



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

CleanAir - Purificador e esterilizador de ar portátil para ambiente residencial

Autor: Grupo 07

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

Gama, DF

2021



Grupo 07

CleanAir - Purificador e esterilizador de ar portátil para ambiente residencial

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

Universidade de Brasília - UnB

Faculdade UnB Gama - FGA

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

Gama, DF

2021

Grupo 07

CleanAir - Purificador e esterilizador de ar portátil para ambiente residencial/
Grupo 07. – Gama, DF, 2021-

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

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

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

1. Purificação. 2. Qualidade. 3. Saúde. I. Prof. Dr. Alex Reis; Prof. Dr. José Felício da Silva; Prof. Dr. Jungpyo Lee; Prof. Dr. Rhander Viana; Prof. Dr. Ricardo Matos Chaim e Prof. Dr. Paolo Gessini . II. Universidade de Brasília. III. Faculdade UnB Gama. IV. CleanAir - Purificador e esterilizador de ar portátil para ambiente residencial

Grupo 07

CleanAir - Purificador e esterilizador de ar portátil para ambiente residencial

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

Trabalho aprovado. Gama, DF, 26 de março de 2021:

Alex Reis

Orientador

José Felício da Silva

Orientador

Jungpyo Lee

Orientador

Rhander Viana

Orientador

Ricardo Matos Chaim

Orientador

Paolo Gessini

Orientador

Gama, DF

2021

Integrantes do Projeto

Coordenadora Geral: Daniela Ferreira de Oliveira

Diretor de Qualidade: Dérick Fernando Oliveira Fernandes

Diretora Técnica de Elétrica: Manuella Cristina Panza Ramos

Diretora Técnica de Software: Sara Conceição de Sousa Araújo Silva

Diretor Técnico de Estrutura: Caio Augusto Chaves Araújo

Demais Colaboradores

Caio Oliveira de Moraes

Eduardo Lima Ribeiro

Gabriel Martins de Castro

Ginette Cameka Schroetter

Lívia Melo de Moura

Luísa Caroline Alves Silva

Natália Vilela Guimarães

Rossicler Rodrigues Pires Júnior

Thaís Gomes de Melo

Lista de ilustrações

Figura 1 – Circuito esquemático de acionamento do motor.	44
Figura 2 – Simulação do controle de velocidade do motor por PWM.	46
Figura 3 – Circuito redutor de tensão.	52
Figura 4 – Arquitetura de Eletrônica	57
Figura 5 – Diagrama de distribuição de energia	66
Figura 6 – Etapas de Filtragem	68
Figura 7 – Discretização do domínio do purificador.	76
Figura 8 – Gradiente de pressão no plano de simetria do purificador	77
Figura 9 – Linhas de corrente no domínio interno do purificador.	78
Figura 10 – Gradiente de velocidade no plano de simetria do purificador.	78
Figura 11 – Discretização do domínio da sala.	79
Figura 12 – Linhas de corrente exauridos na direção normal a superfície do purificador para o interior da sala.	80
Figura 13 – Linhas de corrente exauridos com inclinação de 60º em relação a superfície do purificador para o interior da sala com fluxo mássico máximo.	80
Figura 14 – Linhas de corrente exauridos com inclinação de 60º em relação a superfície do purificador para o interior da sala.	81
Figura 15 – Seções principais do purificador.	82
Figura 16 – Grelha de ventilação.	83
Figura 17 – Mecanismo de direcionamento das aletas.	83
Figura 18 – Rodizio 40 mm de Poliuretano.	84
Figura 19 – a. Modo de fixação do rodízio na longarina; e b. Montagem final dos rodízios no equipamento.	84
Figura 20 – Desenho dos elementos estruturais internos.	85
Figura 21 – Desenho dos encaixes responsáveis por unir os módulos.	86
Figura 22 – Integração do conjunto de ventilação às longarinas.	86
Figura 23 – Desenho dos elementos de vedação e isolamento.	87
Figura 24 – CAD da (a) tira em forma de arco que formará o funil, da (b) chapa que formará o pescoço da peça, (c) referente à cuba completa.	87
Figura 25 – Método de fixação da Cuba.	88
Figura 26 – Vista expandida do esquema de filtros.	89
Figura 27 – Moldura inferior dos filtros.	90
Figura 28 – Esquemático para o cálculo do ângulo da crista da ondulação. Fonte:(XU; ZHOU, 2014).	91
Figura 29 – homogeneizador de fluxo de ar.	93

Figura 30 – Estrutura externa do sensor de qualidade do ar.	94
Figura 31 – Condições de contorno aplicadas.	94
Figura 32 – Representação do carregamento aplicado.	95
Figura 33 – Detalhes da malha.	96
Figura 34 – Malha com 90400 elementos.	96
Figura 35 – Tensão Equivalente de Von-mises.	97
Figura 36 – Tensão Normal em Z.	97
Figura 37 – Deformação em Z.	98
Figura 38 – Deformação total.	98
Figura 39 – Fator de Segurança.	99
Figura 40 – Arquitetura da solução de software.	104
Figura 41 – Tecnologias da solução de software.	104
Figura 42 – Serviço <i>mq-interface</i>	106
Figura 43 – Serviço <i>mq-interface</i>	107
Figura 44 – Serviço <i>mq-interface</i>	108
Figura 45 – Diagrama de arquitetura da informação.	110
Figura 46 – Faixas de qualidade do ar.	111
Figura 47 – Arquitetura de integração entre subsistemas	113
Figura 48 – Grelha de ventilação e seus respectivos componentes eletrônicos.	115
Figura 49 – Disposição da PCI da seção de potência do purificador.	116
Figura 50 – Estrutura da PCI da seção de filtragem do purificador.	117
Figura 51 – Disposição da PCI da seção de filtragem do purificador.	117
Figura 52 – Canaletas para a passagem de fiação.	118
Figura 53 – Plugs macho e fêmea.	118
Figura 54 – Estrutura externa do sensor de qualidade do ar.	119
Figura 55 – Disposição dos componentes eletrônicos do sensor de qualidade do ar.	119
Figura 56 – Diagrama de Alimentação dos componentes.	120
Figura 57 – Integração entre eletrônica e software.	121
Figura 58 – Logomarca do Produto <i>CleanAir</i>	131
Figura 59 – Organograma da EAP para o ponto de controle 1.	135
Figura 60 – Organograma da EAP para o ponto de controle 2.	136
Figura 61 – Organograma da EAP para o ponto de controle 3.	137
Figura 62 – Cronograma do Projeto	141
Figura 63 – Retificação da tensão alternada.	144
Figura 64 – Filtração de tensão alternada para tensão contínua.	145
Figura 65 – Retificação da tensão alternada.	147
Figura 66 – Filtração.	148
Figura 67 – Classificação de filtros de partículas.	149
Figura 68 – Critérios de avaliação para filtros absolutos.	149

Figura 69 – Capacidades de condução de corrente, em amperes	150
Figura 70 – Diagrama esquemático da conexão para o controle dos atuadores e com a fonte de alimentação.	152
Figura 71 – Diagrama esquemático da conexão do microcontrolador 1 com a fonte de alimentação e os atuadores.	154
Figura 72 – Diagrama esquemático da conexão sensorial com microcontrolador 2. .	156
Figura 73 – Diagrama esquemático da fonte de alimentação do <i>Mobile Sensor</i>	157
Figura 74 – Diagrama esquemático da fonte de alimentação do Purificador.	158
Figura 75 – Diagrama unifilar do circuito do <i>Mobile Sensor</i>	159
Figura 76 – Diagrama unifilar do circuito do Purificador.	160
Figura 77 – Esquemático do sensor MQ-2.	161
Figura 78 – Gráfico das características de sensibilidade do MQ-2.	161
Figura 79 – Gráfico das características de sensibilidade do MQ-131.	163
Figura 80 – Gráfico das características de sensibilidade do MICS-6814.	163
Figura 81 – Placa de circuito impresso da potência do Purificador	165
Figura 82 – Placa de circuito impresso do controle do Purificador	166
Figura 83 – Placa de circuito impresso do <i>Mobile Sensor</i>	167
Figura 84 – Placa de circuito impresso do Alimentação do Purificador	168
Figura 85 – Placa de circuito impresso do Alimentação do Sensor	169
Figura 86 – Domínio do sistema	173
Figura 87 – Vista isométrica do purificador de ar <i>CleanAir</i>	177
Figura 88 – Vista isométrica do sensor de ar <i>CleanAir</i>	178
Figura 89 – Vista superior do purificador de ar e do sensor <i>CleanAir</i>	178
Figura 90 – Renderização do purificador <i>CleanAir</i> com ambientação em uma sala de estar.	179
Figura 91 – Renderização do purificador <i>CleanAir</i> com ambientação em um escritório de alta densidade.	179
Figura 92 – Fluxograma dos Desenhos Técnicos	180
Figura 93 – Partes externas com as principais cotas do <i>CleanAir</i>	181
Figura 94 – Cuba <i>CleanAir</i>	182
Figura 95 – Caixa inferior do purificador <i>CleanAir</i>	183
Figura 96 – Canaleta inferior <i>CleanAir</i>	184
Figura 97 – Canaleta superior <i>CleanAir</i>	185
Figura 98 – Case da bateria <i>CleanAir</i>	186
Figura 99 – Case da PCI de controle (superior) <i>CleanAir</i>	187
Figura 100 – Case da PCI de potência (inferior) <i>CleanAir</i>	188
Figura 101 – Encaixe <i>CleanAir</i>	189
Figura 102 – Entrada para a grelha de ventilação do <i>CleanAir</i>	190
Figura 103 – Grelha de ventilação <i>CleanAir</i>	191

Figura 104 – Homogeneizador <i>CleanAir</i>	192
Figura 105 – Moldura inferior <i>CleanAir</i>	193
Figura 106 – Motor DC do <i>CleanAir</i>	194
Figura 107 – Paredes de cima do <i>CleanAir</i>	195
Figura 108 – Paredes de cima do <i>CleanAir</i>	196
Figura 109 – Plug macho para conexão das longarinas do <i>CleanAir</i>	197
Figura 110 – Pré-filtro do purificador <i>CleanAir</i>	198
Figura 111 – Modelo das rodas do <i>CleanAir</i>	199
Figura 112 – Tampa da seção de fitragem <i>CleanAir</i>	200
Figura 113 – Tampa intermediária <i>CleanAir</i>	201
Figura 114 – Tampa isolante para a bateria <i>CleanAir</i>	202
Figura 115 – Tampa superior da grade <i>CleanAir</i>	203
Figura 116 – Tampão dos filtros <i>CleanAir</i>	204
Figura 117 – Viga inferior do <i>CleanAir</i>	205
Figura 118 – Viga superior do <i>CleanAir</i>	206
Figura 119 – Vista explodida com os componentes do <i>CleanAir</i>	207
Figura 120 – Estilos do protótipo	208
Figura 121 – Visão geral do protótipo	209
Figura 122 – Fluxos do protótipo	209
Figura 123 – Tela principal	210
Figura 124 – Tela de descanso	210
Figura 125 – Gráfico das porcentagens de respostas da pergunta número 1.	211
Figura 126 – Gráfico das porcentagens de respostas da pergunta número 2.	211
Figura 127 – Gráfico das porcentagens de respostas da pergunta número 3.	211
Figura 128 – Gráfico das porcentagens de respostas da pergunta número 4.	212
Figura 129 – Gráfico das porcentagens de respostas da pergunta número 5.	212
Figura 130 – Gráfico das porcentagens de respostas da pergunta número 6.	212
Figura 131 – Gráfico das porcentagens de respostas da pergunta número 7.	213
Figura 132 – Gráfico das porcentagens de respostas da pergunta número 8.	213
Figura 133 – Gráfico das porcentagens de respostas da pergunta número 9.	213
Figura 134 – Gráfico das porcentagens de respostas da pergunta número 10.	214
Figura 135 – Gráfico das porcentagens de respostas da pergunta número 11.	214
Figura 136 – Gráfico das porcentagens de respostas da pergunta número 12.	214
Figura 137 – Gráfico das porcentagens de respostas da pergunta número 13.	215
Figura 138 – Gráfico das porcentagens de respostas da pergunta número 14.	215
Figura 139 – Gráfico das porcentagens de respostas da pergunta número 14.	215

Lista de tabelas

Tabela 1 – Requisitos de alto-nível	27
Tabela 2 – Requisitos do Purificador	28
Tabela 3 – Requisitos <i>Mobile Sensor</i>	28
Tabela 4 – Requisitos de Energia	29
Tabela 5 – Requisitos estruturais	29
Tabela 6 – Probabilidade de Risco	32
Tabela 7 – Probabilidade de Risco	33
Tabela 8 – Matriz Probabilidade e Impacto	33
Tabela 9 – Riscos do Projeto	34
Tabela 10 – Riscos Externos	34
Tabela 11 – Riscos do Produto	34
Tabela 12 – Riscos e Ações	35
Tabela 13 – Riscos Técnicos Estruturais	36
Tabela 14 – Riscos e Ações Estrutura	36
Tabela 15 – Riscos Técnicos de Eletrônica	37
Tabela 16 – Riscos e Ações Eletrônica	38
Tabela 17 – Riscos Técnicos Energéticos	39
Tabela 18 – Riscos e Ações Energia	39
Tabela 19 – Riscos Técnicos de Software	40
Tabela 20 – Riscos e Ações Software	40
Tabela 21 – Lista é e não é do produto	41
Tabela 22 – Levantamento prévio da carga do Purificador	72
Tabela 23 – Levantamento prévio da carga do Mobile Sensor	73
Tabela 24 – Parâmetros de qualidade das malhas	75
Tabela 25 – Matriz de decisão para o material da cuba	88
Tabela 26 – Resultados obtidos.	97
Tabela 27 – Propriedades Mecânicas do ACM (STACBOND, 2021).	100
Tabela 28 – Propriedades Mecânicas do alumínio 6063-T5 (ASM, 1995).	100
Tabela 29 – Propriedades Mecânicas do Aço Inoxidável 304 (CALLISTER; RETHWISCH, 2012).	101
Tabela 30 – Propriedades Mecânicas do TPU (MATWEB, 2021b).	101
Tabela 31 – Propriedades Mecânicas e Térmicas do PETG (MATWEB, 2021a).	102
Tabela 32 – Propriedades do silicone (AFINKO, 2018).	102
Tabela 33 – Propriedades do material não curado (SL, 2018).	103
Tabela 34 – Custos do Projeto	122
Tabela 35 – Riscos na Abertura do Projeto	133

Tabela 36 – Marcos do projeto	133
Tabela 37 – Marcos do projeto	170

Lista de abreviaturas e siglas

A	Ampere
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABS	<i>Acrylonitrile Butadiene Styrene</i>
ACM	<i>Aluminium Composite Material</i>
AES	<i>Advanced Encryption Standard</i>
API	<i>Application Programming Interface</i>
ASA	Acrylonitrile Styrene Acrylate
atm	Atmosfera
BLP	<i>Bacteria-like particles</i>
BMS	<i>Battery Management System</i>
bps	Bits por segundo
C	Capacitância
°C	Celsius
CC	Corrente Contínua
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CDC	Centro de Controle e Prevenção de Doenças dos Estados Unidos
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CO	Monóxido de carbono
COVs	Compostos orgânicos voláteis
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
cP	centipoise
dB	Decibel
dBA	Decibel

DC	<i>Direct Current</i>
EAP	Estrutura Analítica do Projeto
EAR	Estrutura Analítica de Riscos
EN	<i>European Norm</i>
FGA	Faculdade do Gama
GLP	Gás liquefeito de petróleo
GND	<i>Ground</i>
GPa	Giga Pascal
GPIO	<i>General Purpose Input/Output</i>
HB	Dureza Brinnell
HEPA	<i>High Efficiency Particulate Air</i>
HTTP	<i>Hypertext Transfer Protocol</i>
I	Corrente
I2C	<i>Inter-integrated Circuit</i>
IOT	<i>Internet of Things</i>
IP	<i>Index Protection</i>
IQA	Índice de Qualidade do Ar
J	Joules
JSON	<i>JavaScript Object Notation</i>
L_p	<i>Indutância Primária</i>
L_s	<i>Indutância Secundaria</i>
mA	Micro ampère
MERV	<i>Minimum Efficiency Reporting Value</i>
MHz	Mega Hertz
MISO	<i>Master Input Slave Output</i>
MMA	Ministério do Meio Ambiente

MOSFET	<i>Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor</i>
MOSI	<i>Master Output Slave Input</i>
MP	Material Particulado
MPa	Mega Pascal
MQTT	<i>Message Queuing Telemetry Transport</i>
ms	Micro segundo
NA	Normalmente Aberta
NBR	Norma Brasileira
NF	Normalmente fechada
NO ₂	Dióxido de Nitrogênio
O ₃	Ozônio
QAI	Qualidade do Ar Interno
QoS	<i>Quality of Service</i>
Pa	Pascal
PC	Ponto de Controle
PCI	Placa de Circuito Impresso
PETG	Polietilino Tereftalato de Etileno Glicol
PI2	Projeto Integrador 2
PLA	<i>Polylactic Acid</i>
PMBOK	<i>Project Management Body of Knowledge</i>
PPM	Partículas por milhão
PROCONVE	Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores
PRONAR	Programa Nacional de Controle do Ar
PWM	<i>Pulse-Width Modulation</i>
REST	<i>Representational State Transfer</i>
RMS	<i>root-mean-square</i>

RPM	Rotações por minuto
Sars-CoV-2	Síndrome respiratória aguda grave de coronavírus 2
SCL	<i>Serial Clock Line</i>
SCLK	<i>Serial Clock</i>
SDA	<i>Serial Data Line</i>
SnO_2	Dióxido de estanho
SO_2	Dióxido de enxofre
SoC	<i>System On a Chip</i>
SPI	<i>Serial Peripheral Interface</i>
SS	<i>Slave Select</i>
t	Tempo
TAP	Termo de Abertura do Projeto
TCP/IP	Protocolos de comunicação de rede
TKIP	<i>Temporal Key Integrity Protocol</i>
TPU	<i>Thermoplastic Polyurethane</i>
UART	<i>Universal Asynchronous Receiver/Transmitter</i>
UnB	Universidade de Brasília
UR	Umidade relativa
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
UV	Ultravioleta
UV-C	Radiação Ultravioleta tipo C
V	Volts
V_{AC}	<i>Volts Alternating Current</i>
V_{CC}	<i>Volts Corrente Contínua</i>
V_{DC}	<i>Volts Direct Current</i>
VLP	<i>Virus-like particles</i>

V_p	<i>Peak Voltage</i>
V_{RMS}	<i>Voltage Root Mean Square</i>
W	Watts
WPA	<i>Wired Equivalent Access</i>
WEP	<i>Wired Equivalent Privacy</i>
Wh	Watts Hora
XP	<i>Extreme Programming</i>

Sumário

1	INTRODUÇÃO	22
1.1	Justificativa	25
1.2	Objetivos	26
1.2.1	Objetivos Gerais	26
1.2.2	Objetivos Específicos	26
2	REQUISITOS	27
2.1	Requisitos de Alto-nível	27
2.2	Requisitos específicos	27
2.2.1	Requisitos de Elétrica	27
2.2.1.1	Eletrônica	27
2.2.1.2	Energia	28
2.3	Requisitos de Estrutura	29
2.4	Requisitos de Software	29
2.4.1	Épicos	30
2.4.2	Requisitos Funcionais	30
2.4.2.1	Requisitos do Épico E1 - Controle pelo aplicativo	30
2.4.2.2	Requisitos do Épico E2 - Monitoramento pelo aplicativo	30
2.4.2.3	Requisitos do Épico E3 - Notificações do aplicativo	30
2.4.2.4	Requisitos do Épico E4 - Controle de voz	31
2.4.3	Requisitos Não Funcionais	31
3	ANÁLISE DE RISCOS	32
3.1	Análise Quantitativa de Riscos	32
3.2	Descrição dos Riscos	34
3.2.1	Riscos do Projeto, Externos e do Produto	34
3.3	Riscos Técnicos	36
3.3.0.1	Riscos Estruturais	36
3.3.0.2	Riscos Eletrônicos	37
3.3.0.3	Riscos Energéticos	38
3.3.0.4	Riscos Software	39
4	SOLUÇÃO	41
4.1	Escopo	41
4.2	Lista É/ Não É	41
4.3	Solução Eletrônica	41

4.3.1	Sistema de Controle	41
4.3.1.1	Purificador	42
4.3.1.1.1	Visualização	42
4.3.1.2	Acionamento dos Atuadores	43
4.3.1.2.1	<i>Mobile Sensor</i>	45
4.3.1.2.1.1	Módulo de Medição da Qualidade do ar	46
4.3.1.2.2	Visualizações e Controle	51
4.3.1.2.3	Ventilação	52
4.3.1.3	Microcontroladores	53
4.3.2	Protocolos de comunicação	54
4.3.2.1	Protocolos internos	54
4.3.2.2	Protocolos externos	55
4.3.3	Diagramas Esquemáticos da Conexão dos Sistemas	56
4.3.4	Arquitetura de Eletrônica	56
4.3.5	Plano de Construção	57
4.3.5.1	Potência	57
4.3.5.2	Sistema de controle	58
4.3.5.2.1	Purificador	58
4.3.5.2.2	<i>Mobile Sensor</i>	58
4.3.5.3	Firmware Embarcado	59
4.3.5.3.1	Purificador	59
4.3.5.3.2	<i>Mobile Sensor</i>	60
4.3.5.4	Plano de Testes	61
4.3.5.4.1	Teste do sistema de controle do <i>Mobile Sensor</i>	61
4.3.5.4.2	Teste do sistema de controle do Purificador	64
4.4	Solução de Energia	65
4.4.1	Fundamentos de Partículas	66
4.4.2	Sistema de Filtragem	67
4.4.2.1	Pré-filtro	68
4.4.2.2	Filtro absoluto (HEPA)	68
4.4.2.3	Filtro de Carvão Ativado	69
4.4.3	Sistema de Ventilação Forçada	69
4.4.3.1	Motor DC com Ventilador Centrífugo Reverso	69
4.4.4	Lâmpada UV	70
4.4.5	Sistema de Alimentação	70
4.4.5.1	Purificador	70
4.4.5.1.1	Carregador	70
4.4.5.1.2	Bateria	71
4.4.5.2	<i>Mobile Sensor</i>	72

4.4.5.2.1	Carregador	72
4.4.5.2.2	Bateria	72
4.5	Sistema de Proteção	73
4.5.1	Purificador	73
4.5.2	<i>Mobile Sensor</i>	74
4.6	Plano de Testes	74
4.6.1	Teste das Fontes	74
4.6.2	Teste das Baterias	74
4.6.3	Teste do Sistema de Carregamento	75
4.7	Análises Fluidodinâmica Computacionais	75
4.7.1	Escoamento no interior do purificador	75
4.7.1.1	Discretização	76
4.7.1.2	Resultados	77
4.7.2	Escoamento no interior de uma sala	78
4.7.2.1	Discretização	79
4.7.2.2	Resultados	79
4.8	Solução Estrutural	81
4.8.1	Estruturas Principais	81
4.8.1.1	Estruturas externas	82
4.8.1.2	Estruturas internas	85
4.8.2	Filtros	88
4.8.3	Homogeneizador de fluxo de ar	92
4.8.4	Fixações roscáveis	93
4.8.5	Esterilização por Radiação Ultravioleta	93
4.8.6	Estrutura do sensor de qualidade do ar	93
4.8.7	Simulação de Esforços Estruturais	94
4.8.7.1	Discretização do Domínio	96
4.8.7.2	Resultados e Discussão	97
4.8.8	Escolha de Materiais	99
4.8.9	Formato da estrutura e CAD	103
4.9	Solução de Software	103
4.9.1	Arquitetura de Software	103
4.9.1.1	Serviço <i>mq-interface</i>	105
4.9.1.2	Serviço <i>api-clean-air</i>	106
4.9.1.3	<i>Front-end mobile</i>	107
4.9.2	Inovação	109
4.9.3	Arquitetura da informação	109
4.9.4	Integração com Alexa	109
4.9.5	Cálculo do <i>IQA</i>	110

5	ARQUITETURA DE INTEGRAÇÃO	112
5.1	Posicionamento dos componentes Elétricos e Eletrônicos	114
5.2	Alimentação dos Componentes Eletrônicos	120
5.3	Comunicação entre o Aplicativo e o Dispositivo	121
6	CUSTO E PRECIFICAÇÃO	122
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	124
	REFERÊNCIAS	125
	APÊNDICES	130
	APÊNDICE A – TERMO DE ABERTURA DE PROJETO (TAP)	131
A.1	Descrição do Projeto	131
A.2	Justificativa	132
A.3	Objetivo	132
A.4	Requisitos	132
A.5	Riscos	133
A.6	Marcos do Projeto	133
A.7	Stakeholders	133
A.7.1	Equipe	133
A.7.2	Professores	134
	APÊNDICE B – ESTRUTURA ANALÍTICA DO PROJETO (EAP)	135
B.1	Ponto de Controle 1	135
B.2	Ponto de Controle 2	136
B.3	Ponto de Controle 3	137
	APÊNDICE C – PRINCIPAIS DECISÕES DE SOFTWARE	138
C.1	Metodologia de desenvolvimento	138
C.1.1	Kanban	138
C.1.2	<i>Extreme Programming(XP)</i>	139
	APÊNDICE D – CRONOGRAMA	141
	APÊNDICE E – MEMORIAL DE CÁLCULOS DA SOLUÇÃO ENERGÉTICA	142
E.1	Dimensionamento de Carregador do <i>Mobile Sensor</i>	142
E.1.1	Fonte de Tensão	142
E.1.2	Transformador	142

E.1.2.1	Indutância	143
E.1.3	Retificador	143
E.1.4	Filtração	144
E.1.5	Regulador de tensão	146
E.2	Dimensionamento do Carregador do Purificador	146
E.2.1	Transformador	146
E.2.1.1	Indutância	146
E.2.2	Retificador	146
E.2.3	Filtração	147
E.3	Classificação dos filtros	148
E.4	Dimensionamento dos cabos elétricos	149
	APÊNDICE F – ESQUEMÁTICOS ELÉTRICOS	151
F.0.1	Esquemáticos Eletrônicos	151
F.0.2	Esquemáticos Energéticos	157
F.0.3	Diagramas Unifilares	159
	APÊNDICE G – CALIBRAÇÃO DOS SENSORES	161
	APÊNDICE H – PLACAS DOS CIRCUITOS IMPRESSOS	165
H.0.1	Placa dos Circuitos Impressos Eletrônicos	165
H.0.2	Placas dos Circuitos Impressos de Energia	166
	APÊNDICE I – DIMENSIONAMENTO DA VAZÃO DE AR	170
	APÊNDICE J – DIMENSIONAMENTO DA ÁREA DE FACE DO FILTRO ABSOLUTO	172
	APÊNDICE K – DIMENSIONAMENTO DA POTÊNCIA DO MOTOR	173
K.0.1	Domínio e condições de contorno	173
K.0.2	Valores de entrada	173
K.0.3	Sistema de Ventilação Forçada	174
	APÊNDICE L – CADS DO PRODUTO	177
	APÊNDICE M – DESENHOS TÉCNICOS	180
	APÊNDICE N – TELAS DO PROTÓTIPO DO APLICATIVO	208
	APÊNDICE O – TELAS DO VISOR LCD	210
	APÊNDICE P – PESQUISA DE PÚBLICO	211

APÊNDICE Q – DADOS EM JSON	217
APÊNDICE R – MANUAL DE MONTAGEM	219
APÊNDICE S – MANUAL DE USUÁRIO	244

1 Introdução

Ao longo dos anos, as questões sobre a seriedade da gestão da qualidade do ar respirado tornou-se incontestável. Para referir-se a tal assunto, diversas conferências foram realizadas no mundo como a Conferência de 1972 e a Eco-92, que trataram sobre assuntos referentes a ações de responsabilidade ambiental como a proteção dos recursos naturais, o desenvolvimento de tecnologias capazes de reforçar a gestão ambiental dos países, prevenção a poluição da água e do ar, entre outros ([MALHEIROS; JR; COUTINHO, 2008](#)).

No Brasil, tem-se um conselho governamental com o objetivo de estabelecer normas e padrões ambientais a serem observados pelas atividades utilizadoras de recursos ambientais, chamado CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente). Com isso, por meio da resolução deste conselho, foi criado o Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar - PRONAR - e que, a partir dele, surgiram novas concepções focadas na orientação e controle da poluição atmosférica no país. Assim, estratégias de cunho normativo foram estabelecidas, como a especificação de padrões nacionais de qualidade do ar e de emissão na fonte, a implementação de uma política de prevenção de deterioração e monitoramento da qualidade do ar ([CONAMA, 1992](#)).

Por este motivo, estudos voltados para qualidade do ar interno (QAI) mostrou-se relevante devido a comprovação que indivíduos passam até 90% do dia em ambientes internos, como casas, escritórios e escolas ([SCHIRMER et al., 2011](#)). Tais dados apontam a importância da qualidade do ar dentro desses ambientes, uma vez que ela não só desempenha um papel sobre o bem-estar no cotidiano, como também influencia e se relaciona com o futuro. Dessa forma, os resultados procedentes da qualidade do ar precisam ser visto como parâmetros primordiais para saúde.

De acordo com os padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 491/2018, existem determinadas concentrações de poluentes do ar interno para aferir a qualidade do ar. Entre os poluentes, tem-se o material particulado (MP), denominado como um conjunto de poluentes constituídos de fumaças, poeiras e material sólido e líquido que é mantido suspenso na atmosfera devido ao seu pequeno tamanho ([CETESB, 2021](#)). É estabelecido para medição o MP2.5 (materiais particulados com diâmetro aerodinâmico de até 2.5 micrômetros) e MP10 (materiais particulados entre 2.5 e 10 micrômetros).

A exposição de longo prazo a partículas com menos de 2.5 micrômetro de diâmetro está associada a condições crônicas, como doenças cardiovasculares e respiratórias e complicações cerebrovasculares, levando à redução da expectativa de vida. Exposição de curto prazo a MP2.5 e MP10 também pode causar uma variedade de impactos na saúde,

incluindo exacerbação da asma e aumentos nas admissões hospitalares respiratórias e cardiovasculares, e mortalidade em casos mais graves ([POLLUTANTS, 2018](#)).

Outro poluente é o chamado COVs (compostos orgânicos voláteis), que são gases e vapores que resultam da queima incompleta e evaporação de combustíveis e demais produtos orgânicos, emitidos pelos veículos, indústrias, dentre outros. Os gases como o dióxido de enxofre, dióxido de nitrogênio, ozônio, monóxido de carbono e partículas totais em suspensão também estão presentes no padrão do CONAMA. A quantidade desses poluentes no ar podem ser várias vezes maior do que o mínimo determinado, indicando um significativo potencial para impactos prejudiciais à saúde ([CETESB, 2021](#)). Esses gases podem ser medidos por meio de instrumentos de medições de gases e assim, é possível fazer a análise da qualidade do ar, a qual pode ser determinada pelo cálculo do índice de qualidade do ar (IQA) ([OMS, 2006](#)).

Um dos principais componentes da poluição é o ozônio (O_3), ele é um grande problema para as funções pulmonares. Em épocas mais quentes, o ozônio tende a ter níveis mais elevados, principalmente nos períodos de grande incidência solar, como fim da manhã e tarde. A exposição ao ozônio a curtos prazos causam alguns desconfortos respiratórios, dores no tórax, alergias e sensibilidade nas vias aéreas. Além disso, a exposição a longo prazo pode chegar a reduzir a função pulmonar de forma irreversível ([LARA, 2020](#)).

O dióxido de nitrogênio (NO_2) é um dos gases poluentes, sua formação é ocasionada durante processos de combustão, e de acordo com sua concentração pode gerar irritação nos brônquios e olhos causando grandes prejuízos à saúde ([CETESB, 2021](#)). Além do NO_2 , outro gás contaminante é o dióxido de enxofre (SO_2) que provém da queima de combustíveis fósseis utilizado para aquecimento doméstico, veículos a motor e eletricidade. Este gás possui uma alta reatividade com outros poluentes presentes na atmosfera sendo um dos principais gases precursor de doenças por irritação nas vias respiratórias. Quando em contato com outros poluentes tem seus efeitos intensificados, que pode ter aumentos de concentração de acordo com as condições do ambiente ([FERNANDES, 2017](#)).

Além do mais, os valores de pressão atmosférica, as variações de temperatura e umidade relativa do ar no ambiente apresentam uma importância na compreensão dos mecanismos da circulação do ar. As regiões de alta pressão atmosférica reduzem o movimento horizontal dos ventos, gerando uma maior concentração dos poluentes na região. As altas temperaturas que ocorrem em certas áreas acarreta baixa pressão atmosférica, o que pode provocar a concentração de material particulado na atmosfera. Logo, nota-se que a variação de temperatura ambiente e pressão do ar tem influência sobre elementos poluentes ([JARDIM, 2011](#)).

Sendo assim, ao conhecer os riscos que uma má qualidade de ar causa à saúde humana, é vista a necessidade de reter, por meio de sistema de filtragem, partículas poluentes em ambientes internos provindas de contaminantes provocados e/ou liberados no ar exterior ou produzidos no próprio local. Com este sistema, as partículas ficam contidas em um filtro fazendo com que o ar retorno ao ambiente límpido e com uma melhor qualidade. Existem diferentes tipos de filtros com diferentes eficiências, como HEPA (*High Efficiency Particulate Air*), Ultravioleta (UV), carvão ativado, ionizador e de ozônio. De acordo com a aplicação, é feita a escolha do melhor filtro para eliminar a maior quantidade de partículas do ambiente e para uma plena qualidade do ar (BASTO, 2007).

Outros estudos articulam que a exposição a partículas MP2.5 e MP10 estão associados a alterações epigenéticas em genes envolvidos na anti-oxidação e nos mecanismos de inflamação das vias aéreas, podendo assim, modificar as respostas a poluição do ar e as infecções respiratórias (KELLY; FUSSELL, 2011). Estudos como o de Zoran et al. (2020) evidenciam que além da transmissão de entre indivíduos através de gotículas ou de superfícies infectadas, a difusão viral (e de outros micro organismos) aérea transportada também se configura como possíveis meios de transmissão de doenças infecciosas.

Pode-se observar que as doenças alérgicas/inflamatórias com manifestações pulmonares aumentaram dez vezes em prevalência nos últimos 50 anos. Estudos demonstram que diversos fatores em conjunto estão interligados para compreender tal fenômeno, no entanto vale destacar que dentro dos já citados, o aumento da exposição continuada a alérgenos intradomiciliares está associada a manifestações de problemas respiratórios, em especial, asma e rinite. Tal aumento na exposição é reflexo, dentre vários casos, da domiciliação de animais, de ambientes mal arejados que propicia boas condições de proliferação de ácaros e da maior permanência dentro dos domicílios (RIZZO, 1998).

Além do mais, Prussin et al. (2015) quantifica a concentração de partículas semelhantes a vírus (VLP) e a bactérias (BLP) aerotransportadas pelo ar em ambientes internos e externos. É possível observar que entre as concentrações, tanto de VLP quanto BLP, nos ambientes internos (como casas e escritórios) se mostrou superior à concentrações obtidas em creches, restaurantes e centros de saúdes, localidades que a movimentação líquida de pessoas é substancialmente maior. Sabe-se também que a concentração de BLP nas casas analisadas se mostrou superior a concentração da mesma em ambientes externos.

Ademais, de acordo com o CDC (Centro de Controle e Prevenção de Doenças dos Estados Unidos) a variância que os diâmetros das partículas virais apresentam pode ser obstáculo para os diferentes equipamentos de combate. O novo coronavírus, por exemplo, é de 0,125 micrões. As gotículas em que ele viaja quando as pessoas tossem, falam ou respiram são inicialmente maiores, em torno de 1 micrón. Isso torna-se um desafio ao atual mercado nacional de purificação de ar destinada ao pequeno/médio usuário (uso doméstico e em escritórios), por pouco possuírem, até então, equipamentos de eficiência

suficiente ou comprovada na eliminação de Sars-CoV-2 (Síndrome respiratória aguda grave de coronavírus 2) em aerossol em custo acessível.

Também, uma pesquisa de público realizada de forma online por meio do formulário Google, presente no apêndice P, à qual obteve a participação de 122 indivíduos contribuiu para o levantamento do estudo da problemática. Seu resultado expôs que aproximadamente 45% dos entrevistados considera a qualidade do local onde reside de ruim à regular, 69,7% acredita que a qualidade do ar impacta diretamente em sua saúde e aproximadamente 70% presume ser muito importante saber a qualidade do ar que se respira e admite que um purificador de ar possa ajudar em sua saúde respiratória. Por último, 45 dos 122 entrevistados afirma que gostaria que tivesse um sistema de purificação e esterilização de ar no ambiente de trabalho.

Na tentativa de amenizar a poluição do ar interno existente, o projeto nomeado *CleanAir*, é apresentado como uma solução para monitorar os poluentes, informar sobre o IQA e realizar a purificação e esterilização do ambiente por meio de um sistema de filtragem. Desse modo, com a construção de um purificador automatizado para filtrar partículas contaminantes, bactérias e germicidas e um sensor móvel para realizar o monitoramento da qualidade do ar, o equipamento integrado visa proporcionar um ar limpo e contribuir para melhores condições de saúde dentro de um ambiente seguro.

1.1 Justificativa

A poluição do ar doméstico é uma das áreas que precisa de atenção imediata, pois afeta principalmente o sistema respiratório e pode levar a problemas de saúde. Geralmente, pessoas tendem a passar a maior parte de seu tempo em ambientes fechados, logo, estão potencialmente expostas a agentes externos como micro-organismos, elementos alérgenos, material particulado (MP), monóxido de carbono (CO) e ozônio (O_3). É por isso que uma tecnologia avançada na purificação do ar com um preço de mercado equivalente a produtos similares é muito importante. O emprego de sistemas de purificação de ar tem o potencial de trazer diversos benefícios à saúde, melhorando a qualidade de vida de seus usuários.

Os purificadores de ar podem absterger ambientes com ar viciado, reduzindo as chances de problemas de saúde causados por poluentes internos, que podem desencadear infecções respiratórias, alergias, problemas neurológicos ou agravar os sintomas em pessoas com asma. Outro grupo de risco em potencial são as crianças, pois ainda não possuem seus sistemas respiratórios totalmente desenvolvidos e tendem a ter uma taxa maior de ventilação, aumentando a inalação de substâncias poluentes presentes no ar.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivos Gerais

O purificador *CleanAir* consiste em um produto que tem como principal função a limpeza e purificação do ar com o intuito de melhorar a qualidade do ar no ambiente do qual está inserido, reduzindo poluentes e microrganismos em residências. Ele também busca promover um ar impoluto para o local resguardando e auxiliando na saúde respiratória do usuário. Além disso, tem como objetivo possuir integração por meio de aplicativo e comando de voz do dispositivo Alexa para monitorar a qualidade do ar ambiente e controlar o purificador.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Garantir a integração entre todas as engenharias;
- Certificar a usabilidade do dispositivo e aplicativo pelo usuário;
- Desenvolver um sistema detector de gases prejudiciais a saúde respiratória;
- Garantir um produto resistente e de fácil locomoção;
- Integrar dados coletados pelo sistema detector ao aplicativo para visualização do usuário;
- Assegurar um sistema de filtragem eficaz que retenha elementos alérgenos comuns do ambiente intradomiciliar de baixa ventilação e partículas prejudiciais a saúde;
- Desenvolver um sistema de baixo consumo energético e com autonomia de bateria para assegurar o ciclo de purificação;

2 Requisitos

2.1 Requisitos de Alto-nível

Os requisitos de alto-nível elencados estão apresentados na tabela 1:

Tabela 1 – Requisitos de alto-nível

ID	Requisito	Prioridade
RG001	Sensoriamento automatizado de gases e partículas infecções	MUST
RG002	Purificar o ar de ambientes fechados com metragem entre 70-80 m ² com densidade máxima de 0.3-0.5 pessoas/ m ²	MUST
RG003	Possuir material resistente à impactos e água	MUST
RG004	Autonomia energética	MUST
RG005	O produto deverá possuir menor custo que similares	SHOULD
RG006	O produto deverá ser recarregável	MUST
RG007	O produto deverá ter mobilidade e até 1 metro de altura	MUST
RG008	O produto não deverá produzir ruídos acima de 65 dB	SHOULD
RG009	O produto deverá ser de fácil manutenção e uso	MUST
RG010	O sistema deverá detectar quando não for necessário manter a purificação ligada	MUST
RG011	O sistema deverá notificar o usuário sobre a qualidade do ar e quando for necessário ter a troca do filtro	MUST
RG012	O produto deverá possuir um aplicativo para controle remoto	MUST

2.2 Requisitos específicos

2.2.1 Requisitos de Elétrica

2.2.1.1 Eletrônica

Os requisitos levantados pela subequipe de eletrônica para o equipamento portátil:

Tabela 2 – Requisitos do Purificador

ID	Requisito	Prioridade
RE001	Possuir um sistema embarcado	MUST
RE002	Ter um display para a visualização de informações	MUST
RE003	Possuir um botão liga/desliga, reset e modo automático	MUST
RE004	Processar e tratar dados vindos dos sensores para enviar para um banco de dados	MUST
RE005	Possuir no display um código de cores para identificar qualidade do ar	SHOULD
RE006	Comunicação via Wi-Fi com <i>Mobile Sensor</i>	MUST
RE007	Possuir sistema de controle da rotação do motor do ventilador	MUST
RE008	Comunicação de todo o sistema com o usuário	MUST
RE009	Possuir sistema de acionamento da lâmpada UV	MUST

Os requisitos levantados para o equipamento *Mobile Sensor* (detecção de qualidade do ar):

Tabela 3 – Requisitos *Mobile Sensor*

ID	Requisito	Prioridade
RE010	Detecção de gases poluentes	MUST
RE011	Detecção de partículas contaminantes	MUST
RE012	Detecção de compostos orgânicos voláteis	MUST
RE013	Detecção de umidade e pressão do ar e temperatura ambiente	SHOULD
RE014	Indicador de energia	SHOULD
RE015	Possuir botão de liga e desliga	MUST
RE016	Comunicação via Wi-Fi com o Purificador	MUST
RE017	Possuir sistema de ventilação para fluxo de ar	MUST
RE018	Possuir um sistema embarcado	MUST

2.2.1.2 Energia

Os requisitos levantados pela subequipe de energia para o produto foram:

Tabela 4 – Requisitos de Energia

ID	Requisito	Prioridade
RN001	Ter bateria adequada para a alimentação dos sistemas	MUST
RN002	Ter sistema de alimentação capaz de fornecer tensão e corrente adequadas para a alimentação dos subsistemas eletrônicos do produto	MUST
RN003	Atingir uma classificação padrão de filtragem eficiente	MUST
RN004	Levar em consideração as dimensões do local	MUST
RN005	Ter uma porcentagem de filtração maior que 99,5%	MUST
RN006	Possuir carregador para fornecer a bateria a quantidade de energia necessária para o carregamento completo	MUST
RN007	Apresentar um motor DC com ruído abaixo de 40 dB	SHOULD

2.3 Requisitos de Estrutura

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

Tabela 5 – Requisitos estruturais

ID	Requisito	Prioridade
RT001	Confinar a emissão de radiação Ultravioleta	MUST
RT002	Ter uma montagem simplificada	MUST
RT003	Ser resistente a impactos e a deformações	MUST
RT004	Ser portátil	MUST
RT005	Possuir peças que ofereçam fácil manutenção	MUST
RT006	Permitir a troca de filtros com praticidade	MUST
RT007	Pesar no máximo 10 quilogramas	MUST
RT008	Resistência a radiação eletromagnética	SHOULD
RT009	Ser ergonômico	MUST
RT010	Ser compacto	COULD
RT011	Superfícies que mitiguem a proliferação de microrganismos	MUST

2.4 Requisitos de Software

Os requisitos são divididos entre requisitos funcionais e requisitos não funcionais ([FIGUEIREDO, 2016](#)), em que cada requisito funcional está ligado a um Épico, que representa de forma macro funcionalidades dentro do software ([DUARTE, 2020](#)).

2.4.1 Épicos

ID	Épico
E1	Controle pelo aplicativo
E2	Monitoramento pelo aplicativo
E3	Notificações do aplicativo
E4	Controle de voz

2.4.2 Requisitos Funcionais

2.4.2.1 Requisitos do Épico E1 - Controle pelo aplicativo

ID	Requisito	Prioridade
E1RF001	Ter controle de ligar/desligar o purificador	MUST
E1RF002	Controlar o desligamento automático do purificador por tempo	SHOULD
E1RF003	Fazer conexão via <i>Wi-Fi</i> com os dispositivos de monitoramento	MUST
E1RF004	Mudar nome dos dispositivos de monitoramento	COULD
E1RF005	Controlar velocidades do purificador	SHOULD
E1RF006	Controlar modos de uso do purificador	SHOULD

2.4.2.2 Requisitos do Épico E2 - Monitoramento pelo aplicativo

ID	Requisito	Prioridade
E2RF001	Visualizar qualidade do ar de cada dispositivos de monitoramento	MUST
E2RF002	Visualizar qualidade do filtro do purificador	MUST
E2RF003	Visualizar <i>status</i> de purificação	MUST
E2RF004	Visualizar bateria atual do purificador	MUST
E2RF005	Visualizar bateria dos dispositivos de monitoramento	MUST

2.4.2.3 Requisitos do Épico E3 - Notificações do aplicativo

ID	Requisito	Prioridade
E3RF001	Notificar bateria baixa do purificador	SHOULD
E3RF002	Notificar bateria baixa dos dispositivos de monitoramento	SHOULD
E3RF003	Notificar a necessidade de limpar ou trocar o filtro do purificador	SHOULD
E3RF004	Notificar quando um ambiente completar a purificação	COULD
E3RF005	Notificar ambientes com a necessidade de purificação	COULD
E3RF006	Notificar a necessidade da troca da lâmpada UV	COULD

2.4.2.4 Requisitos do Épico E4 - Controle de voz

ID	Requisito	Prioridade
E4RF001	Possuir controle de ligar e desligar o purificador	SHOULD
E4RF002	Receber a porcentagem da bateria atual do purificador	COULD
E4RF003	Receber o <i>status</i> da purificação	SHOULD
E4RF004	Saber quais ambientes precisam ser purificados	SHOULD
E4RF005	Definir tempo para o desligamento automático do purificador	COULD
E4RF006	Controlar velocidades do purificador	SHOULD
E4RF007	Controlar modos de purificação	SHOULD

2.4.3 Requisitos Não Funcionais

ID	Requisito	Prioridade
RFN001	Interface colorida com um bom contraste	SHOULD
RFN002	Interface intuitiva	MUST
RFN003	Aplicativo utilizável no Android	MUST
RFN004	Visualização amigável da qualidade do ar de um ambiente	MUST
RFN005	Atualização em tempo real dos dados dos dispositivos de monitoramento	SHOULD

3 Análise de Riscos

O gerenciamento dos riscos do projeto tem por objetivo aumentar a probabilidade e/ou impacto dos riscos positivos e diminuir a probabilidade e/ou o impacto dos riscos negativos, a fim de otimizar as chances de sucesso do projeto ([INSTITUTE, 2017](#)).

Através da Estrutura Analítica de Riscos (EAR), pode-se dimensionar com uma estrutura hierárquica de possíveis riscos nas seguintes categorias:

- Técnicos: Envolvem os requisitos, tecnologia, ferramentas, infraestrutura e operação
- Projeto: Envolve estratégia, estrutura e prioridade de processos
- Externos: Envolvem fornecedores, legislação e condições ambientais
- Produto: Envolvem mudanças no escopo, prazo, custos, falta e/ou inadequações dos recursos humanos, interesse das partes e comunicação.

3.1 Análise Quantitativa de Riscos

A análise quantitativa de riscos utiliza duas métricas para analisar os riscos do projeto:

- Probabilidade: chances de um risco ocorrer. Portanto, para a quantificação desse parâmetro utiliza-se o intervalo: Muito Baixa, Baixa, Média, Alta e Muito Alta, de acordo com a tabela 6.

Tabela 6 – Probabilidade de 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: indica o quanto o risco impacta no projeto. Sendo quantificado a partir do mesmo intervalo da probabilidade: Muito Baixa, Baixa, Média, Alta e Muito Alta, como na tabela 7.

Tabela 7 – Probabilidade de Risco

Probabilidade	Descrição	Peso
Muito Baixa	Pouco Expressivo	1
Baixa	Pouco Impacto	2
Média	Impacto Médio	3
Alta	Grande Impacto	4
Muito Alta	Impacto Limitante de Continuidade	5

Com isso, pode-se obter uma matriz de probabilidade e impacto de cada risco a partir da tabela 8.

