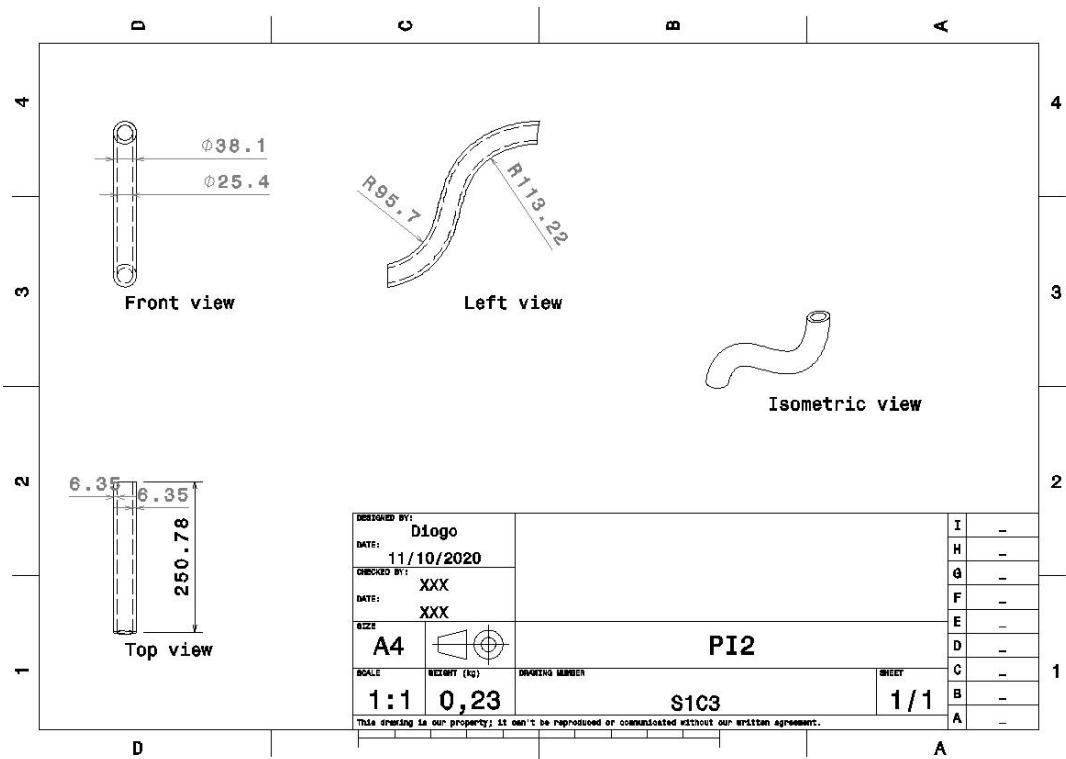


Figura 115 – Desenho técnico da mangueira do subgrupo 3 (5.1)

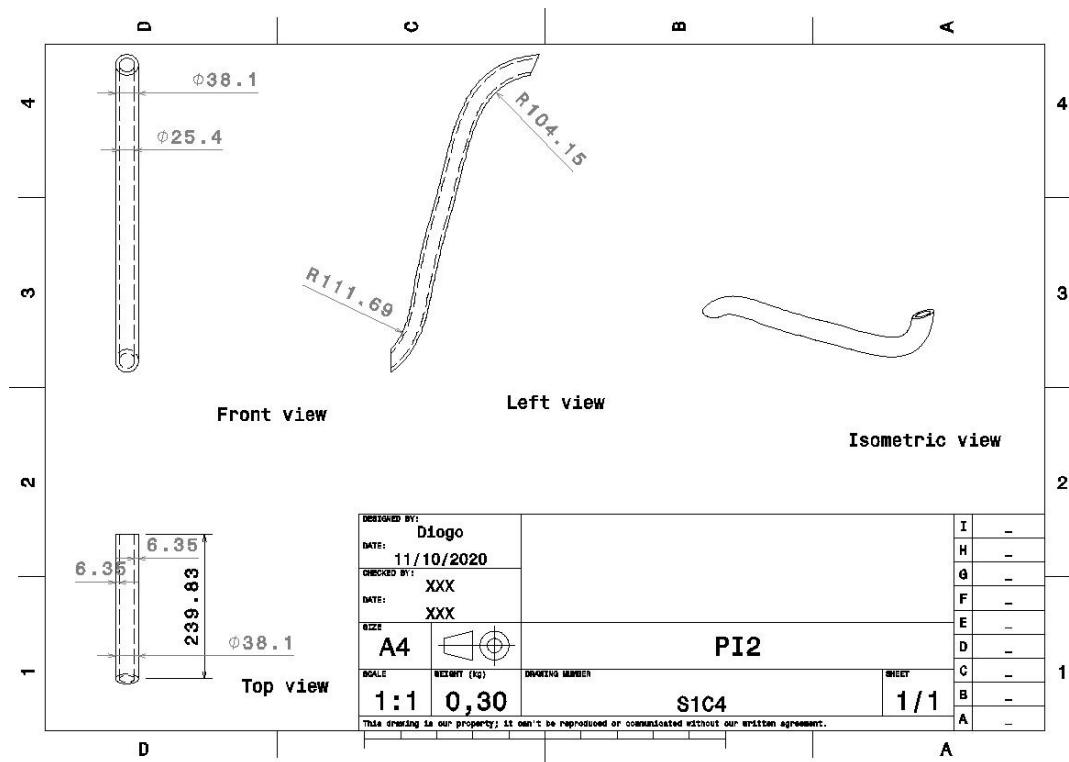


Figura 116 – Desenho técnico da mangueira do subgrupo 4 (5.1)

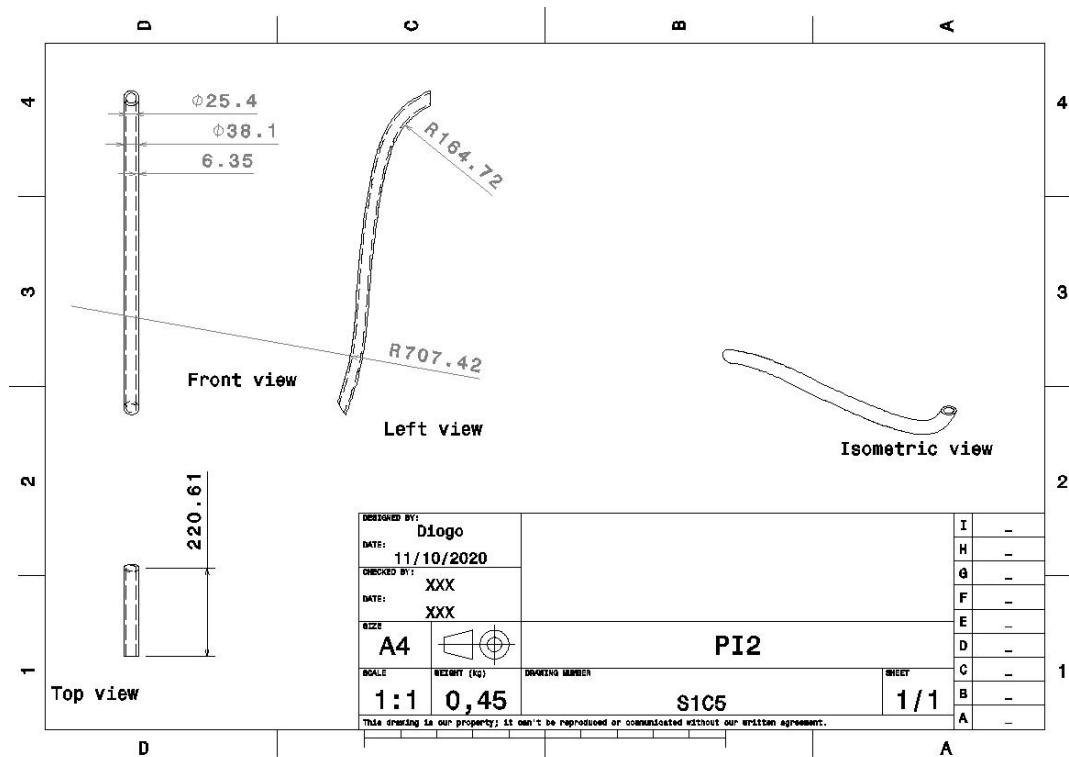


Figura 117 – Desenho técnico da mangueira do subgrupo 5 (5.1)

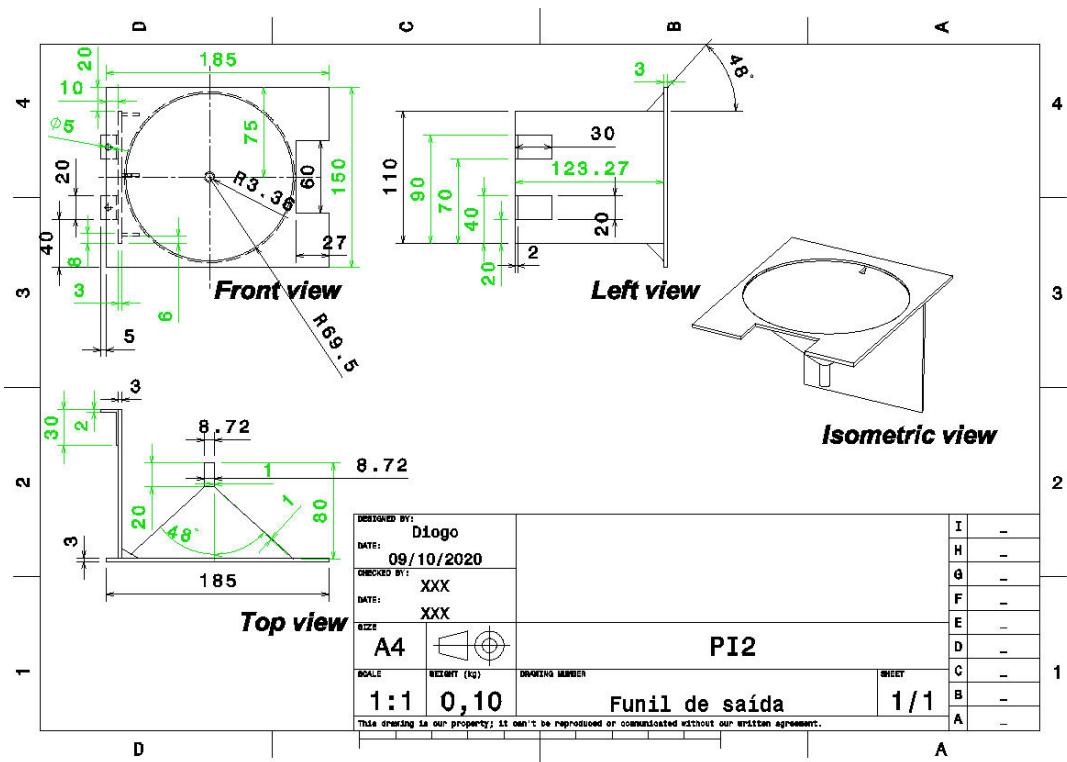


Figura 118 – Desenho técnico do funil de saída das mangueiras (5.1)

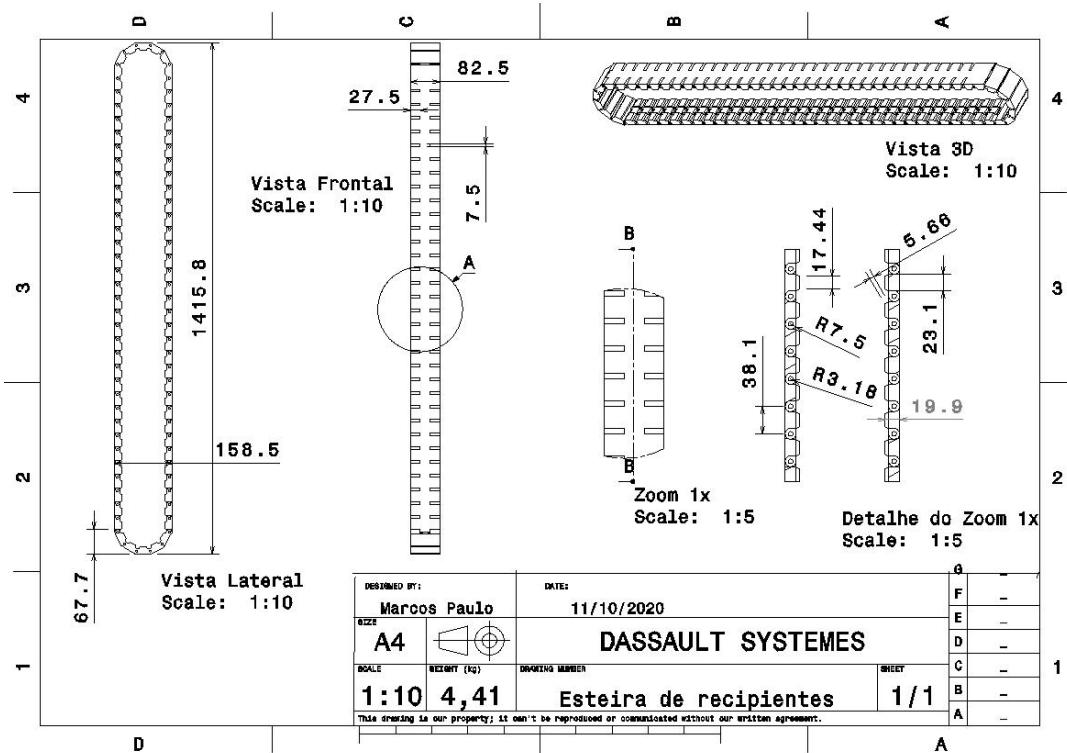


Figura 119 – Desenho técnico da esteira dos copos (5.1)