Tabela 8 – Matriz Probabilidade e Impacto

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:

1. Risco ≥ 15 : Elevado
2. $5 < \text{Risco} < 15$: Médio
3. Risco ≤ 5 : Baixo

3.2 Descrição dos Riscos

3.2.1 Riscos do Projeto, Externos e do Produto

Tabela 9 – Riscos do Projeto

ID	Risco	Consequência
1	Mudança do Escopo	Alteração de cronograma e mudança de requisitos
2	Mudança de arquitetura	Necessidade de retrabalho
3	Desistência de membros	Alteração de quantidade de trabalho individual
4	Descompromisso da equipe	Falta de entregas nos prazos e baixa qualidade de projeto
5	Erro de Priorização	Não realizar atividades importantes para o desenvolvimento do projeto
6	Tamanho da equipe	Diminui a qualidade das entregas, aumenta o custo do projeto, afeta o planejamento e dificulta a comunicação entre os membros

Tabela 10 – Riscos Externos

ID	Risco	Consequência
7	Integrante ser acometido de alguma doença e/ou acidente	Sobrecarga da equipe
8	Problemas na estação de trabalho	Falta de comunicação e desenvolvimento de projeto
9	Conflito com outras atividades acadêmicas	Atraso nas entregas do projeto

Tabela 11 – Riscos do Produto

ID	Risco	Consequência
10	Falta de testes experimentais	Solução pouco assertiva
11	Falta de direcionamento por não possuir cliente real	Falta de soluções condizentes com a real necessidade
12	Alta concentração de poluentes no ambiente	Perda da efetividade dos filtros
13	Falta de conexão de internet	Funcionalidades limitadas
14	Má manutenção do produto	Perda de funcionalidades e desempenho do produto
15	Má utilização do produto	Danificação na estrutura e em conexões elétricas

Tabela 12 – Riscos e Ações

ID	Ação	Ação Reativa	Probabilidade	Impacto	Prioridades
1	Prevenir	Acompanhamento de atividades desenvolvidas constante	3	4	12
2	Mitigar	Procurar suportes com professores e pesquisa de novas soluções	3	5	15
3	Aceitar	Redistribuição de atividades	2	4	8
4	Mitigar	Responsabilização de atividades e impacto do projeto para o todo, como a aproximação de decisão da equipe	3	4	12
5	Prevenir	Utilização de metodologias de priorização e reavaliação das prioridades	3	5	15
6	Aceitar	Gerenciamento de recursos humanos e acompanhamento diário	2	3	6
7	Aceitar	Redistribuição de atividades até o retorno do membro	3	2	6
8	Aceitar	Redistribuição de atividades até reestabelecimento da estação de trabalho	2	3	6
9	Mitigar	Gerenciamento de tempo e organização de atividades acadêmicas	4	4	16
10	Aceitar	Realizar simulações procurando aproximar da realidade	5	4	20
11	Mitigar	Pesquisas de mercado com potenciais clientes	4	2	8
12	Prevenir	Alertar por meio de manual de uso	3	3	9
13	Aceitar	Controle manual do sistema com funcionalidades básicas	4	2	8
14	Prevenir	Notificações para o usuário sobre troca de componentes e instruções em manual	3	4	12
15	Prevenir	Instruções em manual de uso	4	4	16

3.3 Riscos Técnicos

3.3.0.1 Riscos Estruturais

Foram elencados os seguintes riscos para a área:

Tabela 13 – Riscos Técnicos Estruturais

ID	Risco	Consequência
1	Formação de trinca e fratura na estrutura	Mau funcionamento e instabilidade
2	Falha na integração dos compartimentos ao corpo principal	Gerar ruído, vibração e temperatura elevada
3	Travamento das peças móveis do mecanismo	O mau dimensionamento de algumas peças ou a má lubrificação pode causar travamento do mecanismo
4	Conflitos entre peças do mecanismo	O mecanismo pode atrapalhar a montagem e posicionamento do sistema eletrônico
5	Falha na vedação	Perda de eficiência do mecanismo purificador

Tabela 14 – Riscos e Ações Estruturais

ID	Ação	Ação Reativa	Probabilidade	Impacto	Prioridades
1	Mitigar	Simulações numéricas com testes de tração, de impacto e de cisalhamento	2	5	15
2	Prevenir	O design dos suportes será feito em conjunto com os componentes a serem utilizados.	1	3	10
3	Mitigar	Utilizar mecanismo previamente testados e com alta qualidade antes de integrá-lo. Lubrificação das devidas partes	3	4	12
4	Prevenir	Pré-montagem no CAD para assegurar o correto dimensionamento	2	5	10
5	Prevenir	Projetar os componentes complexos com as devidas especificações e utilizar materiais para a correta selagem	4	5	20

3.3.0.2 Riscos Eletrônicos

Foram elencados os seguintes riscos para a área:

Tabela 15 – Riscos Técnicos de Eletrônica

ID	Risco	Consequência
1	Falha de sensoriamento	Perda de dados essenciais
2	Falha no barramento de dados	Perda da comunicação dos sensores ou atuadores
3	Falha no sistema de alimentação dos componentes eletrônicos	Perda de todas funcionalidades
4	Falha no sistema de controle central	Perda de todas funcionalidades
5	Erro de dimensionamento do microcontrolador	Falta de quantidade de portas
6	Distância maior que o alcance do Wi-Fi	Perda de comunicação entre dispositivos e recursos mobile
7	Obstrução de entrada e saída de ar	Medição imprecisa dos sensores
8	Curto-circuito	Mau funcionamento de todas as funções
9	Interferência eletromagnética	Dificuldade de comunicação entre dispositivos e inconstância no funcionamento do sistema
10	Corrompimento de banco de dados	Perda de dados atualizados
11	Falha na comunicação de internet	Perda de alguns recursos do aplicativo <i>Mobile</i> .

Tabela 16 – Riscos e Ações Eletrônica

ID	Ação	Ação Reativa	Probabilidade	Impacto	Prioridades
1	Mitigar	Desenvolver testes individuais para os sensores e desenvolver um sistema de aviso	2	5	10
2	Mitigar	Desenvolver um sistema de avisos	3	5	15
3	Prevenir	Melhor disposição para o bom funcionamento do microcontrolador	2	5	10
4	Prevenir	Assegurar dimensionamento correto para os parâmetros estabelecidos	1	5	5
5	Mitigar	Escolher a melhor configuração adequada para não ter muito gasto com placas , além de definir bem a quantidade de portas necessárias para o projeto	1	4	4
6	Prevenir	Fazer recomendações ao usuário que os dois dispositivos devem estar conectados a internet	4	5	20
7	Prevenir	Alertar o usuário sobre o uso correto do sensor	1	5	5
8	Mitigar	Realizar manutenção da máquina	2	5	10
9	Prevenir	Blindar o equipamento contra interferência eletromagnética externa	1	4	4
10	Mitigar	Restaurar banco de dados do servidor	2	3	6
11	Mitigar	Armazenar dados necessários e enviar quando a conexão for restabelecida	4	3	12

3.3.0.3 Riscos Energéticos

Foram elencados os seguintes riscos para a área:

Tabela 17 – Riscos Técnicos Energéticos

ID	Risco	Consequência
1	Tensão de flutuação gerando sobrecarga	Reducir a vida útil da bateria
2	Falha no sistema de carregamento da bateria	Não acionar a bateria
3	Falha no motor DC	Travamento do eixo da carga, causando dificuldade na partida do motor, devido a elevada queda de tensão, inércia e torque de carga muito elevados
4	Mau dimensionamento do motor	Possibilidade do motor não ser aplicável no projeto
5	Superaquecimento da bateria	Causar incêndio
6	Mau dimensionamento do local	A eficiência irá diminuir
7	Porcentagem de filtração menor que 99,95%	Passagem de partículas indesejadas
8	Passagem de partículas indesejadas	Ruído excessivo, podendo causar incômodo no usuário, poluição sonora

Tabela 18 – Riscos e Ações Energia

ID	Ação	Ação Reativa	Probabilidade	Impacto	Prioridades
1	Prevenir	Instalar um filtro de linha em sua placa de distribuição.	2	4	8
2	Prevenir	Instalar um Sistema de Gestão da bateria (BSM)	2	5	10
3	Mitigar	Realizar manutenções no motor	3	5	15
4	Prevenir	Desenvolver testes com o motor	2	4	8
5	Mitigar	Instalar um Sistema de Gestão da bateria (BMS)	3	4	12
6	Prevenir	Recomendações de uso ao usuário	1	3	3
7	Prevenir	Manutenção no filtro	2	3	6
8	Mitigar	Calibrar o motor	2	3	6

3.3.0.4 Riscos Software

Foram elencados os seguintes riscos para a área:

Tabela 19 – Riscos Técnicos de Software

ID	Risco	Consequência
1	Falha de conexão da aplicação com o purificador	Não é possível a aplicação exibir os dados e enviar notificações
2	Atraso na comunicação entre o purificador e a aplicação	A aplicação demora pra responder aos comandos. Usabilidade ruim
3	Falha na conexão com a Alexa	Usuário não pode usar as funcionalidades de comando por voz
4	Dificuldades com as tecnologias escolhidas	Atrasos nas entregas
5	Alteração das tecnologias	Refatoração e atrasos nas entregas

Tabela 20 – Riscos e Ações Software

ID	Ação	Ação Reativa	Probabilidade	Impacto	Prioridades
1	Prevenir	Usar tecnologias e protocolos que evitem essa situação	3	4	12
2	Mitigar	Dar prioridade aos processos relacionados à recuperação dos dados sensores	5	5	16
3	Prevenir	Usar tecnologias e protocolos que evitem essa situação	3	2	6
4	Prevenir	Estudo regular e rotação de conhecimento dentro da equipe	3	4	12
5	Mitigar	Incluir todos os membros na refatoração para que ela seja executada o mais rápido possível	1	5	5

4 Solução

4.1 Escopo

O projeto *CleanAir* consiste na elaboração de um sistema que purifique o ar e detecte partículas e gases prejudiciais à saúde humana em habitações. No qual terá a função de filtrar poluentes do ar e retornar um ar mais puro e limpo para o ambiente.

Dividido em dois sistemas, o primeiro dito o purificador que possui o filtro e o sistema para a purificação e esterilização do local. O segundo consiste em um sistema de menor tamanho, o *Mobile Sensor*, que terá como funcionalidade a detecção de índices de partículas e gases que possam ser prejudiciais à saúde, possuindo sensores para tal fim.

Haverá uma comunicação entre os dois produtos para então notificar o usuário via aplicativo *mobile* da necessidade de purificação do ambiente em que se encontra o dispositivo menor. E ao ser notificado, o usuário pode levar o dispositivo maior ao cômodo para ali o ar ser purificado e, com base no envio dos dados armazenados em um banco de dados será gerado gráficos de evolução da purificação para melhor visualização do usuário.

4.2 Lista É/ Não É

Tabela 21 – Lista é e não é do produto

ID	É	Não é
1	Um sistema portátil	Um sistema com mobilidade automática
2	Purificador e esterilizador do ar	Umidificador e odorizador de ar
3	Um sistema com bateria recarregável	Um sistema autônomo
4	Controlado por aplicativo	Totalmente controlado de forma manual
5	Responsável por verificar a qualidade do ar	Responsável por verificar só a umidade do ar

4.3 Solução Eletrônica

4.3.1 Sistema de Controle

Ao que se diz respeito à parte eletrônica do projeto, foram elencados alguns componentes cruciais para o desenvolvimento e funcionamento do produto. Com isso, foram levantadas as seguintes soluções:

4.3.1.1 Purificador

4.3.1.1.1 Visualização

O módulo de visualização é o subsistema onde o usuário poderá visualizar informações relevantes para que o usuário possa monitorar o funcionamento do produto. Além disso, o intuito desse subsistema é fazer com que o usuário tenha contato com a interface usando as teclas como meio de interação. Nele estão contidos um visor e um teclado para interface com o usuário.

- **Botão Membrana matricial 3 chaves**

Para que o usuário do purificador possa interagir de forma manual com as opções disponíveis, sendo essas: liga/desliga, modo automático e *reset*, é necessário utilizar 3 botões. A funcionalidade de cada um deles é exercida da seguinte maneira:

- O liga/desliga funciona para ligar e desligar o purificador,
- O modo automático estabelece o nível de filtragem de acordo com os dados da qualidade do ar, ou seja, quando o IQA (índice de qualidade do ar) estiver alto (IQA ruim), a velocidade do motor irá aumentar automaticamente para uma maior troca de ar no local a ser filtrado e consequentemente, um ar mais limpo. Este modo também funciona para o nível médio de ventilação (IQA médio) e um nível baixo de ventilação (IQA muito bom).
- O *reset* serve para quando houver uma troca do filtro ou da lâmpada UV, voltar para uma contagem inicial em relação a uma futura troca.

Dessa forma, será usado essa configuração de membrana matricial com 3 chaves, com o propósito de cumprir com as funcionalidades expostas, para que as operações de interação sejam bem simples e restritas, uma vez que o maior contato do aparelho com o usuário é majoritariamente com o aplicativo.

Características:

- Tensão/corrente máxima: 24 VDC/30 mA
- Dimensões: 55 x 36 x 105 mm
- Temperatura de funcionamento: 0 a 50° C

Este painel de controle funciona com teclas *push-buttons* tipo membrana dispostos na configuração em um formato *Keypad*. Possui uma sequência de chaves, especificamente

três, dispostas em forma de matriz e possui um GND comum à todas elas totalizando 4 pinos a serem conectados ao microcontrolador. É de fácil implementação a nível de código, bastando somente declará-lo como uma entrada digital.

- **Display LCD**

Para observar o IQA foi proposto um visor que indique através de índices e cores qual a condição do ar no ambiente em que está sendo purificado. Ao realizar pesquisas para o display foi disponibilizada uma gama de opções no mercado que poderia ser utilizado.

A escolha deste componente é considerada com base na resolução, o tamanho da tela, possibilidade de criar animações, gráficos e textos de forma colorida e bom custo-benefício. Portanto, foi determinado a tela tipo LCD TFT de 2.2", por possuir ótimos níveis de nitidez devido aos altos contrastes exibidos nas imagens reproduzidas na tela colorida e por apresentar uma interface de comunicação compatível com o sistema micro-controlado (sendo este o SPI). Tem-se as seguintes especificações do item:

- Tensão de operação: 3.3 VDC
- Resolução: 240x320 pixels
- Dimensões da tela: 40.10 x 67.20 x 6.5 mm

4.3.1.1.2 Acionamento dos Atuadores

Este tópico tem a funcionalidade de controlar os atuadores contidos no dispositivo. Trata-se de um sistema micro-controlado pelo sistema de controle do purificador em que é utilizado circuitos específicos para realizar esse acionamento. Os atuadores são: motor DC e lâmpada UV.

- **Relé de acionamento**

Para o acionamento da lâmpada UV foi cogitado o uso de um relé funcionando basicamente como um interruptor e possui 5 contatos. Desse modo, o relé tem sua conexão com o botão conectado na bateria do purificador e com a lâmpada UV. Ao pressionar o botão, o relé é acionado (os contatos C e NA ficam fechados), e assim a lâmpada é ligada. Quando houver pressionamento de novo do botão, os contatos C e NF do relé ficam fechados e a lâmpada é desligada. Portanto, a conexão do equipamento com a carga é facilitada por este componente.

Especificações do item:

- Tensão e corrente de operação: 12 VDC / 15 ~ 20mA

- Capacidade do relé: 30 VDC/10A e 250 VAC/10A

- **Controle de velocidade do motor DC**

De maneira a realizar a proposta de controle de velocidade do motor de 24V foi implementado o circuito representado na figura 1 que envolve um opto-acoplador, no qual consiste em um CI que contém um LED emissor de infravermelho e um fototransistor NPN, transistor MOSFET e resistores.

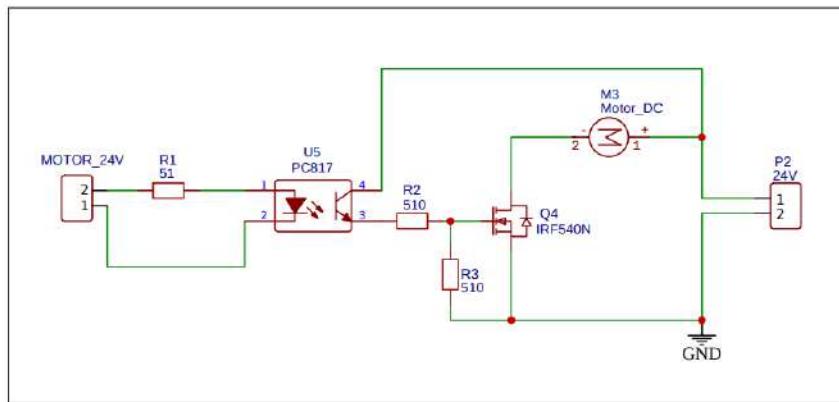


Figura 1 – Circuito esquemático de acionamento do motor.

Para o acionamento do transistor será utilizado o controle por modulação de largura de pulso (PWM), fornecido através de programação no microcontrolador. Essa operação varia o tempo de permanência do sinal lógico em baixo e alto, em que promove uma resposta que simula uma variação de intensidade de tensão, porém variando apenas o tempo que o sinal está ligado e desse modo, a velocidade do motor corresponde com essa variação.

A partir disso, para integrar o opto-acoplador (U5) na saída de PWM vinda do microcontrolador (MOTOR_24V) foi colocado um resistor (R1) para limitar a corrente e não ultrapassar a corrente máxima de 50mA (I_{LED}). Porém, como o microcontrolador utilizado tem uma corrente máxima de saída de 40mA (I_{ESP}) em seus pinos GPIO, o resistor foi calculado por meio da equação 4.1:

$$R1 = \frac{V - V_{LED}}{I_{ESP}} = 47,5\Omega \quad (4.1)$$

Em que, V é a tensão 3.3 do microcontrolador e V_{LED} é a tensão máxima suportada pelo LED do optoacoplador de 1.4V.

O transistor IRF540 possui maior envolvimento na contribuição em projetos para acionar cargas de alta corrente e é capaz de realizar comutação de alta velocidade. Este MOSFET pode suportar carga máxima de até 23 A, tensão máxima de dreno

de até 100 V e é capaz de atingir um alto nível de capacidade de condução ([COMPONENTS INFO, 2020](#)).

Como a tensão máxima suportada pelo transistor em seu *gate* é de apenas 20V, foi necessário implementar um divisor de tensão para que a tensão de 24V vinda do emissor (3) do opto-acoplador fosse reduzida, de forma que o MOSFET(Q4) continue operando em saturação. Para isso, o divisor de tensão foi calculado a fim de que a tensão de entrada no *gate* seja de 12V, ou seja, a metade de tensão. De forma que o divisor de tensão tenha em sua saída a metade de tensão da entrada basta apenas colocar duas resistências iguais em série (R2 e R3). Sabendo que a corrente máxima do coletor (4) é de 50mA, a resistência foi calculada a partir da equação [4.2](#):

$$R2 = R3 = \frac{24V}{50mA} = 480\Omega \quad (4.2)$$

Para a realização das simulações utilizou-se o mesmo circuito da Figura [1](#). Dessa forma, foi adicionada uma sequência de pulsos (representando o PWM do microcontrolador) na entrada do LED emissor do opto-acoplador para reproduzir as diferentes velocidades do motor, alternando a tensão de entrada do *gate* e consequentemente sua saturação. Uma vez que o MOSFET está saturado o motor é aterrado levando assim o sinal de pulso ir para 0V fazendo o motor funcionar. Pode-se observar o comportamento do sinal nos 3 níveis de velocidades do motor na Figura [2](#).

- **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 e assim, separam um circuito de baixa potência com o de alta potência.

4.3.1.2 *Mobile Sensor*

Este módulo consiste no sistema de monitoramento da qualidade do ar com a função de realizar a coleta de dados relevantes para uso no controle e automação do equipamento. Portanto, aborda um sistema micro-controlado conectado a vários componentes de detecção e medição de parâmetros previamente estabelecidos (gases poluentes, MP, SO_2 , NO_2 , COVs). Diante disso, foi feito um levantamento de componentes necessários

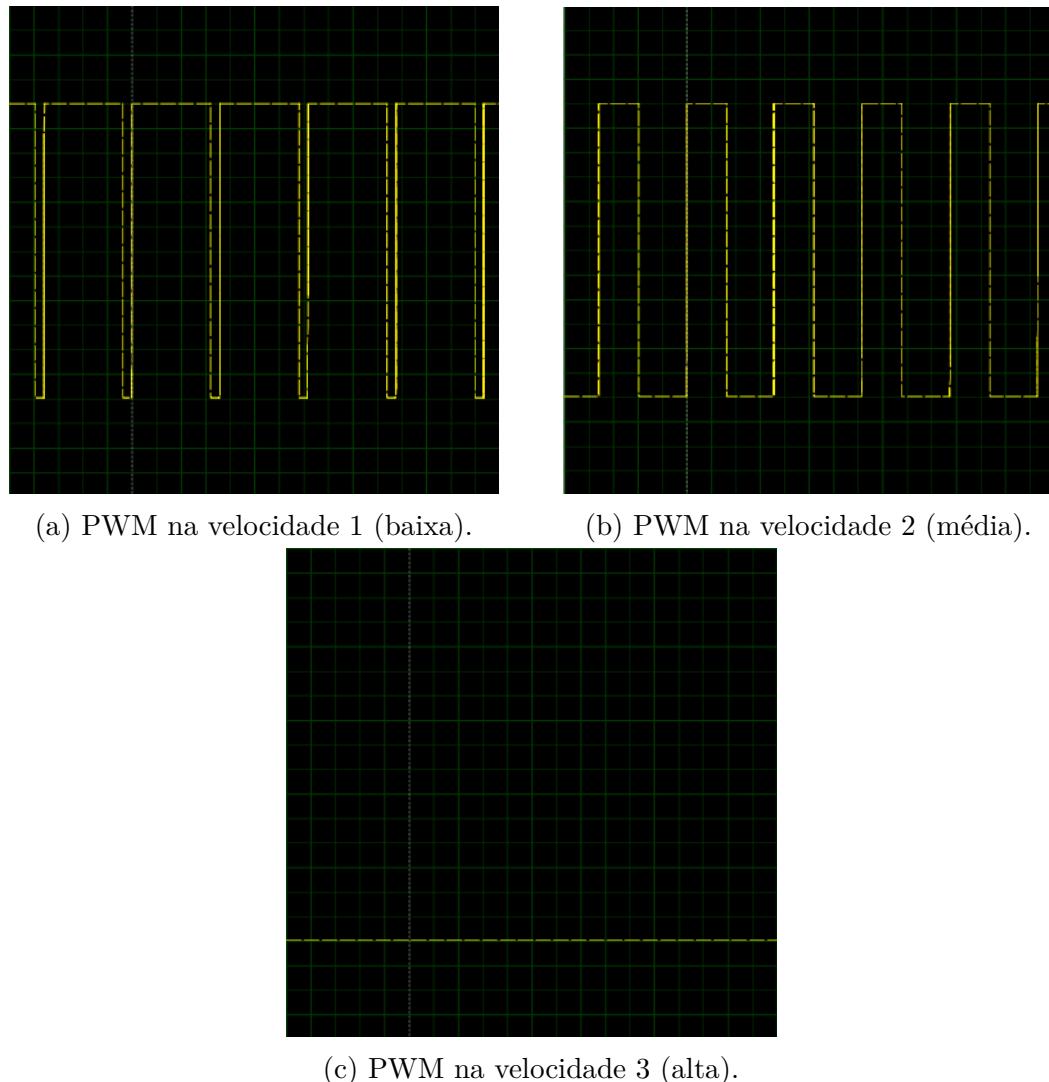


Figura 2 – Simulação do controle de velocidade do motor por PWM.

com base nos requisitos levantados, normas estabelecidas na resolução do CONAMA ([CONAMA, 2018](#)) para a qualidade do ar, escala de medição compatível com a aplicação e apresentarem custos acessíveis com a disponibilidade no mercado.

4.3.1.2.1 Módulo de Medição da Qualidade do ar

Para que haja a verificação da qualidade do ar e quais substâncias estão presentes em maior ou menor concentração no ambiente, faz-se necessário o uso de sensores específicos para identificar cada um dos gases e partículas.

- **Módulo sensor para Material Particulado**

Para que haja a medição de materiais particulados até 2.5 micrômetros e entre 2.5 e 10 micrômetros foi escolhido o módulo sensor Adafruit **PMSA003I**. Este dispositivo usa espalhamento a laser para irradiar partículas suspensas no ar e, em seguida,

coleta a luz espalhada para obter a curva de mudança dessa luz com o tempo. Ao ser conectado a um microcontrolador é possível obter os valores dos cálculos do diâmetro de partícula equivalente e o número de partículas com diferentes diâmetros por unidade de volume. Dessa forma, tem-se as concentrações de MP2.5 e MP10 em unidades padrões e ambientais.

Especificações do módulo sensor:

- Nível de interface: 3.3 V
- Comunicação: I²C
- Faixa de medição de partícula: 0.3 ~ 1.0, 1.0 ~ 2.5, 2.5 ~ 10 micrômetros
- Faixa efetiva de partícula (padrão PM2.5): 0 ~ 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

A conexão do PMSA300I pelo protocolo de comunicação I^2C se dá pela seguinte maneira:

- VIN é o pino de alimentação. Para alimentar a placa, é utilizado o pino 3.3 V do microcontrolador;
- GND é o terra comum para potência e lógica. É conectado no pino GND;
- SCL é o pino de *clock* I^2C . Conecta-se no pino SCL para sua leitura no microcontrolador;
- SDA é o pino de dados I^2C . É conectado na linha de dados I^2C do microcontrolador sendo o pino SDA.

- **Módulo sensor de COVs, umidade, pressão e temperatura**

Segundo a ISO16000 (2014), é esperado que os detectores de COVs (compostos orgânicos voláteis) sejam amplamente usados para monitoramento de concentrações internas, controle de sistemas de ventilação e assim por diante. Além do mais, fatores como a umidade, pressão e temperatura influenciam na qualidade do ar.

Sendo assim, para medir essas variáveis, o “*Mobile Sensor*” utilizará o módulo sensor digital Adafruit **BME680**, que realiza a leitura das três variáveis meteorológicas (temperatura, umidade e pressão) e do COVs. Este componente possui uma alta proximidade entre o valor obtido experimentalmente e o valor verdadeiro na medição das grandezas mensuradas por conter um pequeno sensor com óxido de metal aquecido o qual muda sua resistência baseado na quantidade de COVs no ar. Logo, se torna a melhor aplicação para o projeto, por ter maior sensibilidade quando comparado a outros modelos além de ter uma baixo consumo de corrente. Também possui uma alta resolução de leitura e de detecção de gases COVs.

Todos os parâmetros são deduzidos de medições e condições ambientais, que estão em conformidade com a norma ISO 16000-29 “Métodos de teste para detectores de COV” (BOSH, 2017). Assim, pode ser usado para detectar e realizar medições de gases e álcoois, como etanol, álcool e monóxido de carbono que podem ser ativados ou desativados independentemente, porém, não pode diferenciá-los.

A lista abaixo resume algumas características técnicas do sensor:

- Comunicação: I²C e SPI
- Alimentação: 3.3 V
- Modo de operação: -40 a 85 °C, 0 a 100% UR, 300 a 1100 hPa

Dessa forma, foi escolhido o protocolo de comunicação I²C para sua implementação. Assim, as suas conexões com o microcontrolador funcionam da mesma maneira explicada no item anterior (sensor para material particulado).

- **Módulo sensor de Dióxido de Enxofre**

Com o intuito de identificar a concentração do dióxido de enxofre no ambiente será utilizado o dispositivo integrado **DGS-SO2**. Ele utiliza uma tecnologia de sensor eletroquímico impresso e combinado com algoritmos permite uma fácil integração de baixo consumo de energia, alto desempenho e estabilidade ao componente.

A lista abaixo resume as características técnicas do sensor:

- Comunicação: UART
- Alimentação: 3.3 V
- Faixa de operação: -20 a 40°C, 15 a 95% UR, 0,8 a 1,2 atm
- Máxima concentração medida: 5000 ppm

A conexão do módulo do sensor ao microcontrolador seguindo a sua pinagem por meio do protocolo UART é feita da seguinte maneira:

- V+ é o pino de alimentação que é conectado ao pino 3.3V do microcontrolador;
- TXD é o pino de determinado para transmissão de dados que tem a sua ligação com o pino RX;
- RXD é o pino de determinado para recepção de dados que tem a sua ligação com o pino TX;
- GND é o terra conectado no pino GND.

Quando o módulo do sensor DGS-SO2 é conectado ao V+ e GND, o microcontrolador ligado ao módulo configura o sensor e sua operação. Ao ser acionado é enviada às medições realizadas pelo sensor e, em seguida, ele entra no modo de espera de baixa energia. Enquanto entra em modo de espera, o sensor permanece ativo para garantir a mais alta precisão para futuras medições (SPEC, 2017).

- **Módulo sensor de Fumaça**

Sabendo como a fumaça e gases inflamáveis trazem diversos riscos à saúde (RI-BEIRO; ASSUNÇÃO, 2002), é necessário a detecção desses poluentes. Então para essa finalidade foi escolhido o módulo sensor **MQ-2**. Seu sensor apresenta um tipo semicondutor, composto por um tubo de cerâmica de Al_2O_3 (Óxido de alumínio), uma camada sensível ao dióxido de estanho (SnO_2), na qual apresenta menor condutividade em ar limpo, ou seja, a condutividade deste material varia de acordo com a concentração dos gases, assim, quanto maior a concentração menor sua resistência.

Esses componentes são fixados em uma crosta de plástico e rede de aço inoxidável. O aquecedor fornece as condições de trabalho necessárias para o trabalho de componentes sensíveis. Este sensor tem sensibilidade a gases GLP, Propano, Hidrogênio, Metano, Monóxido de Carbono e Álcool. Por ser um sensor que consegue detectar mais de um tipo de gás, há a necessidade de realizar o ajuste de sensibilidade de acordo com a aplicação. Esta é realizada a partir do ajuste da resistência de carga do sensor (ELECTRONICS, 2020a). No presente projeto o sensor MQ-2 será utilizado apenas para a detecção de fumaça no ar.

A lista abaixo resume as características técnicas do sensor MQ-2:

- Tensão de operação: 3.3V-5V
- Concentração de detecção: 300-10000 ppm
- Comunicação: Digital e analógica

- **Módulo sensor de Ozônio**

Sendo o ozônio um dos principais componentes da poluição (LARA, 2020), também é importante fazer a detecção deste poluente. Para isso, foi feita a busca de um sensor em um módulo comercial que entrega os dados de forma digital em um protocolo compatível com o microcontrolador proposto pela solução de eletrônica.

Então, módulo sensor escolhido para realizar a detecção do ozônio no ambiente foi **MQ-131**. Seu sensor é composto por um tubo de cerâmica de Al_2O_3 , porém tem uma camada de trióxido de tungstênio (WO_3), material que possui menor condutividade em ar limpo, eletrodo de medição e o aquecedor que fornece as condições necessárias para o trabalho de componentes sensíveis.

Ele possui 6 pinos, sendo 4 deles usados para a busca de sinais e 2 para o fornecimento de corrente de aquecimento, porém para realização do projeto foi escolhido o sensor já integrado ao módulo que realiza as devidas conexões com 4 pinos que são o VCC, GND analógico (A0) e digital (D0). Além do ozônio, ele também é sensível ao dicloro, dióxido de nitrogênio, entre outros óxidos fortes ([WINSEN, 2014](#)). Sabendo disso, é necessário realizar um ajuste de sensibilidade de acordo com a aplicação, o ajuste é realizado de acordo com o fabricante ([ELETRONICS, 2020b](#)).

Características:

- Tensão de operação: 3,3V-5V
- Concentração de detecção: 0,01-1 ppm
- Comunicação: Digital e analógica

- **Módulo sensor de Dióxido de Nitrogênio**

Para a medição do gás dióxido de nitrogênio utilizaremos o módulo sensor **MICS-6814** que é elaborado com material semicondutor e de acordo com a concentração do gás a sua resistência aumenta ou diminui (explicação posterior). A estrutura do sensor consiste em um diafragma de precisão micro usinado com um resistor de aquecimento embutido e a camada de detecção na parte superior.

Inclui três chips de sensor com aquecedores independentes e camadas sensíveis, pois há a combinação de análise de efeitos de temperatura, químicos e elétricos. Também tem como principal vantagem a versatilidade de medição de gases, podendo medir até três gases simultaneamente, sendo eles dióxido de nitrogênio, monóxido de carbono e amônia.

A lista abaixo resume as características técnicas do componente:

- Comunicação: Analógica
- Alimentação: 3,3V-5V
- Concentração medida: 0,05 a 10 ppm

- Calibração sensorial

Para a calibração dos sensores de **Fumaça, Ozônio e Dióxido de Nitrogênio** foi feita uma análise do gráfico das características de sensibilidades do sensor disponibilizado nos seus respectivos *datasheets* e realizado devidos cálculos. Todo o processo para a leitura da concentração de cada gás de forma calibrada se encontra no apêndice [G](#).

4.3.1.2.2 Visualizações e Controle

- **Botão Liga/Desliga**

Da mesma forma que o purificador apresenta uma interação manualmente limitada com o usuário, o Mobile Sensor possuirá um botão de ligar e desligar o respectivo dispositivo. Por meio de um botão *push-button* com retenção onde é possível estabelecer um sistema com este painel de controle ao funcionar como um interruptor, abrindo ou fechando circuitos elétricos, pelo qual se interrompe, de forma reversível, a passagem de um sinal no circuito eletrônico do equipamento. Assim, com um toque, pode-se ligar e desligar o aparelho pela lógica de abrir e fechar o circuito por meio do botão. Este modelo foi escolhido devido ao seu ótimo acabamento e fácil conexão ao circuito via cabo flexível que suporta tensões superiores a 5V (máximo valor utilizada nesse sistema) e sua corrente máxima é de 12A.

- **Display LED indicador de bateria**

O dispositivo menor possui bateria própria e independente, portanto para uma melhor visualização do nível de bateria do dispositivo, foi escolhido um medidor de bateria de barra gráfica 5 segmentos - FR50. Pois é capaz de medir em tempo real a quantidade de carga total, indicando a quantia de carga existente por meio de uma barra gráfica com leds. Ideal para o uso de baterias de lítio, com tensão máxima de 6,0V.

O indicador de bateria funciona por meio de programação em software implementada ao microcontrolador que trabalha em faixas de sinais analógicos, ou seja, de acordo com a tensão fornecida a entrada, entende-se que há redução ou aumento de tensão ativando ou desativando os LEDs dos barramentos digitais (D1, D2, D3, D4, D5 e D6) apresentados na Figura 72 em apêndice.

Para essa verificação de tensão, a bateria fornecerá energia ao sistema e também será conectada a uma entrada analógica do microcontrolador. Todavia, a tensão de bateria é de 5V e a tensão de operação do dispositivo é de apenas 3,3V, sendo assim necessário um circuito de redução de tensão de 5V para 3,3V, representado na figura 3, precedendo a alimentação no pino ADC.

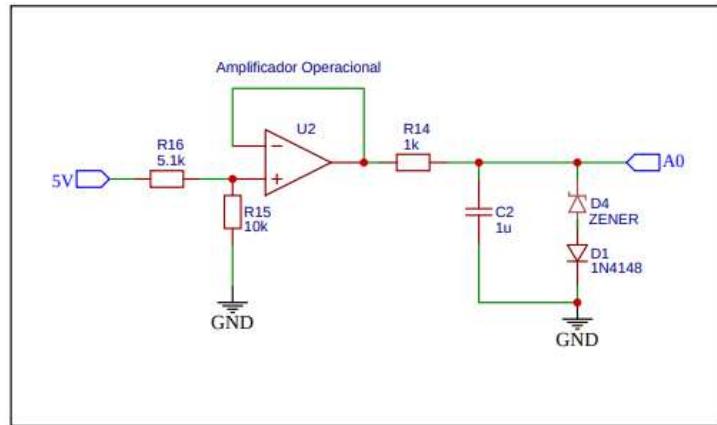


Figura 3 – Circuito redutor de tensão.

O circuito apresenta um divisor de tensão, onde foi escolhido de forma arbitrária o valor de $R_{15} = 10\text{k}\Omega$. Após esse valor determinado, foi calculado o resistor R_{16} com a equação 4.3 sabendo que a tensão de saída desejada é de 3,3V.

$$R_{15} = \left(\frac{R_{16} \cdot 5}{3,3} \right) - R_{16} \quad (4.3)$$

Para que a saída desse divisor de tensão não seja conectada diretamente na porta ADC do microcontrolador, é usado um amplificador operacional com a funcionalidade de casar impedâncias e não ter uma queda de tensão ao realizar essa conexão. Para proteção do circuito, também é conectado um resistor de $1\text{k}\Omega$ (R_{14}) em série com um capacitor de modo que seja implementado um filtro passa baixa que realiza a filtragem de altas frequências. Além disso, o circuito conta com um diodo Zener que garante que a tensão máxima permitida seja de 3.3V, e o diodo comum em série para que some a tensão e compense a queda que ocorre anteriormente. Com isso a leitura analógica da bateria é feita pelo microcontrolador de forma segura e praticamente sem perdas para a plena indicação de bateria no módulo.

4.3.1.2.3 Ventilação

- Micro Cooler Ventoinha DC

Para realizar uma detecção mais efetiva dos poluentes é necessário a aspiração do ar no Mobile Sensor. Com a finalidade de realizar essa ação, é apresentada uma ventoinha para a sucção de ar. O equipamento escolhido é feito de ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*), um material leve, e ele será ligado automaticamente com o Mobile Sensor ([ELETROGATE, 2020](#)).

Abaixo são apresentadas as características técnicas do micro cooler:

- Tensão nominal: 5 V/0,2 A
- Tipo de rolamento: Sleeve
- Conector: 2Pin (2.0)

4.3.1.3 Microcontroladores

Para esse projeto será necessário o uso de dois microcontroladores que sejam capazes de se comunicar e conectar com o dispositivo do usuário via *Wi-Fi*. Também será necessário o controle de sensores com comunicação I^2C , UART e SPI, processando os dados e os enviando ao banco de dados para ser redirecionado ao usuário.

Após fazer a análise de cada componente necessário para o desenvolvimento da solução de eletrônica, os sensores foram escolhidos após o levantamento de referências sobre os tipos de gases e partículas que influenciam na poluição do ar e da qualidade do mesmo. Portanto, a escolha do sistema microprocessado foi feita com base nas especificações do projeto.

Diante do levantamento de dados pesquisados, o microcontrolador escolhido para cumprir os requisitos necessários foi a **ESP32**. Seu circuito integrado tem sistema de 2,4 GHz com *Wi-Fi* e *Bluetooth* combinado, além de projetado com baixa potência e com antena embutida. Ele é capaz de receber e enviar dados ao software por meio de um determinado protocolo, e permite também a conectividade com outros dispositivos e constante troca de informações com a rede. É planejado e otimizado para o melhor desempenho de energia, robustez, versatilidade, recursos e confiabilidade, para uma ampla variedade de aplicações como em IoT ([ESP32, 2016](#)).

Outro fator de grande relevância para a escolha desse microcontrolador, foi a quantidade de pinos dispostos na placa sendo 38 pinos que se dividem em 32 como GPIO, e o restante como pinos de Vcc, Enable e GND. Ele suporta 16 canais para ADC de 12 bits e outros 2 canais para a DAC de 8 bits. Quanto a interface de comunicação, a ESP32 possui 3 interfaces SPI, 3 interfaces UART, 2 interfaces I^2C , e suporte para protocolo CAN ([ESP32, 2016](#)). Algumas outras especificações técnicas da placa são:

- Tensão de Operação: 2.5 V - 3.6 V;
- Corrente de Operação: 50 mA;
- Tensão Lógica: 3.3 VDC;
- Taxa de transferência: 110 à 460800 bps;
- Frequência de operação máxima: 240MHz.

Outrossim, foi considerada toda a integração dos componentes com outras áreas do projeto, o custo benefício (na utilização de 2 microcontroladores), o acesso *Wi-Fi* sem utilização de módulo externo e a necessidade de utilizar as interfaces I^2C , UART e SPI e quatro entradas/saídas (ADC).

A alimentação da ESP32 é possível ser realizada através da entrada micro USB ou diretamente nos pinos Vin e GND. Como a solução proposta do projeto é desenvolver um sistema portátil, torna-se inviável o uso da entrada micro USB, portanto a alimentação do sistema micro-controlado será feita por meio dos pinos Vin e GND provinda da bateria de 5V proposta pela solução de energia.

Porém, para a proteção de sobrecorrente no microcontrolador é importante a utilização de um fusível que, se a corrente for drenada ultrapassa o limite de fabricação, a liga interna é rompida fazendo interrupção na passagem de corrente ([ELÉTRICAS et al., 1992](#)). Sendo assim, não causa danos maiores caso ocorra algum curto-circuito, preservando o bom funcionamento do microcontrolador.

4.3.2 Protocolos de comunicação

4.3.2.1 Protocolos internos

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

- I^2C

O protocolo I^2C (*Inter-integrated Circuit*) descreve o funcionamento de um barramento serial de comunicação que é composto por apenas dois fios SDA (*Serial Data Line*) que é utilizado para transferência de dados e o SCL (*Serial Clock Line*) que é responsável por levar o *clock* do dispositivo mestre para os dispositivos escravos, com a função de sincronizar os dispositivos e garantir a confiabilidade do sistema.

Para que haja essa troca de dados com cada escravo, cada dispositivo do barramento é reconhecido por um endereço único. Essa comunicação pode ser bidirecional ou unidirecional, ou seja, de acordo com o dispositivo conectado além do escravo receber dados pode transmitir dados ao mestre também.

Na aplicação proposta este protocolo é usado para a comunicação do dispositivo mestre ESP32 com os dispositivos escravos, que são os sensores de dióxido de enxofre, sensor COV's e sensor de material particulado.

- SPI

O protocolo SPI possui três fios fixos e mais um para cada escravo no sistema, sendo eles o MOSI (*Master Output Slave Input* direciona do mestre para o escravo,

MISO (*Master Input Slave Output*) direciona do escravo para o mestre e o SCLK (*Serial Clock*) que é o *clock* serial. Esse protocolo possui os sinais de comunicação com direção fixa e definida, e para que haja o controle de qual escravo está sendo manipulado é utilizado um pino de seleção SS (*Slave Select*) o qual é ativo em nível baixo.

Esse protocolo possui uma vantagem em relação ao I^2C por possuir dois transistores que definem o estado de um pino (*Push-pull*) enquanto o I^2C possuem um mesmo barramento de dados para os sinais de entrada e saída.

Este protocolo é utilizado para comunicar o dispositivo mestre com a tela LCD, por ser compatível com o controlador da tela escolhida.

- **UART**

O protocolo UART é uma forma de comunicação assíncrona que utiliza dois canais o RX que recebe dados e o TX que envia, portanto é necessário que ambos estejam em uma mesma taxa de transmissão.

O funcionamento dele deve-se a partir da inversão dos canais nos dispositivos de formas distintas, ou seja, TX se conecta com RX e RX com o TX em dispositivos diferentes. Para que haja transmissão de informações é enviado um bit de início seguido por 5 a 9 bits de informação, um bit de paridade e um a dois bits de finalização de transmissão. Esse protocolo será utilizado para conectar o sensor DGS-SO2 com a ESP32.

- **ESP-NOW**

O protocolo ESP-NOW funciona com um protocolo de comunicação sem fio de baixa potência, sem Wi-Fi que necessita de pareamento inicial, porém a conexão é persistente após pareamento. Este protocolo tem modos de Mestre/Escravo em que os dispositivos podem se tornar mestre e escravo ao mesmo tempo interagindo entre si, podendo responder ambos os comandos enviados de uma ESP para outra. Essa interação é possível por meio de uma biblioteca desenvolvida para estabelecer essa comunicação ([ESPRESSIF, 2021](#)).

Nesta aplicação, o protocolo especificado é utilizado para realizar a conexão entre a ESP32 do purificador e a do *Mobile Sensor*, a fim de ter uma concentração de informações em apenas um sistema embarcado (sendo esse o do purificador) facilitando o envio de dados para o aplicativo mobile.

4.3.2.2 Protocolos externos

Os protocolos externos são utilizados para comunicação entre o sistema de controle e alimentação do dispositivo com o *backend* da solução de software, esse é melhor detalhado na seção [4.9](#).

- HTTP

O protocolo HTTP é um protocolo que permite a obtenção de recursos, sendo baseado na troca de dados do sistema embarcado para o *backend*, nesta aplicação, e um protocolo cliente-servidor. Sendo, dessa forma, uma comunicação unidirecional feita do sistema embarcado para o *backend*.

- MQTT

O MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) é um protocolo para máquina com foco em IoT (*Internet of Things*). Esse sistema se baseia na comunicação entre cliente e servidor, portanto para a comunicação do microcontrolador 1 foi escolhido esse tipo de protocolo para que haja a comunicação com o aplicativo, sendo o cliente corresponde ao aplicativo e o servidor a ESP32. Dessa forma é possível realizar requisições do *backend* para ações na máquina, como o controle do purificador.

4.3.3 Diagramas Esquemáticos da Conexão dos Sistemas

Os diagramas esquemáticos da conexão entre os componentes dos sistemas da solução eletrônica, sendo esses o purificador e o *Mobile Sensor*, se encontram detalhados nos Esquemáticos Eletrônicos no apêndice [F.0.1].

4.3.4 Arquitetura de Eletrônica

No diagrama lógico da arquitetura geral da eletrônica na Figura 4, tem-se a interação do sistema de controle do Purificador com o sistema de acionamento dos atuadores e com *Mobile Sensor*, além da integração com alimentação necessária para cada componente por meio de baterias e também com o aplicativo mobile.

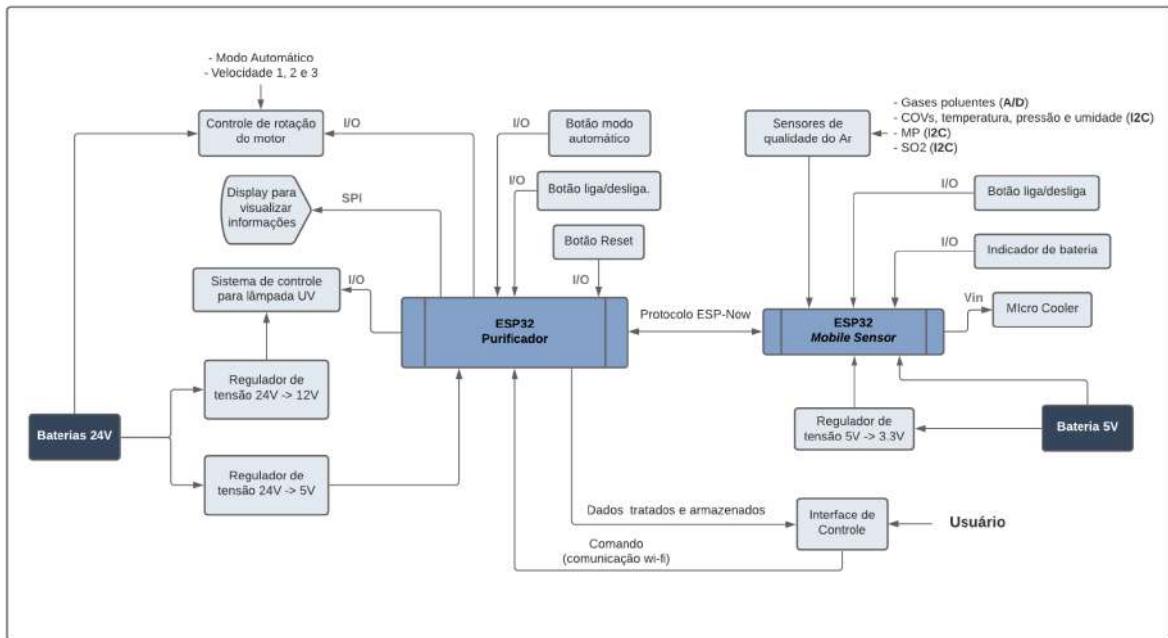


Figura 4 – Arquitetura de Eletrônica

4.3.5 Plano de Construção

Para construção dos subsistemas da eletrônica foi desenvolvido considerando os esquemáticos descrição na seção 4.3.3. A partir desses esquemáticos pode ser elaborado as placas de circuito impresso (PCI), que serve como base para conexão de todos subsistemas e seus componentes da área eletrônica. Para o projeto das PCI foi utilizado o software EasyEDA e selecionado placas de camada dupla. A largura da trilha foi determinada de acordo com a corrente máxima que irá percorrer no circuito, ela também depende da espessura do cobre sobre a placa que foi considerado de 2 oz (onça), também houve a preocupação em usar angulações de 45 e 60 graus para as vias roteadas em todos os layouts (LIMA, 2010).

Além do mais, para não existir a inversão da conexão dos pinos conectados, foram escolhidos conectores KK e colocado uma legenda em cada PCI para os conectores. As figuras no apêndice H mostram os layouts para as placas fabricadas. Em todos os casos foram utilizadas zonas preenchidas de Ground (GND) na camada de cobre.

4.3.5.1 Potência

A PCI da potência do Purificador, representada no apêndice H figura 81, foi criada para separar a parte de potência que apresenta uma maior tensão e corrente referente ao motor DC e lâmpada UV da parte que será conectada com o sistema de controle do Purificador (que apresenta uma potência menor). Dessa forma, é possível ter uma

segurança entre as conexões dessas duas partes de diferentes potências, em vez de ser apenas uma PCI integrada com esses dois circuitos. Assim, na parte superior é conectado:

- Fonte de alimentação 24V/5A: Conector Borne 2 pinos (positivo e negativo);
- Fonte de alimentação 12V/0.1A: Conector Borne 2 pinos (positivo e negativo);
- Motor DC: Conector Borne 2 pinos (positivo e negativo);
- Lâmpada UV: conector KK de 2 pinos macho/macho;
- Conexão com a PCI do purificador: 2 cabos conectores KK de 2 pinos macho/macho.

4.3.5.2 Sistema de controle

4.3.5.2.1 Purificador

A PCI do Purificador, figura 81, foi criada para o sistema de controle deste equipamento correspondendo ao microcontrolador ESP32 (com seus respectivos GPIO) e a determinados componentes, além da sua ligação com a parte de potência. Para sua conexão superior tem-se:

- Fonte de alimentação do microcontrolador 5V: Cabo com conector KK de 2 pinos fêmea/fêmea;
- LCD 240x320: Cabo com conector KK de 9 pinos fêmea/fêmea;
- Botões: 3 Cabos com conector KK de 2 pinos macho/macho;
- Conexão com a PCI de potência: 2 cabos conectores KK de 2 pinos macho/macho que será conectado no conector com legenda de lâmpada e motor DC nessa PCI.

4.3.5.2.2 Mobile Sensor

Para a PCI desse sistema, figura 83, foi criada para associação do microcontrolador ESP32 (com seus respectivos GPIO) e demais componentes para o controle e visualização deste equipamento. Na parte superior é conectado:

- Fonte de alimentação do microcontrolador 5V: Cabo com conector KK de 2 pinos macho/macho;
- Botão interruptor: Cabo com conector KK de 2 pinos macho/macho;
- Micro-cooler: Cabo com conector KK de 2 pinos macho/macho;

- Sensor BME680 (COVs, temperatura, pressão e umidade): Cabo com conector KK de 4 pinos macho/fêmea;
- Sensor MQ-2 (fumaça): Cabo com conector KK de 3 pinos;
- Sensor MQ-131 (ozônio): Cabo com conector KK de 3 pinos;
- Sensor DSG-SO2 (dióxido de enxofre): Cabo com conector KK de 4 pinos;
- Sensor PMSA003I (MP2.5 e MP10): Cabo com conector KK de 4 pinos;
- Sensor MICS-6814 (dióxido de nitrogênio): Cabo com conector KK de 3 pinos;
- Indicador de bateria: Cabo com conector KK de 8 pinos fêmea/macho.

4.3.5.3 *Firmware* Embarcado

Após a construção física das conexões do sistema, deve-se desenvolver o *Firmware* do sistema embarcado, que é uma classe de *software* que fornece controle para o *hardware* de algum dispositivo ([GANSSLE, 2004](#)).

Pode-se dividir a implementação em duas partes. A primeira se refere ao purificador e do acionamento dos atuadores, que serão programados em linguagem C++ para o microcontrolador ESP32. A segunda se relaciona ao *Mobile Sensor*, a qual será também em linguagem C++. Todos os códigos desenvolvidos podem ser acessados por meio do repositório do link: [CleanAir-purifier-electrical](#).

4.3.5.3.1 Purificador

- Botão Membrana 3 chaves

Para identificar qual botão foi pressionado, primeiro é configurado as 3 colunas da matriz como entradas em nível lógico alto (resistor de *pull-up* interno ativado), e a linha como saída em nível lógico baixo. Assim, ao ser conectado a um microcontrolador com sua respectiva porta de leitura correspondente, a tecla que foi pressionada (1, 2 ou 3) é identificada como um estado de nível lógico baixo na sua saída. Por meio do programa, é interpretado qual tecla teve seu nível lógico alterado e, assim, pode-se realizar ações específicas de forma integrada a esse processo.

- Display LCD com controlador ILI9341

Para a comunicação por SPI com o visor ILI9341 será utilizada a biblioteca Adafruit_ILI9341. Por meio dela é possível desenhar formas do display e apresentar imagens utilizando a classe ILI9341. O visor possui uma tela de interação com

alguns estados, sendo o principal deles observar o IQA por meio de índices de porcentagem e cores determinadas de acordo com a condição do ar no ambiente em que está sendo purificado. Além de apresentar também uma tela de descanso para quando não estiver em total funcionamento. Entretanto, sua implementação para o projeto não chegou a ser finalizada, mas um modelo possível foi desenvolvido e se encontra no apêndice O com as figuras 123 e 124. O princípio de funcionamento é visualizar informações úteis como carregamento da bateria, conexão com o Wi-fi ativa, qual *Mobile Sensor* está conectado ao purificador, entre outros.

- Acionamento do motor

O firmware responsável pelo motor possui um fundamento utilizando nível lógico de acordo com valores do IQA recebidos pelo servidor. Esses valores colaboram para a representação do período dos pulsos enviados ao acionamento do motor, controlando a velocidade ou o *Duty cycle* do PWM, variando de 0 a 1024 uma vez que o PWM do microcontrolador escreve 10bits ($2^{10} = 1024$). Sendo assim, o atuador será acionado em velocidade baixa 1 se IQA estiver bom, em velocidade média 2 se estiver médio e em velocidade alta 3 para IQA ruim, os índices (bom, médio e ruim) de qualidade serão nos valores apresentados na tabela(colocar).

4.3.5.3.2 *Mobile Sensor*

- Sensor de Material Particulado

Para a sua utilização, é necessário a instalação das bibliotecas disponibilizadas Adafruit PM25AQI e Adafruit BusIO que ajudará na leitura e verificação dos dados de soma além de imprimi-los em formato legível para unidades padrões. Para a comunicação I^2C o endereço escolhido foi 0x12, e, ao detectar a conexão do sensor tem-se o envio de sinal para ligar a ventilação forçada do sensor e o laser de detecção para aferir as medições de concentrações de MP10 e MP2.5.

- Módulo sensor de COVs, Temperatura, Umidade e Pressão

Para o sensor é utilizada a biblioteca que colabora na leitura dos dados que é a Adafruit_BME680, específica do próprio sensor e disponível no Github do Adafruit em [Adafruit_Sensor.h](#). O endereço I^2C empregado é 0x77. Para aferir a temperatura, pressão, umidade e COVs, é necessário o uso dos métodos específicos que são: bme.temperature (em grau Celsius - °C), bme.pressure (em hectoPascal - hPa), bme.humidity (umidade relativa em porcentagem - %) e bme_ppm (retorna um valor de COVs em ppm) presentes na classe BME680.

- Módulo sensor de Dióxido de Enxofre

O módulo DGS-SO2 realiza todo o processamento de medição de quaisquer dados recebidos na interface UART e assim acionarão medições transmitidas via protocolo UART. Para isso a biblioteca [SPEC_Sensors](#) será utilizada.

- Sensor de Fumaça, Ozônio e Dióxido de Nitrogênio

Esses sensores apresentam uma comunicação analógica e utilizam o conversor A/D presente no microcontrolador para a leitura dos seus dados. O primeiro passo é definir o seu pino de saída como analógico e depois abrir uma comunicação serial onde é possível identificar as concentrações dos gases em ppm de cada dispositivo.

- Rotina para monitoramento da qualidade do ar

Todos os dados dos módulos sensores utilizados no *Mobile Sensor* são amostras para a determinação da qualidade do ar. Após o compartilhamento dessas amostras com o microcontrolador do Purificador e o processamento de dados realizados para cada parâmetro de poluente do ar (cálculo da concentração do gás verificado), seus valores resultantes são encaminhados a cada instante para o servidor. Em seguida, é feito a análise desses valores recebidos e separados em índices específicos estabelecidos pelo CONAMA para determinar o IQA.

4.3.5.4 Plano de Testes

Os procedimentos relatados nessa subseção tem a finalidade de verificar a conformidade dos resultados entre o sistema construído e o que foi projetado. Assim, a intenção é garantir que cada componente funcione conforme foi projetado e, consequentemente, o sistema eletrônico com sua devida integração. Todo o plano de teste foi realizado considerando um teste inicial dos microcontroladores que verifica a sua alimentação com o auxílio de um multímetro para a validação do uso.

4.3.5.4.1 Teste do sistema de controle do *Mobile Sensor*

Módulo de Medição da Qualidade do Ar Para o teste deste módulo é necessário a checagem de cada sensor nele contido, em que será avaliado se o sensor não apresenta defeitos ao atender os resultados esperados para aferir a qualidade do ar. Ao concluir a validação individual de cada sensor, será realizado testes específicos de integração com todos os componentes do *Mobile Sensor* em que são conectados, conforme descrito na arquitetura do sistema eletrônico na subseção [4.3.4](#).

- Módulo Sensor de Material Particulado

Para o módulo sensor de material particulado PMSA003I está sendo considerado que o teste de conexão com o *Mobile Sensor* das devidas portas do microcontrolador

já foi realizado e assume que a aquisição dos dados por I^2C está funcionando. Logo, pode-se prosseguir para o primeiro teste, onde este consiste na verificação dos valores padrões que estão sendo medidos de MP2.5 e MP10 em um ambiente controlado utilizando um programa simples que inclui as bibliotecas disponibilizadas pelo fabricante. O sensor precisa de 10 segundos para se estabilizar, antes de mostrar a primeira leitura. Ao exibir a primeira leitura, verifica-se o número de cada partícula com diferentes tamanhos por unidade de volume e a unidade de concentração de massa em $\mu g/m^3$.

Após isso, é feito o segundo teste para conferir a mudança da leitura do sensor quando submetido a uma área com maiores concentrações de materiais particulado (áreas próximas a fábrica de cimento, industrias de mineração e ambientes com alto índice de poeira são exemplos de locais de testes). Assim, ocorrendo a leitura desses novos dados variados e comprovando a medição bem sucedida o teste é concluído. Destaca-se que se a mudança de concentração for pequena, o sensor funcionará no modo estável com o intervalo real de 2.3 segundos. E se a mudança for grande, o sensor será alterado para o modo rápido automaticamente com o intervalo de $200 \sim 800ms$, pois devido ao aumento da concentração, mais curto será o intervalo de leitura ([PLANTOWER, 2018](#)).

- Módulo sensor COVs, Temperatura, Umidade e Pressão

Considerando que o teste de conexão do sensor integrado BME680 com a ESP32 do *Mobile Sensor* teve sucesso e assumindo que a aquisição dos dados por I^2C está funcionando, é feita a realização de testes. O primeiro consiste em testar o sensor pela primeira vez, sendo recomendável executá-lo com um programa simples por 48 horas após o início da coleta de dados “reais”, segundo informações detalhadas pelo fabricante. Esse procedimento é feito porque os níveis de sensibilidade do sensor mudam durante o uso inicial, e, conforme o óxido de metal se aquece até sua leitura de linha de base, a sua resistência aumenta lentamente com o tempo. Dessa forma, depois de realizado este primeiro teste, verifica-se os valores que estão sendo medidos de COVs, temperatura, umidade relativa e pressão para um ambiente controlado sabendo que o módulo possui auto-calibração. Por fim, é possível alcançar uma boa qualidade de dados e manter medições sem erros durante todo o seu uso.

- Módulo sensor de Dióxido de Enxofre

O primeiro teste é feito após conferir a conexão correta dos pinos do módulo sensor DGS-SO2 com o microcontrolador. Ao ser conectado, o microprocessador do módulo configura automaticamente o sensor e o circuito integrado para operação. Depois, é utilizado um programa simples estabelecendo a conexão serial com o módulo para verificar as medições recebidas na interface UART. Devido ao método de amostragem ADC de alta precisão integrada a este módulo, há um atraso de 1 segundo

entre o momento em que o módulo recebe um comando do software para leitura de dados e o momento em que transmite uma resposta dos valores de concentração de SO₂ medidos em ppm.

Depois disso, é testado o módulo quando o mesmo entra no modo de espera de baixa energia em que os circuitos críticos integrados ao sensor permanecem ativos para garantir a mais alta precisão para futuras medições do sensor. Dessa maneira, o teste é garantido para que o módulo seja adequado para o requisito de leitura de concentração de dióxido de enxofre no ar.

- Módulos sensor de fumaça, ozônio e dióxido de nitrogênio

Os testes para esses módulos (sendo eles respectivamente MQ-2, MQ-131 e MICS-6814) são executados em conjunto, uma vez que seus procedimentos de conexão, calibração e leitura de dados funcionam praticamente da mesma forma. Após a averiguação da conexão correta desses sensores integrados com o *Mobile Sensor*, é verificado o funcionamento da leitura de cada um deles. Para uma melhor calibração, é recomendado o uso de um equipamento de terceiro com calibração própria capaz de realizar as medições de concentração de fumaça, ozônio e dióxido de nitrogênio em ppm, com a mesma ou maior precisão que os sensores utilizados.

Ao implementar um programa simples, é requisitado os valores de fumaça, O₃ e NO₂ em um intervalo de tempo de 1 hora, onde os dados são armazenados para análise e calibração. Então, é observado se existe um erro menor que 5% comparado a medida do equipamento externo usado na calibração (caso esteja sendo utilizado). Com a curva de calibração traçada para o ambiente controlado e realizado os cálculos de calibração conforme feito anteriormente (seguindo o modelo do apêndice G), estes são inseridos no algoritmo de processamento para um segundo teste.

Esse teste consiste na validação da calibração em situações controladas de funcionamento normal de todos os sensores e suas concentrações ppm para chegar a resolução dos modelos levantados.

Visualização e Controle

- Botão Liga/Desliga

Para o botão liga/desliga, primeiro é realizado um teste de continuidade com um multímetro entre os terminais e o GND para averiguar se existe a chave tem algum defeito e se está sendo clicada corretamente. Em seguida, faz a devida conexão do botão e o teste do seu pressionamento com o componente da bateria para verificar se a chave fecha permitindo que o dispositivo seja ligado e se a chave abre para que o dispositivo seja desligado.

- Indicador de bateria

O teste do indicador de bateria se baseia em verificar de todos os pinos estão recebendo sinais do microcontrolador. Para isso, o uso de um multímetro é necessário para constatar se cada pino e GND estão efetivamente conectado as portas do microcontrolador.

Esse processo serve para garantir que os valores de tensão dos pinos variem entre 0 ou 3.3V, ou seja, desligue ou ligue um LED do barramento e apontar possíveis danos existentes no módulo. Todo o teste vai se basear na análise comportamental do barramento de acordo com o valor lido pelo microcontrolador referente ao nível de carga da bateria, verificando sua performance e consumo. Sendo estes os critérios de qualificação para um funcionamento adequado do dispositivo.

4.3.5.4.2 Teste do sistema de controle do Purificador

Visualização

- Botão da membrana matricial 3 chaves

Para o botão da membrana de 3 chaves, primeiro é realizado um teste de continuidade com um multímetro entre os terminais e o GND para averiguar se existe alguma chave com defeito e se elas estão sendo clicadas corretamente. Em seguida, realiza-se um segundo teste que verifica se o sistema de controle está conseguindo detectar a abertura e fechamento de cada chave. Assim, é necessário rodar um programa básico de teste na ESP32 para que seja possível observar cada operação da chave conectada ao microcontrolador. Caso ocorra falha na detecção, primeiro verifique a conexão das chaves com a respectiva PCI e o cabo utilizado, verificando se o mesmo não apresenta algum falha ao testar com um multímetro para aferir a continuidade do par de terminais.

- Display LCD

É necessário a verificação do display LCD inicializando o programa teste para interface do dispositivo. Esse programa irá simular a interface, com as telas mostradas no apêndice O. Com o programa rodando é verificado a tela, identificando se ela ligou mostrando a interface com as cores que foram desenvolvidas. Para ter todas as funcionalidades disponíveis para o teste, é realizada antes as ações pela interface de controle do aplicativo. Depois, um teste é feito para quando o dispositivo não estiver plenamente funcionando para observar se existe a resposta equivalente na interface da tela de descanso.

Acionamento de Atuadores

- Motor DC

Para realizar o teste inicial do motor DC deve-se executar a medição de tensão elétrica de alimentação, além de verificação dos sinais de controle para um efetivo funcionamento entre o motor e os circuitos integrados com o microcontrolador. Desse modo, o multímetro é o equipamento necessário para realizar algumas destas verificações. Os testes deverão satisfazer certas especificações como: ter uma tensão de alimentação da bateria de 24V e 3 variações na geração do sinal PWM.

Esse processo de teste consiste em constatar se cada terminal e GND estão, de fato, fornecendo o devido valor de tensão. Assim, se garante que os componentes usados atendem as especificações elétricas, e verifica problemas como defeitos e possíveis perdas.

Para a análise específica da geração do sinal PWM, deve-se iniciar o teste aplicando o sinal gerado e realizar a avaliação do tempo de iniciação, a velocidade de rotação para os 3 níveis, além do consumo de elétrico e sua performance. Assim, esse parâmetros serão utilizados como critérios de aprovação para o pleno funcionamento e controle do motor.

- Lâmpada UV

O teste para o acionamento da lâmpada UV é feito primeiramente a medição de tensão elétrica de alimentação a fim de verificar o seu funcionamento. Logo, é realizado as conexões específicas a respectiva PCI. Em seguida, é realizado um segundo teste que verifica se o sistema de controle está conseguindo detectar a abertura e fechamento do relé que funciona como chave para o circuito integrado. Assim, com o comando enviado pelo microcontrolador é acionado ou não o relé, fazendo com que a lâmpada ligue ou desligue certificando o seu desempenho de acordo com requisitos propostos.

4.4 Solução de Energia

A solução energética deste produto abrange a alimentação dos dois equipamentos. Para o purificador será necessária uma fonte de alimentação principal, um sistema de ventilação com um motor DC, um sistema de filtragem, uma lâmpada UV e bateria. Para o *Mobile Sensor* é necessário uma fonte de alimentação e uma bateria que fornecerá energia aos equipamentos eletrônicos, enquanto este não estiver conectado à rede elétrica. Esta solução visa a alimentação adequada de todo o sistema, eficiência energética e qualidade no sistema de filtragem. A configuração da solução do sistema proposto está representada no diagrama de blocos na figura 5.

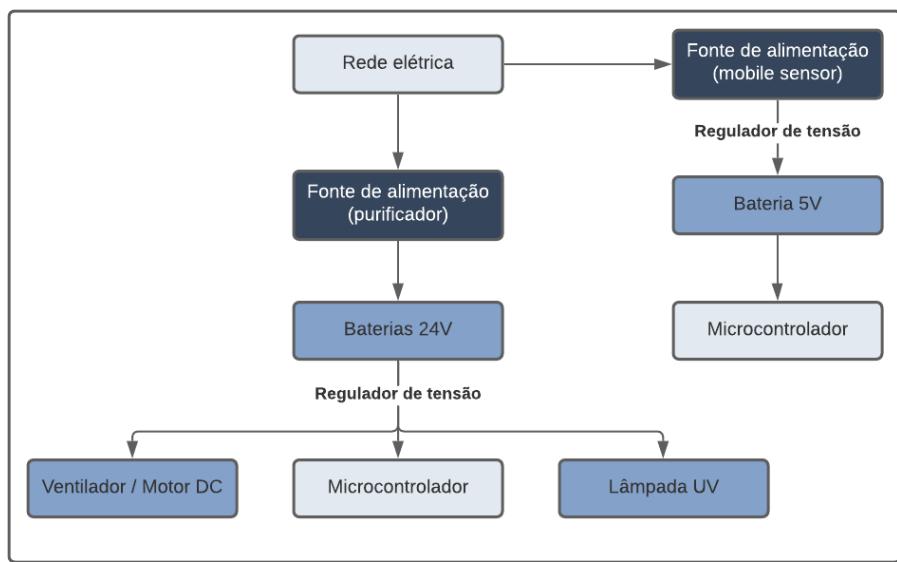


Figura 5 – Diagrama de distribuição de energia

No purificador, serão utilizados dois modos de operação para o fornecimento de energia: no primeiro, a carga será fornecida ao equipamento por meio da fonte de alimentação principal, enquanto houver energia elétrica na rede. Para o segundo modo, haverá uma fonte secundária de energia, a bateria, que será acionada quando o equipamento estiver desconectado da rede elétrica. Isso oferece o uso do equipamento sem fio de conexões, facilitando sua mobilidade, além de assegurar que o aparelho não fique sem energia em caso de falha na rede.

No *Mobile Sensor* também serão utilizadas duas fontes de alimentação, neste caso o carregador será a fonte secundária e a bateria será a principal. Essa bateria também será utilizada quando não houver energia elétrica proveniente da rede para alimentar a fonte de alimentação secundária que recebe energia diretamente da rede.

4.4.1 Fundamentos de Partículas

As partículas, o material do filtro e suas interações são de suma importância no funcionamento do sistema de filtração do purificador de ar (XU, 2014). Para um melhor desenvolvimento desse sistema, foi realizado um estudo com base na literatura sobre as partículas, seus tamanhos e seus estados não estacionários e estacionários, e como este último influência na eficiência de filtragem e no sistema de ventilação forçada.

O tamanho de uma partícula viral é medido em micrôn, uma unidade métrica que é equivalente a 1000 nanômetros. O conhecimento deste tamanho determina como os indivíduos podem se proteger de diversas doenças respiratórias causadas pelos aerodispersóides, que podem ser definidos como uma dispersão dessas partículas sólidas ou líquidas

no ar. Segundo Schneider et al. (2011), as propriedades físicas dos aerodispersóides são classificados em:

- **Fumos:** partículas sólidas de origem orgânica que são encontradas em dimensões entre 0,01 a 0,3 μm ;
- **Poeiras:** partículas sólidas geradas mecanicamente por manuseio, moagem, raspagem, esmerilhamento, etc. As poeiras com partículas entre 0,5 a 10 μm são as mais perigosas;
- **Organismos vivos:** bactérias em suspensão no ar com dimensões de 0,001 a 15 μm .

Tendo em vista tais informações, foi feita a seleção dos filtros necessários para o purificador de ar de acordo com as especificações do projeto.

4.4.2 Sistema de Filtragem

A eficácia do sistema de filtragem está intrinsecamente relacionada com o tamanho das partículas que podem atravessá-lo. O ideal seria um filtro com passagem de ar nanométrica para que o ar fosse completamente filtrado, porém se o filtro possuir dimensões reduzidas, pode ocorrer comprometimento da filtragem, visto que começará a ser obstruído muito rapidamente levando a uma redução do fluxo de ar. A velocidade do ar também se torna crítica com o tamanho reduzido, fazendo com que as partículas de impureza consigam atravessar a tela de filtragem ao invés de serem retidas na mesma.

Portanto, para escolher o sistema de filtragem foi realizado um estudo levando em consideração a vazão mínima de ar necessária para prover a renovação de ar exterior e a classe mínima de filtragem requerida para a aplicação (residências e escritórios de alta densidade) segundo a norma ABNT (2008). Além disso, considerou-se as características dos poluentes que se pretende reter, as propriedades e classificações dos diversos filtros presentes no mercado, potência elétrica máxima e a área útil de difusão de ar.

Sendo representado, portanto, o sistema de filtragem na figura 6.

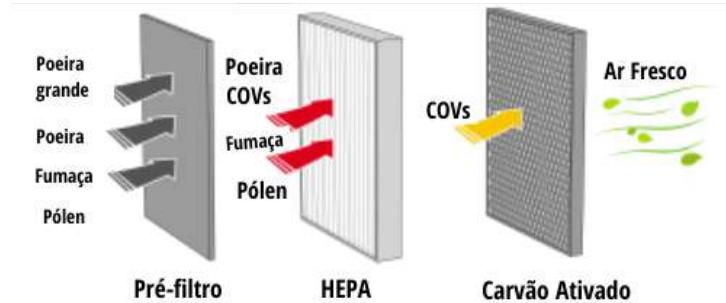


Figura 6 – Etapas de Filtragem

4.4.2.1 Pré-filtro

O pré-filtro é responsável pela captura das partículas maiores antes que cheguem ao filtro principal específico para a aplicação que se deseja. A maioria das partículas presentes no ar são partículas grandes como poeira e pelos de animais (GUPTA et al., 2019). Dessa forma, ainda que o filtro principal tenha uma grande área superficial, ele pode encher rapidamente se partículas maiores não forem pré-filtradas, reduzindo assim a sua durabilidade e eficácia.

Desta forma, será utilizado um filtro grosso classificação G4 estando ainda de acordo com a necessidade estabelecida no último parágrafo da seção anterior. Essa decisão se dá considerando a maior de retenção gravimétrica deste filtro e uma perda de carga semelhante quando comparada à filtros de classificação G3.

- Raio: 10,5 cm;
- Altura: 22cm;
- Perda de carga final: 250 Pa;
- Vazão volumétrica mínima: $0,125\text{m}^3/\text{h}$.
- Velocidade = $\frac{\text{Vazão}}{\text{Área}} = \frac{0,125}{0,2126} = 0,588\text{m/s}$

4.4.2.2 Filtro absoluto (HEPA)

Para se atingir o grau de purificação definido tanto na norma ABNT (2008) quanto nos requisitos do projeto, ou seja, retenção de até 99% de partículas com $0,4\text{ }\mu\text{m}$, julgou-se necessário o uso de um filtro absoluto. Dessa forma, para este projeto foi selecionado um filtro HEPA classe H13 que oferece uma eficiência mínima de 99,95%, segundo a norma EN 1822:2009, para partículas de $0,4\text{ }\mu\text{m}$.

À vista disso, a eficiência do filtro selecionado é considerada suficiente, visto que a utilização de um filtro HEPA classe H13 é recomendado para salas limpas, conforme

observado em ANVISA (2013). Atenta-se ao fato de que a recomendação de utilização para salas limpas está além do escopo definido para o desenvolvimento do produto, ratificando a capacidade do filtro selecionado de suprir os requisitos aqui elucidados (SPARKS; CHASE, 2016). Os cálculos correspondentes aos filtros encontram-se no apêndice E.

- Raio: 10cm;
- Altura: 22cm;
- Perda de carga final: 450 Pa;
- Vazão volumétrica mínima: $0,125m^3/h$;
- Velocidade = $\frac{Vazão}{Área} = \frac{0,125}{3,1} = 0,040m/s$.

4.4.2.3 Filtro de Carvão Ativado

O objetivo principal do filtro de carvão ativado é filtrar gases e compostos orgânicos voláteis liberados de produtos domésticos comuns, contribuindo para a remoção de odores no ar. No entanto, eles são capazes de remover partículas finas com até 80% de eficiência, porém, no projeto em questão sua aplicação será voltada apenas para adsorção e qualquer adsorção de partícula é consequência deste.

- Raio: 8,5cm;
- Altura: 22cm;
- Perda de carga final: 200 Pa;
- Vazão volumétrica mínima: $0,125 m^3/h$.
- Velocidade = $\frac{Vazão}{Área} = \frac{0,125}{0,141} = 0,886m/s$

4.4.3 Sistema de Ventilação Forçada

4.4.3.1 Motor DC com Ventilador Centrífugo Reverso

É importante selecionar um ventilador cuja característica de desempenho atenda a operação necessária no ponto de eficiência de pico ou próximo a ele. Usar um ventilador centrífugo curvado para trás em sua eficiência minimiza o consumo de energia e o ruído emitido pelo ventilador, enquanto fornece o desempenho necessário. Combinando a eficiência de um ventilador curvado para trás com o motor DC, alcançamos as características necessárias para o purificador, como estrutura compacta, grande volume de ar, alta pressão estática, baixa vibração, baixo ruído e fácil instalação.

Um outro fator importante na escolha deste sistema do motor é o IP (*Index Protection*), uma classificação que mede a capacidade do motor de resistir à entrada de poeira e água. Entretanto, para o projeto foi feita a escolha de utilizar a integração do motor e ventilador dada pelo fabricante, visto que o baixo custo, a otimização de espaço do purificador, a economia de energia e a facilidade de operação são fatores determinantes para o pleno funcionamento do sistema.

Outro fator que influencia a escolha do motor era a intensidade do ruído que produzia. Padrões aceitos para o tempo de exposição permitido recomendado para ruído médio ponderado de tempo contínuo, de acordo com NIOSH e CDC, 2002. Para cada 3 dBAs acima de 85dBA, o tempo de exposição permitido antes que um possível dano possa ocorrer é reduzido pela metade.

- Voltagem: 24 V;
- Potência máxima: 115 W;
- Velocidade: 3100 RPM;
- Fluxo máximo de ar: $910 \text{ m}^3/\text{h}$;
- Pressão de Ar: 520 Pa;
- Eficiência nominal: $82 \sim 90\%$;
- IP: 44;
- Ruído: 76 dBA.

4.4.4 Lâmpada UV

O processo de esterilização é uma etapa importante na purificação do ar. Os micro-organismos devem ficar presos nos filtros de ar e se não forem tratados podem se multiplicar. A lâmpada UV é eficaz na destruição de germes e bactérias, os raios ultravioletas são responsáveis pela redução do crescimento desses micro-organismos no filtro do purificador. Dessa forma, foi escolhida a lâmpada germicida de luz UV, devido a incapacidade de reprodução de vírus bactérias e protozoários quando expostos a essa luz.

4.4.5 Sistema de Alimentação

4.4.5.1 Purificador

4.4.5.1.1 Carregador

A fonte de alimentação principal do purificador foi dimensionada para fornecer energia para o conjunto de componentes responsáveis pelo funcionamento do equipa-

mento. Dessa forma, foi necessário um transformador abaixador de tensão da rede de 220V para 24V, uma ponte retificadora para transformar a corrente alternada para a corrente contínua e um capacitor que fez a filtragem da corrente contínua.

A fim de fazer a integração destes componentes e obter o sistema de alimentação de forma prática, foi construída uma PCI, onde sua vista superior e inferior se encontram na figura 84 no apêndice H.0.2. Na parte superior da placa tem-se os seguintes componentes conectados:

- Bateria com sistema BMS 24V/10Ah;
- Transformador 220 Vca para 24Vca;
- Ponte Retificadora de onda completa;

4.4.5.1.2 Bateria

A fonte de alimentação é um mecanismo que converte a energia elétrica em tensão, corrente e frequência necessárias para o equipamento funcionar. Assim, com a finalidade de atender a demanda energética do projeto, o purificador contará com duas baterias de íon de lítio recarregáveis, que serão fundamentais no sistema de energização do aparelho. Os fatores que motivaram essa escolha foram os seguintes:

- Carregamento rápido;
- Durabilidade;
- Intensidade de carga;
- Nenhuma descarga periódica.

Além disso, as baterias de íon-lítio causam menos danos ao meio ambiente quando descartadas, em comparação as baterias de chumbo-ácido e à base de cádmio. Sendo assim, a fonte de alimentação sugerida para o produto principal será conectada à rede elétrica e irá fornecer uma saída CC regulada igual a 24V. Será utilizado também um regulador de carga para os componentes que exigirem tensão específica. Não será necessário um inversor de corrente, visto que o sistema elétrico não possui demanda de corrente alternada.

Houve também a necessidade de um sistema de monitoramento de energia que é responsável por acompanhar o funcionamento do sistema de alimentação. Ele é um leitor de tensão contínua que entregue pelo sistema de alimentação geral e pode proteger o sistema central e seus componentes. Desta forma, a tabela 22 especifica o levantamento prévio da carga dos sistemas.

Tabela 22 – Levantamento prévio da carga do Purificador

Componente	Qnt.	Tensão (V)	Corrente (A)	Potência (W)
Display LCD	1	3,3	0,15	0,495
Botão Membrana Matricial	1	3,3	0,04	0,132
ESP32	1	3,3	0,05	0,165
Ventilador e Motor DC	1	24	4,2	115
Lâmpada UV	1	12	0,1	12
Total				128

4.4.5.2 Mobile Sensor

4.4.5.2.1 Carregador

O carregador foi dimensionado para fornecer energia para a bateria do *Mobile Sensor*. Foi decidido fabricar a fonte de alimentação do equipamento, então será necessário ter um transformador abaixador de tensão da rede 220V para 9V, uma ponte retificadora para transformar a corrente alternada para a corrente contínua e de um capacitor que servirá de filtragem da corrente contínua. Ademais, será preciso ter um regulador de tensão *step-down* para poder fornecer tensão de corrente contínua de 5V e um módulo controlador de carga inteligente para bateria de lítio TP4056, assim será possível carregar a bateria que alimentará o microcontrolador de uma forma segura.

Assim, uma PCI do sistema da alimentação do *Mobile Sensor*, figura 85 no apêndice H.0.2, foi elaborada para a associação dos componentes deste equipamento. Na parte superior da placa tem-se os seguintes componentes conectados:

- Bateria 5V / 3Ah;
- Transformador 220 Vca para 9Vca;
- Ponte Retificadora de onda completa;
- Módulo controlador de carga inteligente para bateria de lítio TP4056;
- Relé W172DIP-141;
- Regulador de tensão de 9Vcc para 5Vcc;

4.4.5.2.2 Bateria

Em relação a alimentação do *Mobile Sensor*, será utilizado uma fonte de alimentação capaz de atender os sensores presentes no equipamento. Para isso foi escolhido uma bateria de lítio de 5 V que será recarregável. Os fatores que motivaram a escolha desse componente foram a capacidade de duração da carga, o baixo consumo de energia e o

tamanho do produto. Desta forma, a tabela 23 especifica o levantamento prévio da carga dos sistemas.

Tabela 23 – Levantamento prévio da carga do Mobile Sensor

Componente	Qnt.	Tensão (V)	Corrente (A)	Potência (W)
ESP32	1	3,3	0,05	0,165
Indicador de Bateria	1	5	0,08	0,4
Micro Cooler Ventoinha	1	5	0,2	1
Sensor PMSA003I	1	3,3	0,1	0,33
Sensor BME680	1	3,3	0,012	0,0396
Sensor de SO ₂	1	5	0,004	0,0132
Sensor MQ-131	1	5	0,16	0,8
Sensor de MQ-2	1	5	0,18	≤ 0,9
Sensor NO ₂	1	3,3	0,032	0,106
Total				3,7538

4.5 Sistema de Proteção

4.5.1 Purificador

Para o purificador, é usada uma bateria com um sistema de gerenciamento de bateria integrado (BMS). Este sistema monitora e gerencia todo o desempenho da bateria. É fundamental para a operação segura, desempenho geral, longevidade da bateria e consequentemente, a proteção do purificador.

O BMS protege a bateria contra sobrecarga (voltagens muito altas) ou sobre descarga (voltagens muito baixas), prolongando assim a vida útil da bateria. Ele faz isso monitorando constantemente cada célula da bateria e calculando exatamente quanta corrente pode entrar e sair da bateria com segurança, sem danificá-la. Esses limites de corrente calculados são então enviados ao carregador e à carga, que são responsáveis por respeitar esses limites.

Outra função dele é calcular o estado de carga (a quantidade de energia restante na bateria) rastreando a quantidade de energia que entra e sai da bateria e monitorando as tensões das células. Esse valor pode ser considerado um medidor de combustível que indica a quantidade de bateria que resta no pacote.

O BMS também é responsável por monitorar a saúde e a segurança da bateria verificando constantemente se há curtos, conexões soltas, quebras no isolamento dos fios e células da bateria fracas ou com defeito que precisam ser substituídas.

Fora dessas funções principais, existem funções secundárias, como equilibrar todas as células da bateria, drenando de forma inteligente o excesso de energia das células que estão mais carregadas do que outras. Isso fornece a quantidade máxima de energia

utilizável (capacidade) do pacote de bateria, já que o pacote é tão forte quanto a célula mais fraca. Ele também monitora a temperatura da bateria e controla um ventilador para regular a temperatura da bateria. Além disso, ele monitora constantemente a saída do ventilador para se certificar de que está funcionando corretamente.

4.5.2 *Mobile Sensor*

No caso do *Mobile Sensor*, a tensão necessária é de apenas 5V, portanto, o Módulo carregador de bateria de íons de lítio Micro USB TP4056-1A com proteção é usado no carregador para proteger a célula de excesso e falta de carga. Quando a tensão da bateria cair abaixo de 2,4V, o IC de proteção desligará a carga para proteger a célula de funcionar com uma tensão muito baixa - e também protege contra sobretensão e conexão de polaridade reversa (geralmente irá destruir a si mesma em vez da bateria), que protegerá o sensor móvel.

4.6 Plano de Testes

A fim de verificar se o sistema de alimentação está de acordo com os parâmetros de operação, será realizado um plano de testes onde será feita a medição desses parâmetros.

4.6.1 Teste das Fontes

Para as fontes será realizado um teste de circuito aberto. As fontes são conectadas em uma tomada de 220V e é feita a verificação da tensão de saída com o auxílio de um voltímetro, para o purificador essa tensão deve ser estável e de 24Vcc e para o *Mobile Sensor* a tensão de saída deve ser de 5Vcc.

O próximo teste é a verificação da tensão e da corrente de saída em plena carga. Para isso, será utilizado um circuito de carga onde os valores de tensão e corrente de saída devem ser constantes e sem oscilações maiores que 10% para 24Vcc e 3A do purificador, e 5V e 1,5A para o *Mobile Sensor*.

4.6.2 Teste das Baterias

Este teste consiste na verificação do tempo de carregamento, da capacidade de armazenamento e do tempo de descarga da bateria quando é colocada sob uma carga constante. Nesse teste é necessário um equipamento para fazer a medição destes valores, para isso será utilizado o testador multifuncional de baterias.

Nesta etapa é feita a configuração da corrente de carga do purificador de 10A a 15A e do *Mobile Sensor* para 3A no testador de baterias e esperar que esses equipamentos descarreguem por completo suas baterias.

4.6.3 Teste do Sistema de Carregamento

Este teste tem a finalidade de medir o tempo em que os sistemas precisam para o carregamento e descarregamento completo das baterias. Nos dois sistemas, conectam-se as baterias completamente descarregadas medindo o fluxo de corrente que flui dos sistemas de carregamento para as baterias. Os valores padrão de corrente tendem a zerar quando se faz a carga completa da bateria. No purificador, o tempo estimado para o carregamento da bateria nessas condições é de 3 horas e deve ser medido durante a fase de teste do sistema de carregamento. Enquanto, no sistema do *Mobile Sensor* é de 2 horas.

4.7 Análises Fluidodinâmica Computacionais

Com o objetivo de estudar o comportamento do fluido de trabalho no interior do dispositivo e nas vizinhanças além de adquirir as magnitudes de estado do fluido em regiões de interesses, foram realizadas análises fluidodinâmicas numéricas através do método dos volumes infinitos com auxílio do software *Ansys Fluent*.

Em todas as análises a confecção da geometria e discretização dos sistemas de interesse foram realizadas, respectivamente, nos softwares *Space Claim* e *ICEM CFD* também de domínio da plataforma *Ansys Workbench*.

As malhas do domínio de todos os sistemas são confeccionadas com elementos triangulares e tetraédricos, e devido ao interesse de estudar apenas o comportamento global do escoamento, não foram realizados refinamentos próximos as paredes. Os parâmetros de qualidade de interesses são citados na tabela 24, sendo estes para as malhas mais refinadas obtidas após estudo de convergência.

Tabela 24 – Parâmetros de qualidade das malhas

Parâmetros	Malha purificador	Malha sala
Qnt. de elementos	2750429	4877186
Qualidade mínima	0,30 (0,2%)*	0,16 (0,103%)*
Menor razão de aspecto	0,40 (0,233%)*	0,10 (0,075%)
Ângulo máximo	108° (0,023%)*	144° (0,029%)*

*Percentual de elementos com a magnitude de interesse

4.7.1 Escoamento no interior do purificador

Nesta análise focou-se na resolução das perdas de carga por contribuição dos meios de filtragem, na verificação da capacidade do sistema de potência em prover circulação de ar quando os filtros atingirem a perda de carga máxima, na aquisição das velocidades do escoamento em regiões de interesses além da obtenção das linhas de correntes, dos gradientes de pressão e dos gradientes de velocidade do escamento afim de verificar o

comportamento e o nível de perturbação do ar no interior, e assim pautar a necessidade de sistema de estabilização e de difusão de fluxo.

Todas as análises foram realizadas considerando efeitos de viscosidade por meio do modelo de uma equação Spalart-Allmaras. A equação de energia e trocas térmicas foram desconsideradas.

4.7.1.1 Discretização

Nesta análise as paredes internas, a seção transversal do ventilador, os filtros, os bocais de entrada e o bocal de exaustão foram modelados (segundo as classificações de condições de contorno presente no Ansys Fluent) como, *wall*, *fan*, *porous-jump*, *pressure inlet* e *mass-flow-outlet*, respectivamente, vide figura 7.

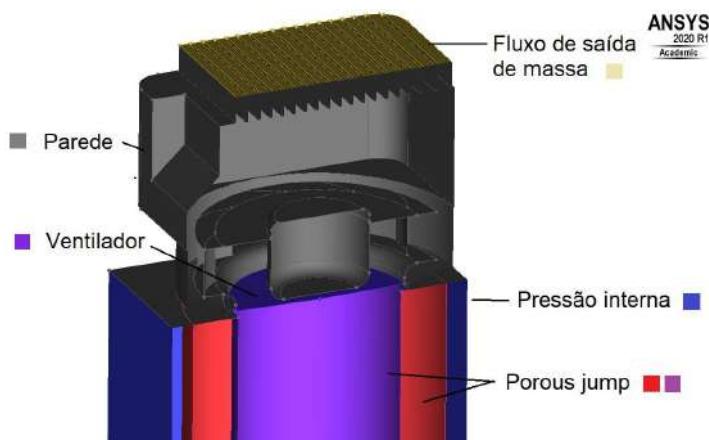


Figura 7 – Discretização do domínio do purificador.

Para este ponto de controle, o ventilador é modelado como estático e a sua contribuição para o escoamento interno é aproximado por um salto de pressão e por uma componente de velocidade tangencial bidimensional acrescentado ao escoamento no momento que este perpassa uma interface definida na seção de entrada do ventilador centrifugo, vide figura 7. Os valores de entradas são o acréscimo de pressão para o fluxo volumétrico requerido calculado na seção 3.4.2 e a velocidade tangencial, todos estes obtidos junto ao fabricante do ventilador.

Ademais, os filtros também são definidos como salto de pressão unidimensional. Tais aproximações são justificadas pelo menor custo computacional exigido, pela dificuldade de discretizar um domínio poroso com poros na ordem de 10E-3 metros além de apresentar maior robustez e melhor convergência de resultados (FLUENT, 2011).

A região de entrada, modelada como pressão de entrada, possui como parâmetros de entrada a pressão atmosférica padrão (101325 Pascal). A região de saída, modelada

como fluxo máximo de saída, tem como parâmetros de entradas a pressão atmosférica padrão e o fluxo máximo normal a face calculada na seção 3.4.2.

4.7.1.2 Resultados

Por meio do gradiente de pressão, figura 8, observa-se que há uma diferença de pressão manométrica entre o interior e o exterior no sistema de filtragem, sendo assim, possível averiguar numericamente, que o sistema de ventilação nas condições de fluxo e salto de pressão colocadas, fornece trabalho suficiente para opor às resistências ao escoamento imposta pelo sistema de filtragem.

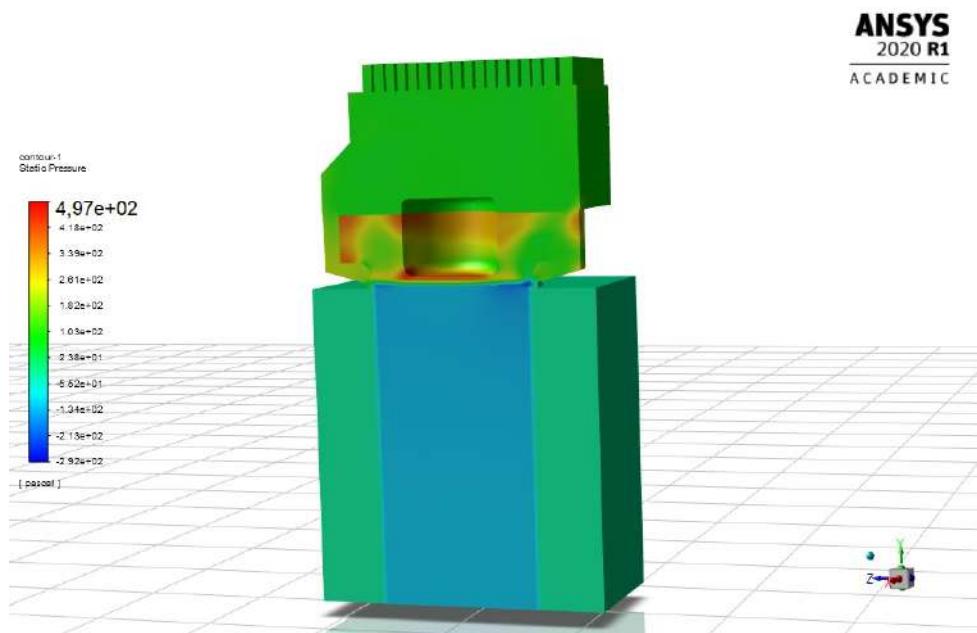


Figura 8 – Gradiente de pressão no plano de simetria do purificador

Por meio das análise das linhas de correntes no interior do dispositivo, figura 9, e do gradiente de velocidade no plano de simetria, figura 10 observa-se uma perturbação acentuada após a exaustão de ar do ventilador e uma distribuição desigual de fluxo de ar no bocal de exaustão, havendo uma concentração de escoamento próximo às paredes internas do dispositivos. Assim, para possibilitar uma exaustão de ar mais uniforme, torna-se necessário um sistema passivo de estabilização e distribuição de fluxo a ser concebido e implementado.

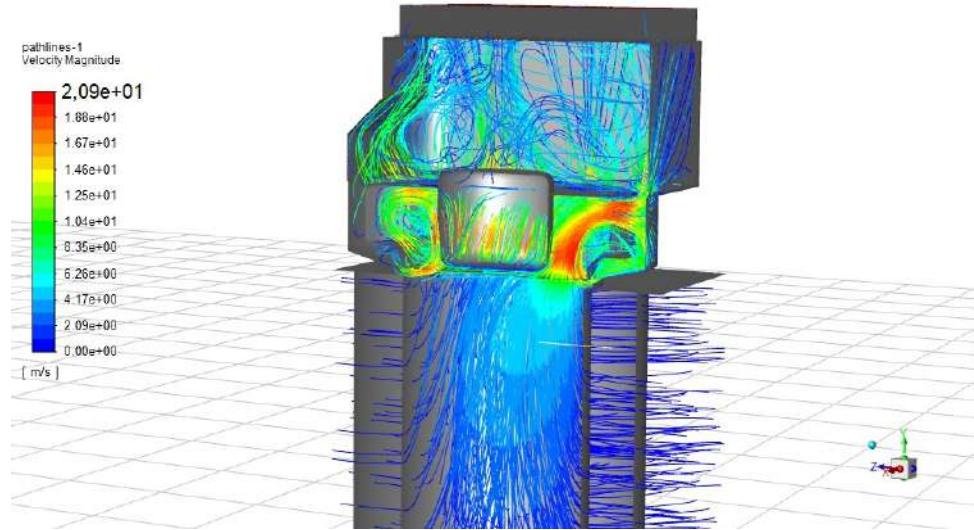


Figura 9 – Linhas de corrente no domínio interno do purificador.

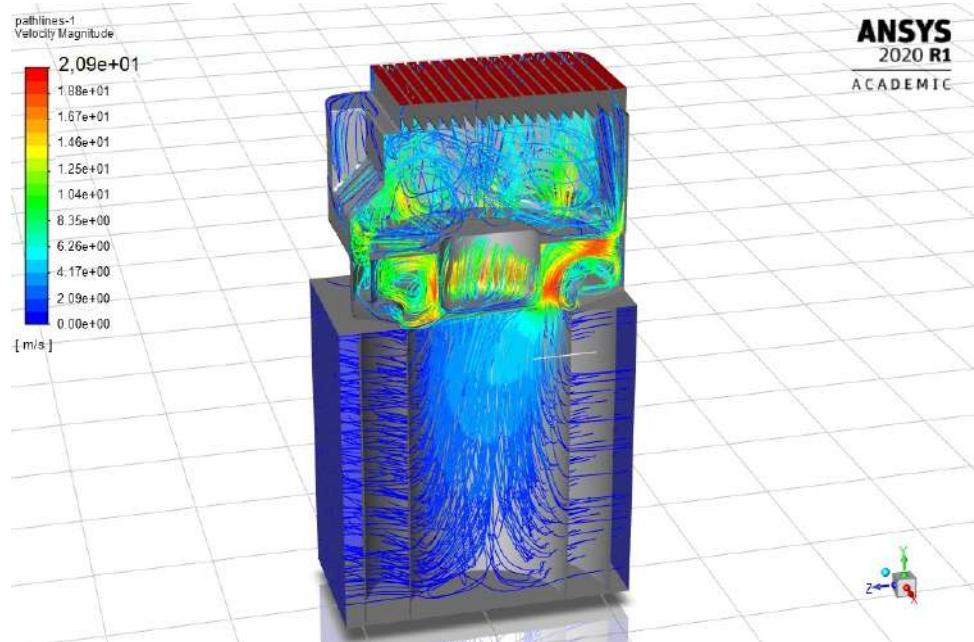


Figura 10 – Gradiente de velocidade no plano de simetria do purificador.

4.7.2 Escoamento no interior de uma sala

Para se ter conhecimento da dinâmica de difusão do ar exaurido pelo purificador em uma sala fechada de área igual à área útil máxima requisitada pelo projeto, realizou-se uma análise numérica.

4.7.2.1 Discretização

Nesta análise foram incluídas no sistema as paredes das salas e as superfícies, entradas e saídas de ar do purificador, vide 11. Ambas, saídas e entradas de ar, foram modeladas como fluxo mássico de ar de magnitude igual aquela calculada na seção 3.4.2, que corresponde ao fluxo volumétrico necessário para prover renovação artificial de ar que garanta benefícios à saúde segundo a norma (ABNT, 2008) multiplicado pela densidade do ar padrão ao nível do mar ($1,225 \text{ kg/m}^3$).

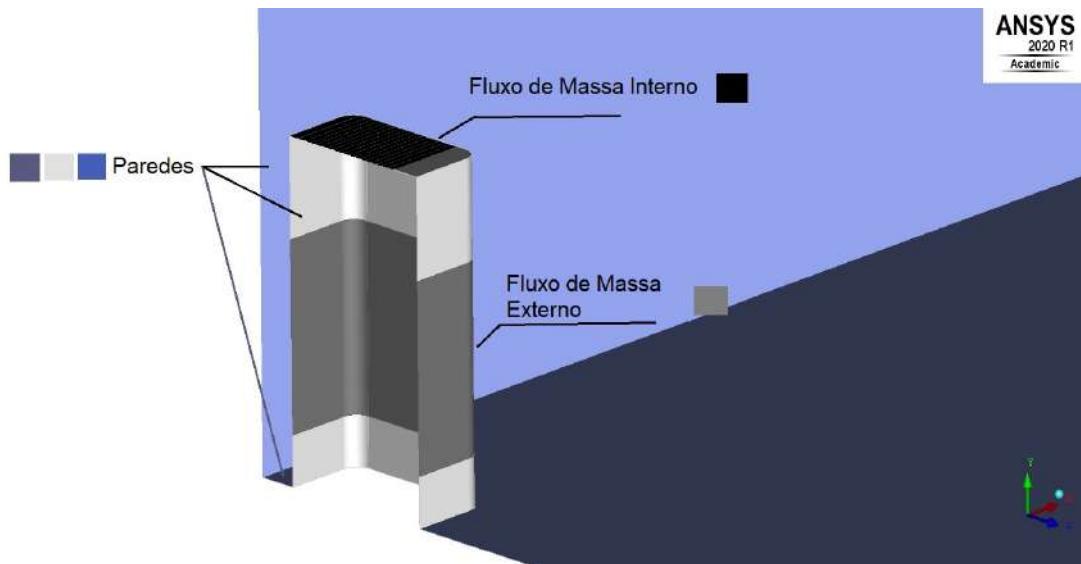


Figura 11 – Discretização do domínio da sala.

A direção do escoamento na entrada de ar foi modelada normal a superfície e à 60 graus de em relação superfície (máxima angulação possível na grelha de saída) para avaliar a difusão em ambos os casos.

4.7.2.2 Resultados

Observando as linhas de corrente para as duas direções de exaustão normal e à 60° de inclinação em relação ao plano de saída, figuras 12 e 13 respectivamente, é possível notar que o fluxo de ar direto atinge quase que a totalidade da sala para o fluxo mássico especificado, entretendo, este é apenas uma porcentagem de fluxo volumétrico disponível pelo sistema de potência, sendo possível o ajuste pelo usuário como forma de aumentar a área útil de circulação de ar no ambiente como notado na figura 14 para um fluxo mássico máximo de ($0,31375 \text{ kg/m}^3$). Também observa que o direcionamento à 60° melhora a difusão de ar no interior da sala.