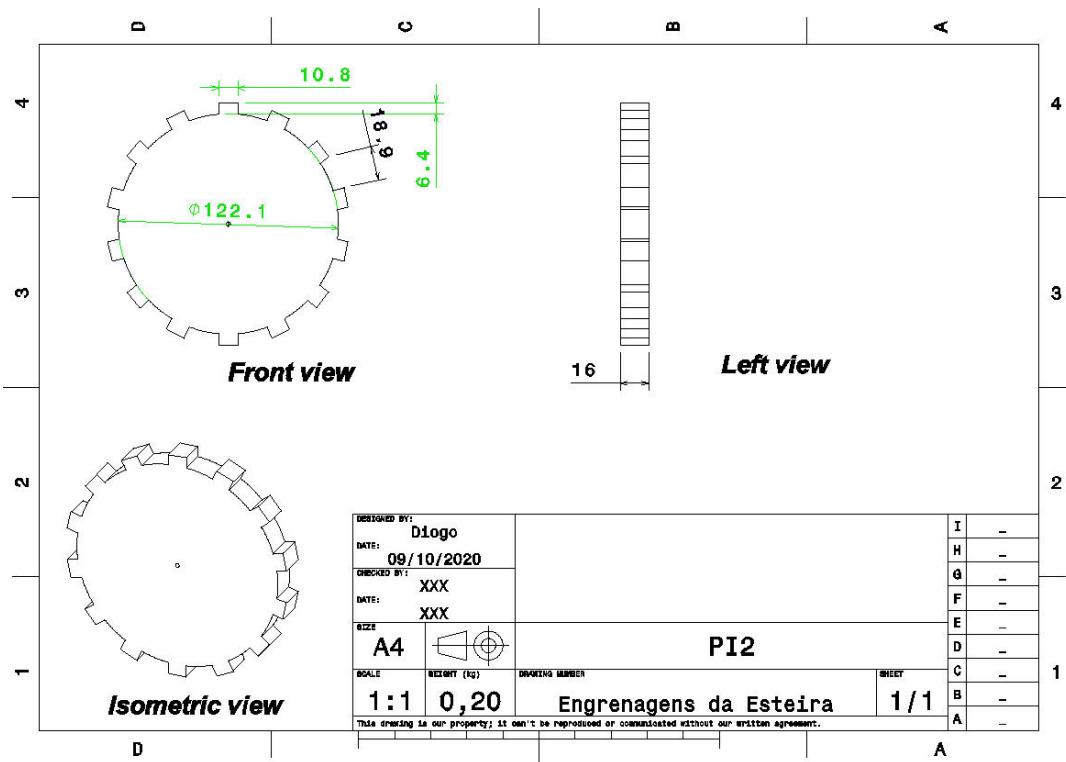


Figura 120 – Desenho técnico da engrenagem da esteira (5.1)

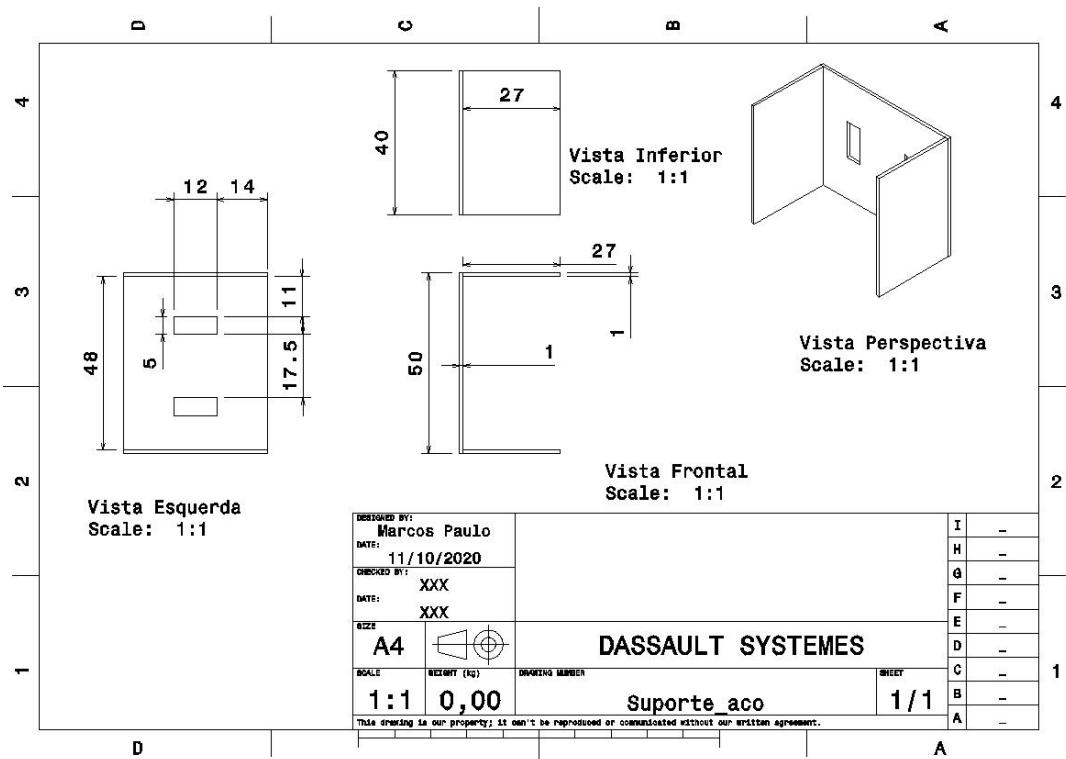


Figura 121 – Desenho técnico do suporte do motor DC da esteira (5.1)

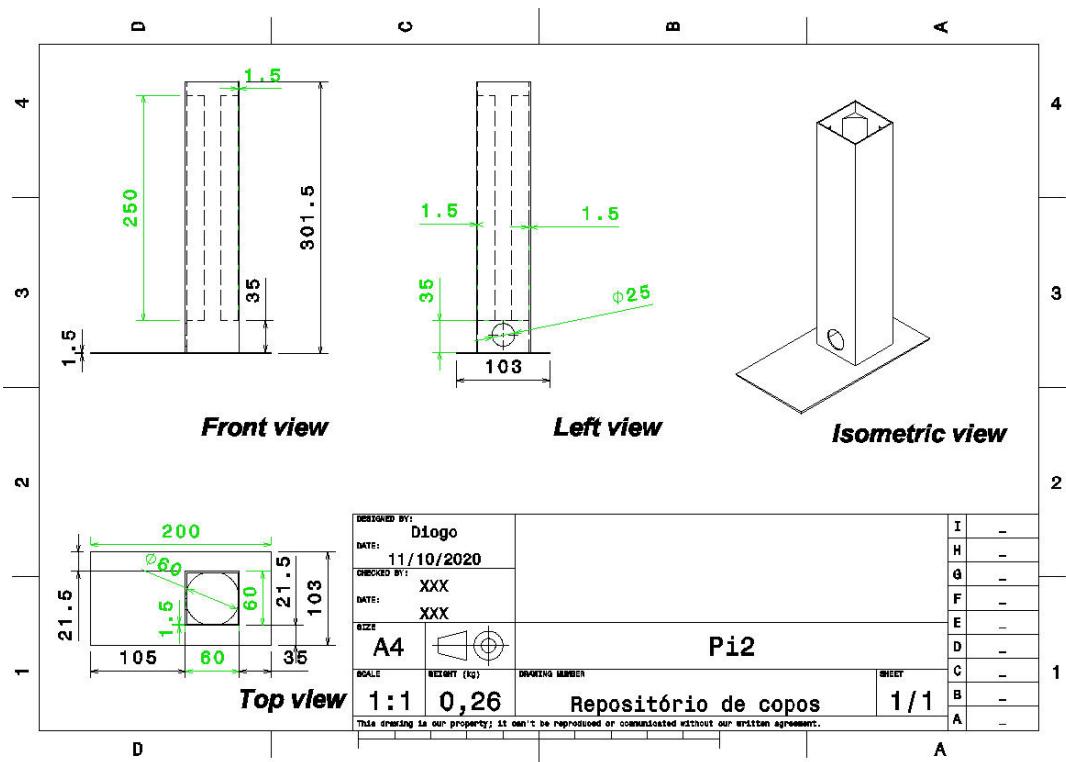


Figura 122 – Desenho técnico do repositório de copos (5.1)

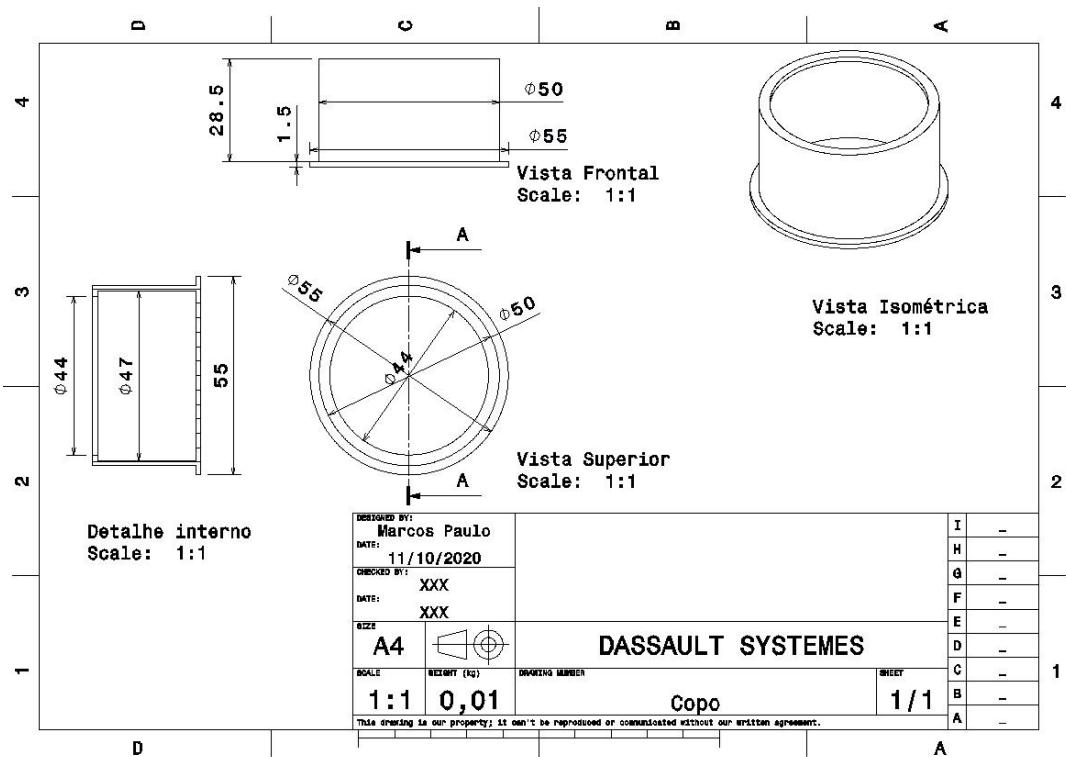


Figura 123 – Desenho técnico do copo de medicamentos (5.1)

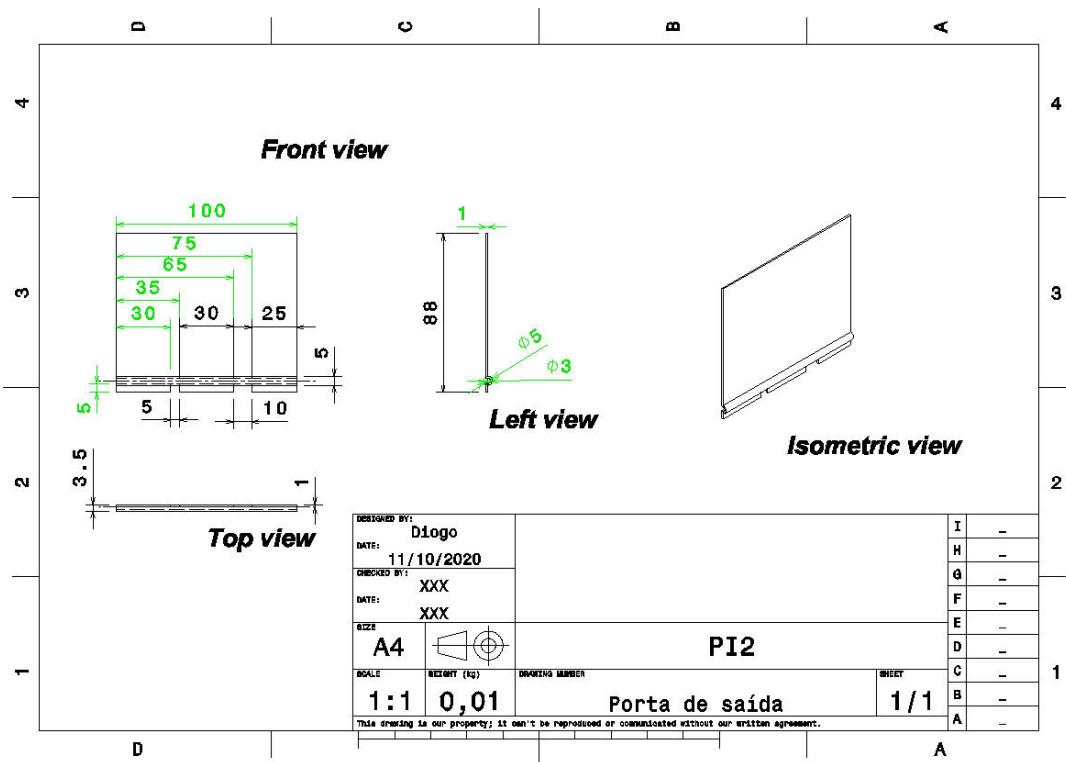


Figura 124 – Desenho técnico da porta de saída, que se apresenta tanto na saída verdadeira quanto na saída de retorno (5.1)