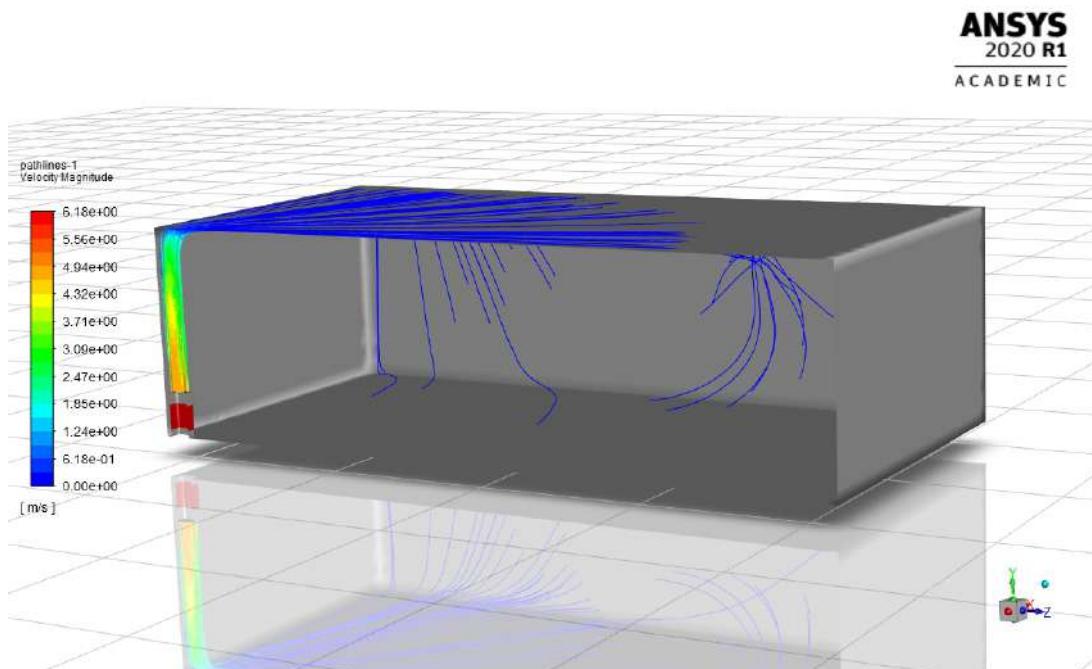


Figura 12 – Linhas de corrente exauridos na direção normal a superfície do purificador para o interior da sala.

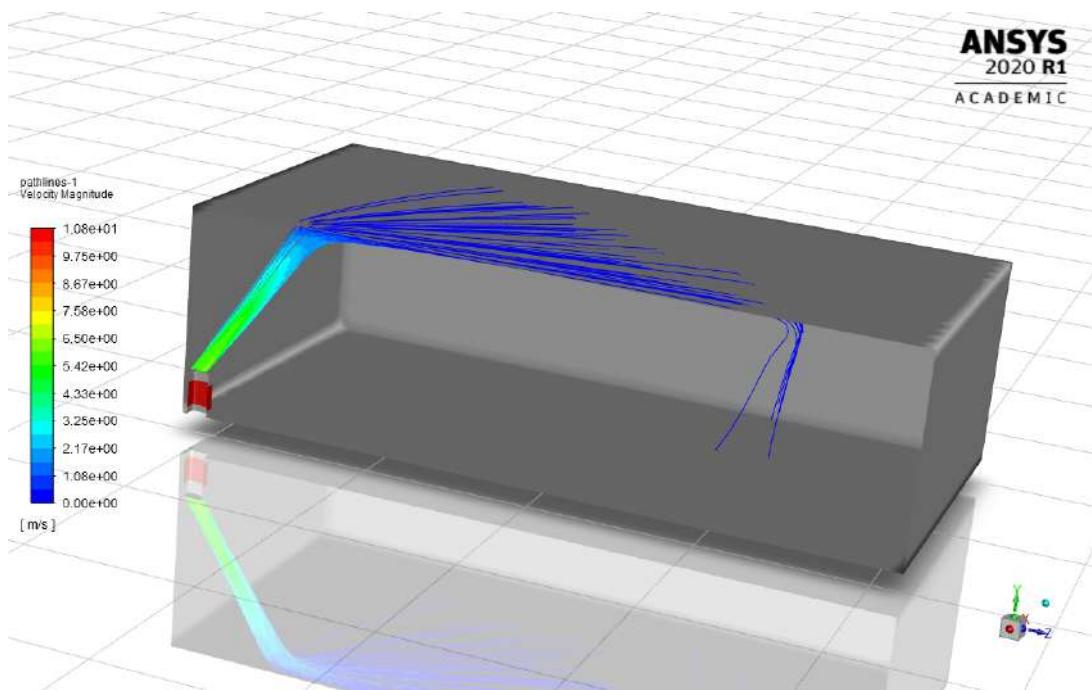


Figura 13 – Linhas de corrente exauridos com inclinação de 60° em relação a superfície do purificador para o interior da sala com fluxo mássico máximo.

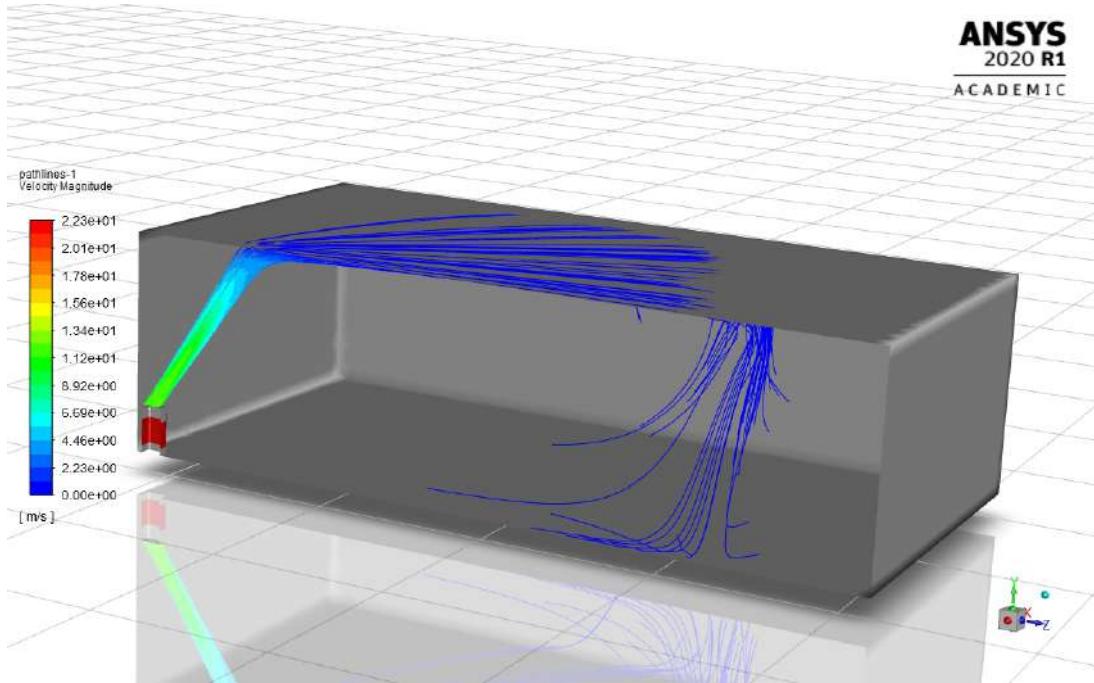


Figura 14 – Linhas de corrente exauridos com inclinação de 60º em relação a superfície do purificador para o interior da sala.

4.8 Solução Estrutural

A abordagem estrutural compreende um sistema composto por um conjunto de estruturas críticas, são elas:

4.8.1 Estruturas Principais

O dispositivo será desenvolvido seccionado em duas partes, denotadas como seção de potência e seção de filtragem, conforme ilustrado na Figura 15. A seção de potência comportará os elementos de controle e de interface com o usuário, o ventilador de sucção, os dutos estabilizadores de fluxo e a grelha direcionadora de fluxo. A seção de filtragem comportará a bateria e demais sistemas de alimentação, sistema de filtragem e o sistema de esterilização por radiação ultravioleta. É desenvolvido de tal forma para que qualquer usuário possa realizar, com facilidade, a troca periódica dos filtros e as manutenções necessárias.



Figura 15 – Seções principais do purificador.

4.8.1.1 Estruturas externas

- **Paredes externas**

A estrutura externa será, basicamente, um tubo oco de seção quadrada com vértices redondos, afim de minimizar danos aos impactos diagonais. As paredes externas sem permeabilidade de ar será confeccionada em material composto de alumínio flexível de 3 milímetros de espessura na cor branca pelas motivações citadas posteriormente no tópico 4.8.8.

A parede vertical externa com permeabilidade de ar será confeccionada em chapa perfurada com furos de 5 mm em aço inox AISI 304. A escolha do material se baseou na alta resistência à corrosão e na maior disponibilidade da chapa em AISI 304 quando comparadas à soluções em outras ligas metálicas, como o alumínio. As principais dimensões desta estrutura externa são:

- Altura total: 586 mm;
- Altura da seção de potência: 186 mm;

- Altura da seção de filtragem: 400 mm;
- Profundidade: 260 mm;
- Largura: 260 mm.

- **Grelha de ventilação**

A parte de cima será isolada do meio externo por meio de uma grelha de ventilação, figura 16, confeccionada por manufatura aditiva em Polietileno Tereftalato de Etileno Glicol (PETG) devido a facilidade de se obter geometrias complexas com um custo benefício maior quando comparado à outras metodologias como a conformação de polímeros por prensa hidráulica.



Figura 16 – Grelha de ventilação.

Além da função de isolar os dois meios, interno e externo, esta terá suas aletas móveis dando ao usuário a possibilidade de direcionar o fluxo de ar na direção que deseja. A disposição do mecanismo pode ser melhor visualizada na figura 17.

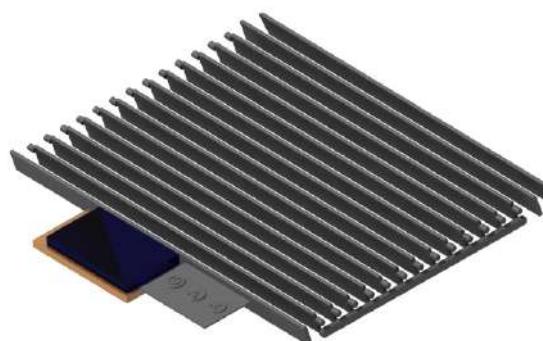


Figura 17 – Mecanismo de direcionamento das aletas.

- Jogo de rodizio

Para que haja uma facilidade de movimentação do aparelho e deslocamento com maior rapidez do produto, optou-se pela utilização de 4 unidades de rodízio com 40 mm de diâmetro e rodas de Poliuretano. O rodízio possui capacidade de rotação em 360° além de possuir uma chapa com quatro furos para fixação na superfície desejada, como mostrado na figura 18.



Figura 18 – Rodizio 40 mm de Poliuretano.

A fixação de cada roda na estrutura principal ocorre através de quatro parafusos com 4 mm de diâmetro que atravessaram a carcaça de ACM e são, por fim, afixados nas longarinas, como sugerido na figura 19. Dessa forma, há uma maior garantia de integridade devido a distribuição da carga que estará concentrada majoritariamente nesses reforços de alumínio.

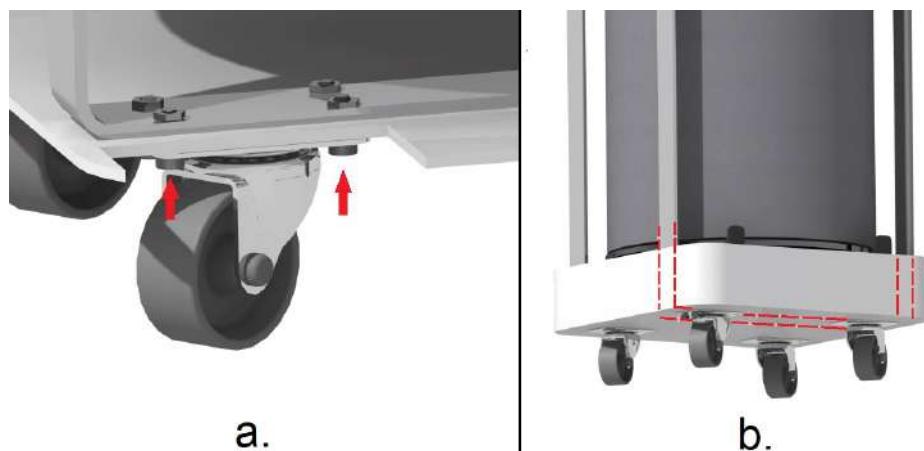


Figura 19 – a. Modo de fixação do rodízio na longarina; e b. Montagem final dos rodízios no equipamento.

4.8.1.2 Estruturas internas

A integração dos subsistemas e dos componentes deve ocorrer de tal forma que há de prevenir que certos impactos e forças externas comprometam as funcionalidades do equipamento. Por conseguinte, para garantir a segurança do projeto, o material e a configuração dos elementos estruturais foram definidos com base em matrizes de decisão.

Devido à distribuição de peso dos componentes dentro da carcaça e à orientação que o equipamento pode vir a ser colocado, a deformação da estrutura externa pode ser crítica, dado o caráter relativamente frágil do material compósito utilizado.

Para mitigar esse risco, é possível fazê-lo através da implementação de elementos estruturais que reforcem o corpo, como longarinas ([MEGSON, 2010](#)). Além disso, essas longarinas integram os rodízios ao restante do equipamento e suportam as cargas do conjunto motor-ventilador. Essa configuração, apesar de aumentar a massa do veículo, há de melhorar a integridade e a confiabilidade da estrutura. A figura 20 mostra os elementos estruturais na estrutura interna.



Figura 20 – Desenho dos elementos estruturais internos.

Dessa forma, para que o projeto estrutural mantenha a versatilidade e facilidade durante a troca de filtros e eventuais manutenções, serão incluídas quatro barras chatas de alumínio dobradas em formato U, onde duas estarão na seção de filtragem (seção inferior) conectadas através de encaixe tipo gaveta à outras duas que estarão na seção de potência (seção superior) como é sugerido na figura 21.



Figura 21 – Desenho dos encaixes responsáveis por unir os módulos.

Além disso, para integrar o motor fez-se necessário a implementação de suportes transversais, também de alumínio, onde o conjunto de ventilação deverá ser afixado através de quatro parafusos M4, vide figura 22.



Figura 22 – Integração do conjunto de ventilação às longarinas.

Assim também, juntamente com a integridade do projeto, fez-se necessária a devida vedação e isolamento dos fluxos de ar para assegurar a eficiência de filtragem requerida. Como componentes de vedação haverão placas que servirão como tampões, dois na parte superior dos filtros e dois na parte inferior. Além disso, fita de vedação será utilizada para selar e manter a pressão operacional desejada. A figura 23 demonstra os elementos.



Figura 23 – Desenho dos elementos de vedação e isolamento.

Com o propósito de otimizar o trabalho realizado pelo ventilador, produziu-se uma peça (cuba) que o envolverá e, com o seu formato afunilador, há de direcionar o fluido de trabalho para o bocal de exaustão do sistema de purificação. Para a elaboração da cuba, pensou-se em planificar duas peças independentes com 1 mm de espessura que deverão ser soldadas após o processo de conformação. O desenho técnico das peças supracitadas é mostrado abaixo na figura 24.

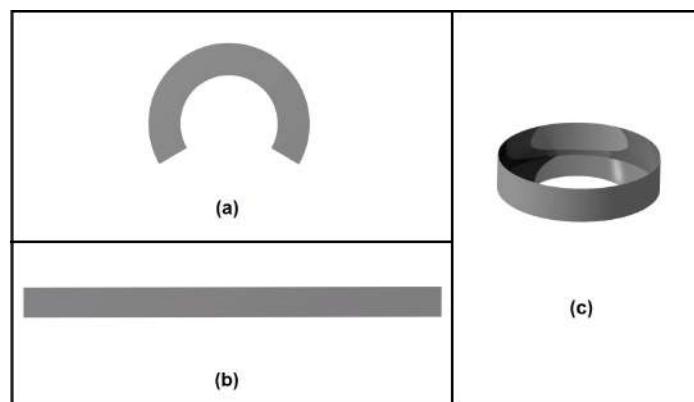


Figura 24 – CAD da (a) tira em forma de arco que formará o funil, da (b) chapa que formará o pescoço da peça, (c) referente à cuba completa.

Para o material proposto e o detalhamento técnico exigido, definiu-se que o pro-

cesso que melhor se adequaria seria a calandragem, processo de conformação de materiais através de cilindros aquecidos de uma calandra, máquina com dois ou mais rolos contrarotantes (HARDMAN, 1972). Para a definição da escolha do material, utilizou-se a matriz de decisão mostrada na tabela 25 (AHMAD, 2006).

Tabela 25 – Matriz de decisão para o material da cuba

Critérios	Peso	Materiais			Alumínio
		Fibra de vidro	Aço Inox*	Filamento plástico	
Superfície estéril/lisa	5	2	5	3	5
Peso	3	4	2	5	3
Resistência à corrosão (água do mar)	4	3	5	3	4
Facilidade de produção/conformação	4	3	4	4	4
Resistência à deformação	5	3	5	2	4
Pontuação Total	-	61	92	68	86

Para restringir a movimentação desta peça a fim de prevenir o contato com o ventilador e eventuais ruídos indesejados, utilizou-se de quatro fixadores tipo abraçadeira em 4 posições unindo a peça por colagem.

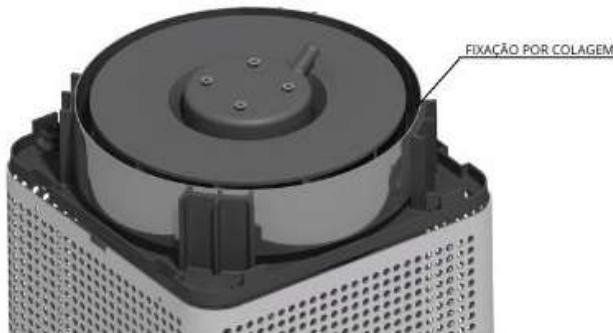


Figura 25 – Método de fixação da Cuba.

4.8.2 Filtros

Para maximizar o aproveitamento dos meios filtrantes e otimizar o volume do aparelho, os filtros serão desenvolvidos em moldura cilíndrica no formato de cartuchos, vide figura 26. As dimensões dos elementos filtrantes serão tais que resultam nas áreas necessárias previamente calculadas pela equipe de energia.

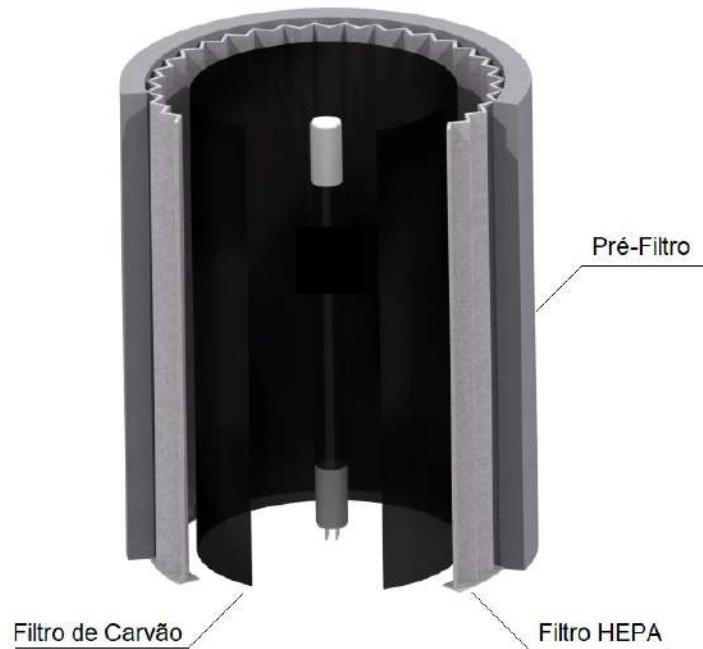


Figura 26 – Vista expandida do esquema de filtros.

Para unificar a montagem dos três filtros e fixá-los às demais estruturas do equipamento, fez-se a utilização de duas tampas de moldura (superior e inferior), com encaixes em suas superfícies para cada filtro, como sugere a figura 27.

Essa moldura, por sua vez, é posicionado sobre a tampa inferior, responsável por isolar os filtros das baterias. É nessa tampa inferior onde a lâmpada UV será afixada através de seu rosqueamento no ressalto. A montagem da moldura e de tal tampa é indicado também na figura 27.



Figura 27 – Moldura inferior dos filtros.

- **Pré-filtro**

Será desenvolvido com a utilização de manta sintética de espessura variável modelo LBX 290 da *Linter Filtros Industriais* por estar dentro da classe de filtragem definida pela subequipe de energia e por possibilitar a moldagem conforme a necessidade. As especificações de interesse são:

- Diâmetro externo: 240 mm;
- Espessura: 15 mm;
- Altura: 280 mm;
- Classe de Filtragem (EN779): G4;
- Material: Fibra sintética de poliéster.

- **Filtro absoluto (HEPA)**

Será desenvolvido com a utilização de papéis filtrantes classe H13 plissados com vincos estreitos em uma moldura cilíndrica, devido as motivações especificadas na abertura deste capítulo. As especificações de interesse são:

- Diâmetro externo: 210 mm;
- Espessura: 10 mm;
- Altura: 280 mm;
- Classe de Filtragem (EN1822): H13;
- Material: Micro fibras de vidro.

Em relação aos parâmetros que influenciam diretamente na eficiência dos filtros HEPA, temos o Corrugation Crest Angle (Ângulo da crista da ondulação). Devido à resistência extremamente pequena na entrada e na saída do fluido, enquanto a resistência média do filtro for igual à resistência estrutural geral de filtração, o ângulo deste filtro sob a condição de h (altura de passagem do fluido) fixo será considerado ótimo (XU; ZHOU, 2014). A figura 28 mostra o esquemático para o cálculo do ângulo.

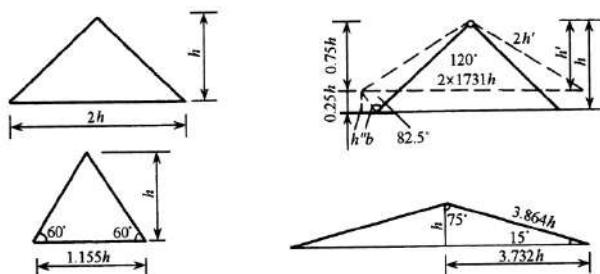


Figura 28 – Esquemático para o cálculo do ângulo da crista da ondulação.

Fonte:(XU; ZHOU, 2014).

Ainda de acordo com (XU; ZHOU, 2014), o diâmetro equivalente (d), comprimento de tubo que apresenta perda de carga igual a do dispositivo, é o maior fator entre todas as influências. Quando a altura da crista da ondulação precisa ser fixa, por exemplo, é o ângulo da ondulação que irá influenciar o diâmetro equivalente, por isso esse ângulo deve ser calculado para as especificações exigidas.

Com o ângulo de ondulação 90° , o diâmetro equivalente é igual a:

$$d = \frac{4F}{S} = \frac{4 \times \frac{h}{2} \times 2h}{2\sqrt{2}h + 2h} = 0,83h \quad (4.4)$$

Com o ângulo de ondulação 60° , o diâmetro equivalente é igual a:

$$d = \frac{4F}{S} = \frac{4 \times \frac{h}{2} \times 1.15h}{3 \times 1,15h} = 0,67h \quad (4.5)$$

Durante o processo de dobragem a ondulação é frequentemente diminuída pela força exercida. Dessa forma, o ângulo pode aumentar e a nova altura de ondulação torna-se menor que a original. Por exemplo, o ângulo pode tornar-se 120° e a nova altura será $h' = 0,75h$. Neste caso, o diâmetro equivalente será:

$$d = \frac{4F}{S} = \frac{4 \times 0,75h \times 1.73h \times 0,75h}{2 \times 2 \times 0,75 + 2 \times 1,73 \times 0,75h} = 0,7h \quad (4.6)$$

Onde,

F é a seção transversal de passagem do fluido;

S é o perímetro de passagem do fluido;

Dessa forma, para o filtro HEPA do projeto, utilizou-se 90° a fim de obter o melhor desempenho.

- **Filtro de carvão ativado**

Se desenvolverá com a utilização de manta impregnada com grânulos de carvão ativado modelo CA 15 da *Linter Filtros Industriais*. A escolha da manta no lugar de grãos de carvão retidos em recipiente se dá pela maior praticidade, facilidade construtiva e pelo preço reduzido. As especificações de interesse são:

- Diâmetro externo: 156 mm;
- Espessura: 2 mm;
- Altura: 280 mm;
- Classe de Filtragem (EN779): G4;
- Material: Manta sintética de poliéster impregnada com micro grânulos de carvão ativado.

4.8.3 Homogeneizador de fluxo de ar

Com o propósito de equalizar a exaustão do fluxo e reduzir a vorticidade no interior no tubo de exaustão foi implementado uma grelha homogeneizadora, figura 29, entre a saída de ar do ventilador e o bocal de exaustão do aparelho.



Figura 29 – homogeneizador de fluxo de ar.

Esta é confeccionada em PETG por técnica de manufatura aditiva.

4.8.4 Fixações roscáveis

Por razões de economia e limpeza padronizou que todos as fixações por rosca serão do tipo rosca M3 com exceção dos parafusos do motor que por padrão de fábrica é do tipo M4. Utilizará parafusos em inox AISI 304, para evitar corrosão, e rebites de rosca M3 de alumínio.

4.8.5 Esterilização por Radiação Ultravioleta

A eliminação de toda forma de vida microbiana que for retida no filtro absoluto e grossos ou que, eventualmente, passe por todo o sistema de filtração, será realizada por meio irradiação ultravioleta de 254 nanômetros (nm) de comprimento de onda a partir de uma lâmpada tubular UV-c disposta no interior do cartuxo de filtragem conectada por um soquete disposto em contato com a tampa de isolamento da bateria no eixo de simetria do aparelho.

4.8.6 Estrutura do sensor de qualidade do ar

O dispositivo que fará o sensoriamento dos parâmetros do ar será independente do produto principal, vide figura 30. Este terá três paredes externas produzidas em material composto de alumínio e três paredes externas produzidas em PETG por meio de manufatura aditiva. Optou-se por algumas paredes em PETG por questões estéticas e pela facilidade de confecção, em uma única peça, dos sulcos de ventilação que permitirá o fluxo de ar a ser analisado e dos encaixes e fixações internas dos hardwares de sensoreamento.



Figura 30 – Estrutura externa do sensor de qualidade do ar.

4.8.7 Simulação de Esforços Estruturais

As simulações foram realizadas no software Ansys R20.2. As condições de contorno representam a situação a qual a estrutura analisada está submetida no caso real. Dessa forma, aplicou-se suporte normal nas faces inferiores e suporte nas faces das longarinas verticais, considerando que as vigas estarão integradas à carcaça. Tais condições são mostradas na figura 31.

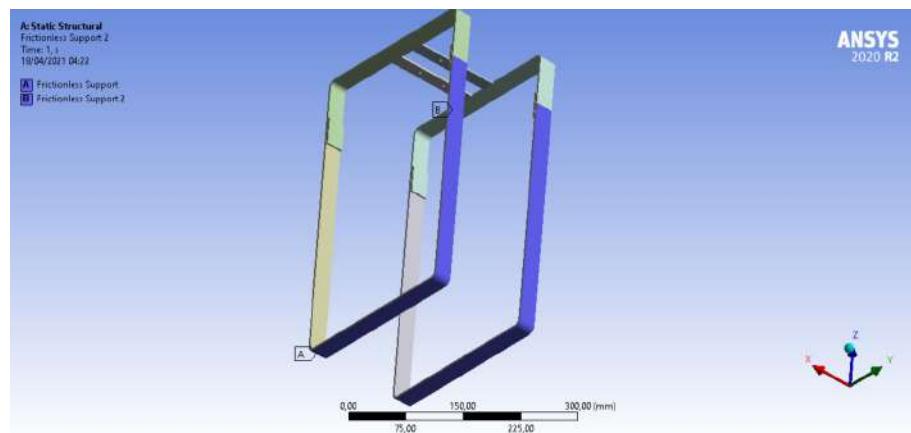


Figura 31 – Condições de contorno aplicadas.

Analogamente, o carregamento aplicado nas longarinas se resume, principalmente, às cargas decorrentes da massa do motor, da cuba, das tampas de seção de filtragem e grade superior e aos quatro encaixes que suportam a cuba. A representação do carregamento pode ser melhor entendida através da figura 32, onde F1 corresponde à força causada pela massa do motor, e a força causada pelas demais cargas, divididas nos quatro contatos dos tampões com as longarinas, são representadas por F2, F3, F4 e F5.

$$F = m \times g \quad (4.7)$$

$$\begin{aligned} F_1 &= m_m \times g \\ &= 1,5 \times 9,81 = 14,7N \end{aligned} \quad (4.8)$$

$$\begin{aligned} F_2 &= \frac{(m_c + m_{tg} + m_{ts} + 4 \times m_{ec}) \times g}{4} \\ &= \frac{(0,55 + 0,15 + 0,13 + 4 \times 0,03) \times 9,81}{4} \\ &= 2,1N \end{aligned} \quad (4.9)$$

$$F_2 = F_3 = F_4 = F_5 \quad (4.10)$$

Em que:

m_m = Massa do motor;

m_c = Massa da cuba;

m_{tg} = Massa da tampa da grade superior;

m_{ts} = Massa da tampa da seção de filtragem;

m_{ec} = Massa do encaixe da cuba;

g = Gravidade;

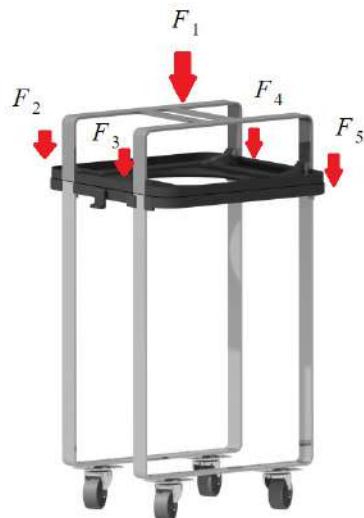


Figura 32 – Representação do carregamento aplicado.

4.8.7.1 Discretização do Domínio

Para uma simulação bem sucedida e de boa qualidade é necessário tratar a malha da respectiva peça. Para isso, ao gerar a malha do modelo, deve-se analisar o nível de detalhamento da mesma, considerando o método de conformação, refinamento e etc.

Logo, de acordo com (MADENCI; GUVEN, 2015) uma boa malha é aquela que apresenta elementos pouco distorcidos e deformados e esta métrica pode ser avaliada por meio das estatísticas da malha. Uma destas estatísticas é o Skewness, uma métrica que avalia a diferença entre a forma da célula e a forma de uma célula equilaterial de volume equivalente, ou seja, o quanto deformado o elemento está baseado em seu volume. Assim, zonas com detalhes desnecessários, faces com ângulos agudos e zonas problemáticas resultam em uma malha de má qualidade.

A malha foi construída utilizando a própria ferramenta do ANSYS, com formato tetraédrico, tamanho de elemento de 3 mm, com a opção de smoothing selecionada em High e refinamento nos suportes transversais, para acentuar possíveis concentradores de tensão. As figuras 33 e 34 demonstram, respectivamente, as características e a malha utilizada.

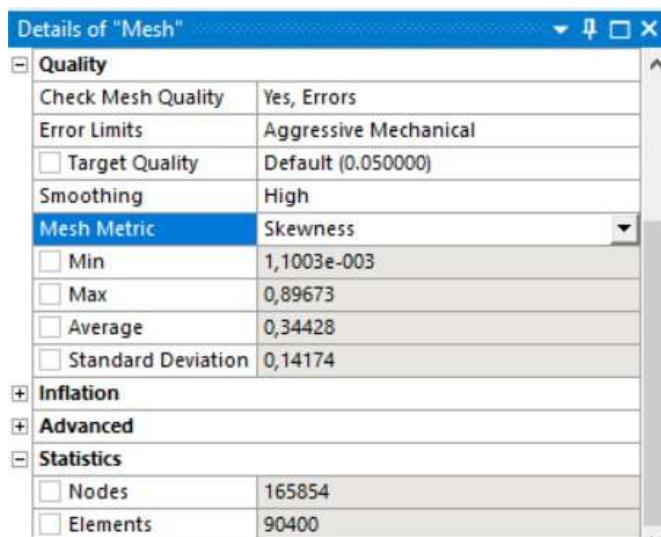


Figura 33 – Detalhes da malha.

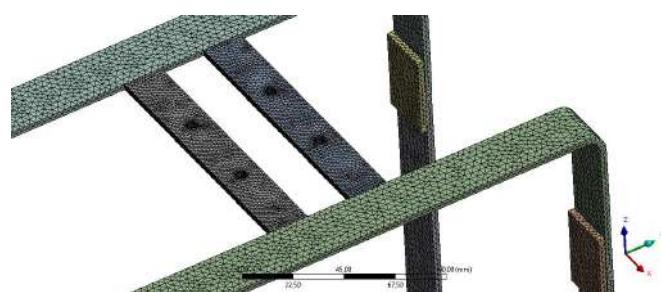


Figura 34 – Malha com 90400 elementos.

4.8.7.2 Resultados e Discussão

Analizando os resultados obtidos percebe-se, através da tabela 26 e das figuras 35, 36, 37 e 38 mostradas abaixo, que o momento fletor nas vigas verticais é mínimo e, também, que não há risco de buckling, efeito de mudança repentina na forma (deformação) de um componente estrutural sob carga, como o arqueamento da longarina sob compressão.

Tabela 26 – Resultados obtidos.

Tipo de Solução	Resultado
Tensão Equivalente	7,47 (MPa)
Tensão Normal em Z	4,35 (MPa)
Deformação em Z	$5,12 \times 10^{-4}$ (mm)
Deformação total	0,45 (mm)
Fator de Segurança	11,54 mín.

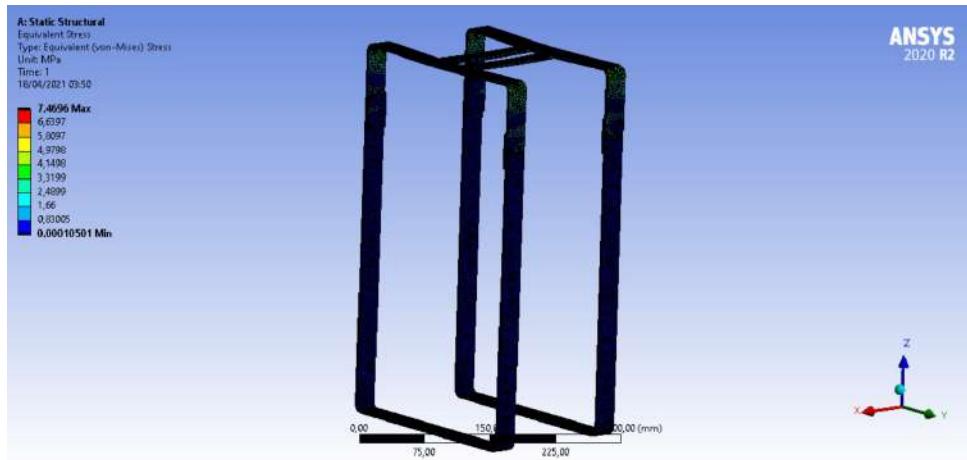


Figura 35 – Tensão Equivalente de Von-mises.

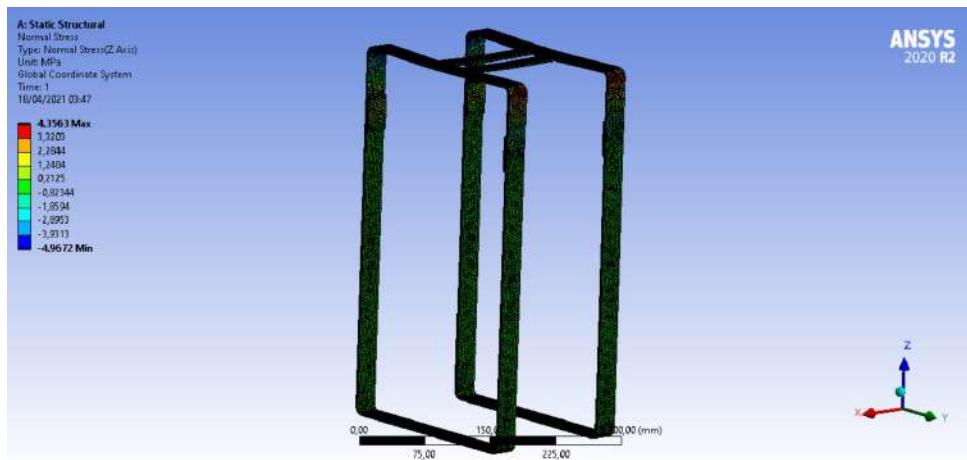


Figura 36 – Tensão Normal em Z.

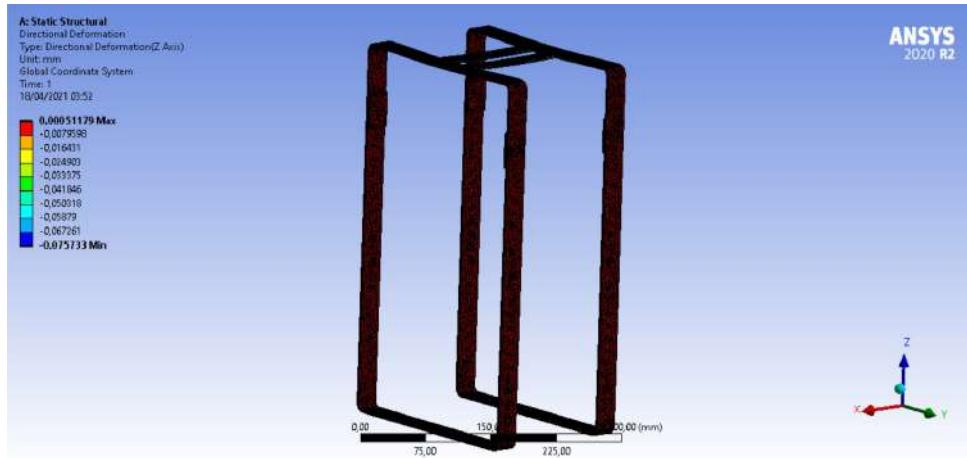


Figura 37 – Deformação em Z.



Figura 38 – Deformação total.

Outro fator analisado na simulação é o coeficiente de segurança, que está relacionado ao carregamento último e o carregamento admissível, sendo de extrema importância para desempenho seguro da estrutura (BEER et al., 1977). É possível ver na figura 39 que o fator mínimo é bastante satisfatório.



Figura 39 – Fator de Segurança.

Dessa forma, conclui-se que o perfil dos reforços escolhidos atende com excelência os esforços do projeto, garantem pouca massa extra, cerca de 0,66 kg (vide apêndice M) e integram, de forma satisfatória, os rodízios.

4.8.8 Escolha de Materiais

A seleção de materiais adequados a uma determinada aplicação e utilização é uma parte imprescindível de toda consideração de projetos, visto que está relacionado a características que influenciam o projeto do elemento ou, em alguns casos, o sistema inteiro (SHIGLEY; MISCHKE; R BUDYNAS, 2005). Além disso, a escolha de materiais também implica no design do produto final e na percepção do produto pelo consumidor. Desta forma, a etapa de seleção de materiais torna-se interdisciplinar e de suma importância para se obter êxito no desenvolvimento de projetos (FALLER, 2009).

À luz dos fatos descritos acima, os materiais apresentados a seguir tiveram suas escolhas baseadas em critérios técnicos, tais como, aplicabilidade, processos de fabricação, percepção visual do design utilizado, propriedades de engenharia e custos.

- **ACM (Aluminium Composite Material)**

A escolha deste material baseou-se em critérios técnicos, acústicos e estéticos para a aplicação no desenvolvimento do projeto. Segundo (MOHANEY; SONI, 2018), o ACM possui boa resistência química, excelentes propriedades mecânicas com baixo peso agregado a estrutura, é de fácil e rápido processamento e tem a menor necessidade de manutenção. Além disso, possui alta versatilidade de utilização, ótimo acabamento superficial e conformabilidade.

De acordo com [STACBOND \(2021\)](#), a tabela 27 demonstra as principais propriedades mecânicas encontradas para uma chapa de ACM padrão de 3 mm de espessura.

Tabela 27 – Propriedades Mecânicas do ACM ([STACBOND, 2021](#)).

Propriedades Mecânicas	Valores
Elongação	4%
Limite de resistência à tração	240 MPa
Módulo de elasticidade	70 GPa
Temperatura de utilização	-40/+80 °C
Isolamento acústico	28 dB (0; +3)

- **Alumínio 6063-T5**

A liga ABNT 6063 de alumínio com têmpera T5 foi previamente selecionada para as longarinas devido a sua alta resistência mecânica, boa conformidade e soldabilidade e alta resistência a corrosão ([HATCH, 1984](#)). As principais propriedades mecânicas dessa liga estão ressaltadas na tabela 28 de acordo com [ASM \(1995\)](#).

Tabela 28 – Propriedades Mecânicas do alumínio 6063-T5 ([ASM, 1995](#)).

Propriedades Mecânicas	Valores
Massa específica	2,7 g/cm ³
Elongação	18%
Resistência à tração mínima	186 MPa
Tensão de ruptura mínima	145 MPa
Módulo de elasticidade	68,9 GPa
Dureza Brinell	60 HB

- **Aço Inoxidável 304**

O material selecionado é classificado como aço inoxidável série 300, pertencente a classe austenítica, ligado com 17 a 25% de cromo e 10 a 20% de níquel. Desta forma, eles possuem uma alta resistência a oxidação, corrosão, é amagnético e tem excelentes ductilidade e tenacidade ([NORTON, 2013](#)). Além disso, possuem boa soldabilidade e são utilizados nos mais variados âmbitos.

Segundo [Callister e Rethwisch \(2012\)](#), a tabela 29 descreve as propriedades mecânicas encontradas para o aço inoxidável 304.

Tabela 29 – Propriedades Mecânicas do Aço Inoxidável 304 ([CALLISTER; RETHWISCH, 2012](#)).

Propriedades Mecânicas	Valores
Massa específica	8,00 g/cm ³
Coeficiente de Poisson	0,30
Elongação	40%
Limite de escoamento	205 MPa
Limite de resistência à tração	515 MPa
Módulo de elasticidade	193 GPa
Condição	Acabado a quente e recozido

- **TPU (Thermoplastic Polyurethane)**

Um dos materiais poliméricos utilizados no projeto é o TPU, um copolímero linear segmentado que também pode ser encontrado na forma de filamento utilizado em impressão 3D. De acordo com [Fiorio \(2007\)](#), o TPU possui uma alta versatilidade de aplicações nas mais distintas áreas. Ademais, também possui uma alta resistência ao impacto, boa resistência à abrasão e à solventes. De forma geral, os TPUs proporcionam a rigidez e resistência de plásticos com a flexibilidade e elasticidade da borracha.

De acordo com as informações obtidas na base de dados de materiais de engenharia ([MATWEB, 2021b](#)), a tabela 30 estabelece as principais propriedades mecânicas do TPU.

Tabela 30 – Propriedades Mecânicas do TPU ([MATWEB, 2021b](#)).

Propriedades Mecânicas	Valores
Massa específica	1,45 g/cm ³
Elongação	25,2%
Resistência à tração na ruptura	61,6 MPa
Módulo de elasticidade	2,53 GPa
Resistência ao impacto	5,60 J/cm ²

- **PETG (Polietileno Tereftalato de Etileno Glicol)**

O PETG é um termoplástico semicristalino, sendo atualmente o copolímero mais conhecido e utilizado no universo de impressão 3D. Segundo [Silva \(2018\)](#), o PETG é mais flexível que o PLA (*Polylactic Acid*) e o ABS, e mais macio. Além disso, possui baixo empenamento da peça, boa resistência química e boa resistência a água. Desta forma, a utilização desse material no projeto está em sua capacidade de aliar a boa resistência mecânica encontrada no ABS, com a facilidade de impressão obtida com o PLA. Segundo as informações obtida de acordo com [MatWeb \(2021a\)](#), a tabela 31 visa summarizar as principais propriedades mecânicas e térmicas do filamento de PETG.

Tabela 31 – Propriedades Mecânicas e Térmicas do PETG ([MATWEB, 2021a](#)).

Propriedades Mecânicas e Térmicas	Valores
Massa específica	1,26 g/cm ³
Elongação	124%
Resistência à tração na ruptura	42 MPa
Módulo de elasticidade	2,65 GPa
Resistência ao impacto	0,681 J/cm ²
Temperatura de transição vítreia	80,9 °C

- **ASA**

O filamento ASA (Acrylonitrile Styrene Acrylate) é um material terpolímero amorfo termoplástico similar ao ABS criado em 1970 pelo fabricante BASF com o nome comercial Luran Séc. A diferença entre estes dois materiais a nível estrutural é que o ASA utiliza um elastómero acrílico e o ABS um elastómero de butadieno. Portanto, o ASA foi selecionado devido a sua boa resistência química, resistência a água e alta resistência térmica, suportando raios ultravioleta ([FILAMENT2PRINT, 2018](#)). Sendo assim, esse material será adequado para as peças que ficarão em contato com a luz UV utilizada para a filtragem e a impressão 3D permite a fabricação das peças com as dimensões ideais.

- **Silicone**

A principal característica dos polímeros de silicone é a cadeia polimérica de átomos de silício e oxigênio em que os átomos de silício transportam dois radicais orgânicos, preferencialmente radicais metila. Essa cadeia polimérica diferenciada confere, principalmente, excelente resistência à UV, oxidação e ozônio, resistência às intempéries, excepcional resistência ao calor (envelhecimento térmico), excelente isolamento elétrico e estabilidade e flexibilidade à baixa temperatura ([AFINKO, 2018](#)). Portanto, o presente material é uma possibilidade interessante no quesito vedação do produto. A tabela 32 mostra algumas propriedades de acordo com [Afinko \(2018\)](#).

Tabela 32 – Propriedades do silicone ([AFINKO, 2018](#)).

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

- **Cianoacrilato**

O adesivo de cianoacrilato é um adesivo de média viscosidade (100 cps), à base de Etil-Cianoacrilato. Projetado para juntas de alta resistência que polimerizam plásticos, borrachas e outros materiais em alta velocidade. Recomendado para a montagem de peças lisas e superfícies planas (SL, 2018). Nesse sentido, o cianoacrilato destacou-se como uma boa opção para a união de alguns componentes e as propriedades do mesmo estão apresentadas na tabela 33 de acordo com SL (2018).

Tabela 33 – Propriedades do material não curado (SL, 2018).

Propriedade	Valores
Peso específico	1,06
Viscosidade gama	80-120 cP
Resistência à tração	20 N/mm ²
Valores típicos de viscosidade	100 cP
Tempo de fixação	Depende do substrato
Cura total	24 horas
Ponto de inflamação	> 85°C
Espaço máximo para preencher	0,15 mm
Gama de temperatura adequada	-50° a +80°C

4.8.9 Formato da estrutura e CAD

Os CADs e os desenhos técnicos se encontram disponíveis, respectivamente, nos apêndices L e M.

4.9 Solução de Software

A solução de software para o *CleanAir* é uma aplicação móvel que terá as funcionalidades que satisfaçam os requisitos descritos em 2.4. O *back-end* da aplicação será composto por dois serviços, o *mq-interface* e o *api-clean-air*. Já o *front-end* será um aplicativo para dispositivos móveis com o sistema operacional Android.

4.9.1 Arquitetura de Software

A arquitetura do software consiste em um *front-end móvel*, dois microsserviços para o *back-end* com conexão com a API (*Application Programming Interface*) da Amazon Alexa e com o microcontrolador do purificador.

Um dos microsserviços é o *mq-interface-service* que irá fazer a comunicação com o microcontrolador, obtendo e interpretando os dados dos sensores e realizando ações em relação ao purificador.

O segundo microsserviço é o *api-clean-air-service* que faz toda a conexão com o *front-end*, tratando dados do usuário e se comunicando com a API da *amazon-alexa-voice-*

service, permitindo que seja possível interpretar comandos de voz realizados pela assistente virtual Alexa. A Figura 40 mostra como se dá a comunicação entre esses serviços.

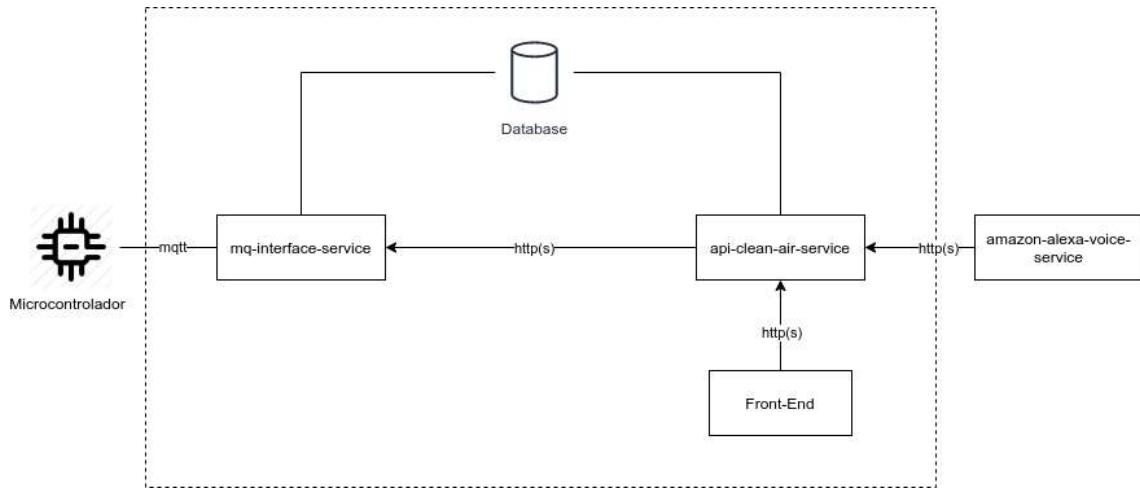


Figura 40 – Arquitetura da solução de software.

As comunicações entre as APIs são feitas em protocolo HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*), transmitindo documentos JSON (*JavaScript Object Notation*). A comunicação com o microcontrolador é feita com o protocolo MQTT (*Message Queue Telemetry Transport*).

O diagrama da Figura 41 mostra quais são as tecnologias usadas em cada parte do sistema. As subseções seguintes explicam com mais detalhes essas partes.

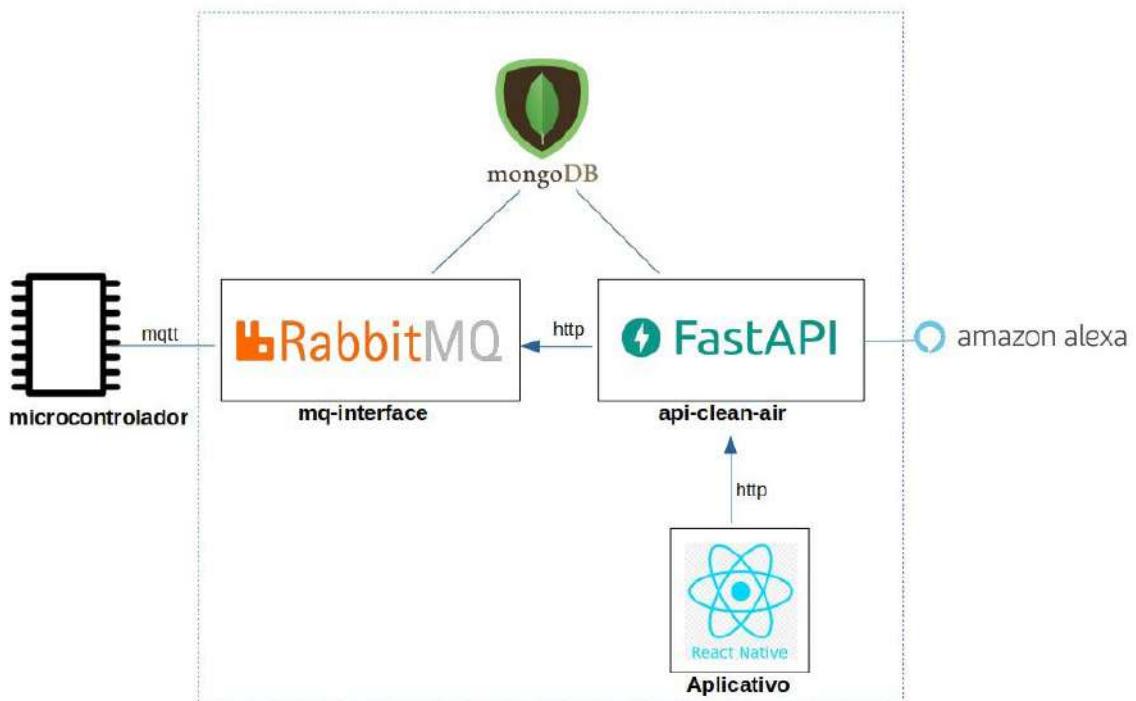


Figura 41 – Tecnologias da solução de software.

4.9.1.1 Serviço *mq-interface*

Esse serviço é responsável por fazer a interface de comunicação entre o microcontrolador do purificador e o serviço *api-clean-air*.

O serviço é *Publish-Subscribe* (publicar-assinar) que consiste em um padrão de troca de mensagens em que os assinantes demonstram interesse em receber mensagens e os publicadores publicam as mensagens sem especificar destinatários ([MICROSOFT, 2018](#)). Para essa troca de mensagens com o purificador é usado o protocolo de mensagem *Message Queue Telemetry Transport (MQTT)* que suporta comunicação assíncrona entre as partes ([YUAN, 2017](#)).

O serviço *api-clean-air* se comunica com este utilizando *Hypertext Transfer Protocol (HTPP)* que é um protocolo de transmissão de documentos hipermídia ([MOZILLA, 2021](#)), então é preciso de um *broker* (corretor) de mensagens para tradução entre os protocolos MQTT e HTTP. O corretor que está sendo utilizado é o [RabbitMQ](#) que é de código aberto e também é usado para gerenciar as filas de publicação das mensagens.

Há duas filas de mensagens, a primeira é para o microcontrolador publicar os dados dos sensores e tem como assinante o serviço *mq-interface* que, com ajuda do RabbitMQ, obtém esses dados e salva no [MongoDB](#), um banco de dados não relacional. Já a segunda fila serve para o *mq-interface* publicar comandos para o microcontrolador tratar, então este último é o assinante desta fila.

O serviço é codificado em Python e no [repositório](#) está o código fonte que está organizado como mostra a [Figura 42](#), em que:

- **src/** - Diretório que contém todo o código fonte do serviço;
- **main.py** - Arquivo que tem a responsabilidade de inicializar o serviço. Nele é criada a instância da aplicação utilizada para sua execução através do uso das configurações já estabelecidas;
- **controllers/** - Diretório que implementa as *controllers* do serviço para intermediar a comunicação com o banco de dados. As *controllers* são responsáveis pela validação dos dados e demais regras de negócio;
- **mq/** - Diretório responsável pelo gerenciamento das filas de mensagens com RabbitMQ;
- **mocks/** - Onde estão os *mocks* de dados para que seja possível realizar as simulações e testar a execução do software;
- **tests/** - Contém os testes unitários realizados sobre as funcionalidades das *controllers*;

- **settings.py** - Arquivo que contém todas as configurações do servidor, do *broker* e de *log*.

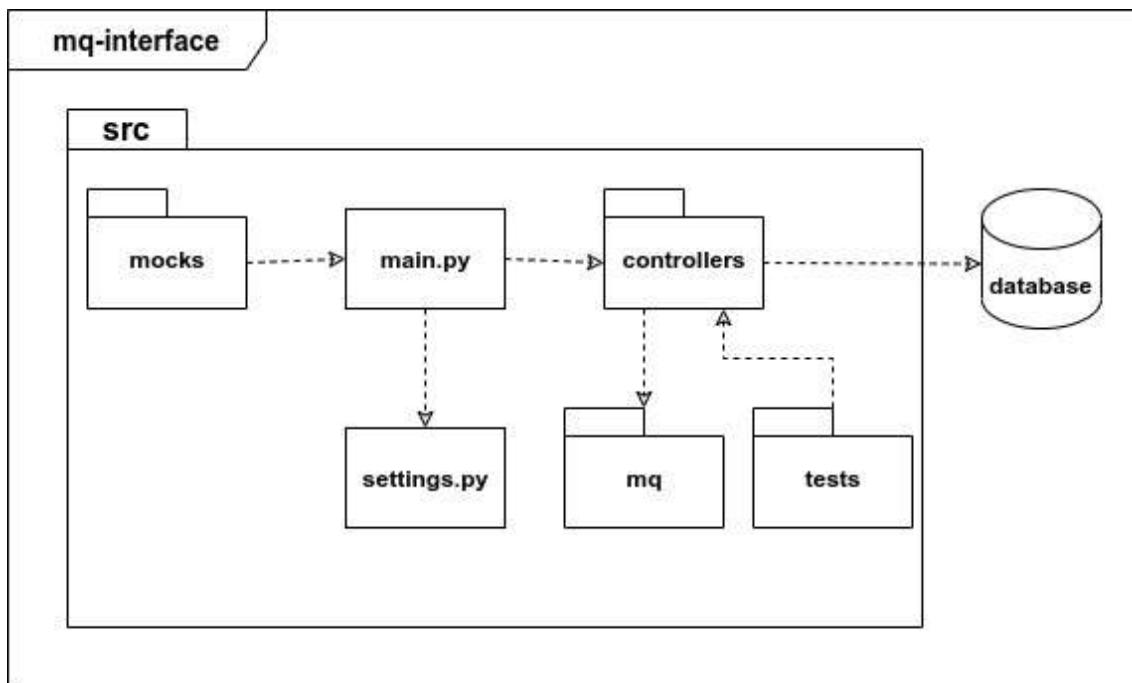


Figura 42 – Serviço *mq-interface*.

4.9.1.2 Serviço *api-clean-air*

O serviço *api-clean-air* é uma *Application Programming Interface (API)* com os princípios do *Representational State Transfer (REST)*, esses conceitos juntos formam um conjunto de rotinas e padrões de desenvolvimento que viabiliza uma comunicação cliente-servidor ([HAT](#),). Este serviço recupera os dados do banco, o mesmo que é alimentado pelo *mq-interface*, e trata-os para servir o aplicativo que é o cliente. Os dados trocados entre o aplicativo e o *api-clean-air* são no formato *JavaScript Object Notation (JSON)*. O modelo do JSON pode ser encontrado no Apêndice [Q](#).

O *api-clean-air* é responsável também por receber os comandos de voz feitos pela [Alexa](#), assistente virtual da empresa Amazon, e os comandos feitos através da interface do aplicativo. Ele envia esses comandos para o *mq-interface* usando o método *post* do HTTP.

Este serviço é feito usando o [FastAPI](#) que é um *framework* de código aberto para desenvolver APIs na linguagem de programação Python. Ele opera de forma assíncrona, oferecendo alta performance e facilidade na escrita dos códigos.

Neste [repositório](#) está o código fonte do serviço que está organizado como mostra a [Figura 43](#), em que:

- **src/** - Diretório que contém todo o código fonte do serviço;
- **main.py** - Arquivo que tem a responsabilidade de inicializar o serviço. Nele são definidos os *endpoints* e quais métodos HTTP são utilizados. É nele que será feita a interação com o serviço da Alexa;
- **controllers/** - Diretório que implementa as *controllers* do serviço para intermediar a comunicação com o banco de dados. As *controllers* são responsáveis pela validação dos dados e demais regras de negócio;
- **tests/** - Contém os testes unitários realizados sobre as funcionalidades das *controllers*;
- **settings.py** - Arquivo que contém todas as configurações do servidor, do *broker* e de *log*.

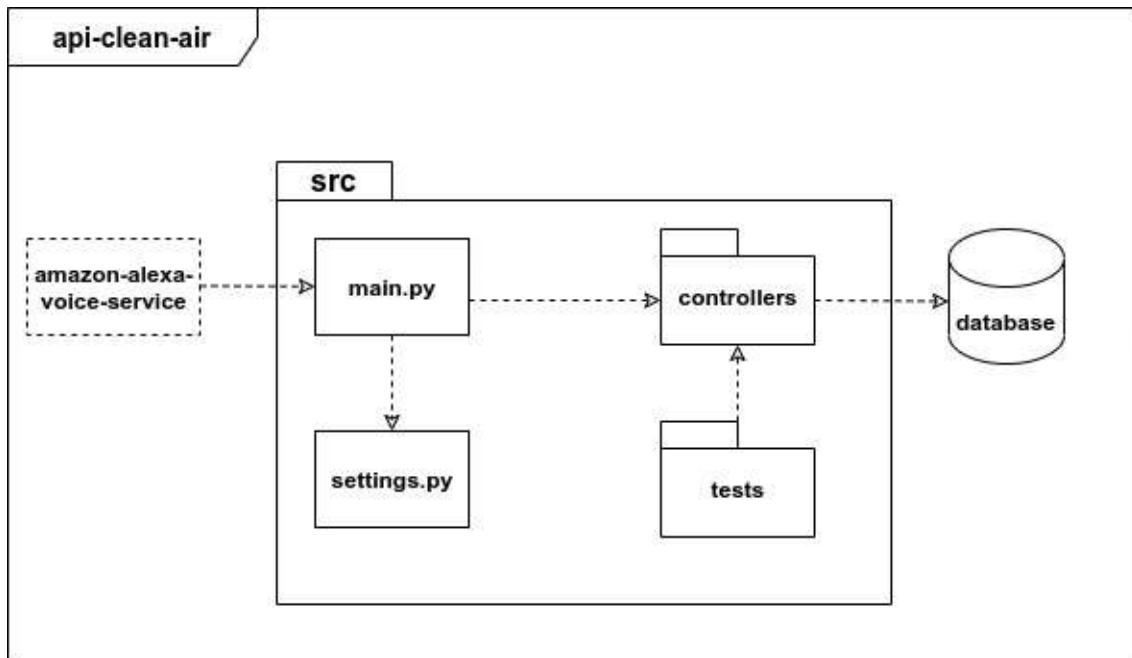


Figura 43 – Serviço *mq-interface*.

4.9.1.3 Front-end mobile

O aplicativo é acessado por dispositivos móveis que possuam conexão com a internet e sistema operacional Android. É através dele que o usuário poderá visualizar, de forma amigável, os dados do purificador e dos ambientes de interesse e também realizar ações sobre o purificador. Para uso completo do aplicativo é necessário que o dispositivo móvel esteja conectado na mesma rede *Wi-Fi* que o purificador.

O aplicativo se comunica com o *api-clean-air* utilizando requisições HTTP. Ele é desenvolvido com [React Native](#) que é um *framework* de código aberto da empresa

Facebook feito com a linguagem de programação JavaScript para desenvolver aplicações nativas para *smartphones*.

Neste [repositório](#) está o código fonte do serviço que está organizado como mostra a [Figura 44](#), em que:

- **App.js** - Arquivo que chama o componente principal do app que são as rotas;
- **src/** - Diretório que contém todo o código fonte do serviço;
- **routes.tsx** - Arquivo responsável por carregar todas as telas. Para isso ele utiliza os módulos de *navigation* e de *screens*;
- **navigation/** - Diretório que controla o fluxo de navegação entre as telas. Ele faz uso do componente de *screens*;
- **screens/** - Contém as telas da aplicação. Para que as telas funcionem corretamente, esse módulo utiliza os diretórios de *services* e de componentes;
- **services/** - Diretório que contém os *endpoints* necessários para realizar as requisições feitas no aplicativo;
- **components/** - Inclui os componentes que são comuns às telas da aplicação. Os componentes podem ser *modals*, *inputs* de formulários, botões, etc.

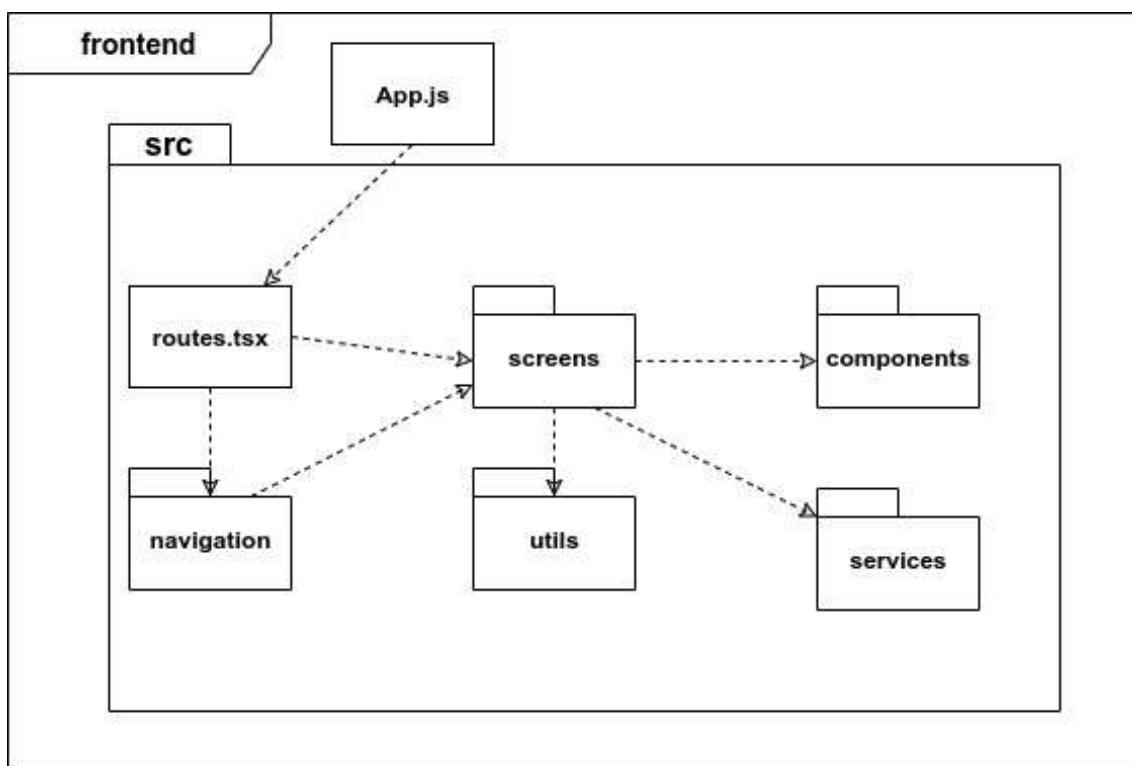


Figura 44 – Serviço *mq-interface*.

4.9.2 Inovação

O conceito de *IoT (Internet of things)* atende bem os requisitos do *CleanAir*, visto que o número de dispositivos conectados é variável para cada ambiente e podem ser mudados conforme as necessidades do usuário. Para isso, é necessário um protocolo adequado para a transmissão de mensagens num sistema descentralizado.

MQTT é a sigla para *Message Queuing Telemetry Transport*, um protocolo de mensagens originalmente criado pela *IBM* que utiliza do modelo de Publish-Subscribe para transmitir mensagens entre dispositivos e servidores de forma assíncrona e, assim como mensagens na internet, são enviadas por meio de protocolos *TCP/IP*. Ao contrário de outros protocolos, como o *HTTP* esse tipo de transmissão de mensagens é mais adequado para o encaminhamento de mensagens a múltiplos dispositivos sem muitas restrições. (YUAN, 2017)

Dois principais agentes estão presentes na arquitetura do *MQTT*: o cliente, que se comunica com um servidor *broker*. Toda vez que um cliente (agora chamado de *publisher*) manda uma mensagem sobre um determinado assunto, ele irá publicar para todos aqueles que estiverem inscritos naquele assunto (os *subscribers*). Além disso, é possível configurar um nível de *QoS (Qualidade de Serviço)* para a mensagem enviada, com variados níveis de garantia de chegada ao recipiente. Mensagens via *MQTT* podem ser facilmente mandadas para serviços como *Amazon Web Services* ou, no caso do *CleanAir*, por meio da assistente *Alexa*.

4.9.3 Arquitetura da informação

O fluxo das informações da aplicação é representado através do [protótipo](#) que foi feito utilizando o [Figma](#). Ele serve como um guia para o desenvolvimento da interface e para usabilidade do aplicativo. Algumas telas do protótipo podem ser vistas no [Apêndice N](#).

Na [Figura 45](#) está representado como é a interação entre as funcionalidades do aplicativo.

4.9.4 Integração com Alexa

A integração com o serviço *Alexa* é feita por meio de duas *skills*, uma para os sensores e outra para os purificadores. Elas podem ser invocadas chamando "Alexa, peça a CleanAir Sensores o estado da <nome>" ou "Alexa, peça a CleanAir Purificadores o estado do purificador <número>", respectivamente, informando o usuário dos estados atuais de bateria, estado do filtro e as informações restantes do sensor ou purificador solicitados. Para tal, o serviço *Alexa* faz uma solicitação *HTTP* para a *API* e retorna os dados ao usuário.

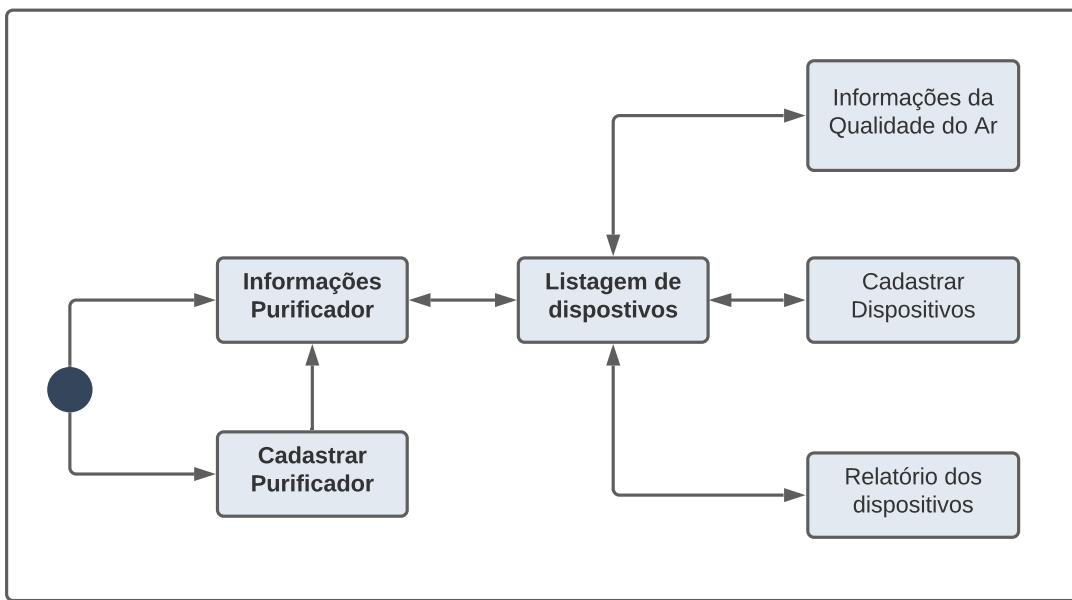


Figura 45 – Diagrama de arquitetura da informação.

4.9.5 Cálculo do *IQA*

O serviço *mq-interface* é o responsável por calcular a qualidade do ar. O cálculo é feito utilizando a fórmula matemática, a equação 4.11, indicada no Guia Técnico para Monitoramento e Avaliação da Qualidade do Ar disponibilizado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) ([AMBIENTE, 2020](#)).

$$IQA = I_{ini} + \frac{I_{fin} - I_{ini}}{C_{fin} - C_{ini}} \cdot (C - C_{ini}) \quad (4.11)$$

Em que,

- I_{ini} = valor que corresponde à concentração inicial da faixa;
- I_{fin} = valor que corresponde à concentração final da faixa;
- C_{ini} = concentração inicial da faixa correspondente à concentração medida;
- C_{fin} = concentração final da faixa correspondente à concentração medida;
- C = concentração medida ([AMBIENTE, 2020](#)).

A [Figura 46](#) apresenta os valores das faixas de qualidade do ar. O valores de I_{ini} e de I_{fin} são obtidos da coluna **Índice**. Os valores de C_{ini} e de C_{fin} são os valores presentes nas colunas respectivas a cada componente medido.

Qualidade do Ar	Índice	MP ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 24h	MP _{2,5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 24h	O ₃ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 8h	CO (ppm) 8h	NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 1h	SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 24h
N1 - Boa	0 - 40	0 - 50	0 - 25	0 - 100	0 - 9	0 - 200	0 - 20
N2 - Moderada	41 - 80	>50 - 100	>25 - 50	>100 - 130	>9 - 11	>200 - 240	>20 - 40
N3 - Ruim	81 - 120	>100 - 150	>50 - 75	>130 - 160	>11 - 13	>240 - 320	>40 - 365
N4 - Muito Ruim	121 - 200	>150 - 250	>75 - 125	>160 - 200	>13 - 15	>320 - 1130	>365 - 800
N5 - Péssima	201 - 400	>250 - 600	>125 - 300	>200 - 800	>15 - 50	>1130 - 3750	>800 - 2620

Figura 46 – Faixas de qualidade do ar.

Fonte: [Ambiente \(2020\)](#)

A classificação de qualidade do ar apresentada ao usuário é o resultado da comparação feita entre os índices individuais de cada poluente, o que tiver valor mais alto é utilizado como *IQA* geral.

5 Arquitetura de Integração

O diagrama da arquitetura de integração contém aspectos da solução de eletrônica, energia, estrutura e software. Assim, a visão geral dos subsistemas integrados que compõe o projeto *Clean Air* está representada na figura 47, a qual representa os módulos conectados entre si para o funcionamento do produto.

Desta forma, a integração dos subsistemas estão detalhadas nas seções seguintes deste capítulo. A seção 5.1 contém a descrição do posicionamento dos componentes Elétricos e Eletrônicos. A seção 5.2 descreve a integração das frentes de energia e eletrônica a partir dos sistemas para alimentação dos componentes. A seção 5.3 apresenta os detalhes da interface com o usuário por meio do aplicativo, requisitos, procedimentos para a execução e comunicação do módulo do aplicativo com a central de controle.

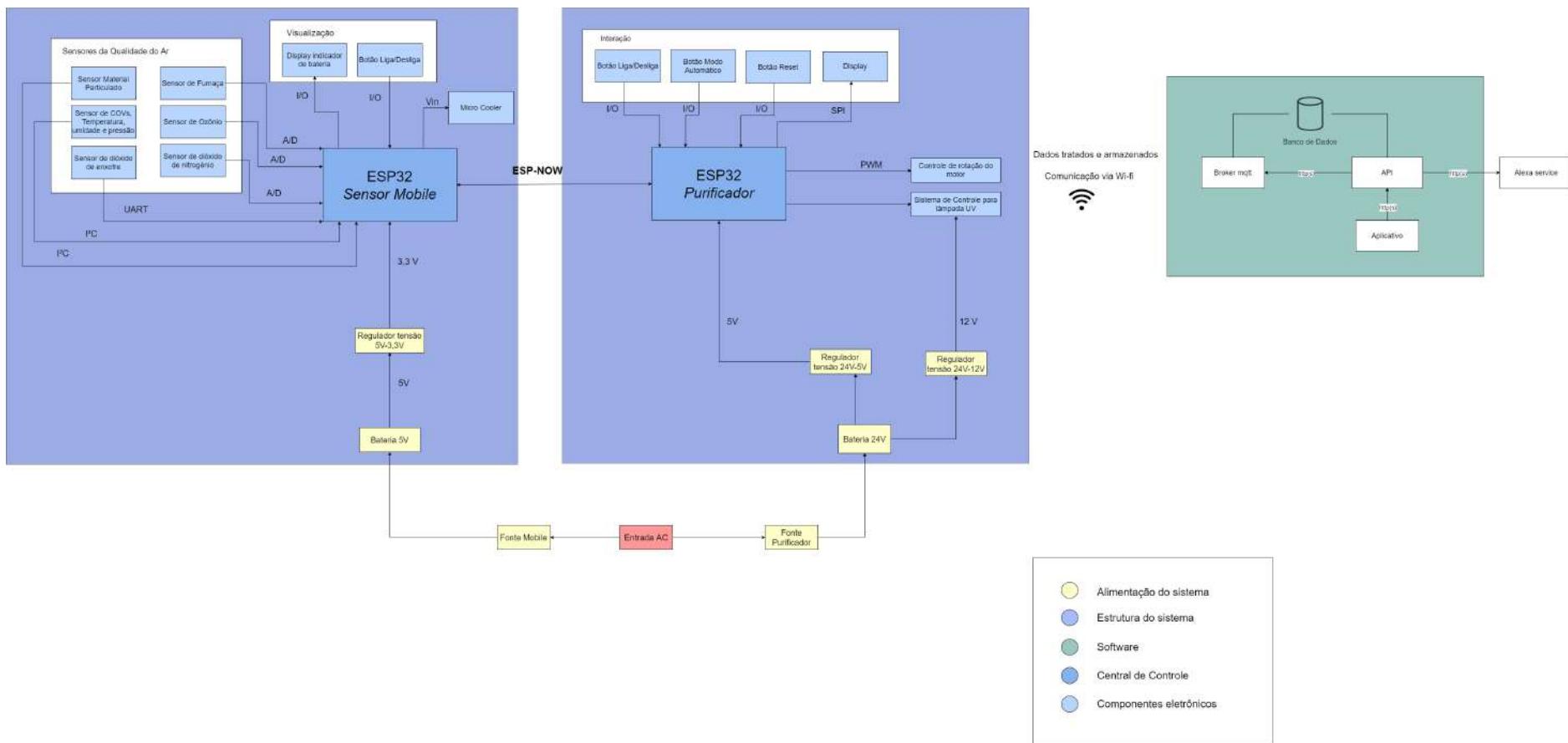


Figura 47 – Arquitetura de integração entre subsistemas

5.1 Posicionamento dos componentes Elétricos e Eletrônicos

A partir da realização da escolha dos componentes e seus respectivos dimensionamentos, a integração entre as áreas torna-se parte imprescindível do projeto, visto que a fixação dos sensores, assim como as possíveis adaptações no design, fica a cargo da área de estruturas. Desta forma, as escolhas basearam-se principalmente em requisitos para um bom funcionamento dos dispositivos eletrônicos, como também facilidade da adaptação do usuário com o dispositivo.

- **Disposição dos componentes para a estrutura do purificador**

Para realizar uma instalação de maneira mais simplificada e possibilitar a fixação conjunta dos componentes necessários para o bom funcionamento de todos os subsistemas (relés, conectores, resistores, etc) foi adotado a utilização de uma PCI, tornando a solução mais prática e compacta. Ressalta-se que foi feita uma divisão pela solução eletrônica, de utilizar uma PCI para separar o circuito de potência, referente ao motor DC e a lâmpada UV, com o circuito de controle desses elementos por meio do microcontrolador. Desta forma, a PCI de potência é posicionada na parte inferior do purificador (sessão de filtragem) para que tenha uma maior segurança, uma vez que apresenta um circuito que demanda maior corrente elétrica, ao ser conectada no sistema microcontrolador. Já a PCI de controle, é posicionada na parte superior do purificador (sessão de potência), visto que seus componentes conectados necessitam de uma corrente menor. Sendo assim, todo o sistema é conectado com cabos específicos para que suas conexões sejam feitas de forma segura.

Destarte, gerou-se a necessidade da instalação dos componentes em duas seções distintas do aparelho. A Figura 48 ilustra a disposição do display LCD e os botões de comando do purificador, sendo eles: liga/desliga, modo automático e *reset*. Pode-se destacar a presença da tela na parte frontal do aparelho, sendo projetada para facilitar a sua instalação posterior, além de fornecer uma maior usabilidade do dispositivo. Os botões foram dispostos ao lado do display de forma a integrar os componentes de controle para fácil acesso do usuário.



Figura 48 – Grelha de ventilação e seus respectivos componentes eletrônicos.

Nota-se que a quantidade e posicionamento das aletas da grelha de ventilação foi previamente testada a partir de simulações de escoamento do ar, juntamente com a área de energia, mostrando-se adequada para a atual proposta do projeto. Ademais, foram inseridos mecanismos para promover sua movimentação de forma livre, dando diferentes possibilidade de posicionamento para o cliente.

O mecanismo projetado para permitir a movimentação das aletas foi baseado em três partes principais. A primeira delas, é constituída por pinos maciços integrados em ambas as extremidades. A segunda, baseia-se em uma peça no formato retangular que está solidário aos pinos inferiores de uma das extremidades. E por fim, a terceira parte é projetada a partir de pinos vazados solidários a estrutura da grelha de ventilação, que irão fazer o encaixe nos pinos superiores maciços que estão conectados diretamente nas aletas, assim como ilustrado na Figura 16.

Desta forma, a movimentação do conjunto é proporcionada a partir da movimentação de qualquer uma das aletas intermediárias, visto que é permitida a rotação a partir do conjunto dos pinos vazados e maciços, concomitantemente com a restrição da translação nos três eixos, enquanto que a peça retangular transmite o movimento aplicado em uma das aletas para todo o sistema de aletas. Destaca-se que duas das aletas das extremidades à direita e à esquerda da grelha foram projetadas para serem fixas devido ao pouco espaço de movimentação nessa região.

A inserção da PCI, bem como seus suportes, estão explicitados na Figura 49. Percebe-se que sua instalação está intrinsecamente relacionada a requisitos como a não fixação em partes metálicas, devido a sensibilidade de seus componentes, e a necessidade

de estarem dispostas a favorecer a passagem do ar, ou seja, não podendo ser inserida em alguma estrutura completamente fechada, uma vez que pode ocasionar um aquecimento excessivo dos elementos eletrônicos. Além disso, a case de proteção da PCI também foi projetada de maneira a favorecer o escoamento do ar por sua superfície, visto que está posicionada logo acima do ventilador do aparelho; logo, era necessário gerar a menor resistência a passagem do ar nesta seção. Uma vez projetada a case, a PCI é fixada a partir de 4 suportes transversais impressos a partir de impressão 3D, destacando-se que todos os componentes que estão em contato direto com a case são construídos a partir de materiais plásticos.



Figura 49 – Disposição da PCI da seção de potência do purificador.

As Figuras 50 e 51 demonstram o arranjo do posicionamento da PCI na seção de filtragem. Devido ao pouco espaço disponível na seção dos filtros e visível incompatibilidade de instalação da PCI nessa região, conclui-se que seu posicionamento deveria ser realizado na parte mais inferior do aparelho, ficando próxima as baterias. Atenta-se ao fato de que os requisitos para a disposição da eletrônica mantém-se o mesmo para o citado previamente na sessão de potência, na questão de se evitar o aquecimento demais dos componentes ao se utilizar uma estrutura completamente fechada. Assim, foi realizado a construção de um suporte no formato de uma caixa retangular com recortes laterais para permitir uma maior circulação do ar, que será fixada à tampa que está logo abaixo dos filtros.

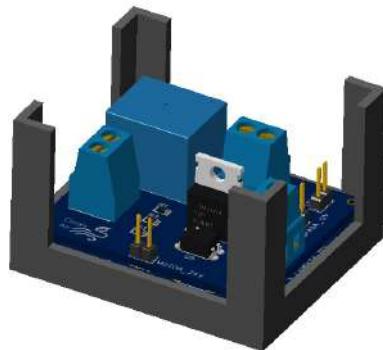


Figura 50 – Estrutura da PCI da seção de filtragem do purificador.



Figura 51 – Disposição da PCI da seção de filtragem do purificador.

Outrossim, o posicionamento da PCI na sessão de filtragem do aparelho foi projetada de tal forma a estar próxima da canaleta de passagem da fiação. Este componente torna-se necessário no projeto, uma vez que é preciso transferir a energia das baterias até a PCI da sessão de potência para o funcionamento de seus respectivos dispositivos eletrônicos. Além disso, dada a característica do projeto de permitir ao usuário a retirada integral da sessão de potência para realizar a troca periódica dos filtros, fez-se necessário estabelecer um mecanismo que permitisse tal ação sem comprometer a integridade da instalação. Logo, a Figura 52 e 53 ilustram os componentes das canaletas e plugs de conexão que compõem o sistema supracitado, respectivamente.



Figura 52 – Canaletas para a passagem de fiação.

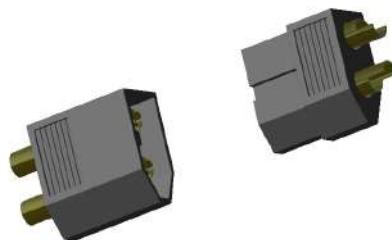


Figura 53 – Plugs macho e fêmea.

- **Disposição dos componentes para o sensor de qualidade do ar**

Para a disposição dos componentes eletrônicos do sensor de qualidade do ar, também foi utilizado a inserção de uma PCI para integrar todos os componentes e os respectivos sensores. Uma de suas peculiaridades está no fato da PCI estar integrada a uma estrutura mais fechada, impedindo a livre circulação do ar. Desta forma, foram implementadas aberturas em sua parte frontal, assim como ilustrado na Figura 54.



Figura 54 – Estrutura externa do sensor de qualidade do ar.

A instalação das aberturas na parte frontal do aparelho possui duas funções principais. A primeira, assim como citado no tópico anterior, está em permitir a circulação do ar para o resfriamento dos componentes e principalmente permitir a leitura do ar ambiente pelos os sensores para aferir sua qualidade. A segunda, está em ser posicionada de forma a expor de maneira mais reduzida os componentes eletrônicos, de forma a deixar mais harmonioso o design projetado. Ademais, nota-se a instalação do display LED indicador de bateria juntamente com o botão de ligar e desligar, ambos posicionados na parte superior do aparelho sensor, possibilitando fácil visualização e operação para o usuário.

Na Figura 56, é demonstrado a disposição da PCI internamente. Sua fixação é feita a partir de duas seções retangulares com furos em suas extremidades, sendo que todas as estruturas em contato direto com a PCI são feitas a partir de materiais plásticos, devido a sensibilidade de seus componentes quando ocorre o contato direto com partes metálicas.

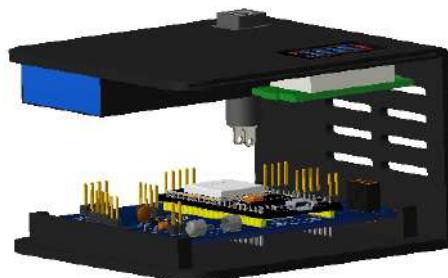


Figura 55 – Disposição dos componentes eletrônicos do sensor de qualidade do ar.

- **Integração dos sistemas para fornecimento de energia**

Para que haja a alimentação do sistema do purificador, a solução de energia projetou dois modos de operação para o fornecimento de energia. No primeiro, a carga é

fornecida ao equipamento por meio da fonte de alimentação principal, cujo está associado ao fornecimento de energia pela própria rede elétrica. No segundo modo, haverá uma bateria para fornecer energia enquanto o aparelho estiver desconectado da rede elétrica, possibilitando maior mobilidade e autonomia para o usuário. Ademais, a bateria utilizada no segundo modo de operação possui 24V e 10A para o fornecimento de energia para o purificador e os componentes nele presente. Para a PCI presente neste dispositivo, é necessária utilizar um regulador de tensão de 24V, visto que a tensão suportada pelos componentes eletrônicos é inferior a fornecida.

Para o *Mobile Sensor* também haverá duas fontes de alimentação; entretanto, diferentemente do purificador, a fonte principal de energia virá da utilização de uma bateria, sendo dimensionada para uma bateria de 5V e 3A, responsável pela alimentação da PCI e os sensores nela integrados. A fonte secundária virá do carregador para quando o aparelho estiver conectado a rede elétrica.

5.2 Alimentação dos Componentes Eletrônicos

Conforme a demanda de carga dos sistemas, foi essencial o dimensionamento de dois circuitos que alimentassem os componentes elétricos e eletrônicos com a carga necessária para seus desempenhos ideais, estes circuitos são compostos por carregadores e baterias e serão responsáveis pelo funcionamento desses sistemas.

Para atender o purificador foram utilizadas duas fontes de 24V em paralelo, entretanto o microcontrolador possui uma tensão de 3,3 a 5V, por isso foi utilizado um regulador de tensão para alcançar a tensão necessária. Já para atender os componentes do *Mobile Sensor* foi utilizado uma fonte de 5V devido ao seu microcontrolador também possuir uma tensão de 3,3 a 5V.

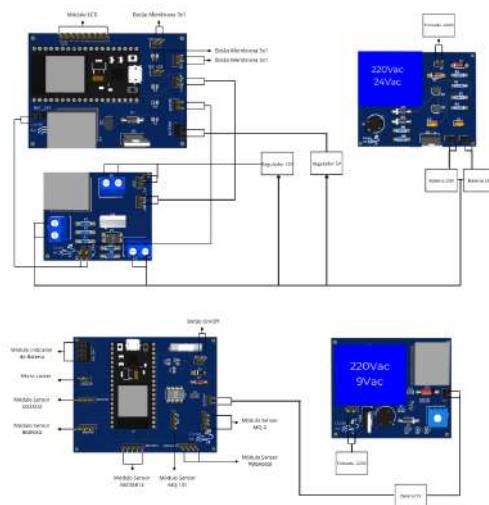


Figura 56 – Diagrama de Alimentação dos componentes.

5.3 Comunicação entre o Aplicativo e o Dispositivo

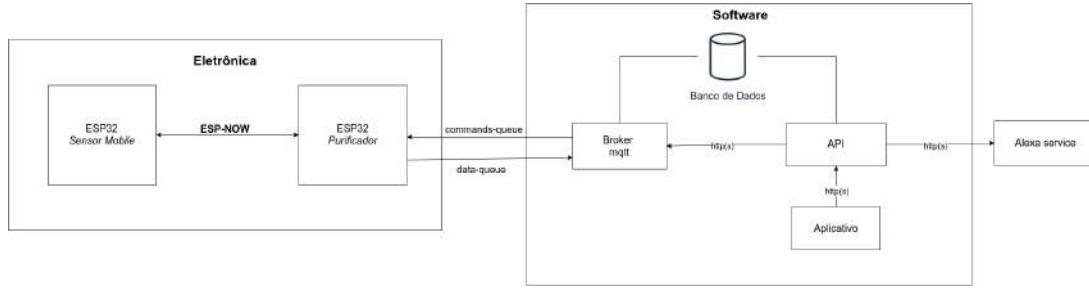


Figura 57 – Integração entre eletrônica e software.

A comunicação entre os componentes eletrônicos e o sistema de software está demonstrada na Figura 57. A ESP do *Mobile Sensor* se comunica com a ESP do purificador e é esta que se comunica com o sistema de software, trocando mensagens com o protocolo *mqtt*. Assim, a origem dos dados para o sistema de software está centralizada no purificador. A fila de mensagens em que a ESP do purificador publica os dados dos sensores é chamada de *data-queue* e a fila em que o purificador recebe os comandos da aplicação é chamada de *commands-queue*.

O aplicativo faz pareamento somente com o purificador, uma vez pareado, é esperado que o purificador envie a lista de identificadores dos *Mobile Sensors* conectados a ele. Essa lista é exibida para o usuário, que pode selecionar o dispositivo de interesse e nomeá-lo como quiser.

6 Custo e Precificação

Tabela 34 – Custos do Projeto

ID	Componente	Quantidade	Unitário	Final
01	Fast API	-	R\$ 0,00	R\$ 0,00
02	React Native	-	R\$ 0,00	R\$ 0,00
03	Digital Ocean	2 meses	R\$ 55,92*	R\$ 111,85
04	MongoDB Atlas	-	R\$ 0,00	R\$ 0,00
05	RabbitMQ	-	R\$ 0,00	R\$ 0,00
06	Sensor PMSA003I	1	R\$ 257,11*	R\$ 257,11*
07	Sensor Adafruit BME680	1	R\$ 108,39*	R\$ 108,39*
08	Sensor DGS-SO2	1	R\$ 411,80*	R\$ 411,80*
09	Sensor de MICS-6814	1	R\$ 233,22*	R\$ 233,22*
10	Sensor MQ-2	1	R\$ 20,90	R\$ 20,90
11	Sensor MQ-131	1	R\$ 73,38	R\$ 73,38
12	Display LCD	1	R\$ 189,90	R\$ 189,90
13	Botão Liga/Desliga	1	R\$ 26,90	R\$ 26,90
14	Botão Membrana Matricial	1	R\$ 15,00	R\$ 15,00
15	ESP32	2	R\$ 49,70	R\$ 99,40
16	Indicador de Bateria	1	R\$ 16,06	R\$ 16,06
17	Micro Cooler Ventoinha	1	R\$ 12,90	R\$ 12,90
18	Estrutura externa (ACM)	0,27 m ²	R\$ 82,35	R\$ 22,50
19	Estrutura externa sensor (PETG)**	120g	R\$ 119,90	R\$ 25,00
20	Estrutura externa (Aço Inox 304 perfurado)	0,3 m ²	R\$ 1.376,20	R\$ 412,85
21	Jogo de rodizio 25 mm	4	R\$ 3,55	R\$ 14,20
22	Grelha de ventilação (PETG)**	250 g	R\$ 119,90	R\$ 35,00
23	Longarinas e junções (Barra chata de alumínio 6063-T5)	3	R\$ 25,80	R\$ 77,40
24	Vedaçao - Silicone	500g	R\$ 24,00	R\$ 48,00
25	Tampas de vedação (PETG)**	350 g	R\$ 119,90	R\$ 45,00
26	Peças plásticas em contato com a lâmpada UV - ASA WP	200 g	R\$ 138,00	R\$ 34,00
27	Parafusos allen cilíndrico M3 15 mm inox AISI 304	50	R\$ 0,22	R\$ 10,95

28	Parafusos allen cilíndrico M4 15 mm inox AISI 304	4	R\$ 0,75	R\$ 3,00
29	Moldura do filtro (PETG)**	210 g	R\$ 119,90	R\$ 32,50
30	Rebite Rosca M3 de alumínio	26	R\$ 0,98	R\$ 25,50
31	Chapa de aço inox 304 polido	0,07 m ²	R\$ 1.163,00	R\$ 81,45
32	Cianoacrilato	300g	R\$ 33,00	R\$ 99,00
33	Ventilador com Motor DC	1	R\$ 126,00*	R\$126,00
34	Bateria íon-lítio - AERDU 6S2P 24V 5Ah	2	R\$ 197,56	R\$395,12
35	Bateria lítio - INVENTO 5V 1800 mAh	1	R\$ 30,39	R\$30,39
36	Lâmpada UV	1	R\$249,00	R\$ 249,00
37	Filtro Hepa	2,5 m ²	R\$ 6,60	R\$ 16,50
38	Módulo Controlador De Carga Para Bateria De Lítio Tp4056	1	R\$ 20,40	R\$20,40
39	Filtro Manta De Carvão Ativado	100m ²	R\$ 36,90	R\$36,90
			Total	R\$ 3.417,47

*Valor convertido em real pela cotação do dólar do dia 17/03/2021.

**Inclui o custo total de fabricação de todos os componentes feitos em PETG.

7 Considerações Finais

Este foi o trabalho desenvolvido para a disciplina Projeto Integrador 2 na Universidade de Brasília (UnB) no Campus da Faculdade do Gama (FGA), sendo este o ponto de controle final da matéria.

O projeto *Clean Air* tem como objetivo a redução de poluentes no ar inspirado através do monitoramento da qualidade do ar do local e fazer a purificação do ambiente. Todo o processo é feito com o posicionamento de um dispositivo sensor que irá monitorar a qualidade do ar do ambiente desejado, e caso necessário, a purificação é realizada com o uso de um purificador móvel, que irá filtrar partículas contaminantes, bactérias e germicidas do ambiente. Todo este processo é gerenciável por aplicativo, onde estará disponível ao usuário a visualização da qualidade do ar do ambiente, a visualização de ambientes com o IQA abaixo do recomendado, controle do purificador e demais utilidades. As principais funcionalidades também estarão disponível por controle de voz, para uma maior praticidade de uso.

Portanto, este projeto tem a possibilidade de aprimoramento a partir de inclusão de funcionalidades como a mobilidade programável, maior dimensionamento para locais que necessitem de uma vazão de ar maior e ambientes maiores também.

Referências

- ABNT. *Norma ABNT NBR 16401-3*. 2008. Citado 6 vezes nas páginas 67, 68, 79, 148, 170 e 171.
- ABNT, N. 5410: 2004. *Instalações elétricas de baixa tensão*, 2004. Citado 2 vezes nas páginas 149 e 150.
- ABNT, N. Plugues e tomadas para uso doméstico e análogo até 20a/220v em corrente alternada. 2012. Citado na página 142.
- AFINKO. *EPDM ou Silicone? Qual a melhor borracha?* 2018. <<https://afinkopolimeros.com.br/epdm-ou-silicone/>>. Acesso em: 20 mar. 2021. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 102.
- AHMAD, Z. *Principles of corrosion engineering and corrosion control*. [S.l.]: Elsevier, 2006. Citado na página 88.
- AMBIENTE, M. do M. *Guia técnico para o monitoramento e avaliação da qualidade do ar*. 2020. Disponível em: <www.gov.br/mma/pt-br/centrais-de-conteudo/mma-guia-tecnico-qualidade-do-ar-pdf>. Acesso em: 7 maio 2021. Citado 2 vezes nas páginas 110 e 111.
- ANVISA. *Guia da Qualidade para Sistemas de Tratamento de Ar e Monitoramento Ambiental na Indústria Farmacêutica*. 2013. Disponível em: <https://conforlab.com.br/legislacao/qualidade_do_ar_final.pdf>. Citado na página 69.
- ASM. *Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials*. 2. ed. [S.l.]: Metals Handbook, 1995. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 100.
- BASTO, J. E. Qualidade do ar interno. *Itajaí, SC, Brasil.* [citado 2017/out/14]. Disponível em: <http://www.anest.org.br/> (Acessado em 10/09/2019), 2007. Citado na página 24.
- BEER, F. P. et al. *Vector mechanics for engineers*. [S.l.]: Tata McGraw-Hill Education, 1977. v. 1. Citado na página 98.
- BOSH. Datasheet bme680. 2017. Disponível em: <<https://cdn-shop.adafruit.com/product-files/3660/BME680.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2021. Citado na página 48.
- BRANDT, A. . R. . *Retificadores semicondutores não controlados*. 1975. Citado na página 143.
- CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. *Ciência e engenharia de materiais:uma introdução*. 8. ed. [S.l.]: Rio de Janeiro: LTC, 2012. Citado 3 vezes nas páginas 9, 100 e 101.
- CETESB. Qualidade do ar- poluentes. 2021. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/ar/poluentes/>>. Acesso em: 02 mar. 2021. Citado 2 vezes nas páginas 22 e 23.

CIPELLI, A. M. V. *Teoria e desenvolvimento de projetos de circuitos eletrônicos*. [S.l.]: Érica, 1988. Citado na página 144.

COMPONENTS INFO. *IRF540 Pinout, Equivalent, Specs, Applications More*. 2020. Disponível em: <<https://www.componentsinfo.com/irf540-pinout-equivalent/>>. Acesso em: 16 mar. 2021. Citado na página 45.

CONAMA. *Resoluções CONAMA: 1984 a 1991*. [S.l.]: Secretaria do Meio Ambiente da Presidência da República, Conselho Nacional . . . , 1992. Citado na página 22.

CONAMA. *RESOLUÇÃO N° 491*. 2018. <https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TzC2Mb/content/id/51058895#:~:text=SO2%3D%20di%C3%B3B3xido%20de%20enxofre%3B%20MP10,%3B%20ppm%20%3D%20partes%20por%20milh%C3%A3o.> Acesso em: 17 mar. 2021. Citado na página 46.

DUARTE, J. Épico - conceitos e aplicações dentro das metodologias Ágeis. GP4US, 2020. Citado na página 29.

ELÉTRICAS, T. F. d. D. I. et al. Fusíveis elétricos. 1992. Citado na página 54.

ELETROGATE. *Micro Cooler Ventoinha DC - 5V*. 2020. Disponível em: <https://www.eletrogate.com/micro-cooler-ventoinha-dc-5v?utm_source=Site&utm_medium=GoogleMerchant&utm_campaign=GoogleMerchant&gclid=Cj0KCQjw0caCBhCIARIIsAGAfUmwirTAUf9UQbde0szGC0y0lGgMKNOeyFDBer7ucgULO8H3ZPzwCwB>. Acesso em: 17 mar. 2021. Citado na página 52.

ELETRONICS, H. *MQ2-DATASHEET*. 2020. Disponível em: <<https://www.mouser.com/datasheet/2/321/605-00008-MQ-2-Datasheet-370464.pdf>>. Citado na página 49.

ELETRONICS, W. *MQ131-DATASHEET*. 2020. Disponível em: <<https://datasheetspdf.com/pdf/770517/ETC/MQ-131/1>>. Citado na página 50.