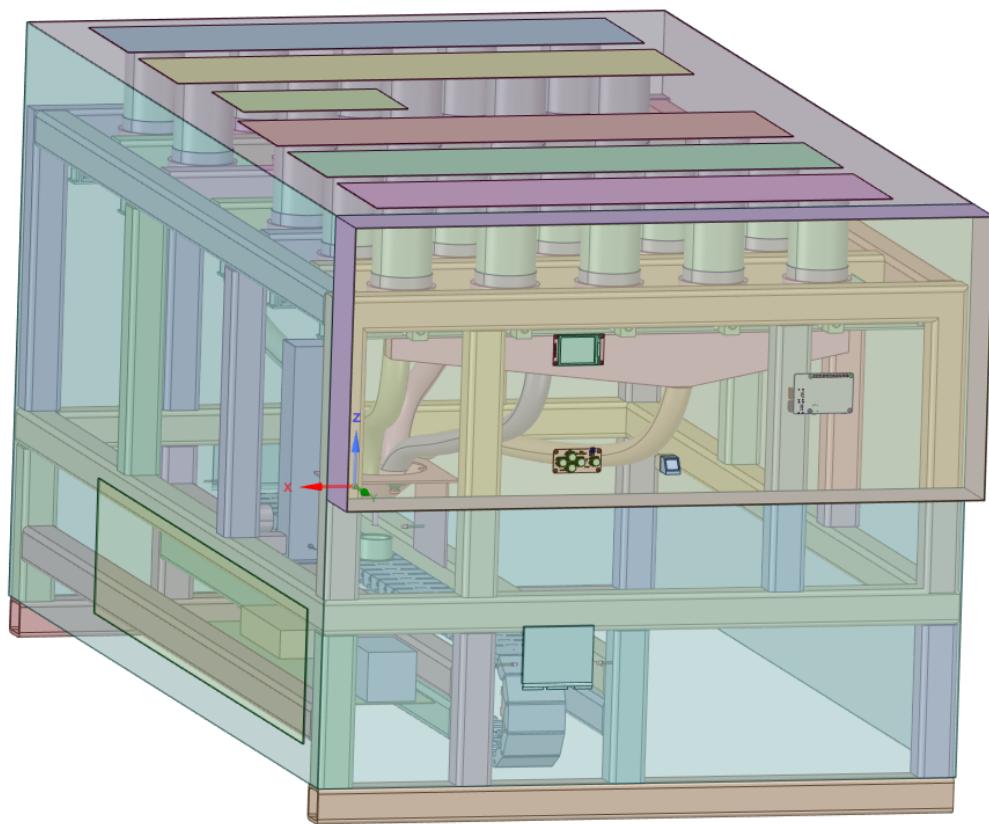


Figura 125 – Estrutural Global em formato CAD

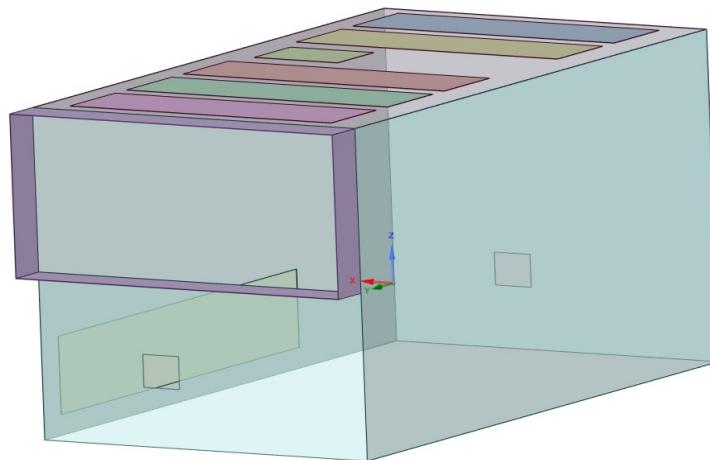


Figura 126 – Carcaça da estrutura formato CAD

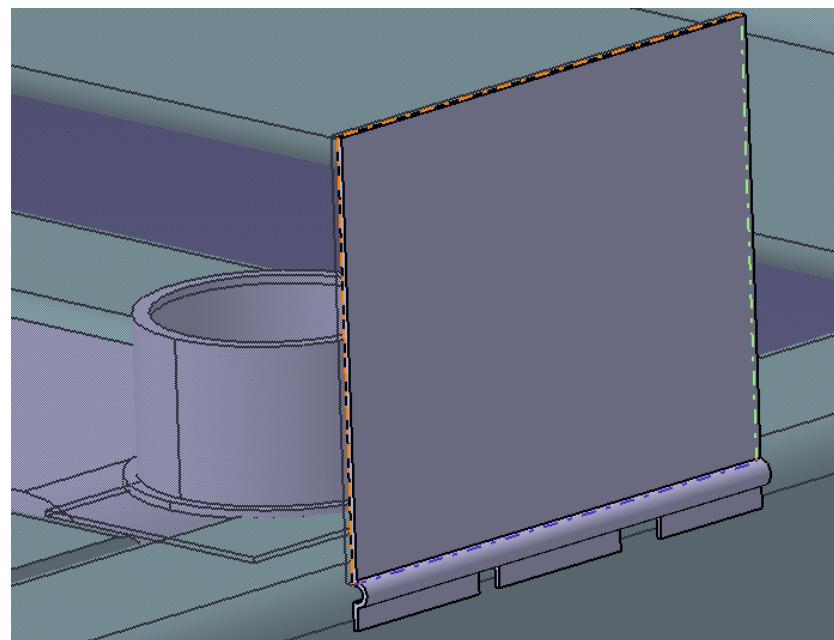


Figura 127 – Porta de saída

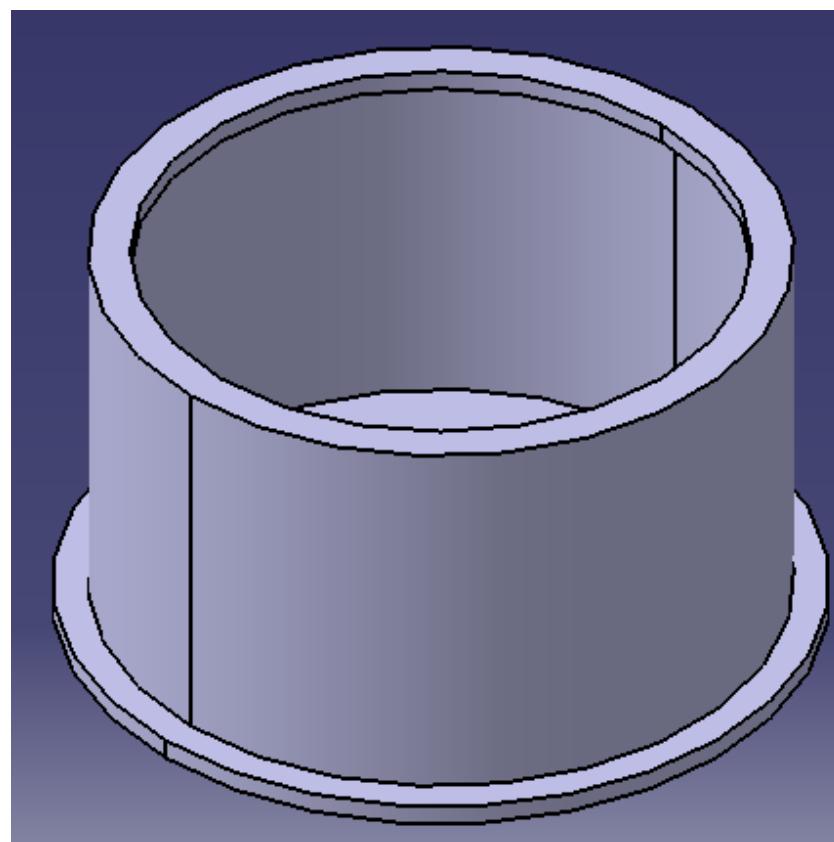


Figura 128 – Ilustração do Copo

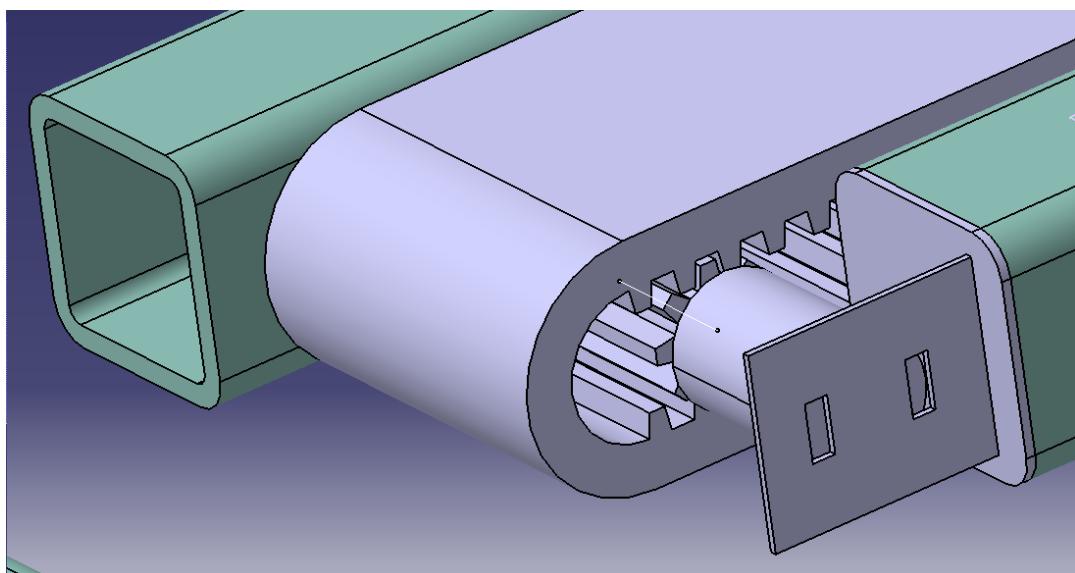


Figura 129 – Motor DC na esteira

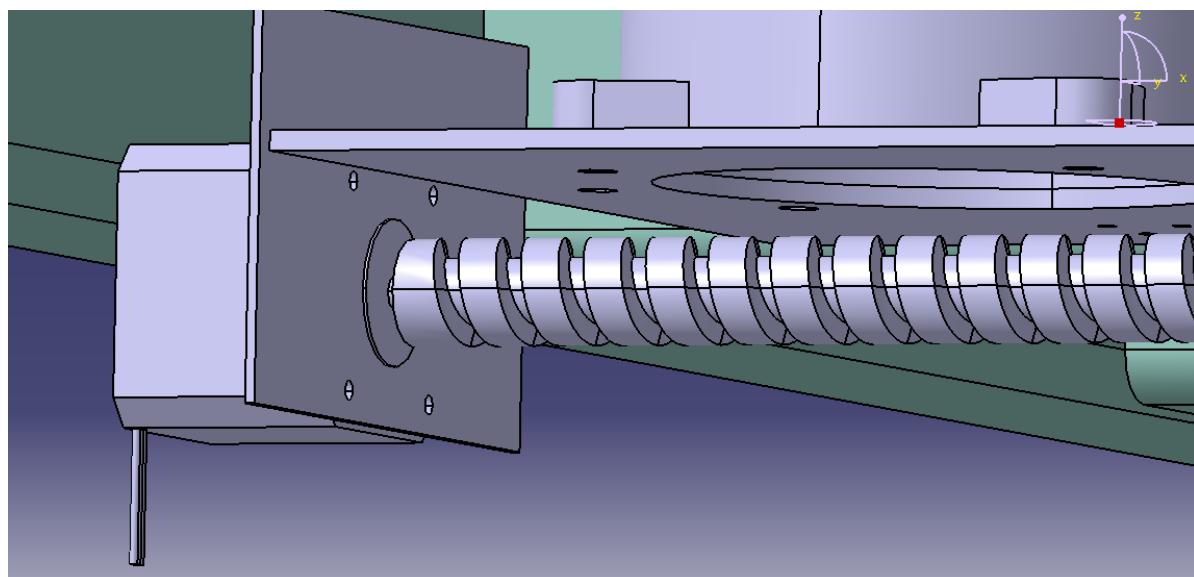


Figura 130 – Motor de passo com fuso

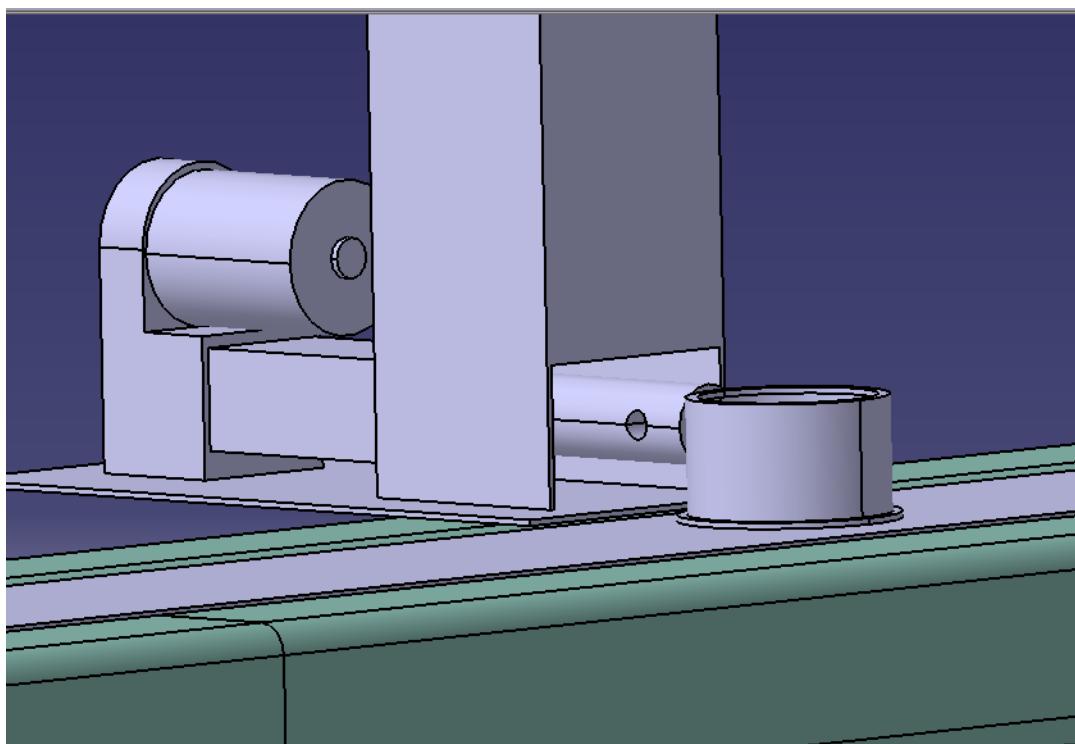


Figura 131 – Reservatório de copos com esteira

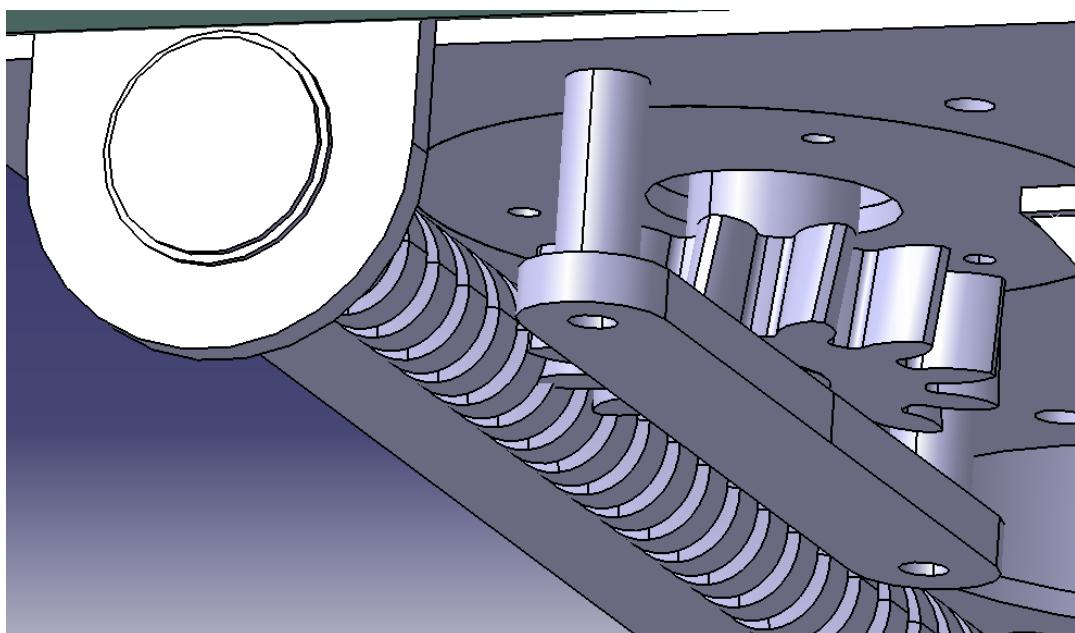


Figura 132 – Detalhes do fuso com engrenagens

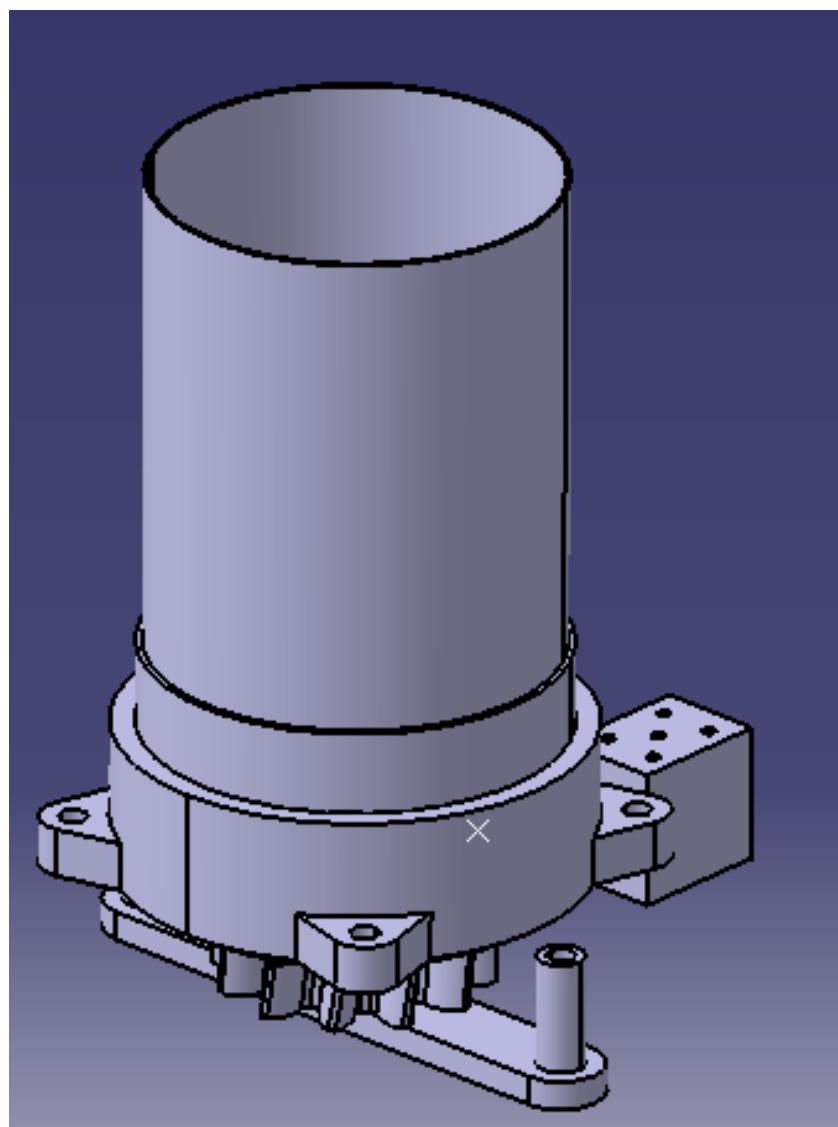


Figura 133 – Contêiner dos medicamentos

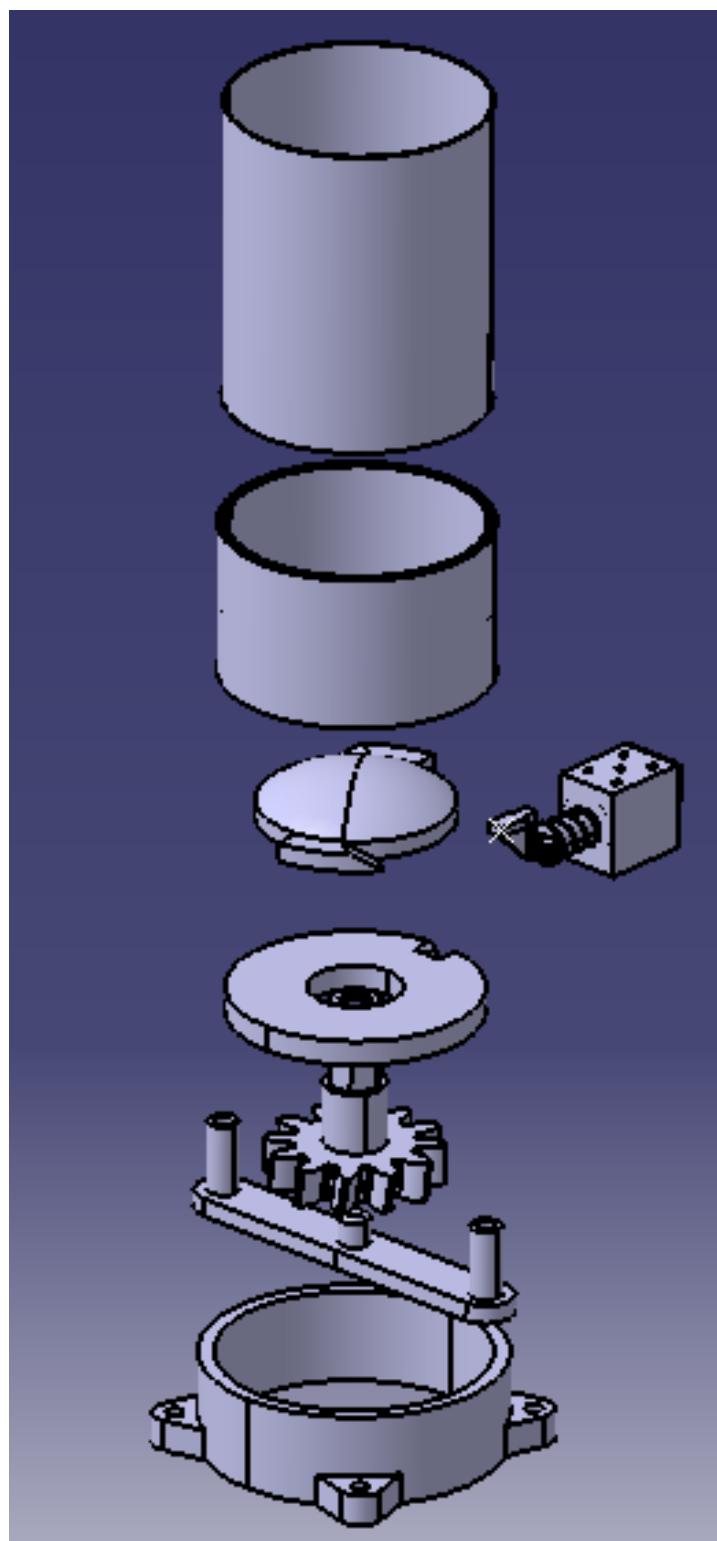


Figura 134 – Descrição detalhada do contêiner

APÊNDICE F – *Mockup das Telas do Display*

A Central de Controle exibirá no *display* 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 *display*, conforme a figura 135a. Em seguida o usuário irá selecionar uma rede de internet para fazer o login, segundo a figura 135b. Posteriormente, deve-se digitar a senha por meio da utilização da matriz de botões no teclado virtual disponível no *display*, na figura 135c.

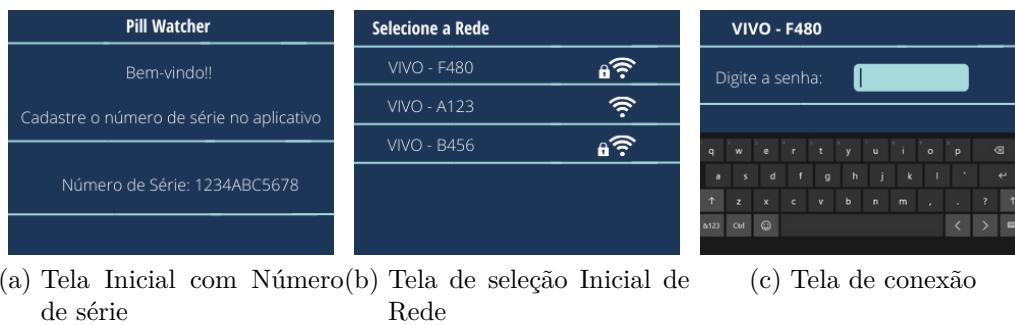


Figura 135 – Telas de Iniciação

A figura 136a 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 utiliza 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 figura 136b, existe a representação da agenda na próxima uma hora de medicações dos pacientes por ordem de horário.



Figura 136 – Tela Inicial e Tela da Agenda

Ao clicar, utilizando a matriz de botões no ícone das configurações, o usuário é encaminhado para um menu 137a. Nele é possível alterar a rede de conexão com a internet 137b, alterar data e hora 137c, alterar o brilho da tela 138a e acessar a tela com informações técnicas do dispositivo 138b.



Figura 137 – Telas de Configuração - Parte 1

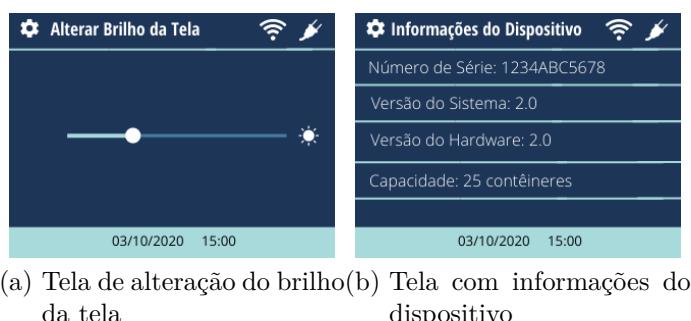


Figura 138 – Telas de Configuração - Parte 2

A figura 139a 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 *display* que o medicamento já pode ser retirado do dispositivo, tela representada na figura 139b. Após o aviso da figura 139b é apresentado no *display* 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 figura 139c.

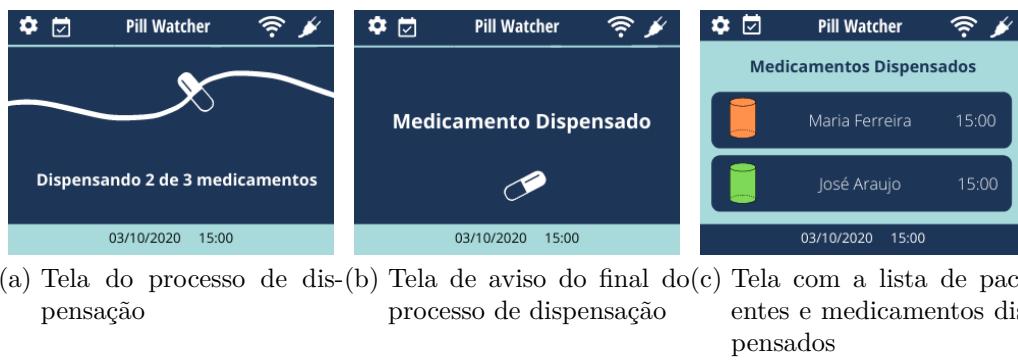


Figura 139 – Telas de Dispensação do Medicamento

Nas figuras 140, 141 e 142 está representado as telas de aviso. Sendo assim, as telas 140a e 140b avisam o enfermeiro quando as portas estão abertas e se os contêineres estão mal encaixados após o processo de reabastecimento. Já a tela 140c avisa caso exista copos com medicamentos na comporta traseira, sendo este as doses medicamentosas reprovadas por apresentar uma quantidade de medicamentos incorreta ou tipo de medicação errada após do processamento de imagem.



Figura 140 – Telas de Aviso - Parte 1

A tela 141a 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 142a avisa quando não tem a conexão com a rede elétrica, no qual o dispositivo troca automaticamente a fonte de alimentação da principal para bateria reserva. Após algumas horas de uso da bateria aparece a tela de aviso quando a bateria está acabando, conforme representado na figura 141c.

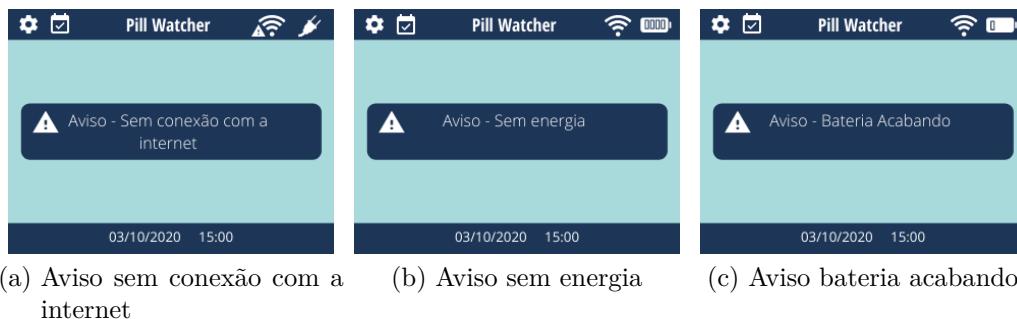


Figura 141 – Telas de Aviso - Parte 2

A tela 142a 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 142b avisa para o enfermeiro que existe uma medicação atrasada para ser retirada no dispositivo.



Figura 142 – Telas de Aviso - Parte 3



(a) Tela de cadastro de biometria (b) Tela de biometria aceita

Figura 143 – 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 figura 143a. 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 *display* representado na figura 143b.



(a) Tela do modo de reabastecimento (b) Tela de desligamento

Figura 144 – Telas de Reabastecimento e desligamento

A tela 144a informa o enfermeiro que o dispositivo está no modo de reabastecimento, sendo assim todas as funcionalidades da máquina estão suspensas. A tela 144b 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 conta que cada esquemático será a base para criação da respectiva placa de circuito impresso (PCI).

No esquemático 1, na figura 145, temos representado as conexões da Raspberry Pi 4 com o sensor de biometria DY50, sensor de temperatura e umidade HTU21D, sensor módulo RFID PN532, a câmera OV5647, o LCD 240x320 e os quatro microcontroladores PIC16F677. Também está representado a conexão da fonte de alimentação 5V (+5V e GND), fornecida pela solução energética.