ESP32. Esp32 - datasheet. p. 43, 2016. Disponível em: <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/IoT/esp32_datasheet_en.pdf>. Acesso em: 17 mar. 2021. Citado na página 53.

ESPRESSIF. *ESP-NOW*. 2021. Disponível em: <<https://www.espressif.com/en/products/software/esp-now/overview>>. Citado na página 55.

FALLER, R. R. *Engenharia e Design: Contribuição ao Estudo da Seleção de Materiais no Projeto de Produto com Foco nas Características Intangíveis*. 216 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia - Programa de Pós-Graduação em Minas, Metalúrgica e de Materiais - PPGEM) — UFGRS, Porto Alegre, 2009. Citado na página 99.

FERNANDES, A. R. Análise da qualidade do ar e preocupações com a saúde. p. 80, 2017. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/102619/2/180885.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2021. Citado na página 23.

FIGUEIREDO, E. Requisitos funcionais e não funcionais. UFMG, 2016. Citado na página 29.

FILAMENT2PRINT. *Que é o ASA na impressão 3D?* 2018. Disponível em: <https://filament2print.com/pt/blog/43_asa-impressao-3d.html>. Acesso em: 20 mar. 2021. Citado na página 102.

FILTROS linter. *catalogo técnico geral linter filtros*. 2012. Disponível em: <<https://linterfiltros.com.br/pdf/catalogo-tecnico-geral-linter-filtros.pdf>>. Citado na página 173.

FIORIO, R. *Efeitos da incorporação de Oligouretonos de Baixa Massa Molar nas Propriedades Térmicas, Mecânicas e Reológicas do Poliuretano Termoplástico*. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia - Programa de Pós-Graduação em Minas, Metalúrgica e de Materiais - PPGEM) — UFGRS, Porto Alegre, 2007. Citado na página 101.

FLUENT, A. Fluent 14.0 user's guide. ANSYS FLUENT Inc, 2011. Citado na página 76.

GANSSLE, J. *The firmware handbook*. [S.l.]: Elsevier, 2004. Citado na página 59.

GUPTA, Y. et al. Design and fabrication of air purifier using hepa filter. *Lovely Professional University- Índia*, 2019. Citado na página 68.

HARDMAN, K. Calendering. In: *Processing Plastics*. [S.l.]: Springer, 1972. p. 69–74. Citado na página 88.

HAT, R. *O que é API REST?* Disponível em: <<https://www.redhat.com/pt-br/topics/api/what-is-a-rest-api>>. Acesso em: 15 mar. 2021. Citado na página 106.

HATCH, J. *Aluminum: Properties and Physical Metallurgy*. [S.l.]: ASM, 1984. Citado na página 100.

INSTITUTE, P. M. *Um guia do conhecimento em gerenciamento de projetos- Guia PMBOK*. [S.l.: s.n.], 2017. 726 p. Citado na página 32.

ISO16000. Geneva, CH, 2014. v. 2014. Citado na página 47.

JARDIM, C. H. Relações entre entre temperatura, umidade relativa do ar e pressão atmosférica em área urbana: comparação horária entre dois bairros no município de são paulo-sp. *Revista Geografias*, p. 128–142, 2011. Citado na página 23.

KELLY, F.; FUSSELL, J. Air pollution and airway disease. *Clinical & Experimental Allergy*, Wiley Online Library, v. 41, n. 8, p. 1059–1071, 2011. Citado na página 24.

LARA, A. R. *Doenças relacionadas à poluição do ar*. 2020. <<https://www.msdmanuals.com/pt/casa/dist%C3%BArbios-pulmonares-e-das-vias-respirat%C3%B3rias/doen%C3%A7as-pulmonares-ambientais/doen%C3%A7as-relacionadas-%C3%A0-polui%C3%A7%C3%A3o-do-ar>>. Acesso em: 17 mar. 2021. Citado 2 vezes nas páginas 23 e 49.

LIMA, C. B. Técnicas de projetos eletrônicos com os microcontroladores avr. *Edição do autor-Clube de Autores*, 2010. Citado na página 57.

MADENCI, E.; GUVEN, I. *The finite element method and applications in engineering using ANSYS®*. [S.l.]: Springer, 2015. Citado na página 96.

MALHEIROS, T. F.; JR, A. P.; COUTINHO, S. M. V. Agenda 21 nacional e indicadores de desenvolvimento sustentável: contexto brasileiro. *Saúde e Sociedade*, SciELO Public Health, v. 17, p. 7–20, 2008. Citado na página 22.

MATWEB. *Overview of materials for PETG copolyester*. 2021. Disponível em: <http://www.matweb.com/search/datasheet_print.aspx?matguid=4de1c85bb946406a86c52b688e3810d0>. Acesso em: 16 mar. 2021. Citado 3 vezes nas páginas 9, 101 e 102.

MATWEB. *Overview of materials for Thermoplastic Polyurethane, Elastomer, Glass Filled*. 2021. Disponível em: <<http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=2fe782a31c4b4bed984b49651762b086&ckck=1>>. Acesso em: 16 mar. 2021. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 101.

MEGSON, T. *An Introduction To Aircraft Structural Analysis*. 1. ed. [S.l.]: Elsevier, 2010. Citado na página 85.

MICROSOFT. *Padrão Publisher-Subscriber*. 2018. Disponível em: <<https://docs.microsoft.com/pt-br/azure/architecture/patterns/publisher-subscriber>>. Acesso em: 16 mar. 2021. Citado na página 105.

MOHANEY, P.; SONI, E. G. Aluminium composite panel as a facade material. *International journal of engineering trends and technology (IJETT)-Volume*, v. 55, 2018. Citado na página 99.

MOZILLA. *HTTP Tutoriais*. 2021. Disponível em: <<https://developer.mozilla.org/pt-BR/docs/Web/HTTP>>. Acesso em: 15 mar. 2021. Citado na página 105.

NORTON, R. L. *Projeto de máquinas: uma abordagem integrada*. 4. ed. [S.l.]: Porto Alegre: Bookman, 2013. Citado na página 100.

OMS. Who. air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulphur dioxide. global update 2005. *Summary of Risk Assessment*, 2006. Citado na página 23.

OMS. *How air pollution is destroying our health*. 2020. Disponível em: <<https://www.who.int/news-room/spotlight/how-air-pollution-is-destroying-our-health>>. Acesso em: 16 mar. 2021. Citado na página 132.

PLANTOWER. *PMSA003I-DATASHEET*. 2018. Disponível em: <https://cdn-shop.adafruit.com/product-files/4632/4505_PMSA003I_series_data_manual_English_V2.6.pdf>. Citado na página 62.

POLLUTANTS, C. on the Medical Effects of A. The effects of long-term exposure to ambient air pollution on cardiovascular morbidity: Mechanistic evidence. 2018. Citado na página 23.

PRUSSIN et al. Total virus and bacteria concentrations in indoor and outdoor air. *Environmental science & technology letters*, NIH Public Access, v. 2, n. 4, p. 84, 2015. Citado na página 24.

RIBEIRO, H.; ASSUNÇÃO, J. V. d. Efeitos das queimadas na saúde humana. *Estudos avançados*, SciELO Brasil, v. 16, n. 44, p. 125–148, 2002. Citado na página 49.

RIZZO, M. C. O impacto do meio ambiente no trato respiratório. *J pediatr*, v. 74, n. Supl 1, p. S12–20, 1998. Citado na página 24.

- SCHIRMER, W. N. et al. A poluição do ar em ambientes internos e a síndrome dos edifícios doentes. *Ciência & Saúde Coletiva*, SciELO Brasil, v. 16, n. 8, p. 3583–3590, 2011. Citado na página 22.
- SCHNEIDER, R. P. et al. *Manuseio de Produtos Químicos*. [S.l.]: Capítulo, 2011. Citado na página 67.
- SHIGLEY, J. E.; MISCHKE; R BUDYNAS, R. G. C. *Projeto de Engenharia Mecânica*. 7. ed. [S.l.]: Porto Alegre: Bookman, 2005. Citado na página 99.
- SILVA, M. V. B. D. *Caracterização Mecânica de Materiais Utilizados em Prototipagem Rápida por Deposição de Material Fundido para Aplicação Aeroespacial*. 112 f. Monografia (Graduação em Engenharia Aeroespacial) — Faculdade do Gama, Universidade de Brasília, UnB, Brasília, 2018. Citado na página 101.
- SL, H. I. Ficha tÉcnica cianocrilato. p. 4, 2018. Disponível em: <<http://www.heypar.eu/wp-content/uploads/2018/02/CIANOCRILATO.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2021. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 103.
- SPARKS, T.; CHASE, G. *Filters and filtration handbook*. [S.l.]: Elsevier, 2016. Citado na página 69.
- SPEC. Datasheet dgs-so2. 2017. Disponível em: <<https://www.spec-sensors.com/wp-content/uploads/2017/01/DGS-SO2-968-038.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2021. Citado na página 49.
- STACBOND. *Technical data sheet ACM*. 2021. Disponível em: <<https://stacbond.es/en/paneles/stac-bond-pe/>>. Acesso em: 19 mar. 2021. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 100.
- TAGLIAFERRO, G. V. *Equação da Energia para Regime Permanente*. 2012. Citado na página 174.
- WINSEN. Mq131 - datasheet. p. 6, 2014. Disponível em: <<https://aqicn.org/air/view/sensor/spec/o3.winsen-mq131.pdf>>. Acesso em: 17 mar. 2021. Citado na página 50.
- XU, Z. *Fundamentals of Air Cleaning Technology and Its Application in Cleanrooms*. 1a edição. ed. [S.l.]: Springer, 2014. Citado na página 66.
- XU, Z.; ZHOU, B. *Fundamentals of air cleaning technology and its application in cleanrooms*. [S.l.]: Springer, 2014. Citado 2 vezes nas páginas 5 e 91.
- YUAN, M. *Conhecendo o MQTT*. 2017. Disponível em: <<https://developer.ibm.com.br/technologies/iot/articles/iot-mqtt-why-good-for-iot/>>. Acesso em: 15 mar. 2021. Citado 2 vezes nas páginas 105 e 109.
- ZORAN, M. A. et al. Assessing the relationship between surface levels of pm2. 5 and pm10 particulate matter impact on covid-19 in milan, italy. *Science of the total environment*, Elsevier, v. 738, p. 139825, 2020. Citado na página 24.

Apêndices

APÊNDICE A – TERMO DE ABERTURA DE PROJETO (TAP)

A.1 Descrição do Projeto



Figura 58 – Logomarca do Produto *CleanAir*

O projeto é um sistema de purificação de ar que detecta moléculas de impurezas no ar, composto por duas partes um aparelho maior que filtra o ar e devolve para o ambiente e um aparelho menor responsável por averiguar se o local precisa de uma purificação.

- *What?* (O que) Purificador de ambiente portátil que seja capaz de medir a qualidade do ar e filtrar o ar de microorganismos contaminantes em casas.
- *Why?* (Por que) Aliviar a insegurança e resguardar a saúde respiratória do usuário.
- *Where?* (Onde) Residências.
- *When?* (Quando) O desenvolvimento será de fevereiro a maio de 2021.
- *Who?* (Quem) Grupo de estudantes de graduação de engenharia da Faculdade do Gama.
- *How?* (Como) Será desenvolvido um produto que faça a captação do ar e devolução do ar filtrado para o ambiente, analisando a periodicidade que deve ser feito de acordo com os níveis elencados como positivos para o índice de qualidade do ar interior.
- *How Much?* (Quanto) Custos foram estimados em R\$ 3.417,47.

A.2 Justificativa

A poluição do ar doméstico é uma das áreas que precisa de atenção no combate a doenças respiratórias, visto que há a tendência que cada vez mais as pessoas passem mais tempo em suas residências. De acordo com a [OMS \(2020\)](#), nove em cada dez pessoas estão expostas a partículas e agentes perigosos, que afetam o nosso sistema respiratório. Sendo a má qualidade do ar um dos ativos para crises de problemas respiratórios e doenças cardíacas, que afetam muitas pessoas no mundo inteiro. Logo, o projeto tem o intuito de desenvolver um purificador de ar com um preço de mercado equivalente a produtos similares para reduzir as partículas infecciosas no ar para que dessa forma possa diminuir o índice de problemas respiratórios.

A.3 Objetivo

Sensorear a qualidade do ar de uma área pré-determinada, analisando o nível dos gases e partículas poluentes, visando o registro e alerta para a purificação do ar naquele ambiente, notificando o usuário. A aplicação tem o objetivo de informar, alertar e notificar de possíveis agentes que possam prejudicar a saúde do usuário. Com integração em aplicativo para o melhor monitoramento dos ambientes residenciais, o intuito do projeto é auxiliar na qualidade do ar e consequentemente diminuir a frequência de doenças respiratórias devido ao acúmulo de poluentes nas residências.

A.4 Requisitos

Os requisitos de alto-nível elencados foram:

- Sensoriamento automatizado de gases e partículas infecciosas
- Purificar o ar de ambientes fechados com metragem entre 70-80 m^2 com densidade máxima de 0.3-5 pessoas/ m^2
- Possuir material resistente a impactos e água
- Autonomia energética
- O produto deverá possuir menor custo que similares
- O produto deverá ser recarregável
- O produto deverá ter mobilidade e até 1 metro de altura
- O produto não deverá produzir ruídos acima de 60 dB

- O produto deverá ser de fácil manutenção e uso
- O sistema deverá detectar quando não for necessário manter a purificação ligada
- O sistema deverá notificar o usuário sobre a qualidade do ar e quando for necessário ter a troca do filtro
- O produto deverá possuir um aplicativo para controle remoto

A.5 Riscos

A tabela 35, descreve os riscos elencados durante a abertura do projeto.

Tabela 35 – Riscos na Abertura do Projeto

ID	Risco	Consequência
1	Mudança do Escopo	Alteração de Cronograma e mudança de requisitos
2	Solução não atender os objetivos propostos	Mudança de produto e escopo
3	Desistência de membros	Alteração de quantidade de trabalho individual
4	COVID-19	Falta de membro e menor facilidade de comunicação pelo trabalho remoto

A.6 Marcos do Projeto

Durante a execução projeto, ocorrerão entregas principais, os Pontos de Controle (PC). Na tabela 36, é descrito os marcos e suas datas.

Tabela 36 – Marcos do projeto

Marco	Descrição	Data
PC 1	Problematização, concepção e detalhamento da solução	21/03
PC 2	Projeto e construção do subsistema da solução da proposta	18/04
PC 3	Projeto de subsistemas e integração da solução proposta	09/05

A.7 Stakeholders

A.7.1 Equipe

Engenharia Aeroespacial: Caio Araújo, Dérick Fernandes e Thaís Melo.

Engenharia Automotiva: Gabriel Castro e Natália Guimarães.

Engenharia Eletrônica: Daniela Oliveira, Manuella Ramos e Luisa Silva.

Engenharia de Energia: Ginette Schroetter e Lívia Moura

Engenharia de Software: Caio Moraes, Eduardo Ribeiro, Rossicler Junior e Sara Silva

A.7.2 Professores

Alex Reis (Engenharia de Energia)

Ricardo Matos Chaim (Engenharia de Software)

Rhander Viana (Engenharia Automotiva)

José Felício da Silva (Engenharia Eletrônica)

Paolo Gessini (Engenharia Aeroespacial)

Junpyo Lee (Engenharia Aeroespacial)

APÊNDICE B – Estrutura Analítica do Projeto (EAP)

B.1 Ponto de Controle 1

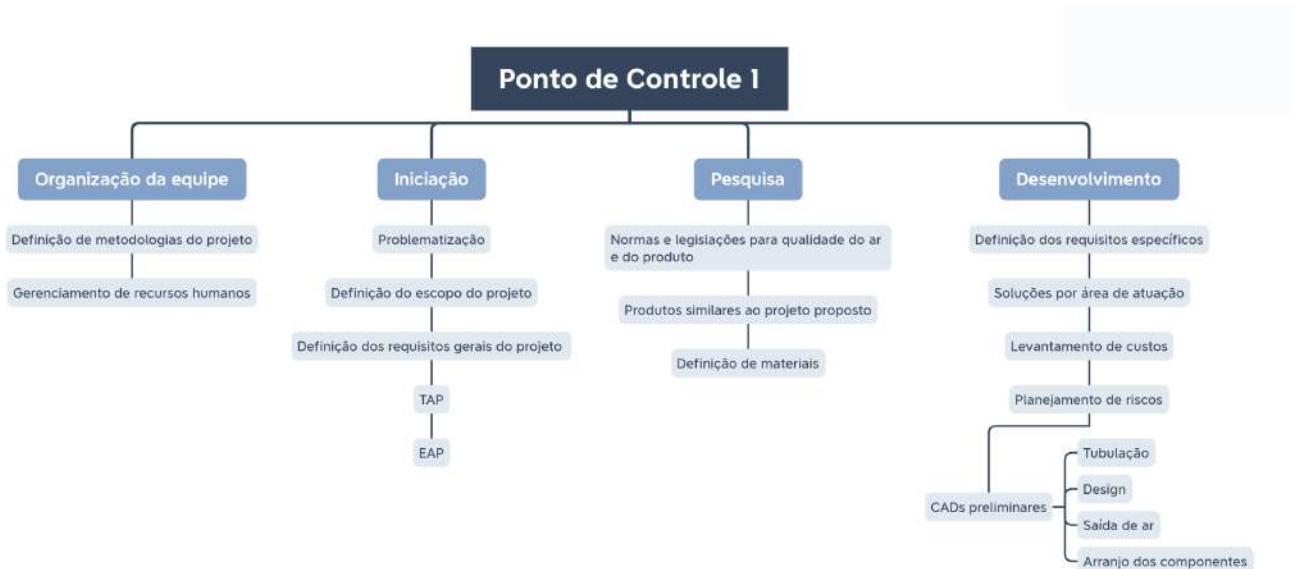


Figura 59 – Organograma da EAP para o ponto de controle 1.

B.2 Ponto de Controle 2

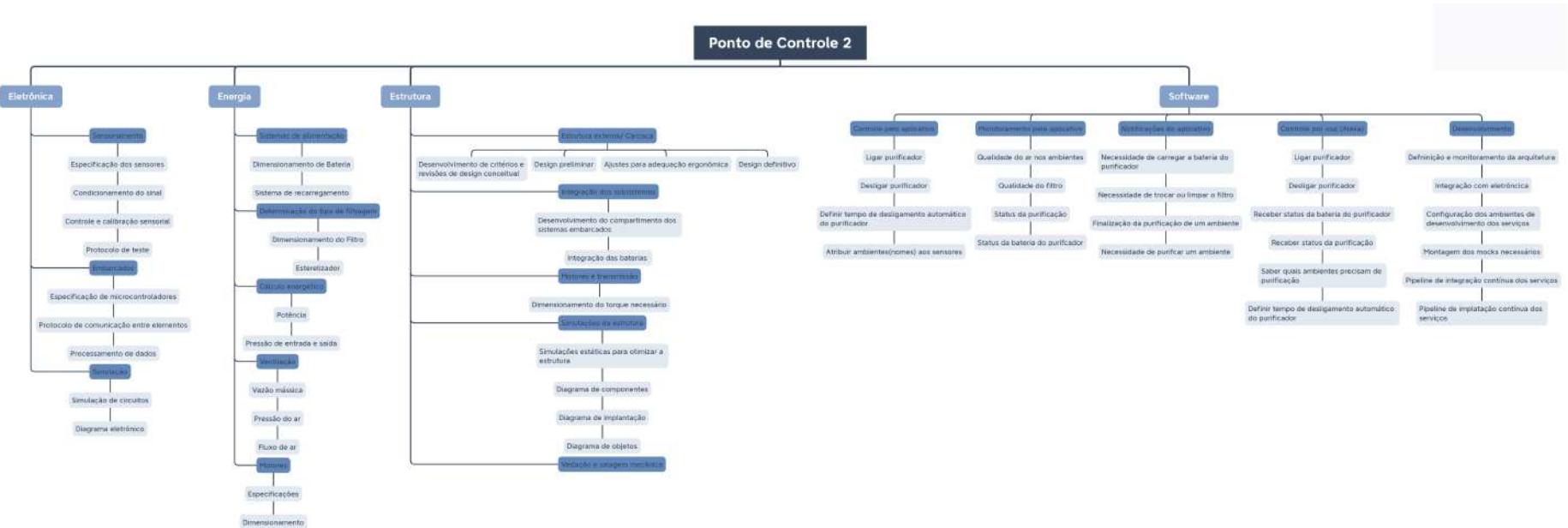


Figura 60 – Organograma da EAP para o ponto de controle 2.

B.3 Ponto de Controle 3

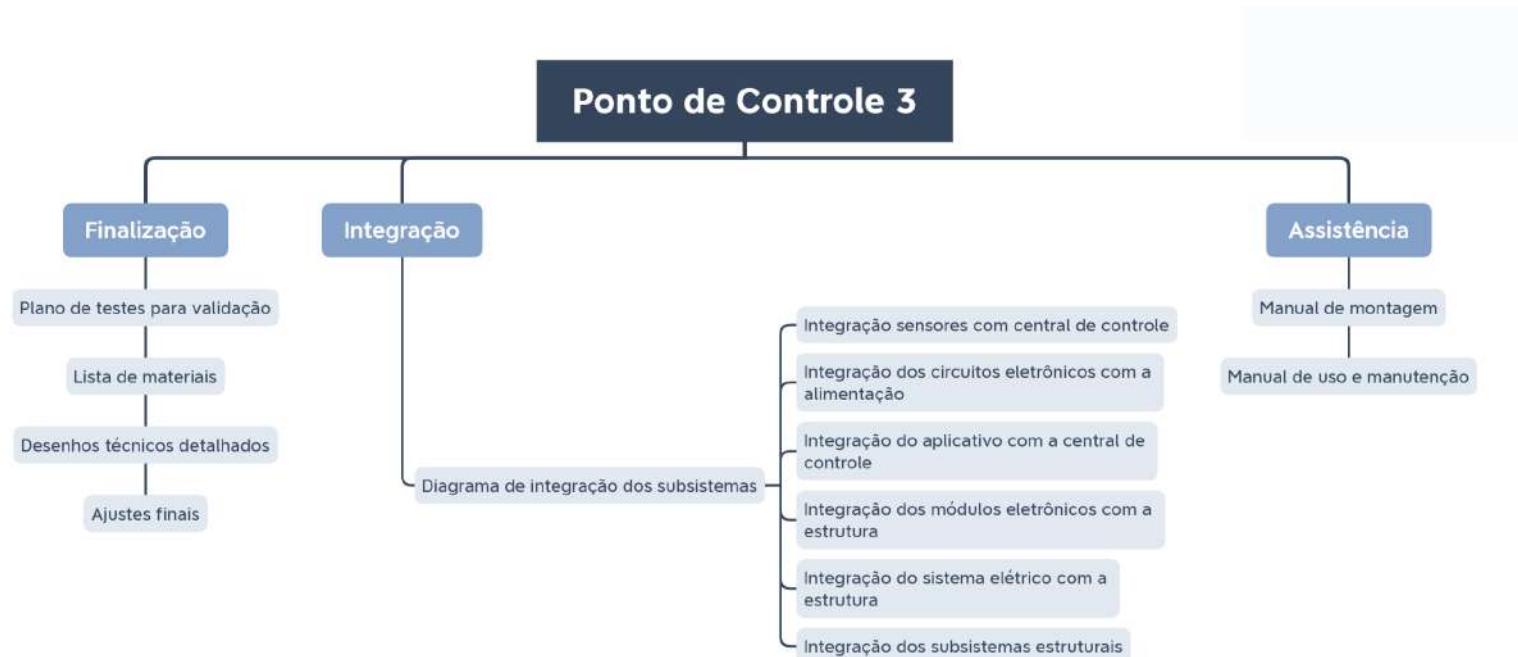


Figura 61 – Organograma da EAP para o ponto de controle 3.

APÊNDICE C – Principais Decisões de Software

Algumas decisões relevantes para software foram tomadas desde o começo do projeto. Este apêndice é destinado a manter esse histórico. As principais decisões foram:

- **(24/02/2021) Integração com Alexa:** Por decisão do grupo, foi retirado do escopo do projeto a locomoção autônoma do purificador, consequente foi tirado do escopo de software a funcionalidade de mapeamento automático e de desvio de obstáculos. Então, para aumentar as funcionalidades de software, a equipe decidiu incluir no escopo integração com a assistente virtual Alexa.
- **(12/03/2021) Uso do protocolo MQTT:** Em razão da decisão, feita pela equipe de Eletrônica, de usar um microcontrolador que já trabalha com protocolo MQTT, a equipe de Software também irá usar o protocolo para se comunicar com o purificador. Para auxiliar nessa comunicação, será utilizado o RabbitMQ, seu uso está explicado melhor na [seção 4.9](#).

C.1 Metodologia de desenvolvimento

Considerando as necessidades do projeto e a familiaridade dos integrantes com algumas práticas, a equipe de software decidiu usar para desenvolvimento uma metodologia híbrida que une alguns aspectos das metodologias Kanban e *Extreme Programming (XP)*. Nos tópicos seguintes essas duas metodologias são descritas e são listadas quais práticas são adotadas pela equipe que, por ser pequena, considera que os aspectos escolhidos são suficientes para o gerenciamento das atividades e desenvolvimento do sistema.

C.1.1 Kanban

O Kanban é um *framework* de gestão, utilizado principalmente para uma maior produtividade e otimização da gestão do trabalho. O termo tem o significado de "tabuleiro", que é um sistema orientado através de colunas, em que cada uma dessas colunas representa o estado de uma atividade (a fazer, fazendo, feito), assim, cada uma das atividades vão sendo movidas para a coluna que represente o estado atual da mesma.

Neste projeto, são utilizadas as seguintes colunas:

- **A fazer:** Todas as atividades do projeto que estão a espera para serem executadas.

- **Fazendo:** Atividades que já estão sendo executadas.
- **Em revisão:** Atividades prontas, a espera da revisão se um outro membro.
- **Feito:** Atividades concluídas.

A utilização do Kanban no projeto é motivada essencialmente pela facilidade da visualização do andamento atual das atividades, além de uma melhor forma de gerenciar o fluxo de trabalho da equipe. Com essa visão que o Kanban proporciona, é possível observar a quantidade de tarefas em andamento, auxiliando o planejamento para que a equipe não fique sobrecarregada e nem com uma baixa carga de atividades.

A equipe utiliza o [ZenHub](#) como Kanban digital em que cada atividade é uma *issue* do [GitHub](#).

C.1.2 *Extreme Programming(XP)*

Extreme Programming(XP) é uma metodologia ágil de desenvolvimento de software, bem dinâmica e flexível. O foco da metodologia é entregar o software com a qualidade necessária quando necessário. As práticas tem o objetivo de mitigar os riscos e aumentar as chances de sucesso do produto.

Alguns valores da metodologia adotados pela equipe são:

- Simplicidade: Fazer as coisas necessárias e manter a arquitetura do sistema o mais simples possível visando a facilidade de manutenção e de revisão.
- *Feedback Constante:* Sempre que possível, fazer comentários avaliativos sobre os esforços já investidos para melhor identificar pontos que podem ser melhorados e com isso revisar as práticas usadas pela equipe.

As práticas do XP utilizadas no projeto são:

- Programação Pareada: Programação em par em apenas um computador. A dupla costuma ser formada por um iniciante na tecnologia e outro que já tem algum conhecimento da tecnologia. Isso é feito na equipe quando for necessário e viável.
- Padronização do Código: Para facilitar a manutenção e legibilidade do código a equipe usa as folhas de estilo das linguagens de programação escolhidas como padrões a serem seguidos nos códigos.
- Refatoração: Caso alguma parte do código não esteja seguindo boas práticas de programação, tenha um potencial considerável de provocar erros no software ou possa ser simplificada, ela precisa ser refatorada.

- Integração Contínua: Sempre que uma funcionalidade estiver pronta ela é integrada à versão atual do sistema para que ele esteja sempre atualizado.

A principal motivação da equipe em usar o XP é que ele oferece condições para os desenvolvedores responderem com eficiência a mudanças no sistema.

APÊNDICE D – Cronograma

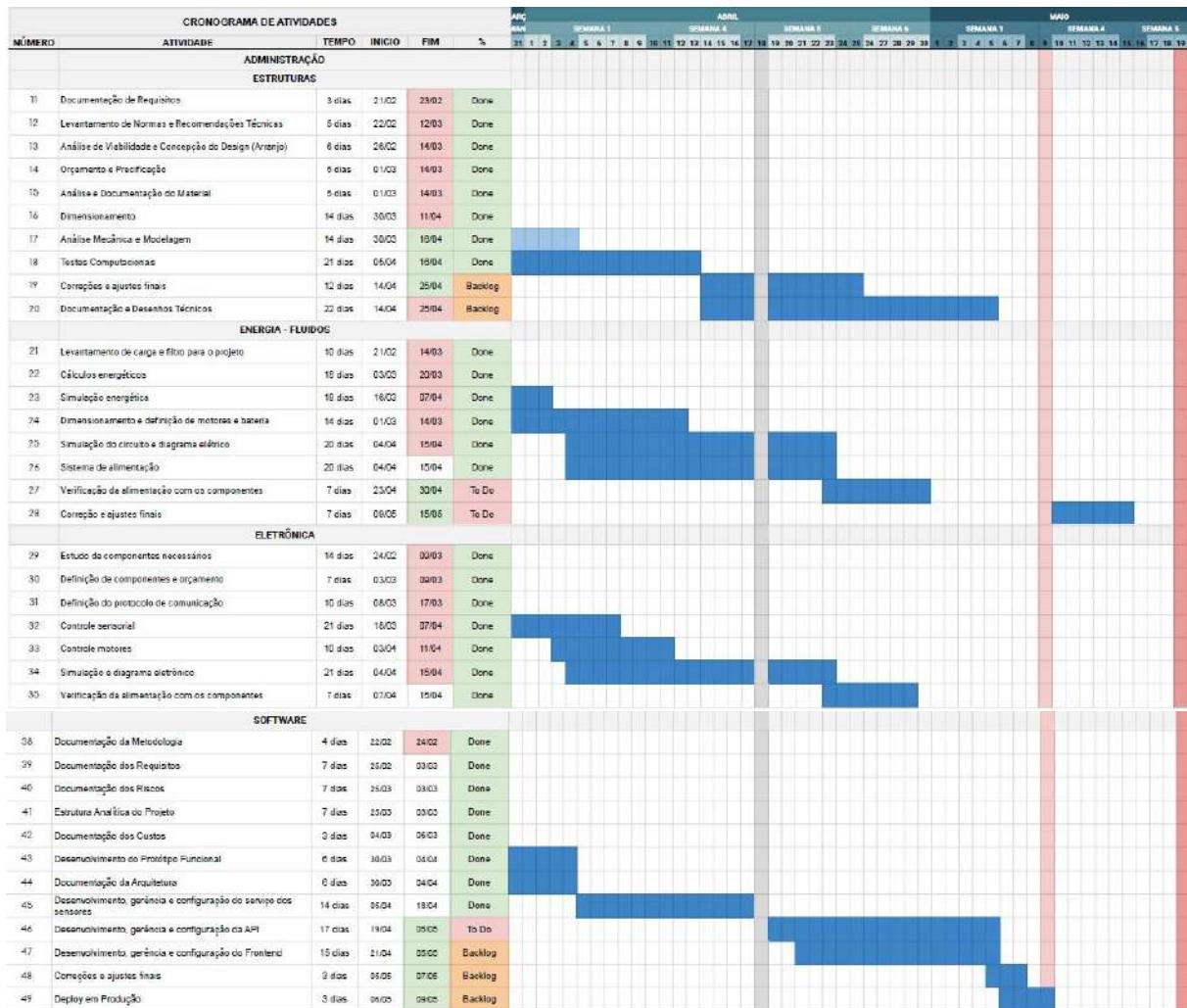


Figura 62 – Cronograma do Projeto

APÊNDICE E – Memorial de Cálculos da Solução Energética

E.1 Dimensionamento de Carregador do *Mobile Sensor*

E.1.1 Fonte de Tensão

Para calcular a fonte de tensão necessária foi preciso saber a tensão de pico (V_p) que estaria chegando ao circuito proposto, portanto utilizando a equação E.1, chegou-se ao seguinte resultado:

$$\begin{aligned} V_p &= V_{\text{entrada}} \cdot V_{rms} \\ &= 220 \cdot 1,414 \\ &= 311V \end{aligned} \tag{E.1}$$

Em que:

V_{entrada} é a tensão da rede elétrica (220V);

V_{rms} é a raiz quadrada média ou valor efetivo de uma forma de onda.

Sabendo que a frequência é de 60 Hz, obedecendo o padrão ABNT (2012) (tipo N).

E.1.2 Transformador

Para converter 220 V_{ca} da rede elétrica em 5 V_{cc} *Mobile Sensor*, primeiro é necessário o uso de um transformador abaixador para reduzir essa alta tensão. Nesta etapa, utilizamos o transformador abaixador 9-0-9, 1,5A, que converte 220 V_{ca} em 9 V_{ca} . No transformador, existem bobinas primárias e secundárias que aumentam ou diminuem a tensão de acordo com o número de voltas das bobinas.

A classificação da corrente depende do requisito de corrente do circuito de carga (circuito que usará a geração CC). A classificação de tensão deve ser maior do que a tensão necessária. Neste caso, se precisarmos de 5 V_{CC} , o transformador deve ter pelo menos uma classificação de 7V, pois o regulador de tensão IC 7805 precisa de pelo menos 2V a mais, ou seja, 7V para fornecer uma tensão de 5V.

E.1.2.1 Indutância

No transformador, o coeficiente de acoplamento é necessário para determinar a magnitude de abaixador de tensão. Assumindo um transformador ideal sem perdas, utilizou-se a equação E.2:

$$\begin{aligned} V_{saída} &= \frac{V_{entrada}}{\frac{L_p}{L_s}} \\ 9 &= \frac{220}{\frac{L_p}{L_s}} \\ \frac{L_p}{L_s} &= 24,4 \end{aligned} \tag{E.2}$$

Onde:

- $V_{entrada}$: Tensão de entrada (o lado primário do transformador);
- $V_{saída}$: Tensão de saída (o lado secundário de transformador);
- $\frac{L_p}{L_s}$: coeficiente de acoplamento entre os enrolamentos primário e secundário, e L_p e L_s são as indutâncias das bobinas primária e secundária, respectivamente.

E.1.3 Retificador

A ponte retificadora remove a parte negativa da V_{ac} , produzindo a V_{cc} parcial. Isso é feito usando 4 diodos. Os diodos permitem que a corrente flua apenas em uma direção. Na figura 63 pode-se observar a retificação do sinal de tensão de $9V_{ac}$ representada pela onda amarela, para $9V_{cc}$ que está representada pela meia-onda azul (BRANDT, 1975).

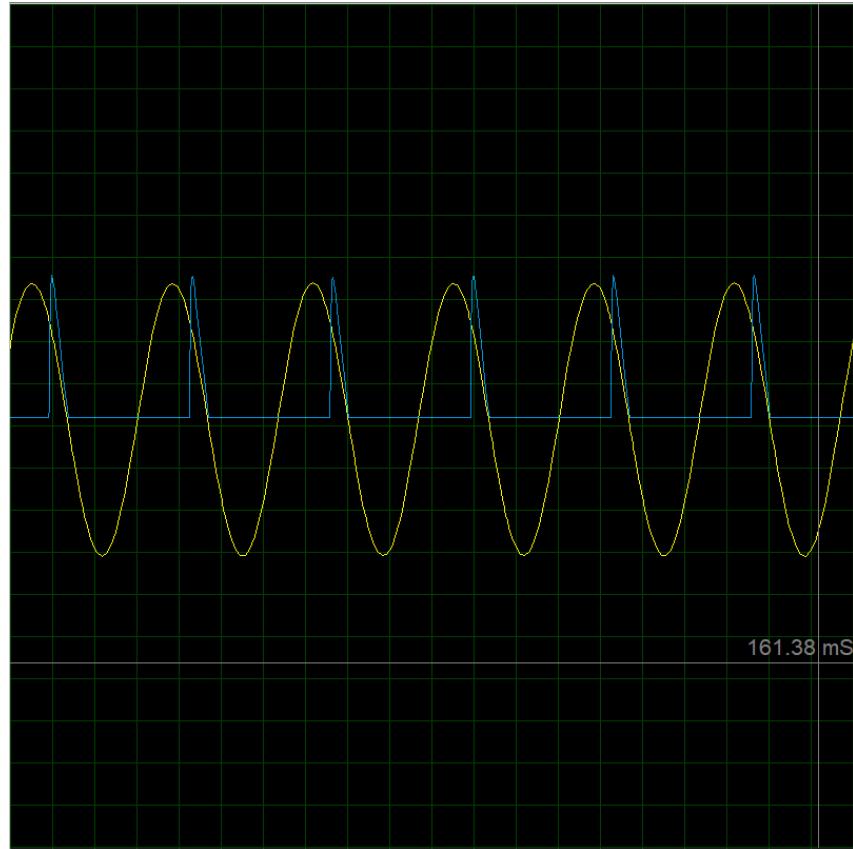


Figura 63 – Retificação da tensão alternada.

E.1.4 Filtração

A tensão da saída após a retificação não é uma tensão V_{cc} adequada, é uma saída pulsante e tem um fator de ondulação muito alto. Esta saída pulsante não é necessária e, portanto, um capacitor é necessário. Para achar a capacitância ([CIPPELLI, 1988](#)) necessária para este circuito, a equação [E.3](#):

$$C = \frac{I \cdot t}{V} \quad (\text{E.3})$$

Onde:

I é a corrente de saída máxima;

C é a capacitância;

t é o tempo;

Temos uma onda de frequência de 120Hz após a conversão de 60Hz CA em CC, através de um retificador de ponte de onda completa. Como a parte negativa do pulso é convertida em positiva, um pulso será contado como dois. Portanto, o período de tempo será de $1/120 = 0,0083\text{s} = 8,3\text{ms}$.

Sabendo que V_p é a tensão de pico, tensão fornecida ao regulador de tensão IC (+2 a mais do que a nominal, portanto, $5 + 2 = 7$) .

9-0-9 é o valor RMS das transformadas, então a tensão de pico V_p é:

$$\begin{aligned} V_p &= V_{rms} \cdot 1,414 \\ &= 9 \cdot 1,414 \\ &= 12,73V \end{aligned} \tag{E.4}$$

Agora, 1,4 V será descartado em 2 diodos (0,7 por diodo), pois 2 serão polarizados para frente para meia onda.

$$\text{Então, } 12,73 - 1,4 = 11,33V$$

Quando o capacitor descarrega no circuito de carga, ele deve fornecer 7V a IC 7805 para funcionar, então finalmente a tensão de saída V é:

$$V = 11,33 - 7 = 4,33V$$

Com essa tensão da saída, a capacidade é:

$$\begin{aligned} C &= \frac{1500mA \cdot 8,3ms}{4,33} \\ &= 2875\mu F \end{aligned}$$

Após o capacitor ser adicionado no circuito, pode-se observar na figura 64 uma onda rosa que mostra a filtragem das ondas pulsantes.

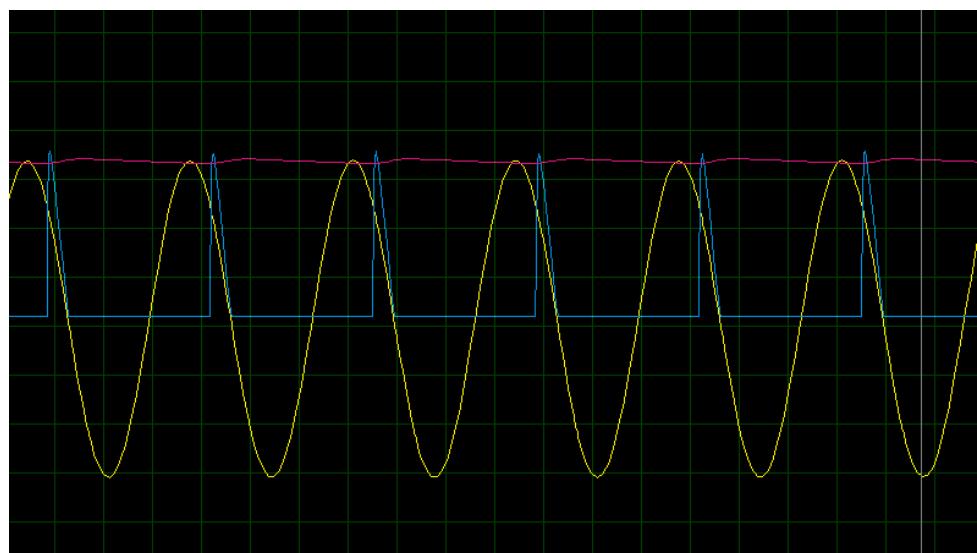


Figura 64 – Filtração de tensão alternada para tensão contínua.

E.1.5 Regulador de tensão

O regulador de tensão IC 7805 é usado para fornecer 5 V_{cc} regulado. A tensão de entrada deve ser 2 V a mais do que a tensão de saída nominal para o funcionamento adequado do IC, o que significa que pelo menos 7 V é necessário, embora possa operar na faixa de tensão de entrada de 7 a 20 V. Os reguladores de tensão têm todos os circuitos internos para fornecer uma CC regulada adequada. Um capacitor de $0,01\text{ }\mu\text{F}$ deve ser conectado à saída do 7805 para eliminar o ruído, produzido por mudanças transitórias na tensão.

E.2 Dimensionamento do Carregador do Purificador

E.2.1 Transformador

Semelhante ao circuito do *Mobile Sensor*, para converter 220 V_{ca} em 24 V_{ca} , primeiro é necessário o uso de um transformador abaixador. Para achar a magnitude de abaixador de tensão, temos que calcular o coeficiente de acoplamento.

E.2.1.1 Indutância

Para encontrar o coeficiente de acoplamento, do transformador, utilizou-se a equação E.2 mas para uma tensão de saída ($V_{saída}$) de 24V. Assim foi encontrado:

$$\frac{L_p}{L_s} = 9,17.$$

E.2.2 Retificador

De maneira semelhante ao retificador do *Mobile Sensor*, é utilizada a ponte de 4 diodos que permitem que a corrente flua apenas em uma direção. Na figura 65 pode-se observar a retificação do sinal de tensão de $24V_{ca}$, a onda amarela para $24V_{cc}$ a onda azul.

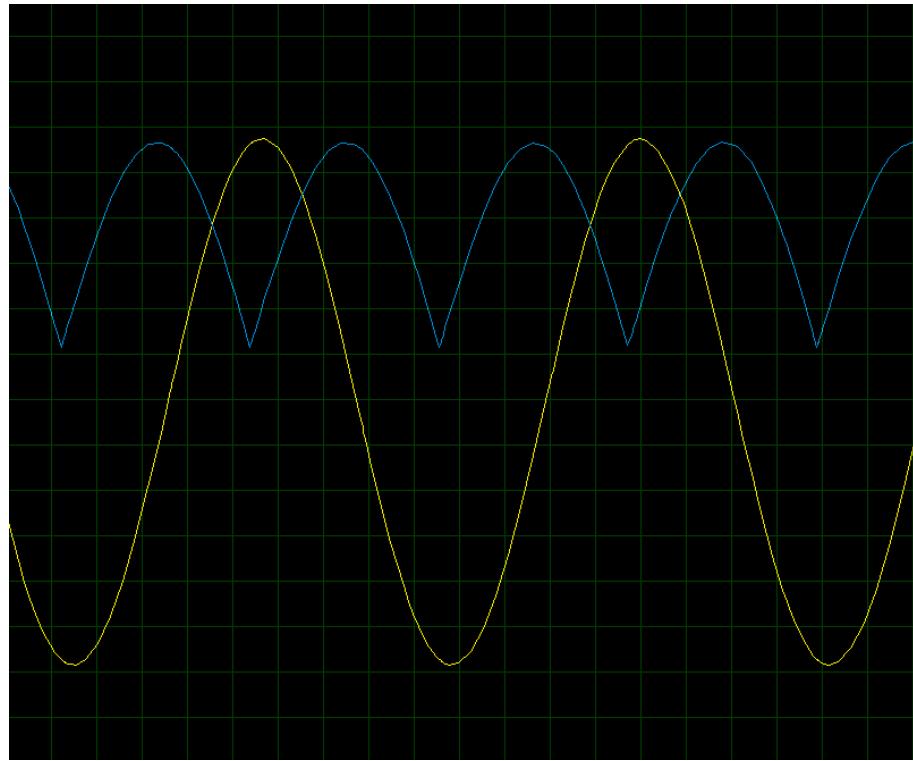


Figura 65 – Retificação da tensão alternada.

E.2.3 Filtração

A saída após a retificação não é uma V_{cc} adequada, é uma saída de oscilação e tem um fator de ondulação muito alto. Esta saída pulsante não é necessária, portanto, é preciso utilizar um capacitor. Considerando todas as características da rede elétrica já apresentada, mas considerando o carregador de 24V, encontrou-se a tensão de pico de:

$$\begin{aligned} V_p &= V_{rms} \cdot 1,414 \\ &= 1,414 \cdot 24 = 33,94V \end{aligned}$$

Considerando o mesmo método de filtração do *Mobile Sensor* temos que 1,4 V será descartado em 2 diodos (0,7 por diodo) assim obtendo $33,94 - 1,4 = 32,54V$. A partir disso, sabe-se que o capacitor descarrega no circuito de carga, e então ele deve fornecer 24V para a bateria funcionar, então $V = 32,54 - 24 = 8,54V$.

Por fim, a capacidade é calculada com a equação E.3 temos que:

$$C = 2915,7\mu F$$

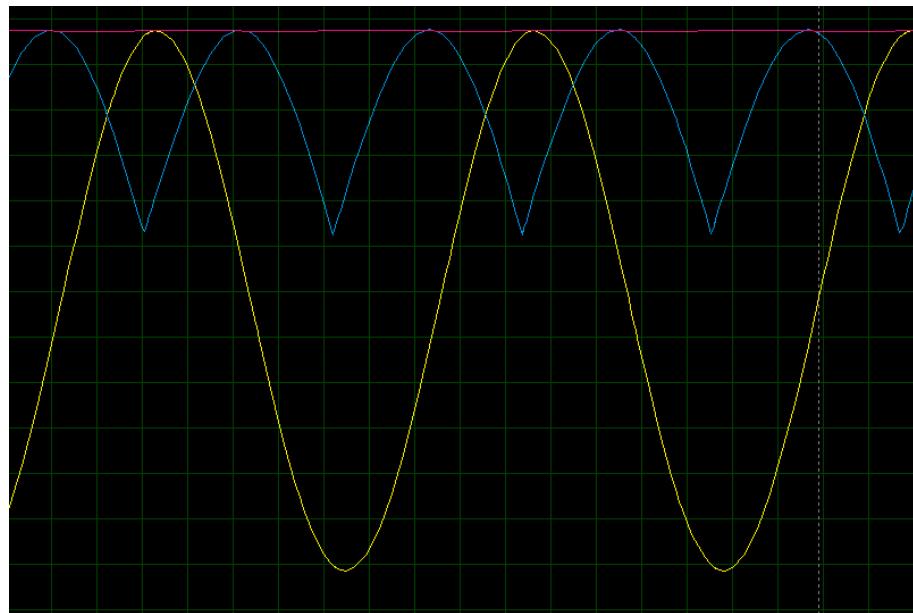


Figura 66 – Filtração.

Pode-se observar a simulação da filtragem do sinal na figura 66 no qual o sinal amarelo representa o sinal de $24V_{ac}$, o azul mostra o sinal já retificado e o rosa o sinal filtrado.

E.3 Classificação dos filtros

A classificação utilizada pela norma (ABNT, 2008) tem como base as normas EN 779:2012 e EN 1822:2009 que trazem tabelas com os critérios de classificação a serem analisados nas escolhas dos filtros presentes nas figuras 67 e 68 abaixo:

Classe de filtro	Retenção média [%]	Eficiência média [%]	Eficiência mínima (com tratamento IPA) [%]
G1	$50 \leq A_m < 65$	-	-
G2	$65 \leq A_m < 80$	-	-
G3	$80 \leq A_m < 90$	-	-
G4	$90 \leq A_m$	-	-
M5	-	$40 \leq E_m < 60$	-
M6	-	$60 \leq E_m < 80$	-
F7	-	$80 \leq E_m < 90$	35
F8	-	$90 \leq E_m < 95$	55
F9	-	$95 \leq E_m$	70

Figura 67 – Classificação de filtros de partículas.

Filter Class	Valor Integral		Valor Local	
	Eficiência %	Penetração %	Eficiência %	Penetração %
E10	85	15	-	-
E11	95	5	-	-
E12	99,5	0,5	-	-
H13	99,95	0,05	99,75	0,25
H14	99,995	0,005	99,975	0,025
U15	99,9995	0,0005	99,9975	0,0025
U16	99,99995	0,00005	99,99975	0,00025
U17	99,999995	0,000005	99,9999	0,0001

Figura 68 – Critérios de avaliação para filtros absolutos.

E.4 Dimensionamento dos cabos elétricos

A norma ABNT NBR 5410 ([ABNT, 2004](#)) estipula os critérios a serem levados em consideração no dimensionamento dos condutores elétricos. Segundo a Tabela 47 da norma o tipo de linha estabelecido é a de instalações fixas em geral para cabos e condutores isolados.

Para instalações residenciais o método de instalação mais comum é o número 7 disposto na tabela 33 da norma ([ABNT, 2004](#)) de condutores isolados ou cabos unipolares

em eletroduto de seção circular embutido em alvenaria. Esse é o método de instalação para cabos embutidos em paredes, o qual a referência é a B1 que será usada para os cálculos seguintes.

Também é importante definir o tipo de isolamento e a temperatura máxima que esse cabo vai suportar. Segundo a tabela 36 da capacidade de condução de corrente para os métodos de referências é possível definir que para instalações residenciais o material utilizado será o PVC, os cabos devem suportar uma temperatura máxima de 70°C e uma temperatura ambiente de 30°C. A temperatura é um critério importante a ser analisado, pois ela modifica a capacidade de condução de corrente do cabo, quanto mais quente o ambiente e o cabo, menos corrente esse cabo suportará (ABNT, 2004).

Utilizando a corrente de projeto do circuito e seguindo o método de instalação B1 e o número de condutores carregados igual a 2, podemos encontrar a seção nominal dos cabos dos equipamentos. Como o valor da corrente do circuito do purificador é de 15A, a seção utilizada será a de 1,5mm² e como a corrente do *Mobile Sensor* é de 3A, a seção será de 0,5mm², a menor exigida pela norma, conforme a figura 69.