Para os microcontroladores PIC16 1, PIC16 2, PIC16 3, 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 +3,3V vinda da Raspberry 4 Pi (Pino 1 - GPIO 1) e os pinos da comunicação por protocolo I²C. O sensor de biometria DY50 é alimentado por 5V e conectado aos pinos de comunicação do protocolo UART (TXD, RXD). A tela LCD 240x320 tem a conexão dos pinos de alimentação para 5V 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.

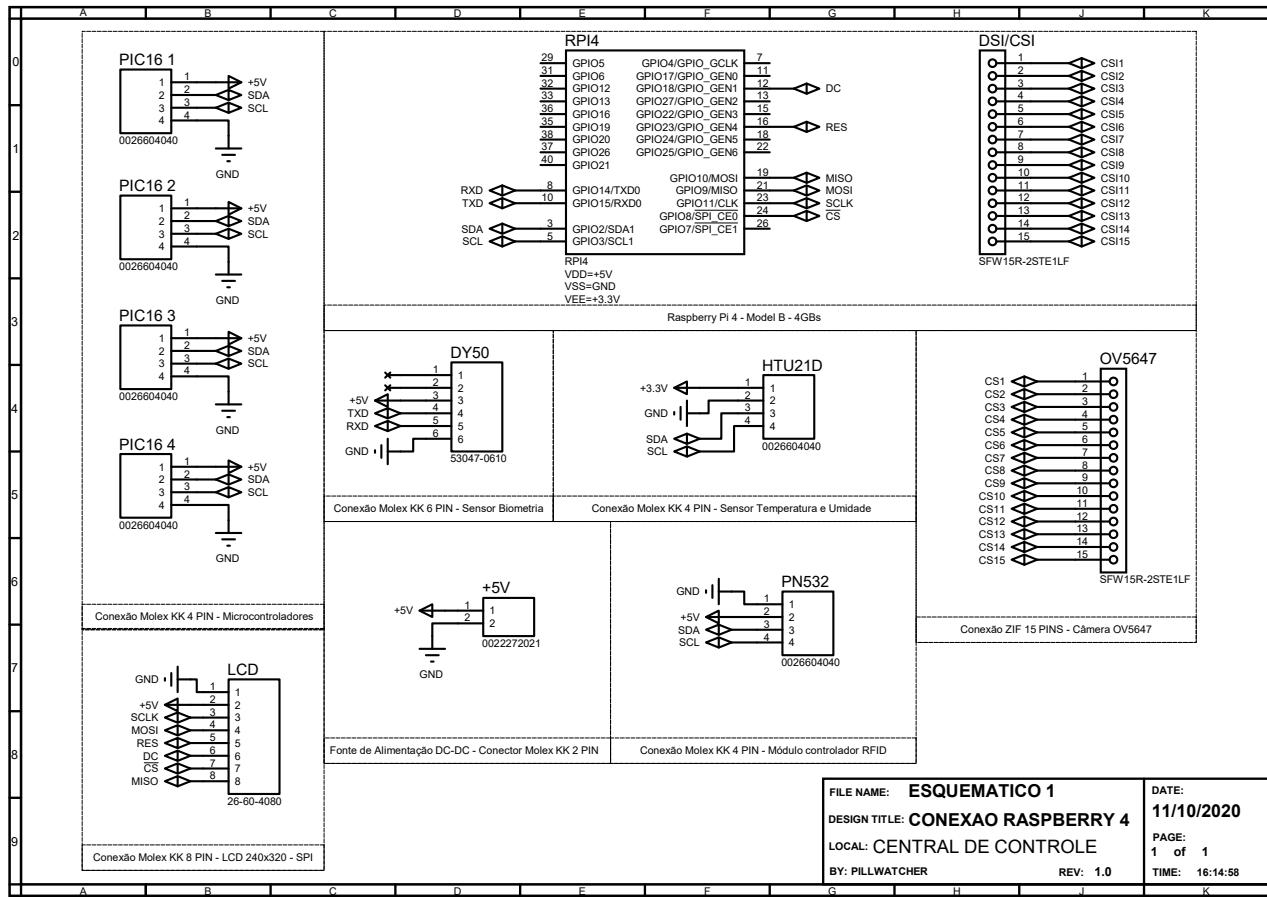


Figura 145 – Diagrama esquemático da conexão das Raspberry Pi 4 com sensores e microcontroladores

A PIC16 1 é a conexão com o microcontrolador responsável por receber os dados dos sensores de barreira, representação esquemática na figura 146. Neste esquemático temos representado a conexão entre o microcontrolador e os 30 sensores de barreira, cada sensor precisa ser conectado com um conector de 3 pinos (5V, GND e OUT). Dos 30 sensores temos que 24 estão conectados nos 3 multiplexadores CD4051 e os 6 restantes 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 a 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 dos interruptores 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 figura 147. A conexão entre os 30 interruptores segue a mesma lógica descrita para o microcontrolador do esquemático 2. No caso do teclado temos que ele precisa de 3 pinos, 2 de alimentação (5V e GND) e um 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.

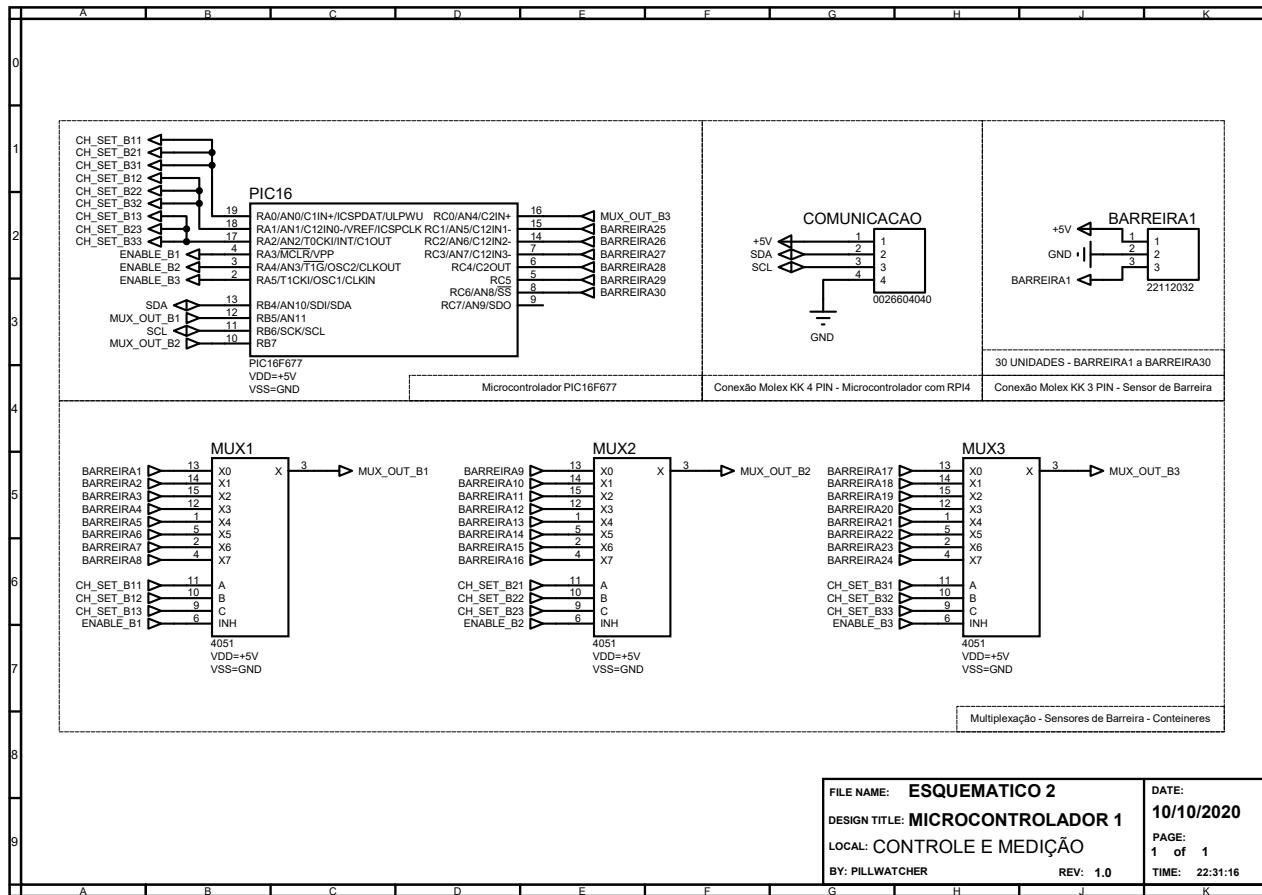


Figura 146 – Diagrama esquemático da conexão do microcontrolador 1 com os sensores de barreira

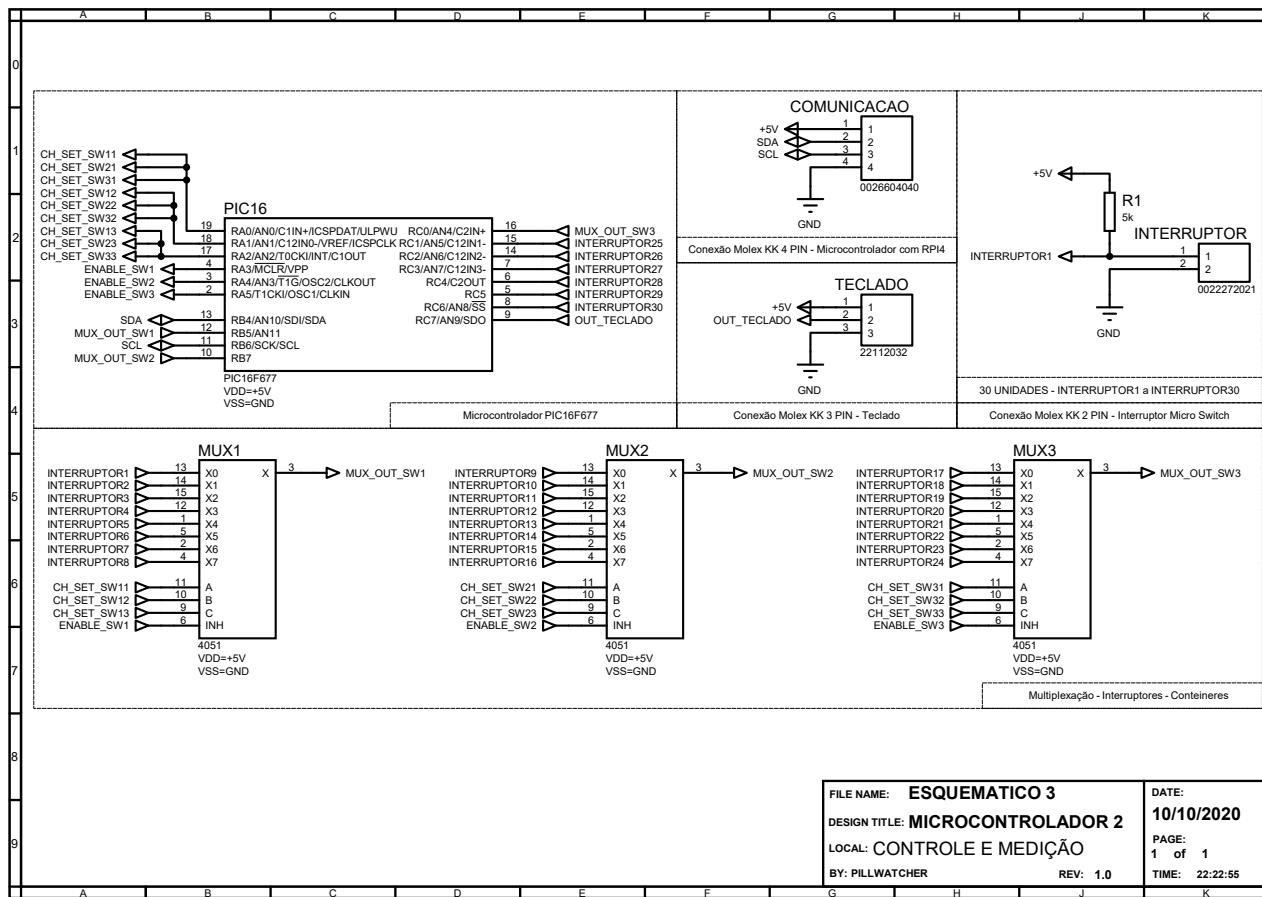


Figura 147 – Diagrama esquemático da conexão do microcontrolador 2 com os interruptores e teclado

A PIC16 3, representação esquemática na figura 148, é o microcontrolador que traduz os sinais de controle vindo 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 serem 1 saída de dados pra cada multiplexador, temos 1 entrada de dados (DEMUX_IN_SLx) e 8 saídas possíveis (SOLENOIDEx). Tanto o atuador linear como 3 solenoides restantes (27 no total sendo 24 conectados aos demux) são conectados diretamente a uma porta I/O do microcontrolador.

A PIC16 4, representação esquemática na figura 149, é o microcontrolador que traduz os sinais de controle vindo 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 sendo a conexão da referência do circuito geral. Para os *drivers* A4988, controle dos motores de passo, existe 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 que é exclusivo para cada motor de passo. Essa lógica vem dos 5 motores de passo realizar 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 no momento.

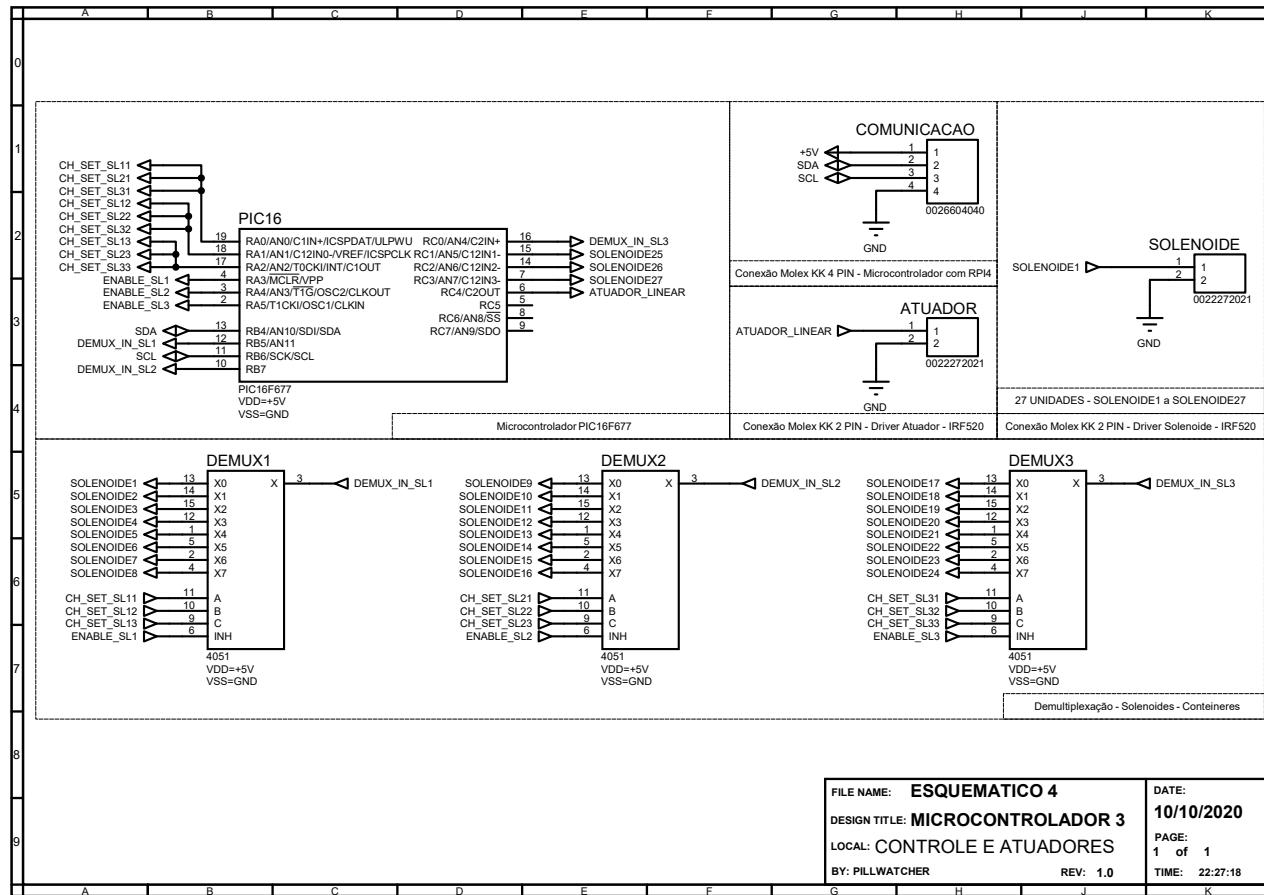


Figura 148 – Diagrama esquemático da conexão do microcontrolador 3 com os *drivers* das solenoides e atuador linear

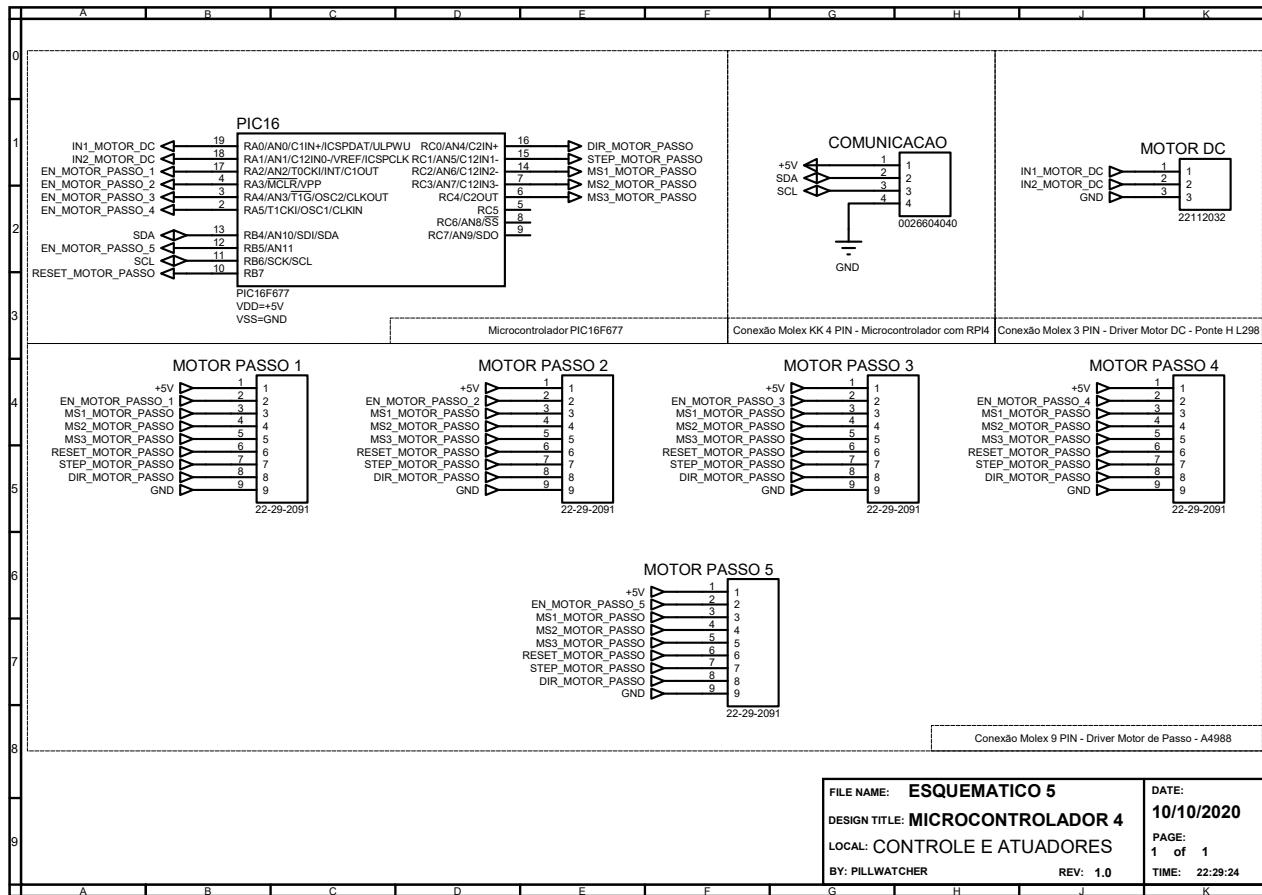


Figura 149 – Diagrama esquemático da conexão do microcontrolador 4 com os *drivers* dos motores de passo

APÊNDICE H – Placas de Circuito Impresso (PCI)

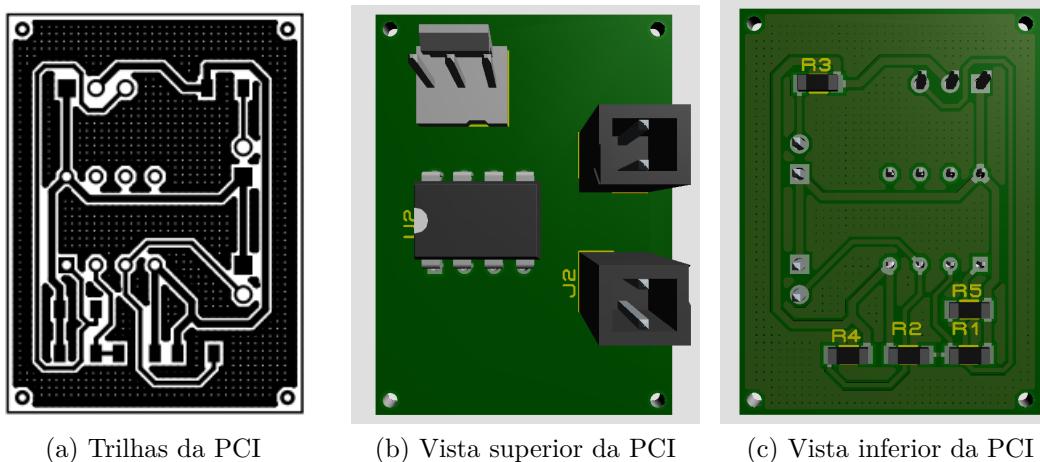


Figura 150 – PCI do sensor fotoelétrico de barreira

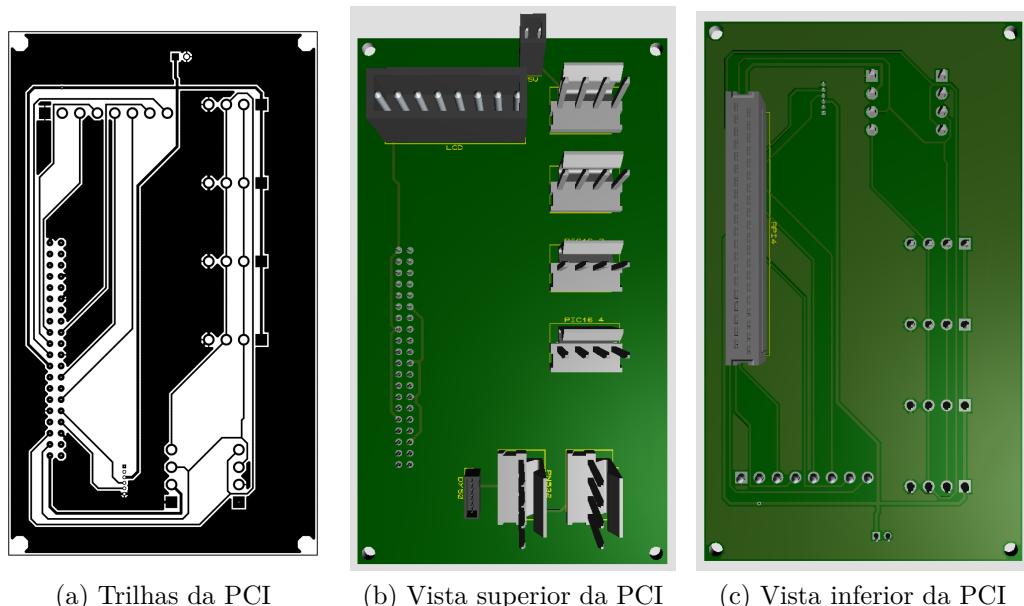


Figura 151 – PCI do sistema central

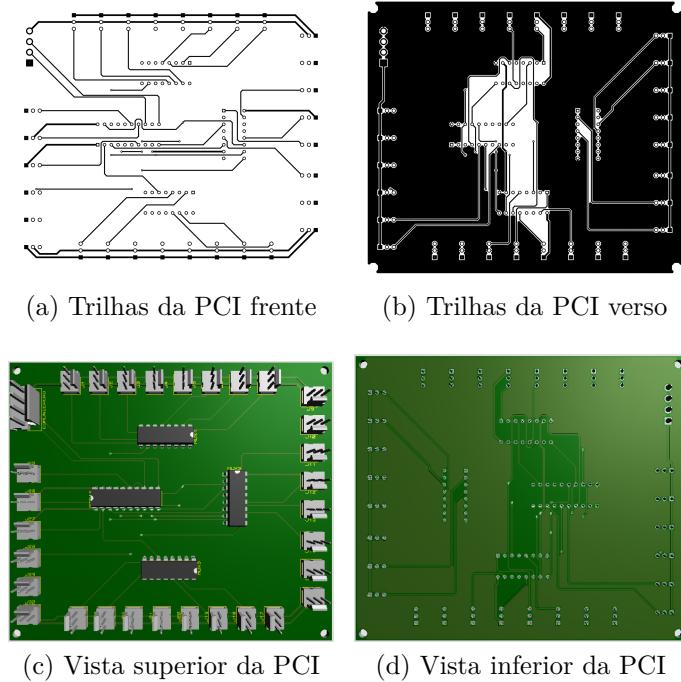


Figura 152 – PCI microcontrolador modelo 1

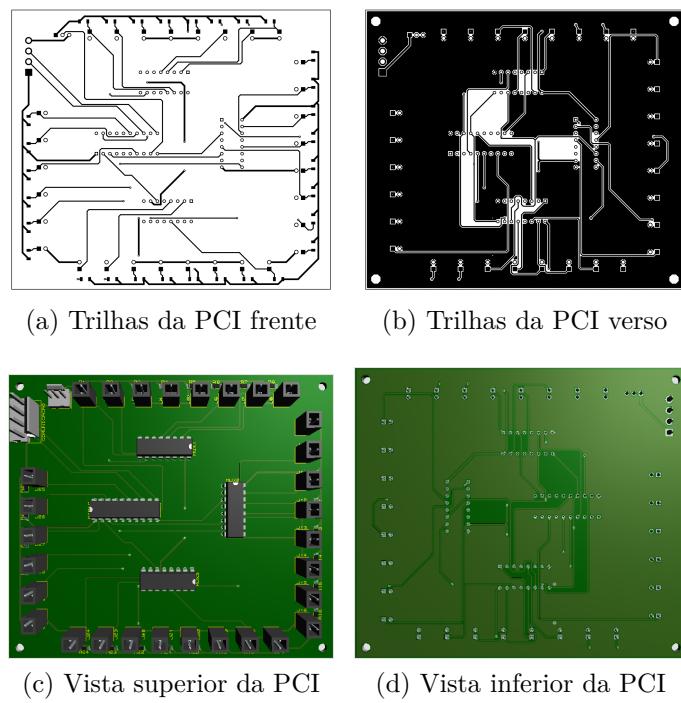
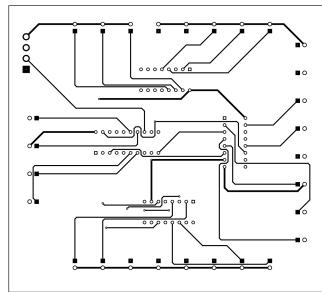
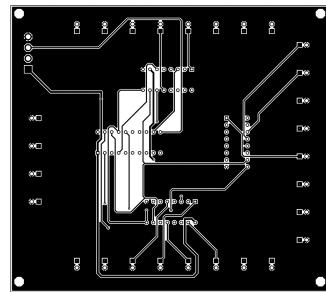


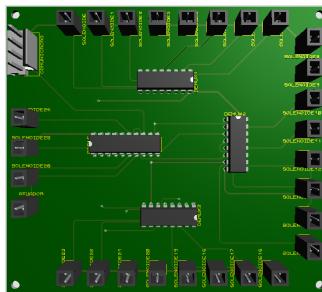
Figura 153 – PCI microcontrolador modelo 2



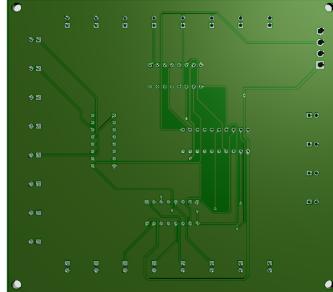
(a) Trilhas da PCI frente



(b) Trilhas da PCI verso

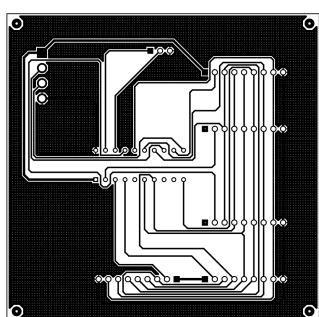


(c) Vista superior da PCI

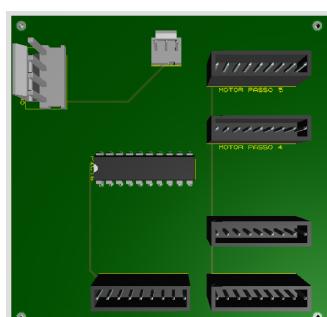


(d) Vista inferior da PCI

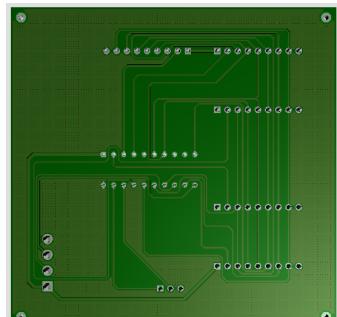
Figura 154 – PCI microcontrolador modelo 3