Seções nominais mm ²	Métodos de referência indicados na tabela 33											
	A1		A2		B1		B2		C		D	
	Número de condutores carregados											
	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
Cobre												
0,5	7	7	7	7	9	8	9	8	10	9	12	10
0,75	9	9	9	9	11	10	11	10	13	11	15	12
1	11	10	11	10	14	12	13	12	15	14	18	15
1,5	14,5	13,5	14	13	17,5	15,5	16,5	15	19,5	17,5	22	18
2,5	19,5	18	18,5	17,5	24	21	23	20	27	24	29	24
4	26	24	25	23	32	28	30	27	36	32	38	31
6	34	31	32	29	41	36	38	34	46	41	47	39
10	46	42	43	39	57	50	52	46	63	57	63	52
16	61	56	57	52	76	68	69	62	85	76	81	67
25	80	73	75	68	101	89	90	80	112	96	104	86
35	99	89	92	83	125	110	111	99	138	119	125	103
50	119	108	110	99	151	134	133	118	168	144	148	122
70	151	136	139	125	192	171	168	149	213	184	183	151
95	182	164	167	150	232	207	201	179	258	223	216	179
120	210	188	192	172	269	239	232	206	299	259	246	203

Figura 69 – Capacidades de condução de corrente, em amperes

A quantidade de circuitos no eletroduto interfere diretamente na temperatura, quanto mais circuitos passam por dentro do eletroduto mais ele esquenta e esse é um fator crucial para o dimensionamento dos cabos. Logo, utilizando a tabela 42 (ABNT, 2004) de fatores de correção aplicáveis a condutores agrupados em feixe e a condutores agrupados num mesmo plano, é possível observar que a seção nominal mínima atenderá a demanda da corrente dos dois equipamentos conforme as temperaturas nela indicadas.

APÊNDICE F – Esquemáticos Elétricos

F.0.1 Esquemáticos Eletrônicos

Os esquemáticos de conexão entre os componentes da solução eletrônica foram divididos em 3 representações. Essa divisão foi feita de acordo com os sistemas do purificador e do *Mobile Sensor*, além de dividir a parte de potência sendo essa as que apresentam uma conexão separada com os atuadores. Assim, levou-se em consideração que cada esquemático será a base para criação da respectiva placa de circuito impresso (PCI).

No esquemático 1, na figura 70, temos representado as conexões com o motor DC, um circuito utilizando o mosfet IRF540N e um optoacoplador PC817 (além de resistores), com a lâmpada UV e relé de acionamento 12V. Também está representada a conexão da fonte de alimentação 24V (+24V e GND) e 12V (+12V e GND) fornecida pela solução energética.

Para o circuito do controle de rotação do motor DC, temos 2 pinos no *MOTOR_24V* que serão conectados no microcontrolador do purificador sendo um deles para a porta do PWM e o outro para o GND (melhor descrito na parte do esquemático 2). O motor é alimentado com 24V e conectado ao IRF540 e este mesmo é conectado com o optoacoplador ligado aos pinos que irão para o microcontrolador do sistema do purificador.

A mesma ideia é feita para o circuito do acionamento da lâmpada UV sendo os 2 pinos na *LAMPADA_12V* para um pino digital do microcontrolador e o outro para o GND (melhor descrito na parte do esquemático 2). A lâmpada é alimentada com 12V e conectada a um relé no pino NA (normalmente aberto) e o terra (GND) é conectado no NF (normalmente fechado), a parte da bobinas do relé tem a conexão com os 2 pinos que irão para o microcontrolador.

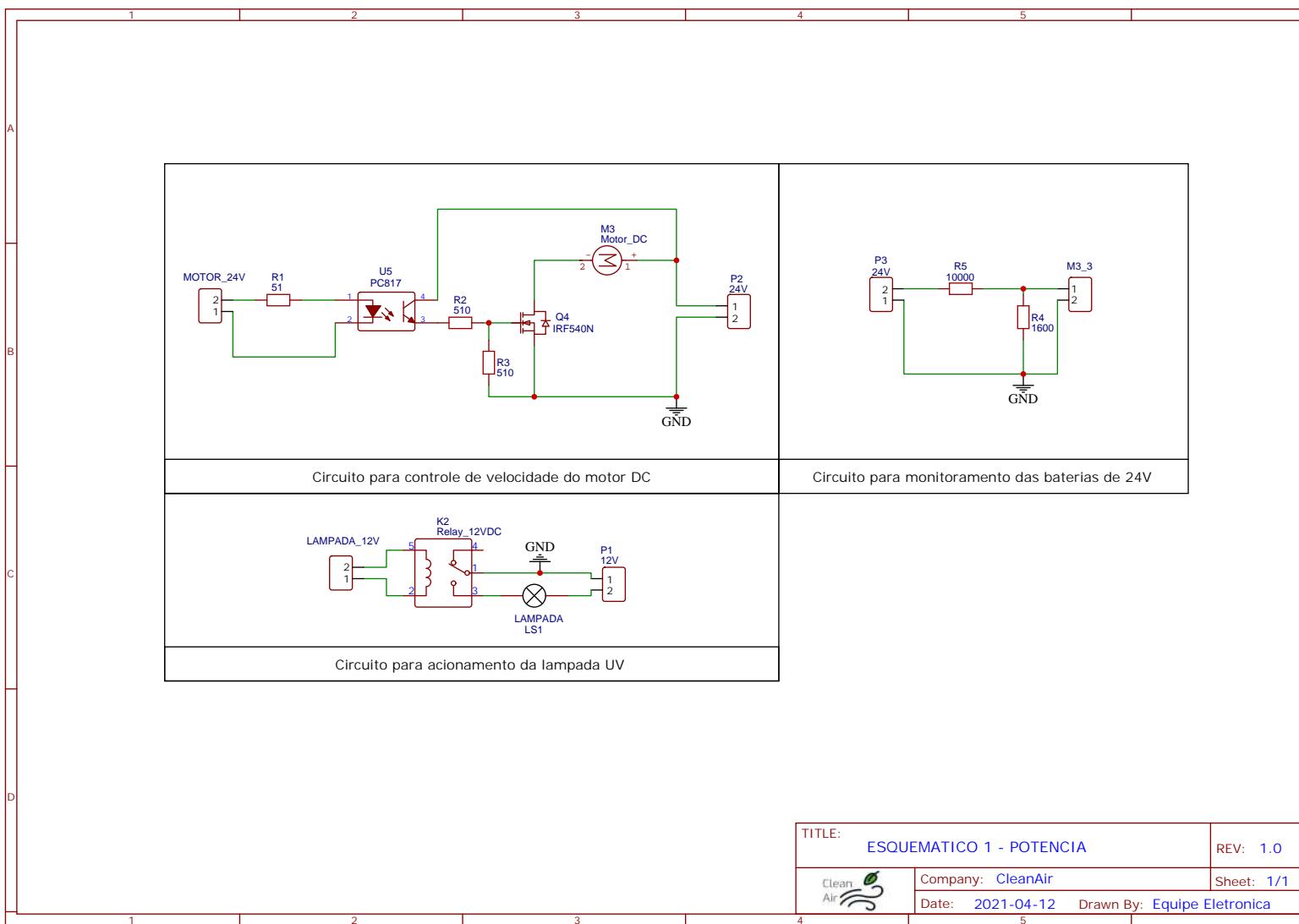


Figura 70 – Diagrama esquemático da conexão para o controle dos atuadores e com a fonte de alimentação.

O microcontrolador 1, sendo este a ESP32 presente no purificador, é responsável por receber os dados dos botões (que funcionam como interruptores) e traduzir a leitura das portas, se estiverem em estado de nível lógico baixo, é apresentado como botão pressionado. Além disso, é responsável também pelo controle de potência dos 3 níveis de velocidade do motor DC por meio da sua funcionalidade de *Pulse Width Modulation* (PWM). Para alimentar o microcontrolador com a bateria 5V por meio do botão de liga e desliga, é montado um circuito com relé, transistores npn, diodos, mosfet e resistores para que o acionamento seja feito de forma segura para o pino Vin do microcontrolador.

Neste esquemático temos representado a conexão entre o microcontrolador 1, os 3 botões ligados a 3 conectores (On/Off, Auto e Reset) em que cada um tem seu pino de dados e o terra comum para eles, os 2 pinos vindo do motor DC (para o controle de rotação por PWM - uma porta I/O do microcontrolador) e a lâmpada UV em um pino digital do microcontrolador. O display LCD 240x320px tem a conexão dos pinos de alimentação para 3.3V e do protocolo SPI com a ESP32. Além disso as portas fêmeas (BAT_24V) são conectadas ao GND e ao pino analógico (A1) do microcontrolador.

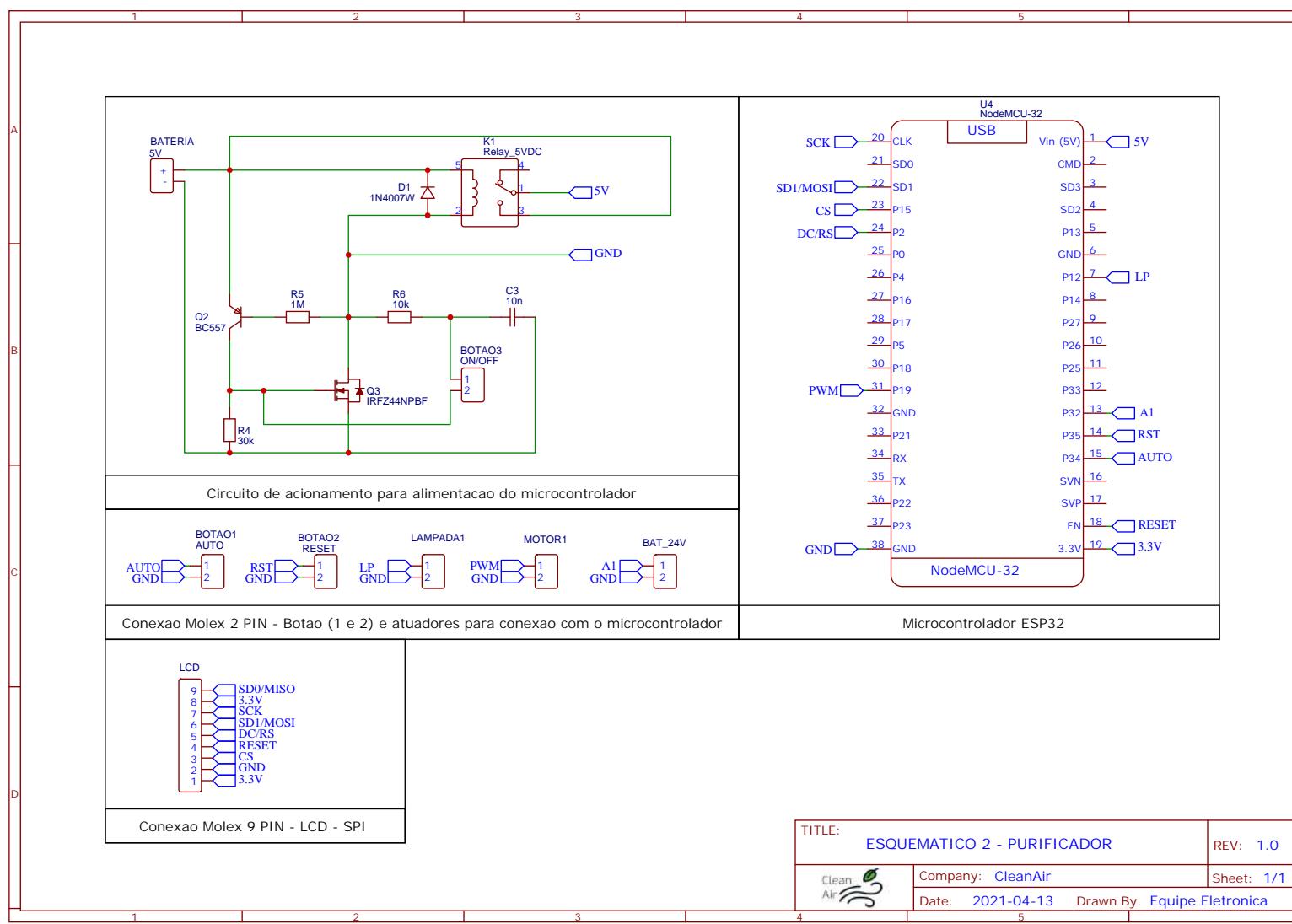


Figura 71 – Diagrama esquemático da conexão do microcontrolador 1 com a fonte de alimentação e os atuadores.

A ESP32 representada no esquemático da figura 72 é o microcontrolador que interpreta os sinais dos sensores, botão e atuador implementado ao *Mobile Sensor*. Assim, para ligar o sistema temos a bateria que possui suas 2 saídas, na qual o seu GND está conectado ao GND do microcontrolador e sua saída de 5V conectada um fusível (F2) de proteção que realiza a ligação com a entrada do botão on/off (2 pinos), e temos a outra extremidade do botão está conectada ao Vin da ESP32.

Em relação aos sensores, todos eles possuem 2 entradas de alimentação (VCC e GND) em comum, onde tem a função de mantê-los em pleno funcionamento. Para os sensores MQ-2 e MQ-131 apenas suas saídas digitais exclusivas D01 e D02 que estão conectadas em pinos I/O. De maneira semelhante, no sensor MICS-6814 é utilizado apenas a porta NO2 (análogica) conectada a um pino I/O. Já os demais sensores temos suas conexões em comum em SCL e SDA sendo elas utilizadas no protocolo I2C.

Para o micro-cooler temos uma tensão de alimentação vinda do microcontrolador que se difere dos sensores, em que suas conexões estão conectadas aos pinos Vin (5V) e GND (Ground) para manter ele ligado continuamente. O indicador de bateria possui o total de 8 pinos sendo 2 deles para alimentação (VCC e GND) e 6 pinos específicos para diferentes portas digitais (D1, D2, D3, D4, D5 e D6).

Na leitura do nível de bateria de forma segura também é utilizado um circuito composto por um amplificador, 2 diodos, um capacitor e 3 resistores. A saída desse circuito está conectado a uma entrada analógica do microcontrolador (A0), temos algumas extremidades do circuito conectadas ao terra (GND) comum a todos.

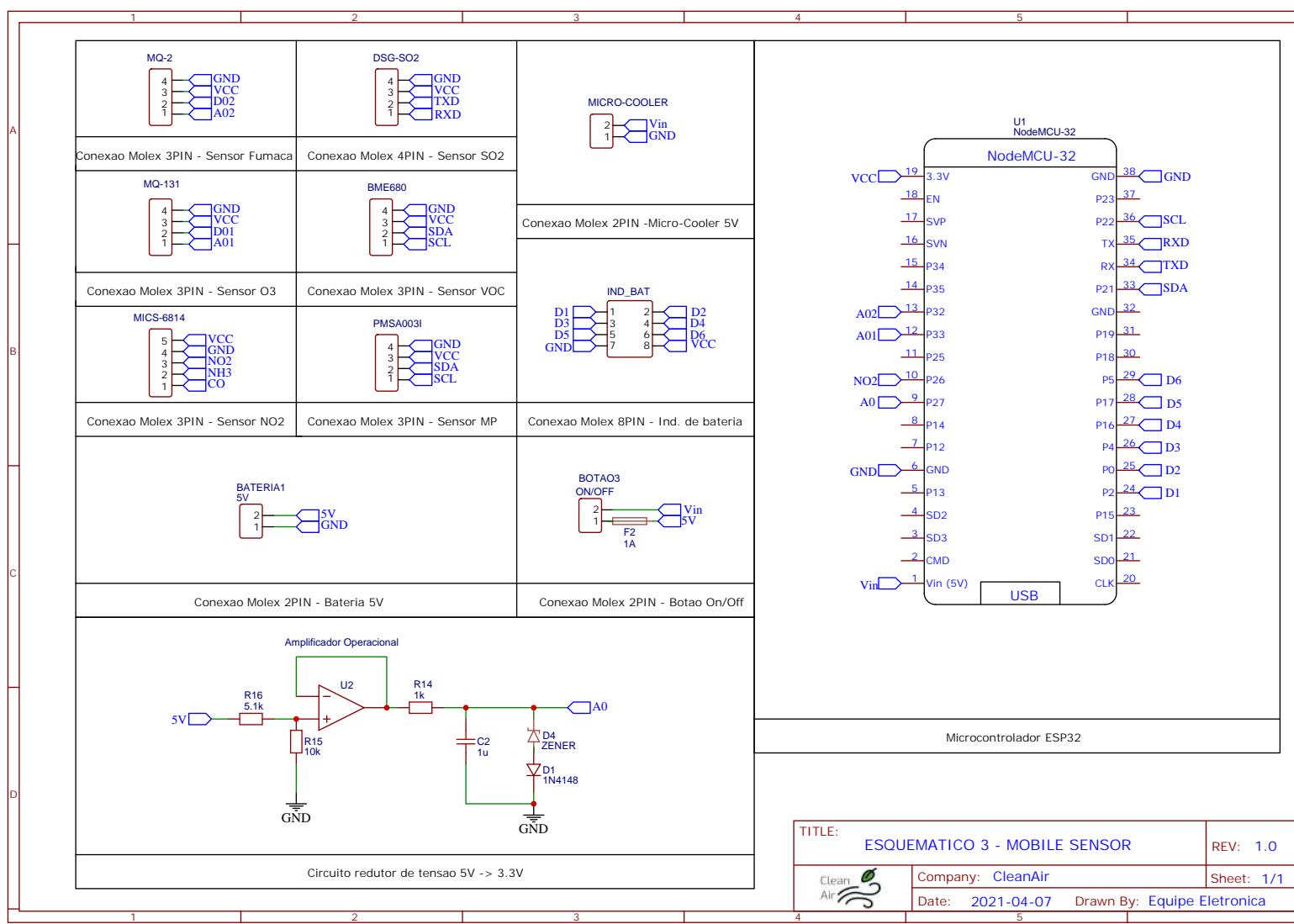


Figura 72 – Diagrama esquemático da conexão sensorial com microcontrolador 2.

F.0.2 Esquemáticos Energéticos

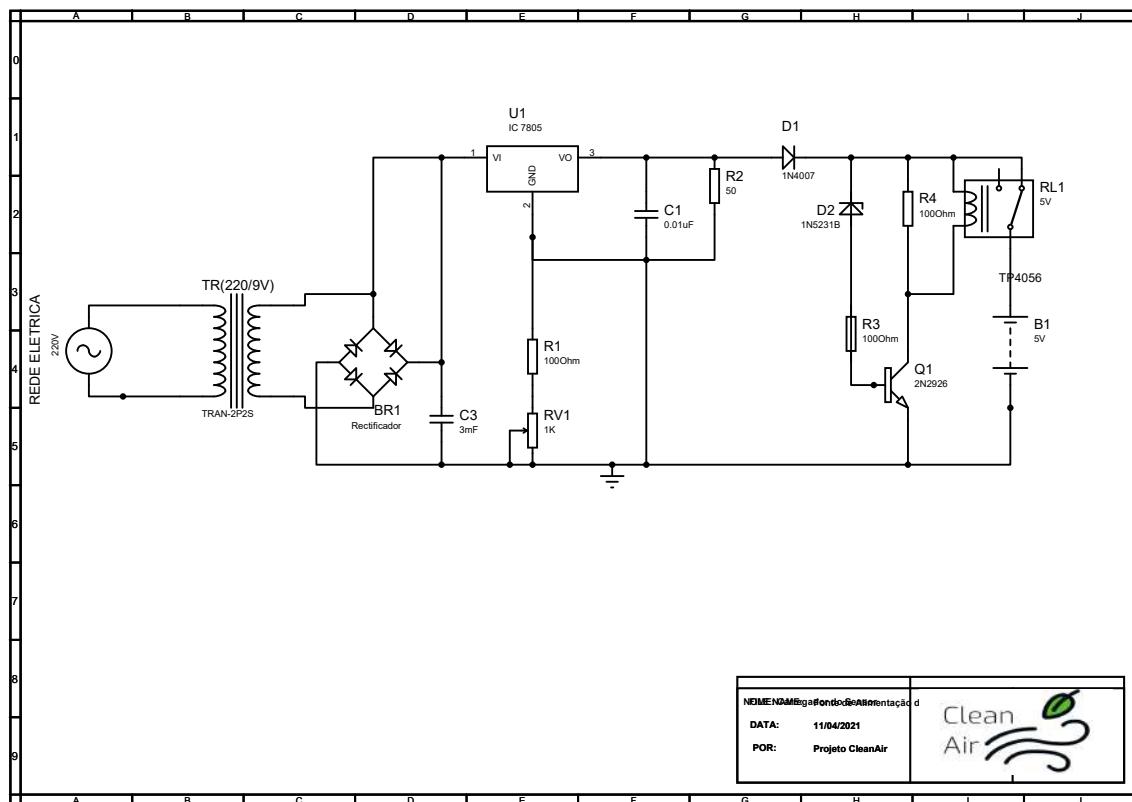


Figura 73 – Diagrama esquemático da fonte de alimentação do *Mobile Sensor*.

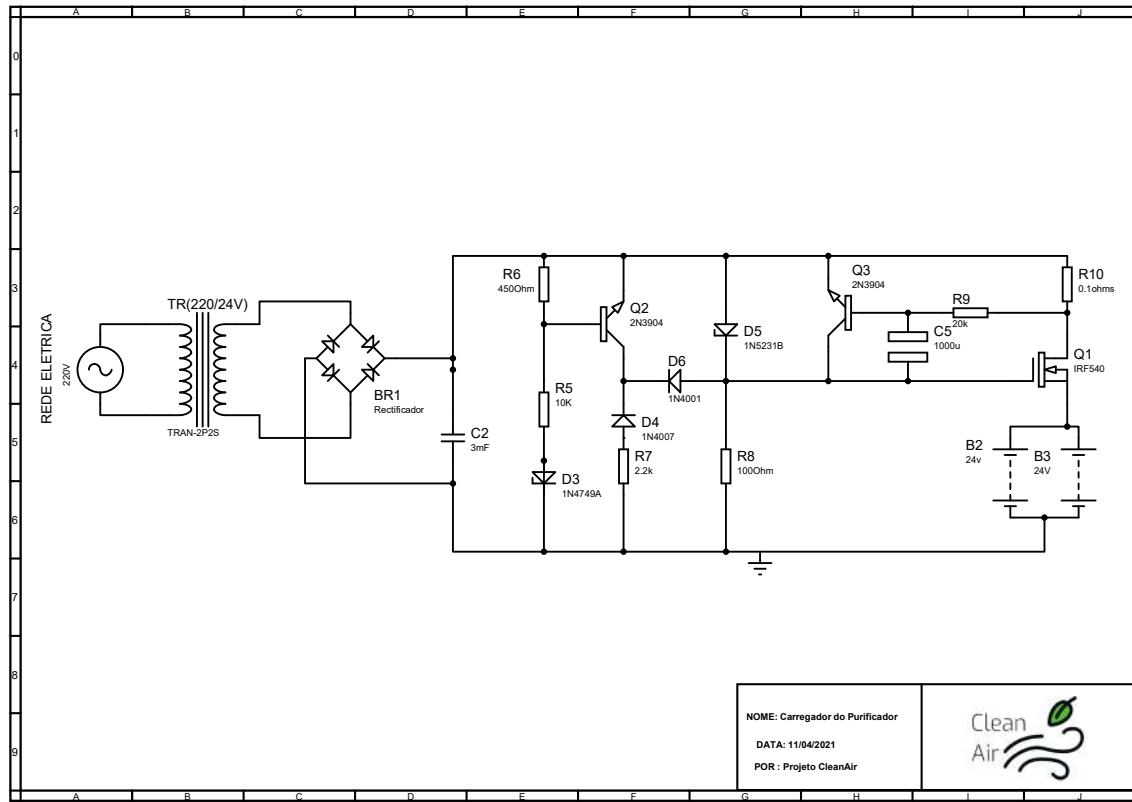


Figura 74 – Diagrama esquemático da fonte de alimentação do Purificador.

F.0.3 Diagramas Unifilares

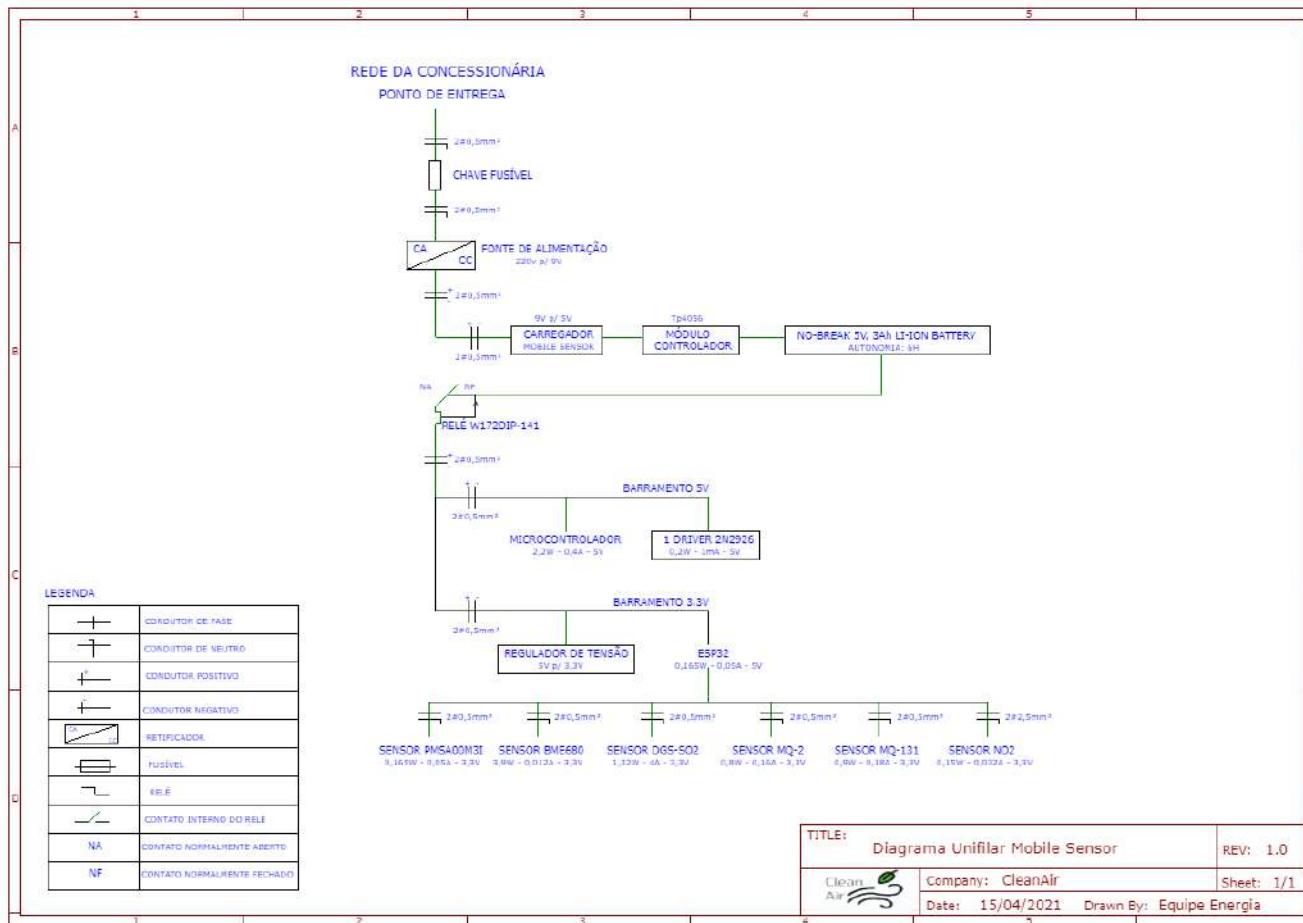


Figura 75 – Diagrama unifilar do circuito do *Mobile Sensor*

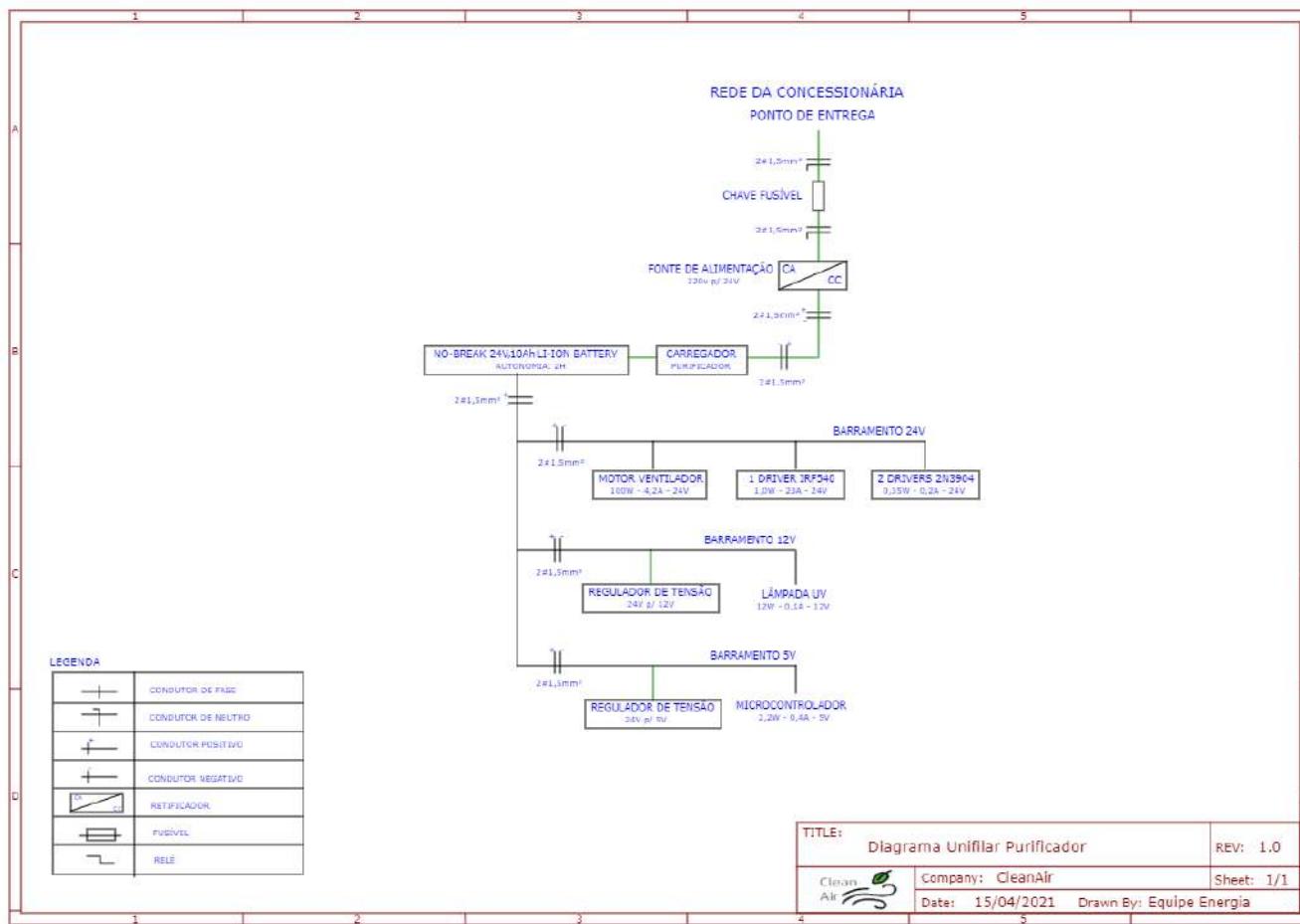


Figura 76 – Diagrama unifilar do circuito do Purificador.

APÊNDICE G – Calibração dos Sensores

- Sensor de Fumaça

Para calibrar o sensor MQ-2, inicialmente deve-se entender sua estrutura apresentada na figura 77, e assim estabelecer um valor para R_L . Ao empregar valores apresentados no *datasheet* do sensor é possível determinar o valor mínimo da resistência R_L que é de $5K\Omega$. O ajuste da resistência é feito diretamente no módulo integrado ao sensor, que possui 4 pinos que são estes o VCC, GND analógico (A0) e digital (D0).

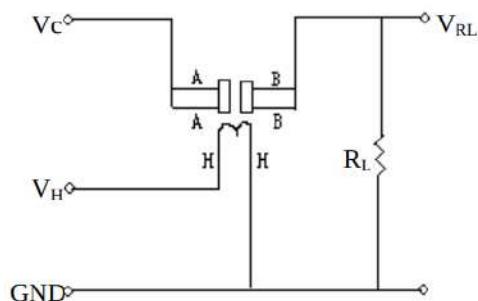


Figura 77 – Esquemático do sensor MQ-2.

A partir disso, é feita uma análise no gráfico (figura 78) de modo a extrair a concentração em ppm com a razão R_s/R_0 , onde R_s representa resistência do sensor que varia de acordo com as concentrações dos gases e R_0 a resistência do sensor em ar limpo.

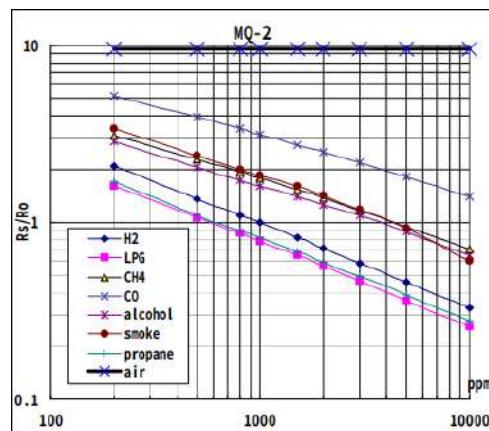


Figura 78 – Gráfico das características de sensibilidade do MQ-2.

Assim, para a concentração especificamente da fumaça é realizada a extração da

equação de inclinação da reta. Para isso é considerada a equação [G.1](#) apresentada a seguir:

$$\log(y) = m \cdot \log(x) + b \quad (\text{G.1})$$

Onde m é o coeficiente angular, b o coeficiente linear, y a razão $Rs/R0$, valor calculados por programação em software, e x a concentração em ppm de fumaça. Os pontos escolhidos, a partir do gráfico, para calcular o coeficiente angular da equação [G.2](#) foram (200, 3.6) e (10000, 0.6). Assim, obteve-se o seguinte valor para m :

$$\begin{aligned} m &= \log(y/y_0) \cdot \log(x/x_0) \\ &= \log(0.6/3.5) \cdot \log(10000/200) \\ &= -0.451 \end{aligned} \quad (\text{G.2})$$

Já para calcular o coeficiente linear usou-se os valores que intercepta a metade do gráfico que são (5000, 0.9) e os aplicou na equação [G.3](#) e obteve-se o valor b de:

$$\begin{aligned} b &= \log(y) - m \cdot \log(x) \\ &= \log(0.9) - (-0.451) \cdot \log(5000) \\ &= 1.62 \end{aligned} \quad (\text{G.3})$$

Por fim, reorganizando a equação [G.1](#) temos:

$$x = 10^{\frac{\log(y)-1.62}{-0.451}}$$

E com isso, a leitura de concentração de fumaça em ppm do sensor MQ-2 é obtida de forma calibrada por meio do sinal analógico.

- **Sensor de Ozônio**

A calibração deste sensor, de acordo com o datasheet do produto, é realizada de maneira semelhante ao MQ-2. Como ele será utilizado especificamente para detecção de ozônio, a resistência de carga mínima indicada pelo fabricante é de 50KΩ.

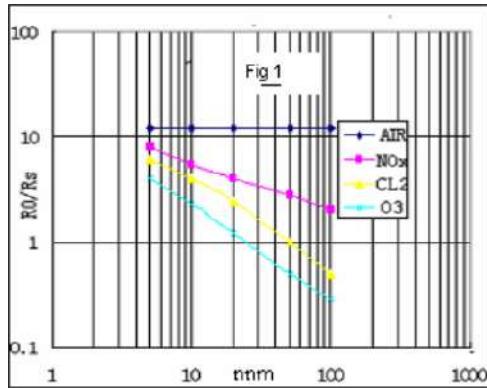


Figura 79 – Gráfico das características de sensibilidade do MQ-131.

Utilizando as equações G.1, G.2 e G.3, apresentadas na análise do sensor MQ-2, e com os dados do gás ozônio visto no gráfico de sensibilidade na figura 79 é encontrada a função de calibração para a leitura analógica da concentração de ozônio em ppm do sensor MQ-131 sendo:

$$x = 10^{\frac{\log(y)-1.34}{-0.88}}$$

- **Sensor de Dióxido de Nitrogênio**

Para verificar a concentração medida de dióxido de nitrogênio apresenta-se uma resistência de detecção no ar limpo (R_0) que é medida em condições ambientais controladas e o fator de sensibilidade (definido como R_s) a 0,25 ppm para NO₂. Assim, é possível fazer uma análise no gráfico, obtido no datasheet do produto (figura 80), de modo a extrair a concentração em ppm com a razão R_s/R_0 .

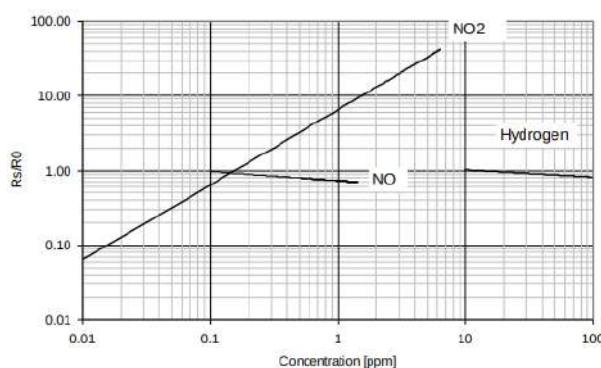


Figura 80 – Gráfico das características de sensibilidade do MICS-6814.

Dessa maneira, utilizando as equações G.1, G.2 e G.3, apresentadas na análise do sensor MQ-2, e com os dados do gás dióxido de nitrogênio visto no gráfico de sen-

sibilidade na figura 80 é encontrada a função de calibração para a leitura analógica da concentração de NO₂ em ppm do sensor MICS-6814 sendo:

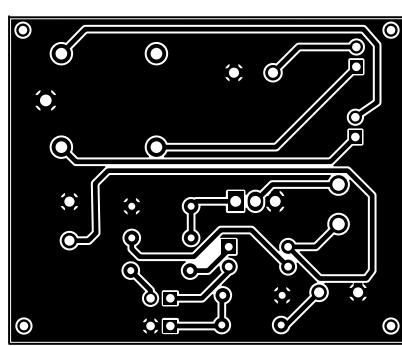
$$x = 10^{\frac{\log(y)-0.78}{1.01}}$$

Sua pinagem é referente a alguns gases de medição, sendo eles CO, NO₂, NH₃ (dados analógicos), VCC e GND para alimentação. Portanto, para sua conexão com o sistema do *Mobile Sensor*, o pino de dados utilizado é somente o de NO₂, que tem sua conexão para uma porta ADC (*Analog-to-Digital Convert*) como também os pinos de 3.3V e GND, totalizando 3 pinos.

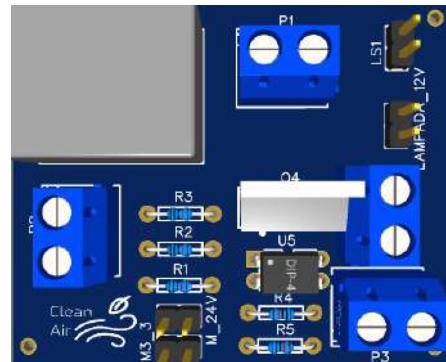
Para o monitoramento das baterias de 24V, suas entradas estão dispostas em conectores (P3) e assim é montado um divisor de tensão com resistores(R4 e R5) conectados em série para chegar a uma tensão de 3.3V, onde essa saída e o GND do circuito são conectados a pinos machos (M3_3).

APÊNDICE H – Placas dos Circuitos Impressos

H.0.1 Placa dos Circuitos Impressos Eletrônicos



(a) Trilhas inferiores da PCI



(b) Vista superior da PCI



(c) Vista inferior da PCI

Figura 81 – Placa de circuito impresso da potência do Purificador

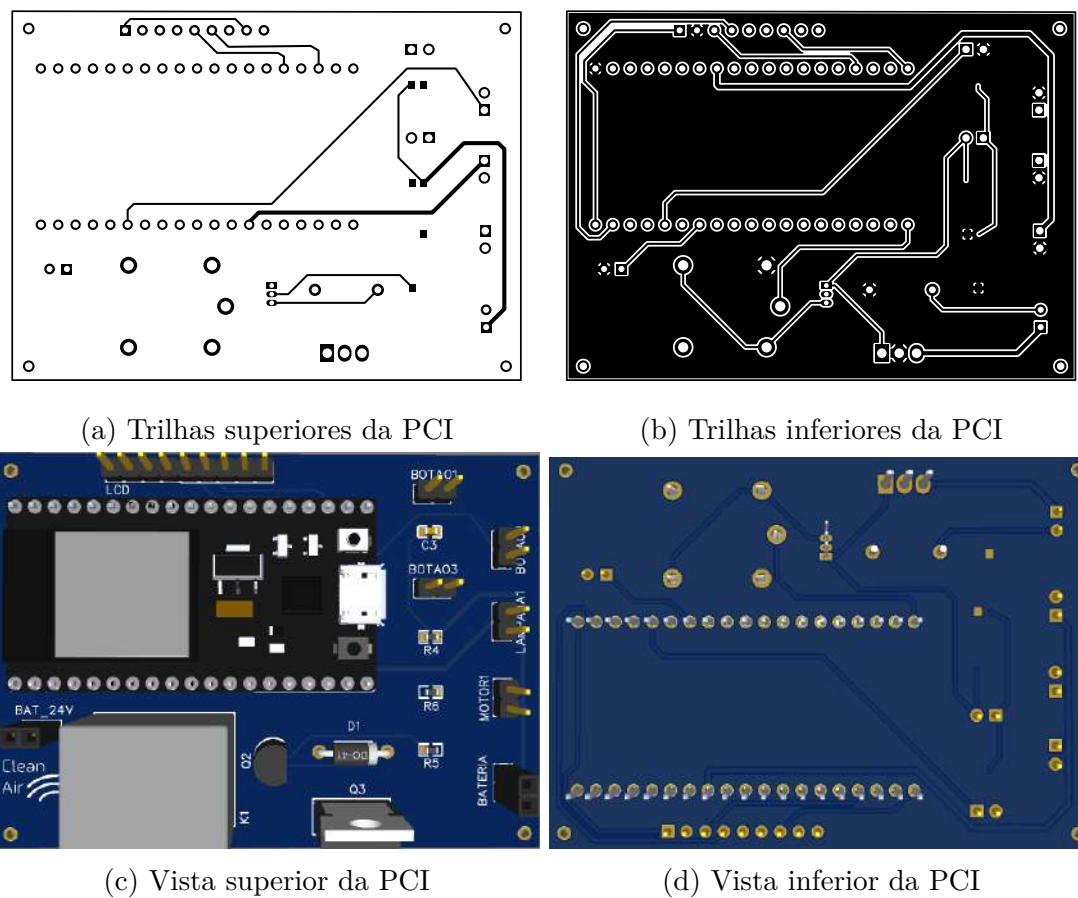


Figura 82 – Placa de circuito impresso do controle do Purificador

H.0.2 Placas dos Circuitos Impressos de Energia

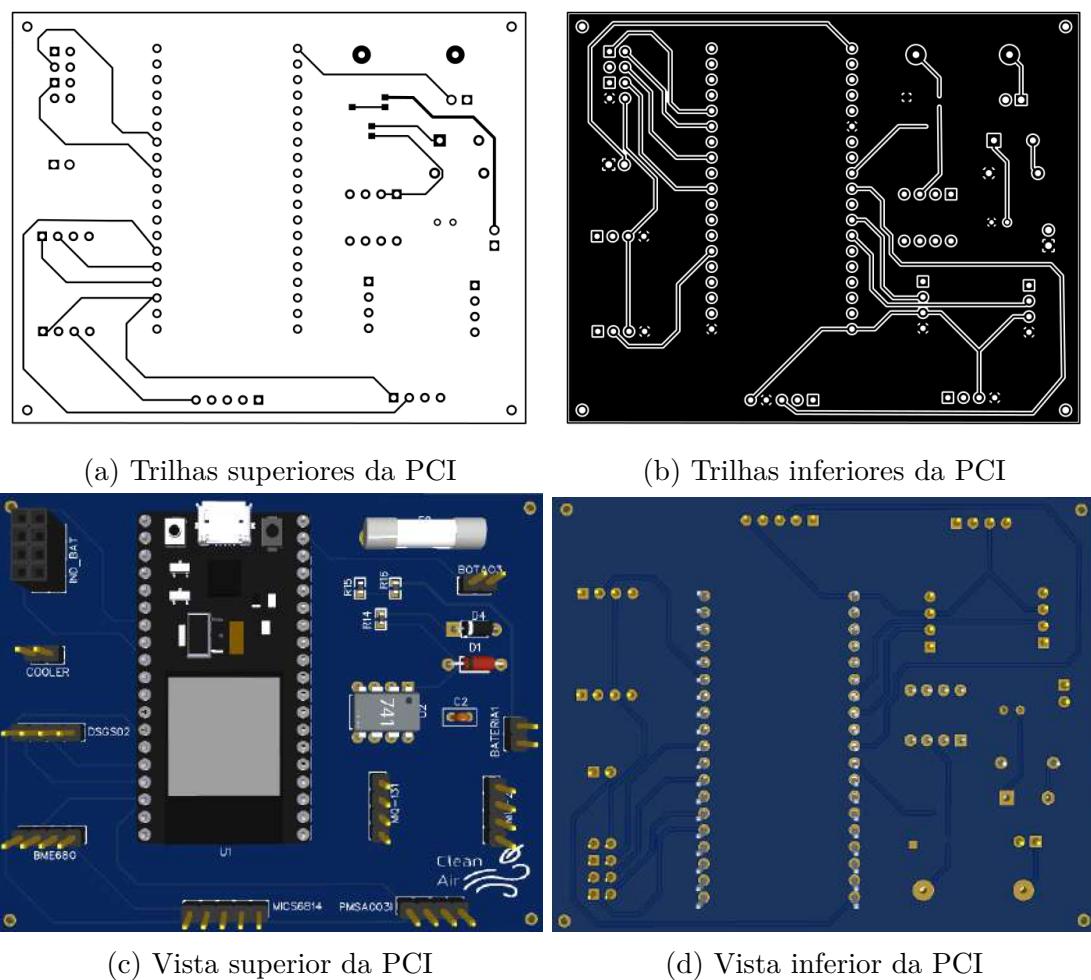


Figura 83 – Placa de circuito impresso do Mobile Sensor

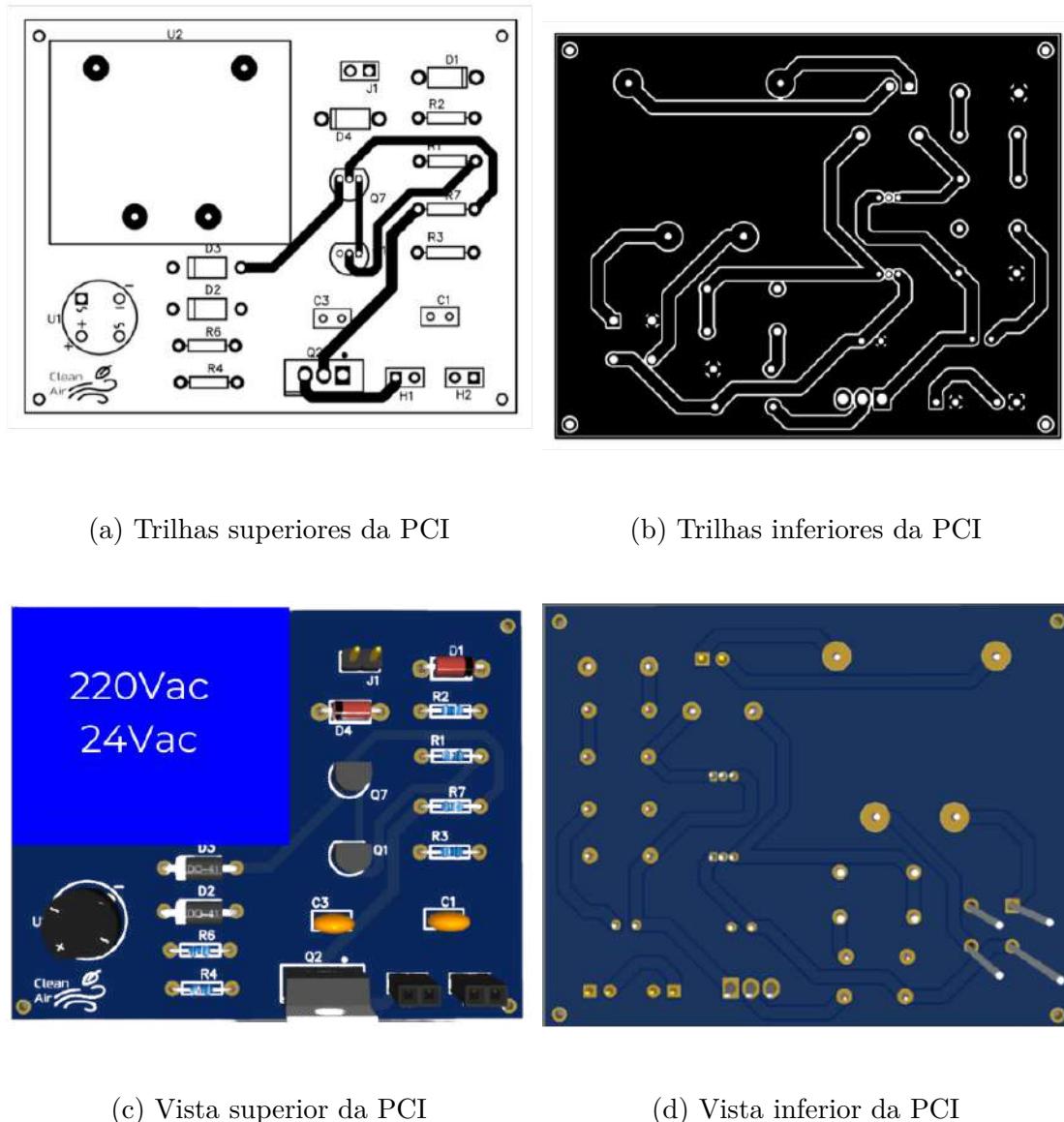
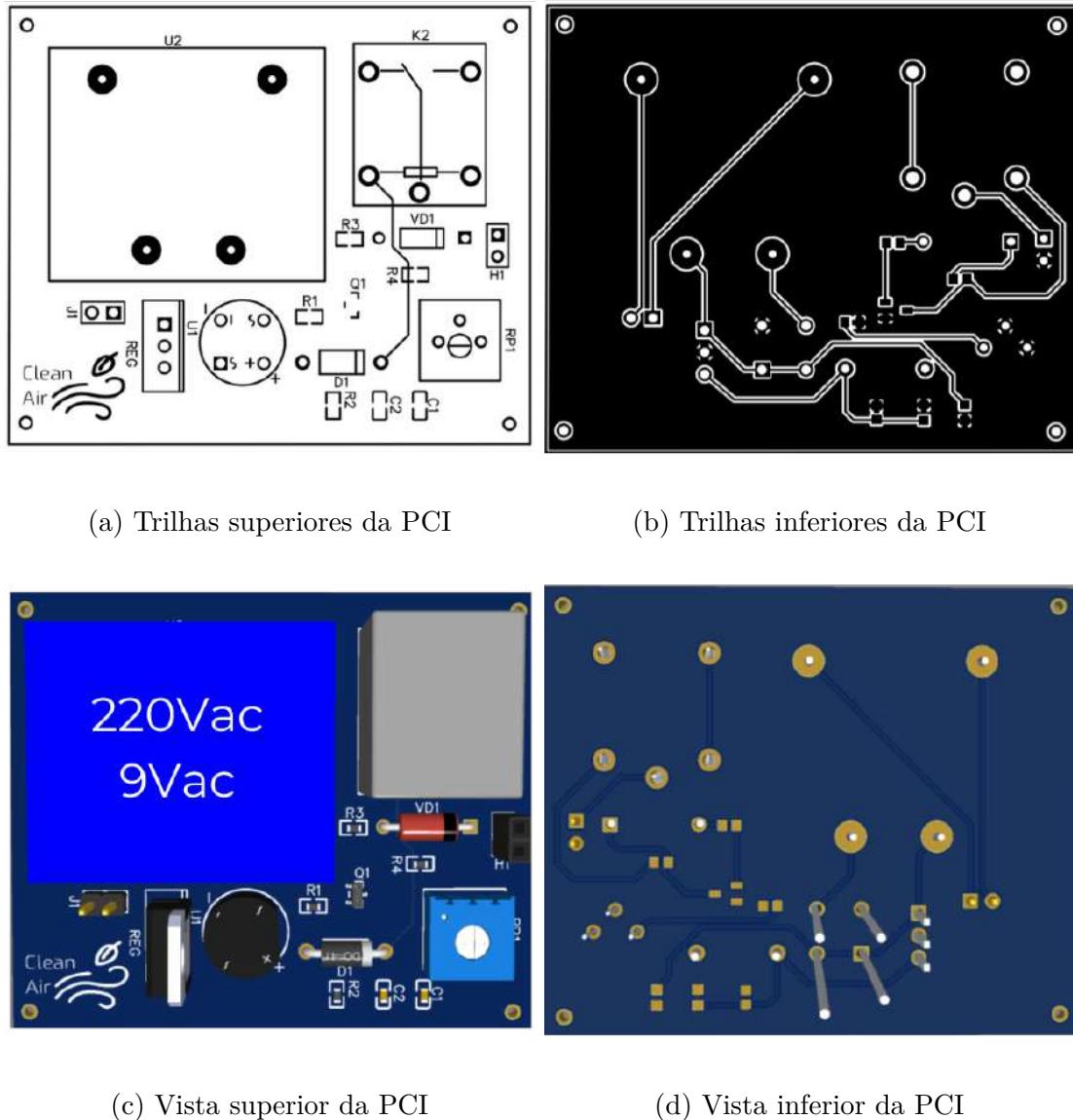


Figura 84 – Placa de circuito impresso do Alimentação do Purificador



(c) Vista superior da PCI

(d) Vista inferior da PCI

Figura 85 – Placa de circuito impresso do Alimentação do Sensor

APÊNDICE I – Dimensionamento da vazão de ar

Para o dimensionamento da vazão de ar afim de prover uma adequada ventilação interior, foi utilizada uma adaptação à norma ABNT (2008) que dita sobre sistemas de ventilação de ar exterior e dos requisitos para obtenção de uma qualidade aceitável de ar interior para suprir conforto. Tal medida foi adotada por motivos de não se encontrar uma norma exclusiva e atualizada para sistemas de ar recirculado em ambientes internos e assim, com uma interpretação que sistema de ar recirculado assemelha-se a um sistema de ar exterior artificial, tal método torna-se razoável.