(a) Trilhas da PCI



(b) Vista superior da PCI



(c) Vista inferior da PCI

Figura 155 – 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, assim, a metodologia para a determinação do capacitor e das correntes dos elementos leva em conta a menor tensão, situação essa 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, tabela 18, 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 equação I.1:

$$P_{in} = \frac{P_0}{\eta} \quad (\text{I.1})$$

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:

$$V_{Cmax} = \sqrt{2} \cdot (V_{CA} - 1,4) \quad (\text{I.2})$$

Subtrai-se 1,4 da tensão pois deve ser considerado a queda de tensão nos diodos, que a cada semiciclo tem uma queda de 0,7V por diodo.

$$V_{Cmin} = V_{Cmax} \cdot (1 - \Delta V_C) \quad (\text{I.3})$$

$$V_{Cmed} = \frac{V_{Cmax} + V_{Cmin}}{2} \quad (\text{I.4})$$

O valor do capacitor (C_o) necessário para atender a especificação de ondulação na saída é calculado de acordo com a equação I.5:

$$C_o = \frac{P_{in}}{f_r \cdot (V_{Cmax}^2 - V_{Cmin}^2)} \quad (\text{I.5})$$

O intervalo de condução dos diodos ou tempo de carregamento do capacitor (t_c) é calculado de acordo com a equação I.6:

$$t_c = \frac{\arccos(V_{Cmin}/V_{Cmax})}{2\pi \cdot f_r} \quad (\text{I.6})$$

O período da tensão alternada da rede é calculado de acordo com a equação I.7:

$$t_r = \frac{1}{f_r} \quad (\text{I.7})$$

A corrente máxima (I_{dmax}) transferida da rede para o capacitor durante a condução dos diodos é calculada de acordo com a equação I.8:

$$I_{dmax} = \frac{2 \cdot C_o}{t_c} \cdot (V_{Cmax} - V_{Cmin}) \quad (\text{I.8})$$

A corrente eficaz (I_{Cef}) no capacitor é calculada de acordo com a equação I.9:

$$I_{Cef} = \frac{I_{dmax}}{3 \cdot t_r} \sqrt{3 \cdot t_c \cdot (2 \cdot t_r - 3 \cdot t_c)} \quad (\text{I.9})$$

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:

$$I_{omed} = \frac{I_{dmax} \cdot t_c}{t_r} \quad (\text{I.10})$$

$$I_{oef} = \frac{I_{dmax}}{3} \cdot \sqrt{6 \cdot \frac{t_c}{t_r}} \quad (\text{I.11})$$

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:

$$I_{dmed} = \frac{I_{dmax} \cdot t_c}{2 \cdot t_r} \quad (\text{I.12})$$

$$I_{def} = \frac{I_{dmax}}{3} \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot t_c}{t_r}} \quad (\text{I.13})$$

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 equação I.14:

$$I_L = \frac{P_o}{V_{Cmed}} \quad (\text{I.14})$$

O fator de potência (FP) do primeiro estágio é, portanto, calculado de acordo com a equação I.15:

$$FP = \frac{V_{Cmed} \cdot I_L}{V_{CA} \cdot I_{oef}} \quad (\text{I.15})$$

A impedância de entrada é considerada puramente resistiva, sendo assim, R_{ac} é calculada de acordo com a equação I.16:

$$R_{ac} = \frac{\sqrt{2} \cdot V_{CAmax}}{I_{Dmax}} \quad (\text{I.16})$$

Onde I_{Dmax} é a corrente máxima não repetitiva do diodo escolhido.

Tabela 44 – Resultados para o projeto do retificador com ponte de onda completa.

Parâmetro	Simbologia	Valor
Tensão máxima no capacitor	V_{Cmax}	309,01V
Tensão mínima no capacitor	V_{Cmin}	278,12V
Intervalo de condução dos diodos	t_c	0,0012s
Tensão média de saída	V_{cmed}	293,57V
Corrente máxima de saída da ponte	I_{omax}	10,5A
Corrente média de saída da ponte	I_{omed}	0,75A
Corrente eficaz de saída da ponte	I_{oef}	2,31A
Corrente eficaz no capacitor	I_{Cef}	2,18A
Corrente média em cada diodo	I_{Dmed}	0,38A
Corrente eficaz em cada diodo	I_{Def}	1,63A
Potência de saída	P_o	200W
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, tabela 45, 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 equação I.17:

$$A_e A_w = \frac{1,2 \cdot P_o \cdot 10^4}{k_w \cdot k_p \cdot J \cdot f_s \cdot \Delta B \cdot \eta} \quad (\text{I.17})$$

Sendo $A_e A_w = 2,69 \text{ cm}^2$, foi selecionado o núcleo E-42/21/15, com $A_e = 1,81 \text{ cm}^2$, $A_w = 1,57 \text{ cm}^2$ e $A_e A_w = 2,84 \text{ cm}^2$.

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.19 e I.20:

$$N_p = \frac{V_{i,min} \cdot D}{A_e \cdot \Delta B \cdot f} \quad (\text{I.18})$$

$$N_s = N_p \cdot 1,1 \cdot \frac{[V_o + (V_f \cdot D)]}{V_{i,min} \cdot D} \quad (\text{I.19})$$

$$N_d = N_p \cdot \frac{D}{1 - D} \quad (\text{I.20})$$

2. Diâmetro dos fios dos enrolamentos do transformador

As correntes eficazes no primário, secundário e no terceiro enrolamento são calculadas de acordo com as equações I.22, I.21 e I.23:

$$I_{p,rms} = \frac{1,2 \cdot P_o}{\eta \cdot V_i \cdot \sqrt{2} \cdot D} \quad (\text{I.21})$$

$$I_{s,rms} = \frac{I_o}{\sqrt{2}} \quad (\text{I.22})$$

$$I_{d,rms} = \frac{I_{p,rms}}{10} \quad (\text{I.23})$$

A espessura dos fios utilizados nos enrolamentos é encontrada de acordo com a equação I.24:

$$s = \frac{I_{rms}}{J} \quad (\text{I.24})$$

Tabela 45 – Características dos enrolamentos do transformador e do enrolamento de desmagnetização.

Parâmetro	Primário	Secundário	Desmagnetização
Número de espiras	25	22	6
Corrente	10,6	0,11	1,11
Fio	AWG23	AWG32	AWG13

3. Indutor

O indutor de saída é um componente muito importante para a topologia *Forward*. Seu valor é determinado a partir da equação I.25:

$$L = \frac{\left[\left(\frac{N_s}{N_p} \cdot V_i \right) (1 - D) - V_f \right] \cdot D}{0,4 \cdot I_o \cdot f_s} \quad (\text{I.25})$$

4. Capacitor

Seu valor é determinado a partir da equação I.26:

$$C = \frac{0,4 \cdot I_o}{2 \cdot \pi \cdot f_s \cdot 0,01 \cdot V_o} \quad (\text{I.26})$$

5. Transistor

Para a seleção do MOSFET é necessário determinar a máxima tensão teórica aplicável, que é determinada de acordo com a equação I.27:

$$V_t = V_i \cdot \left(1 + \frac{N_p}{N_d} \right) \quad (\text{I.27})$$

6. Diodos

A tensão teórica no secundário é calculada a partir da equação 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.

$$V_s = \frac{N_s \cdot V_i}{N_p} \quad (\text{I.28})$$

- Díodo de desmagnetização V_{D1} :

$$V_{D1} = V_i + \frac{N_d \cdot V_i}{N_p} \quad (\text{I.29})$$

- Díodo Série Saída V_{D2} :

$$V_{D2} = \frac{N_p^2 \cdot V_i}{N_s \cdot N_d} \quad (\text{I.30})$$

- Díodo paralelo Saída V_{D3} :

$$V_{D3} = \frac{N_p \cdot V_i}{N_s} \quad (\text{I.31})$$

I.3 Diagramas Unifilares

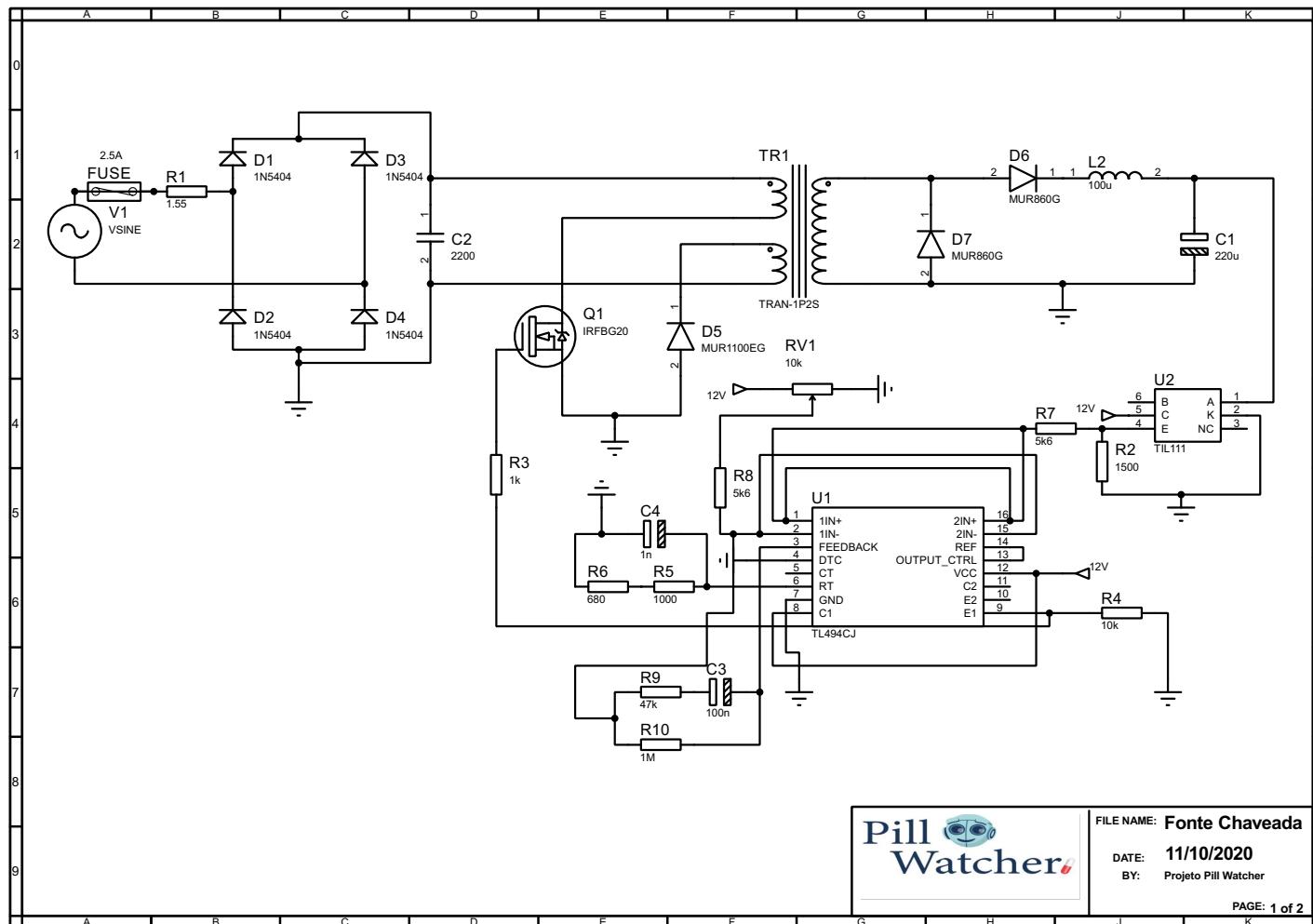


Figura 156 – Diagrama esquemático da fonte chaveada do tipo *Forward*.

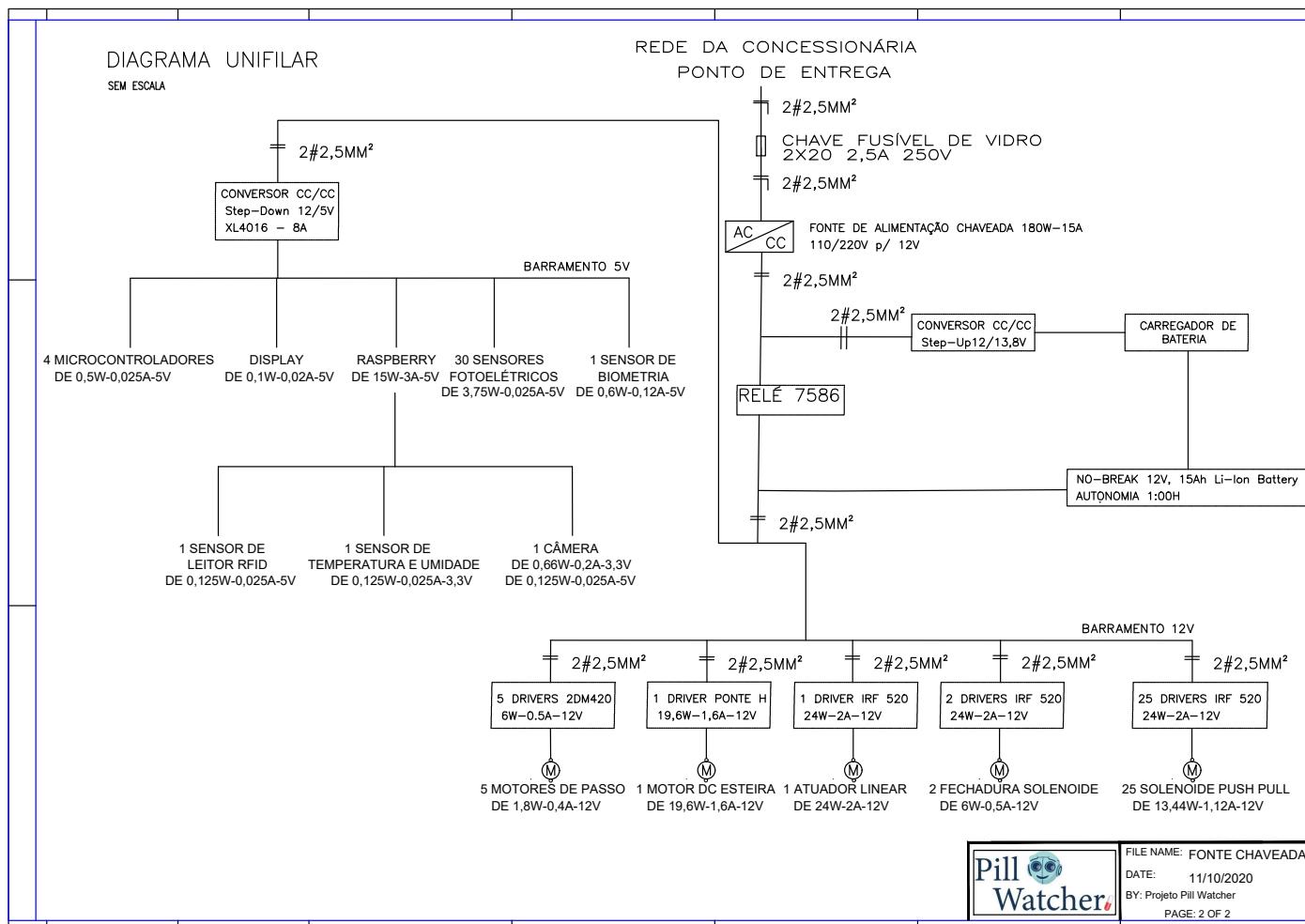


Figura 157 – Diagrama unifilar do circuito do *Pill Watcher*.

APÊNDICE J – Principais Decisões de Software

Tabela 46 – 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, consequentemente, provocaria um risco ao projeto. Dessarte, 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 Spring Boot para a realização do <i>back-end</i> facilita a implementação de uma arquitetura orientada a microsserviços. Além disso, a framework possui vasta documentação e ferramentas que permitem a comunicação entre si das multi plataformas desenvolvidas. Será possível a realização de um API Gateway para unificar as chamadas dos microsserviços.
04	Utilização da arquitetura de microserviços	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 devido ao baixo preço de custo e facilidade de manutenção
06	Utilização do <i>MySQL</i> para o Banco de Dados	Mysql 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 workbench

#	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 hardware, ele utiliza uma arquitetura que se chama publication e subscription, onde enviamos uma mensagem pro broker 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 com que várias máquinas assinem esse tópico e recebam os dados quase que em tempo real. Além de ser open source.
08	Utilização de um <i>API Gateway</i>	A criação de um API Gateway centraliza a chamada dos microserviços 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 SonarQube Analysis foi escolhido em razão de ser uma ferramenta a qual os membros possuem experiência prévia, é confiável e atende de forma completa as necessidades do grupo.
10	Utilização do Travis para <i>Deploy</i>	O Travis CI é um serviço de integração contínua, onde ele constrói e testa projetos de software que estão no github, exatamente onde estamos desenvolvendo o Pill Watcher.
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 deploy, entre outras vantagens. Diante disso, é muito importante trazer essa abordagem para o projeto e a ferramenta escolhida foi o Docker 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 design pattern observable, 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 a 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, ela ficará na API Gateway.

APÊNDICE K – Principais Funcionalidades do Software

K.1 *Front-end*

Anteriormente à equipe tomar a decisão de focar no desenvolvimento do *Back-end*, justificada na tabela 46 na seção do Ponto de Controle 2. Um segmento do *Front-end* foi desenvolvido. No total, 8 telas ilustradas abaixo e que estão disponíveis para consulta em [Repositório Github - Frontend](#).

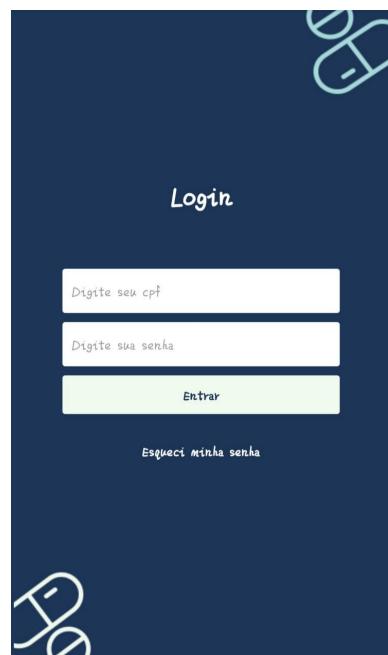


Figura 158 – Login - Link para o código: [Código](#)



Figura 159 – Recuperar Senha - Link para o código: [Código](#)



Figura 160 – Email enviado - Link para o código: [Código](#)

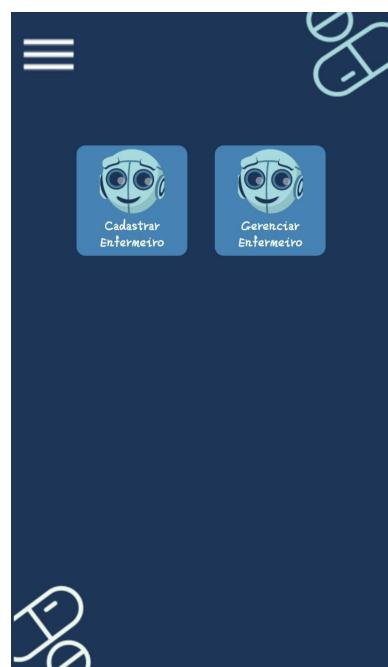


Figura 161 – Menu de administrador - Link para o código: [Código](#)

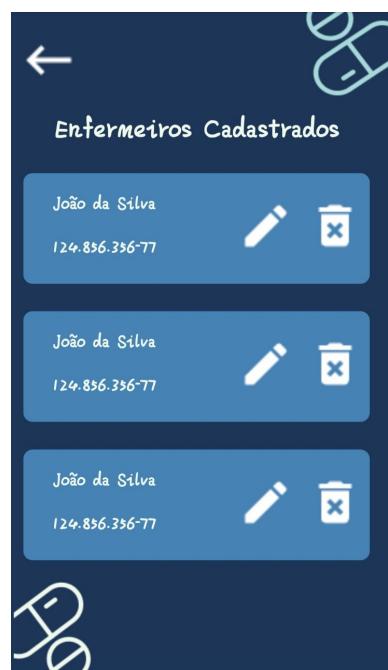


Figura 162 – Gerenciamento de enfermeiros - Link para o código: [Código](#)



Figura 163 – Alterar dados de um(a) enfermeiro(a) - Link para o código: [Código](#)

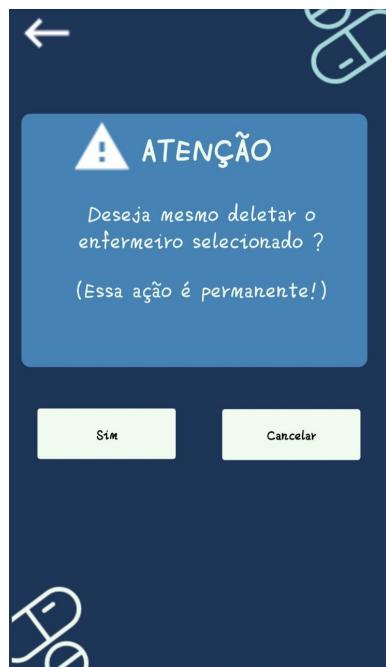


Figura 164 – Deletar um(a) enfermeiro(a) do sistema - Link para o código: [Código](#)

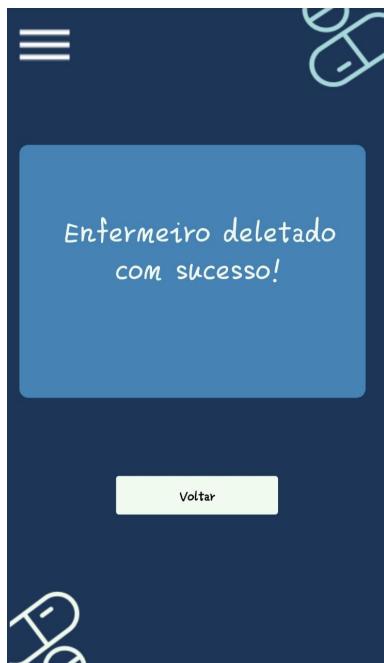


Figura 165 – Confirmação de retirada do(a) enfermeiro(a) do sistema - Link para o código: [Código](#)

K.2 Back-end

- Criação de banco de dados em tempo de execução
- Estrutura inicial de um [API Gateway](#)
- Ambiente *Dockerizado* para Microsserviço de Administrador
- Ambiente *Dockerizado* para Microsserviço de Paciente
- Ambiente *Dockerizado* para Microsserviço de Enfermagem
- [Criação](#) de um perfil Administrador
- [Alteração](#) de um perfil Administrador
- [Busca](#) de um perfil Administrador
- [Deleção](#) de um perfil Administrador
- Configuração de [Integração Contínua](#) para o Microsserviço de Administrador
- Configuração de [Integração Contínua](#) para o Microsserviço de Paciente

- Configuração de [Integração Contínua](#) para o Microsserviço de Enfermagem
- Configuração de [Integração Contínua](#) para o API Gateway
- Configuração de [SonarQube](#) para o Microsserviço de Administrador
- Configuração de [SonarQube](#) para o Microsserviço de Paciente
- Configuração de [SonarQube](#) para o Microsserviço de Enfermagem

A organização do projeto pode ser encontrada [aqui](#).

APÊNDICE L – Autoavaliação

Projeto PillWatcher Ponto de Controle 2		
Nome	Matrícula	Descrição da Contribuição
Grupo Técnico de Estrutura (Engenharia Aeroespacial/Automotiva)		
Diogo P. Sousa	12/0115590	Participação na elaboração dos desenhos técnicos. Revisão das cotagens dos respectivos desenhos técnicos.
Fabrício de A. Oliveira	16/0027772	Atualização dos CADs de acordo com novas demandas. Dimensionamento do par sem-fim composto por engrenagem e fuso. Pesquisa e confecção de CADs de componentes eletrônicos. Descrição dos processos de fabricação. Auxílio nas simulações estáticas estruturais. Referencial teórico das propriedades mecânicas dos polímeros. Auxílio no dimensionamento dos motores de passo e da esteira. Formatação e correções do documento final.
Luso de J. Torres	15/0051808	Projeto de simulação estática do fusos e engrenagens, subgrupo dos contêineres, auxílio no dimensionamento dos motores de passo e da esteira, projeto da simulação térmica. Auxílio na descrição e decisão do posicionamento dos componentes na estrutura, simulação computacional dos modelos. Gerenciamento geral de atividades do grupo estrutural e auxílio na gerência das atividades das outras células. Verificação do andamento do projeto e auxílio na formatação e correção do documento final.
Marcos Paulo R. Garcia	16/0014123	Aprimoramento dos CADs apresentados no PC1 para a realidade. Projeto das canaletas de guia, canal guia, mangueiras de silicone e funil de saída. Remodelagem da esteira para modelo comercial utilizado. Introdução dos componentes de outras áreas no CAD global, com posicionamento preliminar. Adaptação das chapas de aço par alocação do painel, sensor de biometria, teclado interativo e Raspberry. Simulação estática da estrutura tubular. Auxílio na mensuração das cargas aplicadas nos fusos e engrenagens. Definição e auxílio na confecção dos desenhos técnicos da estrutura e de todos os componentes estruturais. Referenciação teórica da Análise Estrutural, assim como interpretação de seus resultados.

Projeto PillWatcher		
Ponto de Controle 2		
Nome	Matrícula	Descrição da Contribuição
Grupo Técnico de Controle e Alimentação (Engenharia Energia/Eletrônica)		
Gabriel G. Carmona	16/0028558	Participação na realização de esquemáticos na área de eletrônica. Desenvolvimento de técnica de processamento de imagens. Desenvolvimento de PCIs. Auxílio no desenvolvimento de PCIs e diagramas técnicos.
Luiza Carolina C. Gonçalves	13/0143791	Participação na elaboração do dimensionamento da fonte de alimentação. Participação no dimensionamento dos motores. Participação na escolha da bateria, dimensionamento dos condutores e sistema de proteção.
Rebeka P. Gomes	16/0017491	Participação na elaboração do dimensionamento da fonte de alimentação. Participação na elaboração do dimensionamento dos motores, conversores e sistema de proteção. Elaboração dos diagramas unifilares de energia.
Sofia C. Fontes	16/0018234	Aprimoramento da documentação da área eletrônica, realização do diagrama de integração, realização do diagrama lógico de eletrônica, realização do desenvolvimento, simulação e criação da PCB do circuito para o sensor de barreira, realização das telas do <i>display</i> , formatação do documento em Latex, revisão da documentação.
Tiago R. Pereira	16/0072620	Organização da equipe e entregáveis para cada sprint, Realização do Cronograma para PC2, aprimoramento da documentação da área eletrônica, realização dos esquemáticos da área eletrônica, formatação do documento em Latex, revisão da documentação da área eletrônica, verificação de compatibilidade entre a solução eletrônica e de energia

Projeto PillWatcher		
Ponto de Controle 2		
Nome	Matrícula	Descrição da Contribuição
Grupo Técnico de Software		
Amanda V. Pires	15/0004796	Participação na elaboração do protótipo, codificação de funcionalidades do <i>back-end</i> , criação e contribuição na tabela de decisões de software, concepção de apêndices, elaboração de diagramas de pacotes, caso de uso e modelagem do banco de dados. Escrita do tópico de inovação de software.
Filipe D. Lima	16/0006163	Participação na elaboração do protótipo, codificação de funcionalidades do <i>back-end</i> , criação e contribuição na tabela de decisões de software, concepção de apêndices, elaboração de diagramas de pacotes, caso de uso e modelagem do banco de dados. Escrita do tópico de inovação de software.
Gabriela C. de Moraes	16/0006872	Participação na elaboração do protótipo, codificação de telas do <i>front-end</i> , criação e contribuição na tabela de decisões de software, descrição do protótipo e das telas do <i>front-end</i> para o relatório, concepção e detalhamento do NFR de confiabilidade.
Geovanne S. Saraiva	15/0035756	Participação na elaboração do protótipo, codificação das telas do <i>front-end</i> , contribuição na tabela de decisões de software, produção de NFR de usabilidade e segurança, descrição do protótipo e das telas do <i>front-end</i> para o relatório.
Kamilla C. Souza	16/0010969	Participação na elaboração do protótipo, codificação de telas do <i>front-end</i> , criação e contribuição na tabela de decisões de software, descrição do protótipo e das telas do <i>front-end</i> para o relatório, concepção e detalhamento do NFR de desempenho.