Para efetuar os cálculos de vazão de ar eficaz, serão utilizados os parâmetros da tabela 1 presente na norma ABNT (2008) para a localidade escritório de alta densidade nível 3 (máximo). Leva-se em conta a densidade de pessoas por m^2 e a área útil do sistema de purificação previamente definidas nos requisitos do projeto 37. Dito isso, de acordo com a equação I.1 tem se a vazão eficaz como se segue.

Tabela 37 – Marcos do projeto

Densidade de pessoas	0,28 pessoas/m^2
Área útil	75 m^2
Número máximo de pessoas	21

$$V_{ef} = P_z' \cdot F_p + A_z' \cdot F_a \quad (\text{I.1})$$

Em que:

V_{ef} é a vazão eficaz de ar exterior, expressa em litros por segundos (L/s);

F_p é a vazão por pessoa, expressa em litros por segundos ($L/s * \text{pessoa}$);

F_a é a vazão por área útil ocupada ($L/s * m^2$);

P_z é o número máximo de pessoas na zona de ventilação;

A_z é a área útil ocupada pelas pessoas, expressa em metros quadrados (m^2).

Utilizando a equação I.2 juntamente com resultado obtido na equação anterior, tem-se o seguinte valor eficaz:

$$\begin{aligned} V_{ef} &= 21 \cdot 3,8 + 75 \cdot 0,5 \\ &= 117L/s = 0,117m^3/s \end{aligned} \quad (\text{I.2})$$

A vazão a ser suprida na zona de ventilação é dada pela equação I.3 obtida na seção 5.2.2 na (ABNT, 2008):

$$V_z = \frac{V_{ef}}{E_z} \quad (\text{I.3})$$

Onde,

V_z é a vazão de ar exterior a ser suprida na zona de ventilação; E_z é a eficiência da distribuição de ar na zona dada pela tabela 2 da (ABNT, 2008) para o caso de insuflação e retorno ao nível do piso.

Logo,

$$\begin{aligned} V_z &= \frac{0,117}{1} \\ &= 0,117m^3/s \end{aligned} \quad (\text{I.4})$$

Considerando o sistema como zona de ventilação única, segundo a seção 5.2.3.1, a vazão na tomada de ar suprida pelo sistema V_s deve ser igual a vazão de ar exterior V_z , esta será então tomada para demais análises do projeto.

Assim, os resultados preliminares mostraram a necessidade de uma vazão de ar mínima de $0,117 m^3/s$ e a necessidade de aplicação de pré-filtro e filtro classe G3 e F8, conforme a tabela de classificações dos filtros presente no apêndice E, de forma a suprir a norma ABNT (2008).

APÊNDICE J – Dimensionamento da área de face do filtro absoluto

O cálculo da área de face do filtro se restringe apenas ao filtro absoluto por este ser o principal e com maior interferência no fluxo devido a baixa porosidade. Assim, utilizou-se da equação do fluxo volumétrico, isolando a área e assumindo uma velocidade que, de acordo com dados do fabricante, minimiza-se a perda de carga pelo filtro HEPA, evita-se o turbilhonamento do fluxo (fluxo permanece laminar) e não resulte em uma área de filtro que não caiba no dispositivo, tal velocidade adotada foi de 0.2 m/s. O equacionamento é dado por:

$$Q = A \cdot v \quad (\text{J.1})$$

Em que:

Q = fluxo volumétrico;

A = área;

v = velocidade.

$$A = \frac{Q}{v} \quad (\text{J.2})$$

$$A = \frac{0,117m^3/s}{0,25m/s} \quad (\text{J.3})$$

$$A = 0,468m^2 \quad (\text{J.4})$$

APÊNDICE K – Dimensionamento da potência do motor

K.0.1 Domínio e condições de contorno

O purificador é modelado como um sistema fechado adiabático com escoamento interno de ar em regime permanente. A face de entrada do ar é a face do pré filtro (ícone E), a região de saída é a face normal à grelha de exaustão do escoamento de ar (ícone S). Os filtros são modelados como trabalho pelo sistema (ΔP) e o motor como trabalho sob o sistema (+W), vide figura 86 para melhor entendimento.

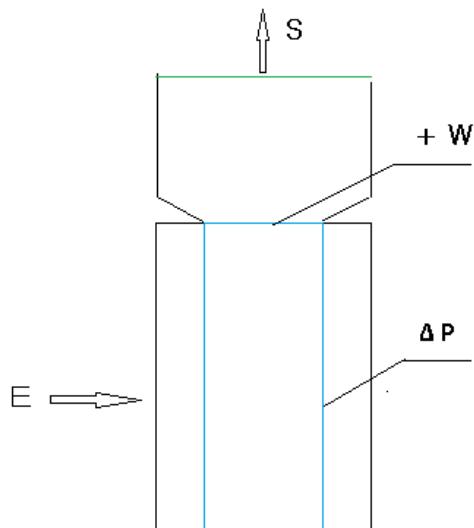


Figura 86 – Domínio do sistema

K.0.2 Valores de entrada

Por meio da vazão volumétrica previamente calculada e a área normal à saída de ar do purificador, obtém-se a velocidade de saída do fluido de trabalho. Para a velocidade do fluido na entrada é adotada a velocidade de face do pré-filtro.

Adiante, por meio dos dados de perda de carga obtidos pelo fabricante ([FILTROS, 2012](#)) defini-se as perdas de carga máximas no domínio por efeito do sistema de filtragem (contabilizando o efeito pelos três filtro). Tal resultado foi de 800 Pa.

Para o cálculo das perdas de cargas distribuídas, devida a rugosidade da paredes do duto interno do equipamento, utiliza-se do método de Moody-Rouse para a rugosidade

aparente de 0.0356, o número de Reynolds de 30493 (aproximado para 30500), e o diâmetro equivalente do duto de saída retangular de 0,2665 m. Entretanto, de frente aos resultados, observa-se que a perda de carga (0.033 Pa) é desprezível em relação à perda de carga pontual devido os filtros, e por fim será desprezada para os cálculos.

A pressão na saída e na entrada do dispositivos são as mesmas, sendo considerada como a pressão atmosférica de brasília para uma temperatura de 39°C obtida pela tabela de atmosfera padrão ISA na altitude densidade correspondente, o resultado é 80493 Pa.

A altura da entrada é a altura média da face do pré-filtro em relação à base, a altura da saída é a altura da face superior do dispositivo em relação à base. Essas são, respectivamente, 0,22 m e 0,570 m.

K.0.3 Sistema de Ventilação Forçada

Seguindo, de acordo com (TAGLIAFERRO, 2012) por meio da equação de energia para fluidos reais [K.1], considerando uma eficiência de ventilador de 0.8, os valores de entrada da seção anterior e desconsiderando efeitos na eficiência por fatores como mudança abrupta da seção transversal e turbulência do fluxo após o ventilador, calcula-se a carga de maquina (ventilador) necessária para o regime permanente do sistema e assim a potência mínima de ventilador.

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 + H_M = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + H_{p1,2} \quad (\text{K.1})$$

Em que:

₁ Entrada de ar do sistema de purificação

₂ Saída de ar do sistema de purificação

p = Pressão no fluido;

$\gamma = \rho \cdot g$ = Peso específico do fluido;

v = Velocidade do fluido;

g = Gravidade;

z = Altura;

H = Energia por unidade de massa em fluxo.

H_m = Energia por unidade de massa em fluxo acrescida pelo trabalho do motor

$H_{p1,2}$ = Energia por unidade de massa em fluxo retida por efeitos viscosos e perdas de pressão

Como os termos de pressão são iguais nos dois lados da igualdade são desconsiderada para os cálculos.

$$\begin{aligned} H_1 &= \frac{V_1^2}{2g} + z_1 & (K.2) \\ &= \frac{0,25^2}{2 \cdot 9,810} + 0,220 \\ &= 0,223m \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_2 &= \frac{V_2^2}{2g} + z_2 & (K.3) \\ &= \frac{2,932^2}{2 \cdot 9,810} + 0,570 \\ &= 1,008 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_{p1,2(motor)} &= \frac{\delta P}{y} & (K.4) \\ &= \frac{800}{1,057 \cdot 9,8} \\ &= 76,933 \end{aligned}$$

Isolando o termo referente a carga do motor tem-se que:

$$\begin{aligned} H_{motor} &= H_2 + H_{p1,2} - H_1 & (K.5) \\ &= 1,008 + 76,933 - 0,223 \\ &= 77,718 \end{aligned}$$

Para o cálculo da potência do motor N_m , onde n_m é a eficiência média do motor:

$$\begin{aligned} N_m &= \frac{yQH_m}{nm} & (K.6) \\ &= \frac{1,057 \cdot 9,81 \cdot 0,117 \cdot 77,718m}{0,8} \\ &= 117,85W \end{aligned}$$

$$N_m = 118W(\text{Potência do motor}) \quad (K.7)$$

Pela geometria do produto em desenvolvimento, optou-se pela aplicação do ventilador centrífugo de sucção com pás curvadas. O modelo escolhido foi o HB220-092D024H da *HEKO Electronic* de 115 W de potência máxima. Esse ventilador possui um motor de corrente contínua sem escovas, a escolha desse se deve à maior eficiência, menor peso, baixa emissão de calor e de ruídos além da maior vida útil quando comparado ao seu equivalente com escovas. Além disso, devido ao considerável ruído emitido pelos similares de maior potência disponível e levando em conta que será requerida a potência de 118 W apenas quando os filtros estiverem todos completamente sujos, situação que dificilmente ocorrerá, limitou-se então a potência em 115 W.

APÊNDICE L – CADs do produto



Figura 87 – Vista isométrica do purificador de ar *CleanAir*



Figura 88 – Vista isométrica do sensor de ar *CleanAir*.



Figura 89 – Vista superior do purificador de ar e do sensor *CleanAir*.



Figura 90 – Renderização do purificador *CleanAir* com ambientação em uma sala de estar.

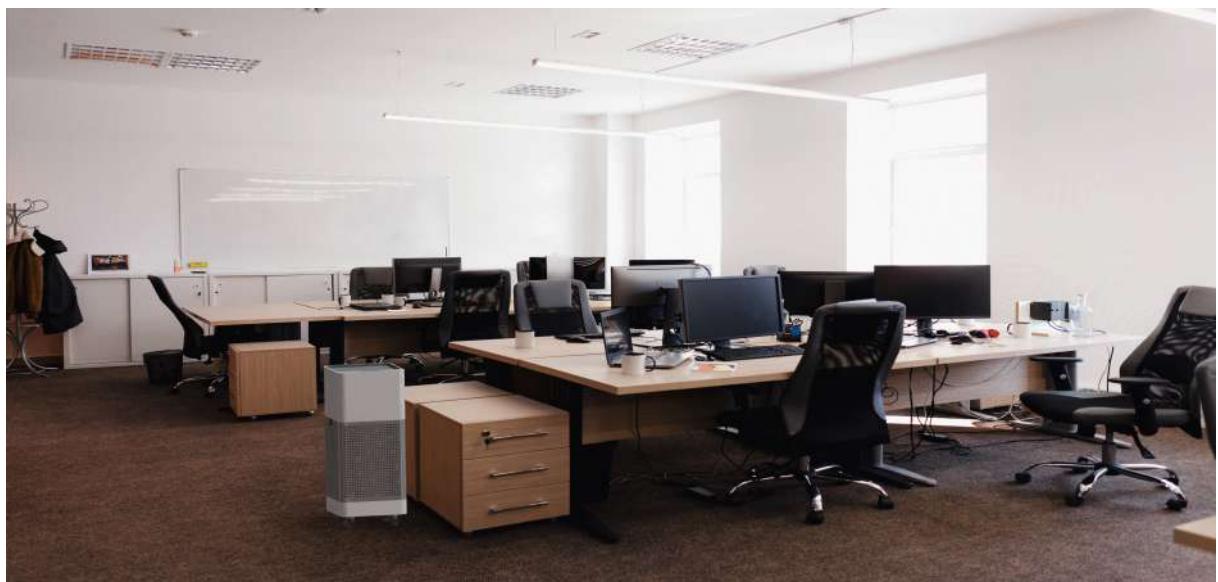


Figura 91 – Renderização do purificador *CleanAir* com ambientação em um escritório de alta densidade.

APÊNDICE M – Desenhos Técnicos

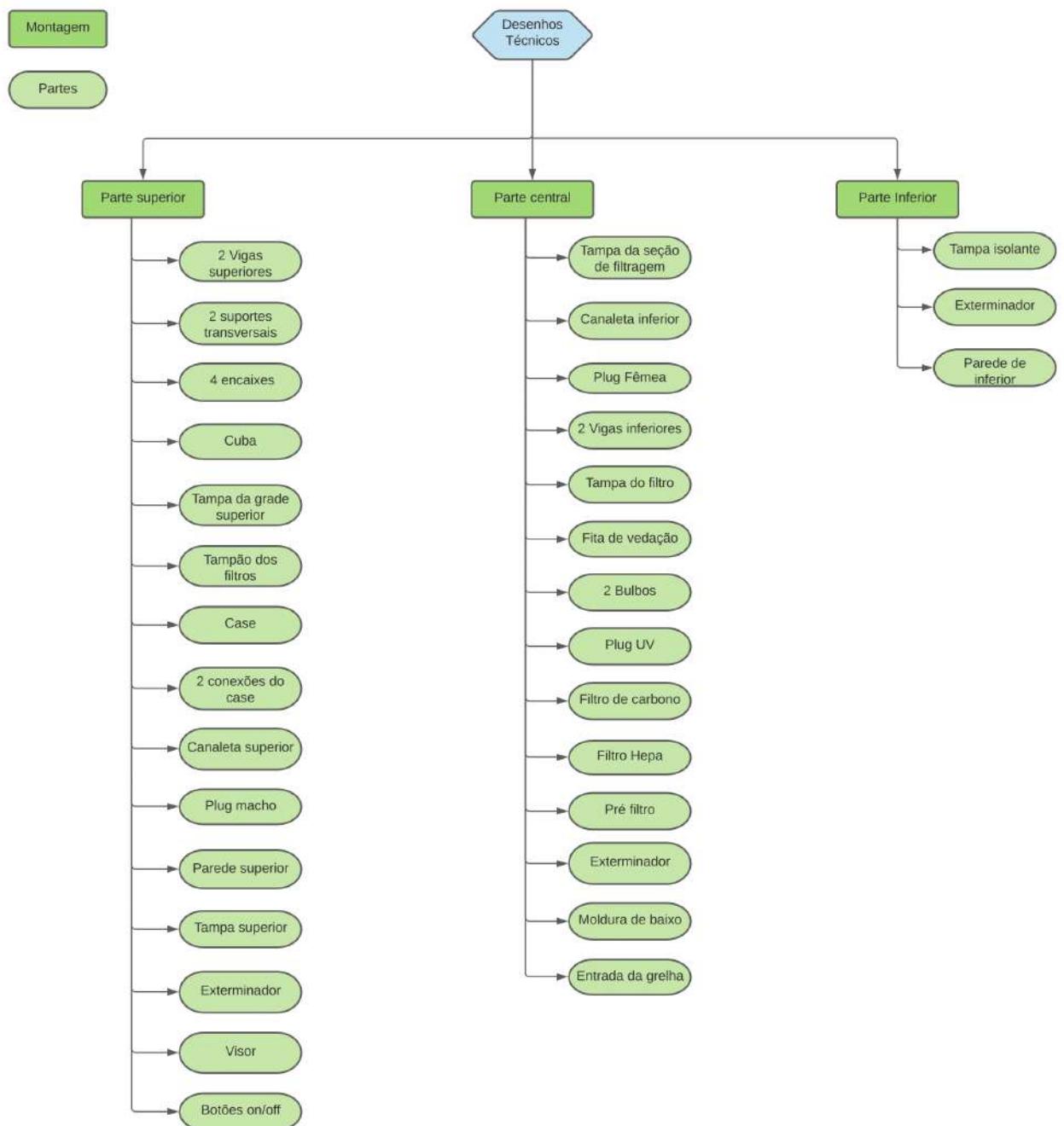


Figura 92 – Fluxograma dos Desenhos Técnicos

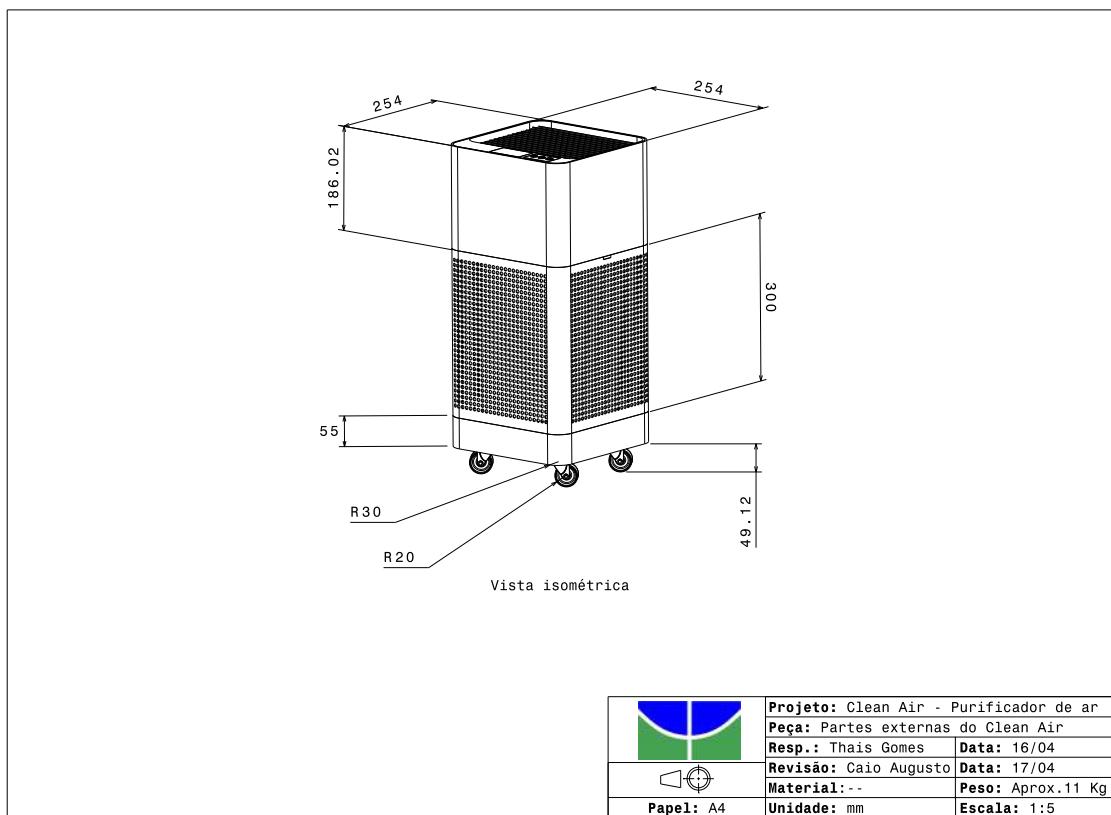


Figura 93 – Partes externas com as principais cotas do *CleanAir*

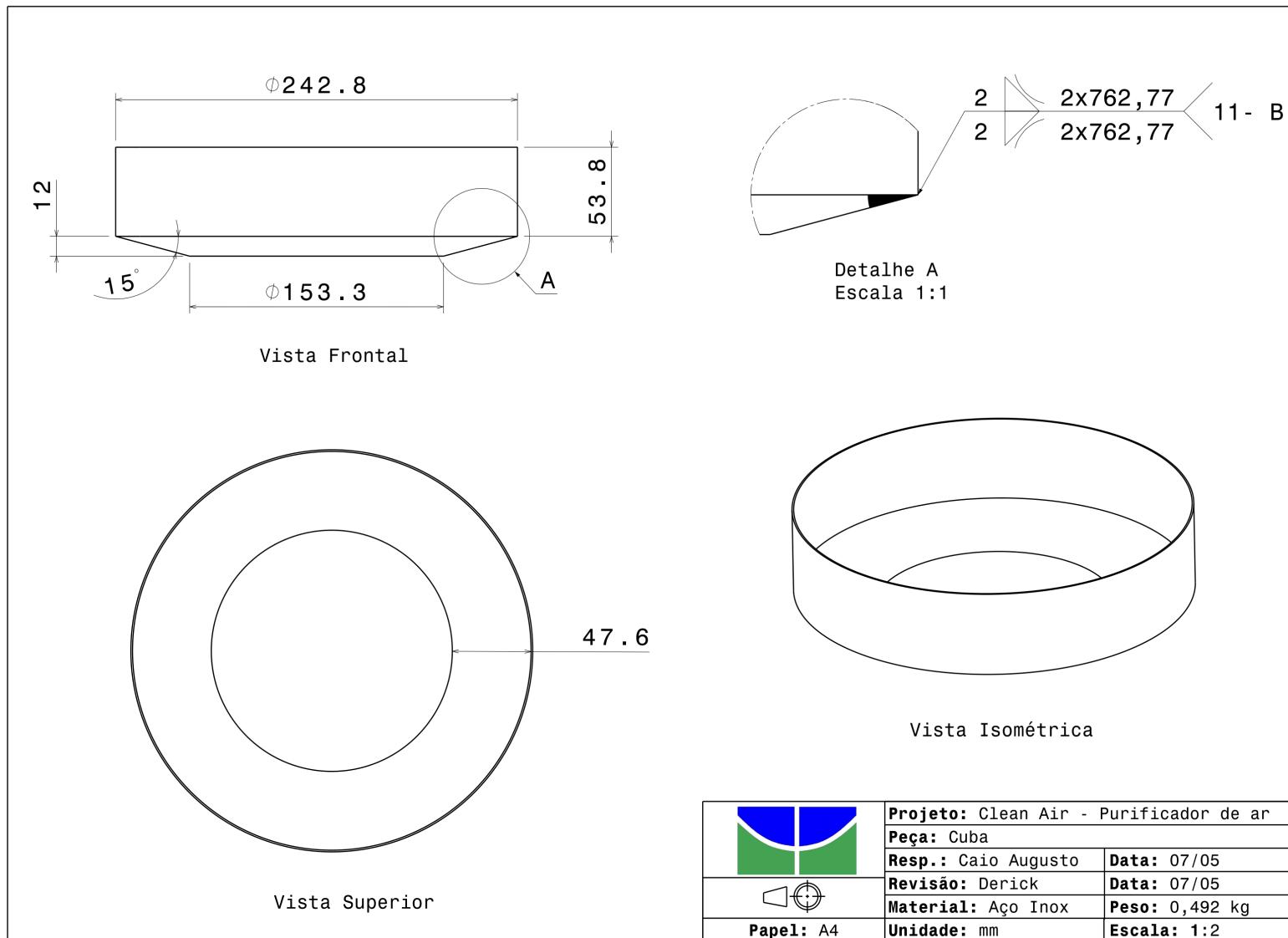


Figura 94 – Cuba CleanAir

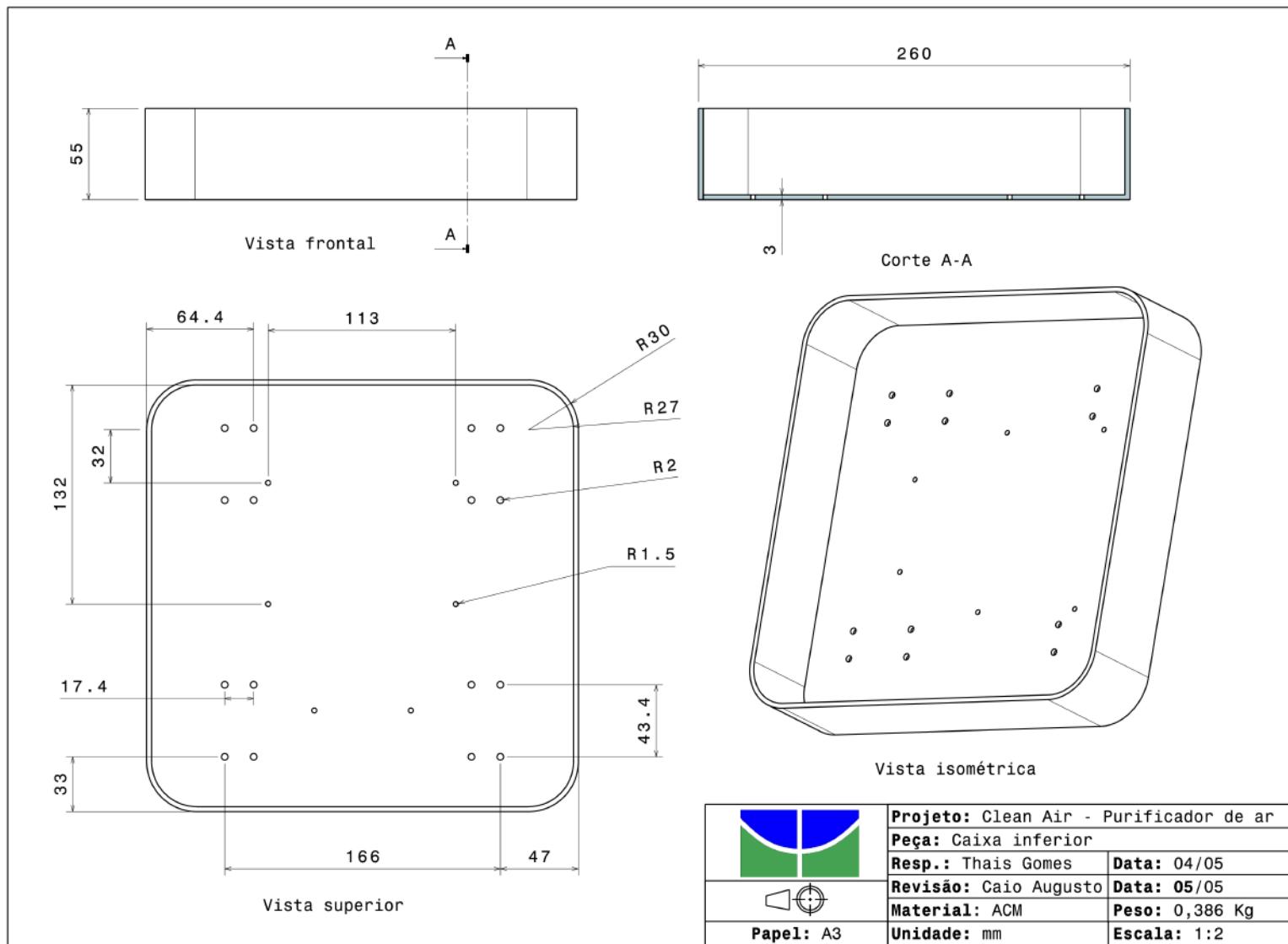


Figura 95 – Caixa inferior do purificador *CleanAir*

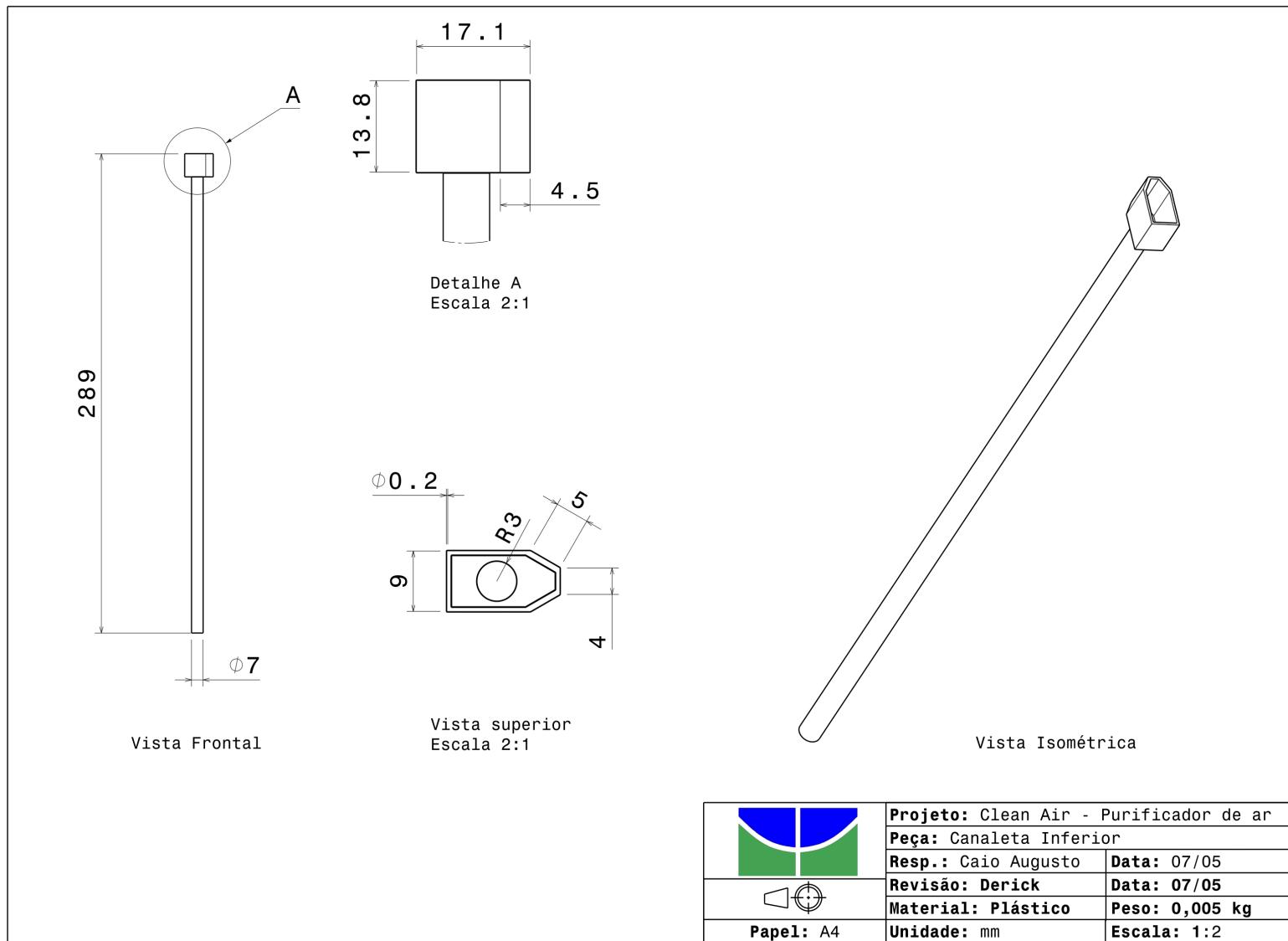


Figura 96 – Canaleta inferior *CleanAir*

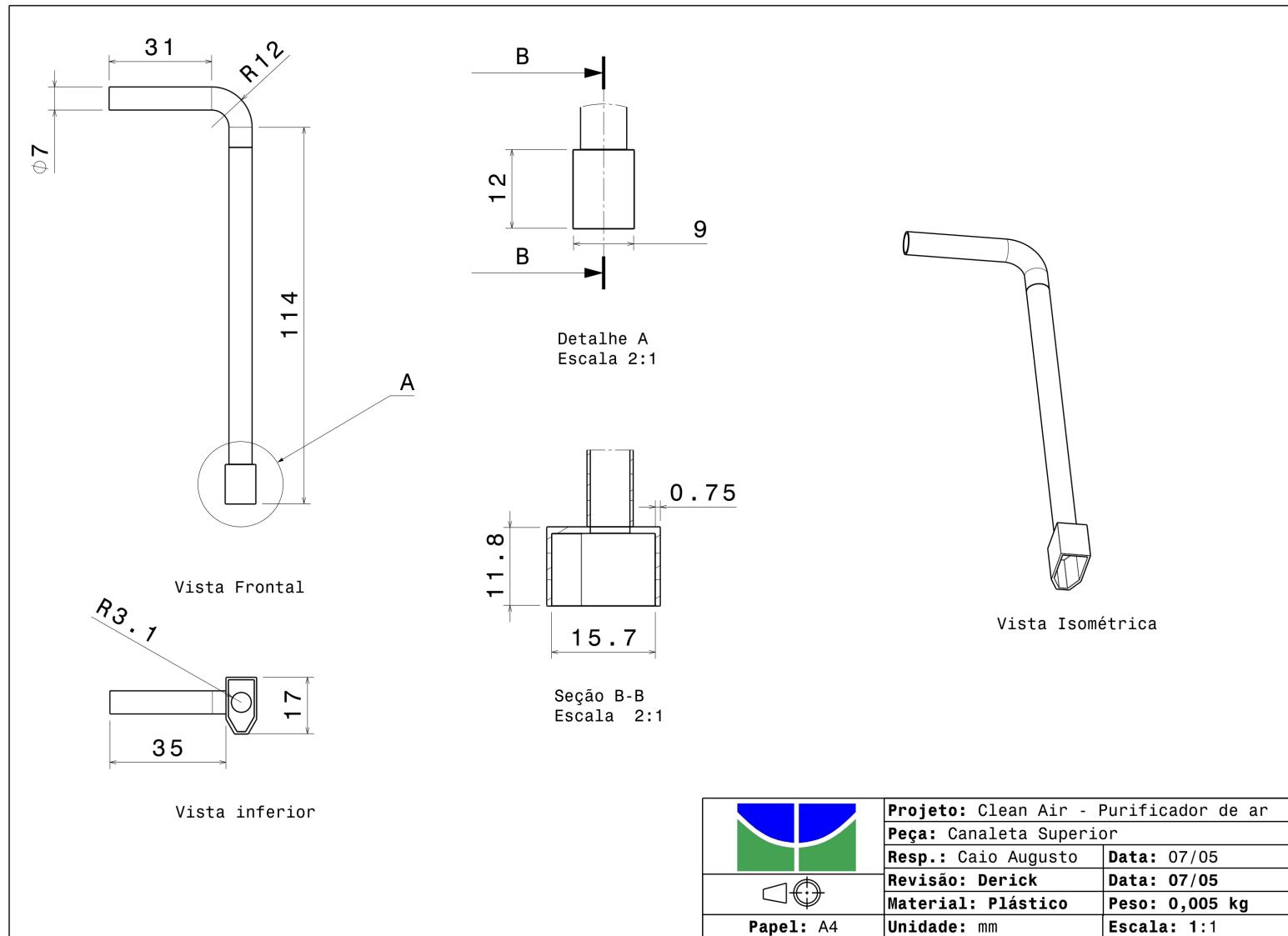


Figura 97 – Canaleta superior *CleanAir*

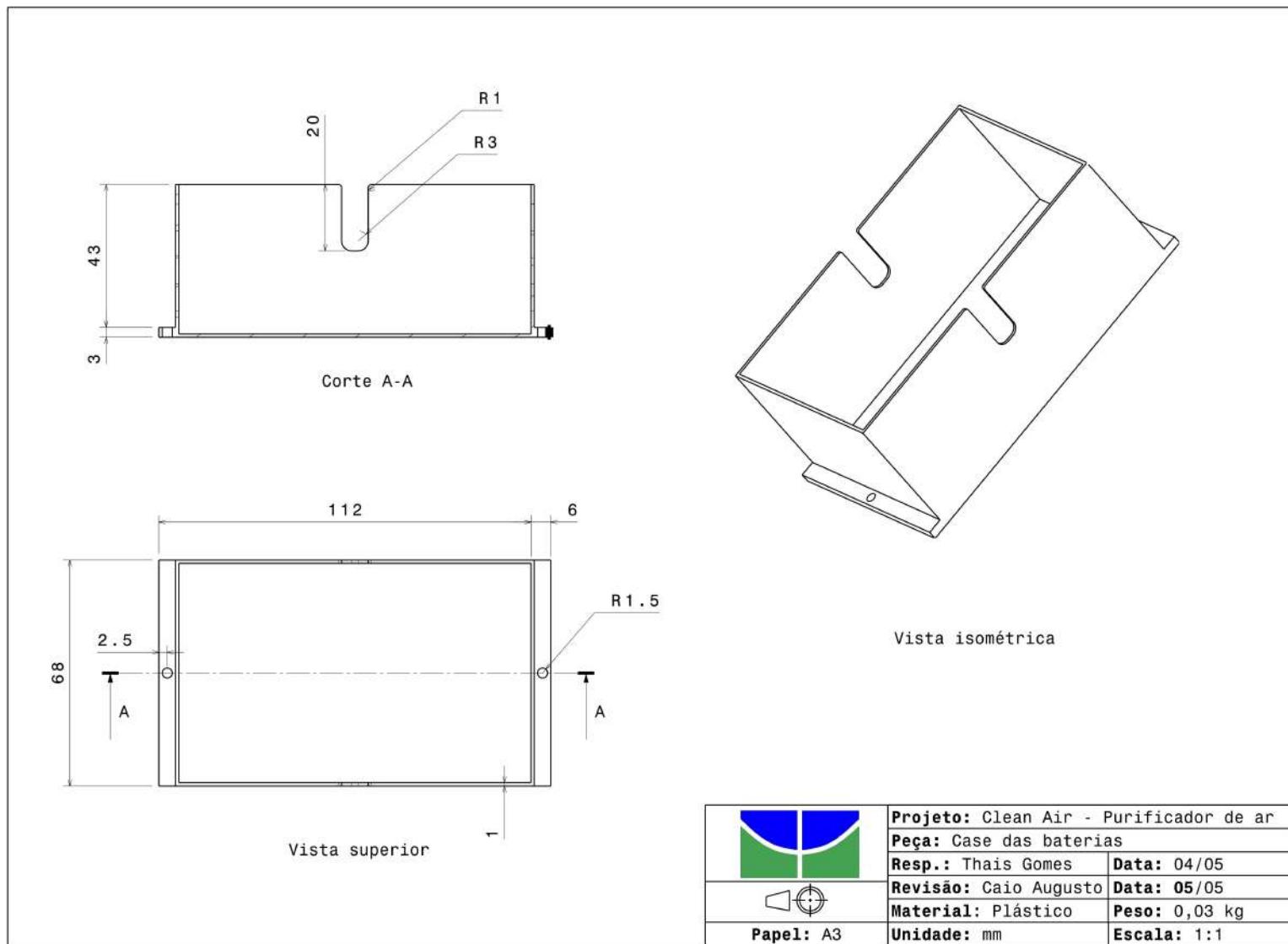


Figura 98 – Case da bateria *CleanAir*

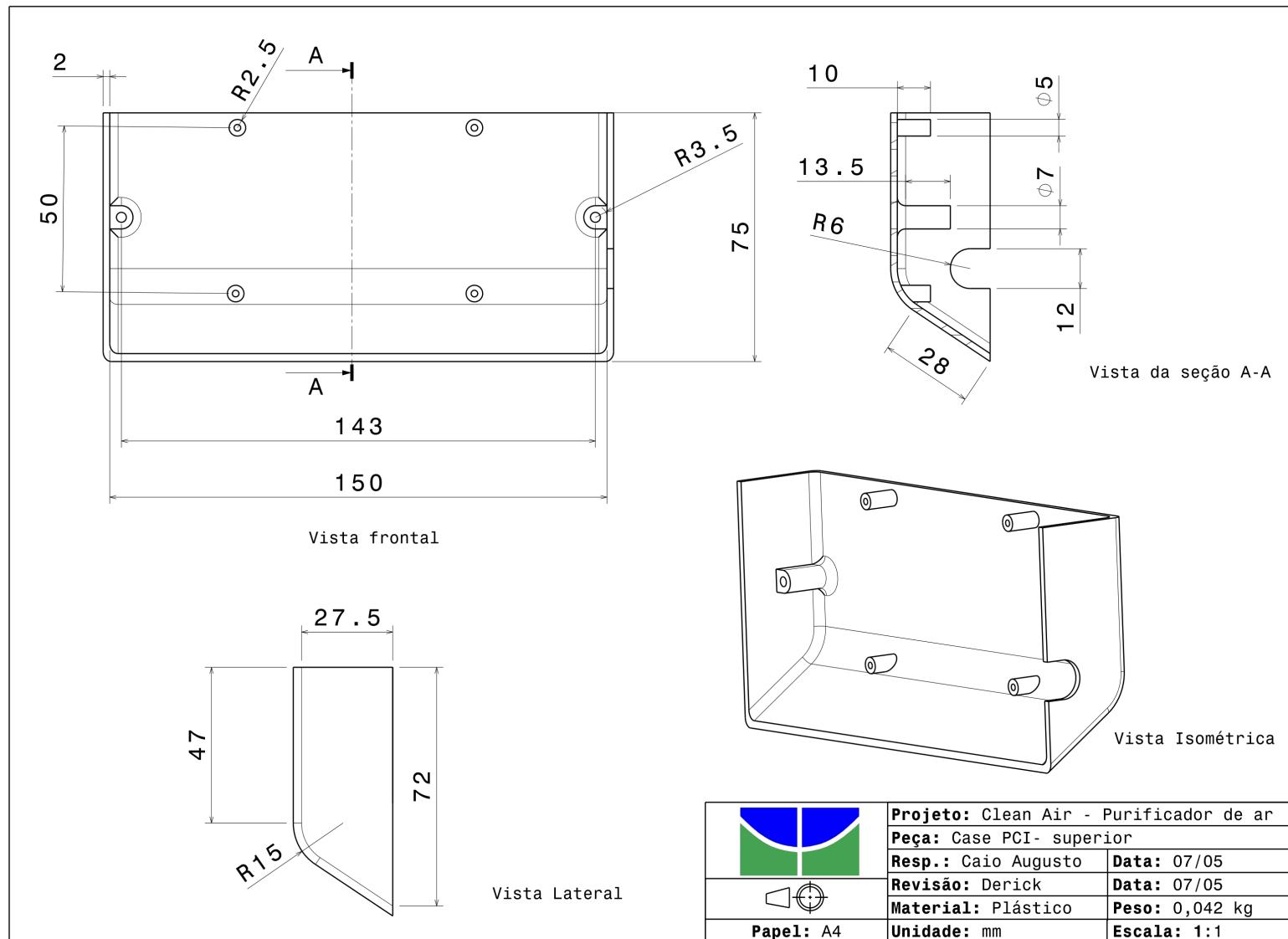


Figura 99 – Case da PCI de controle (superior) *CleanAir*

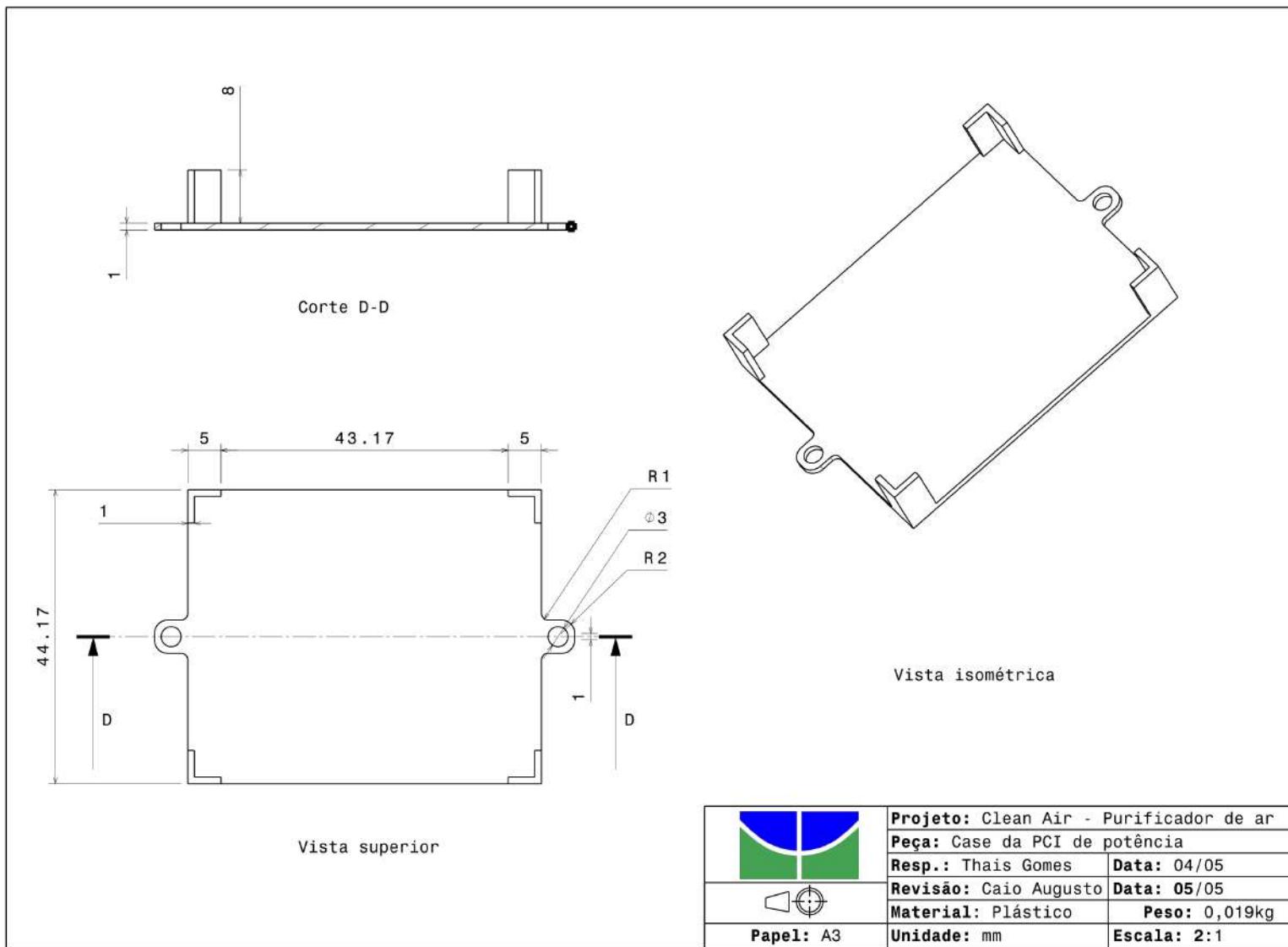


Figura 100 – Case da PCI de potência (inferior) *CleanAir*

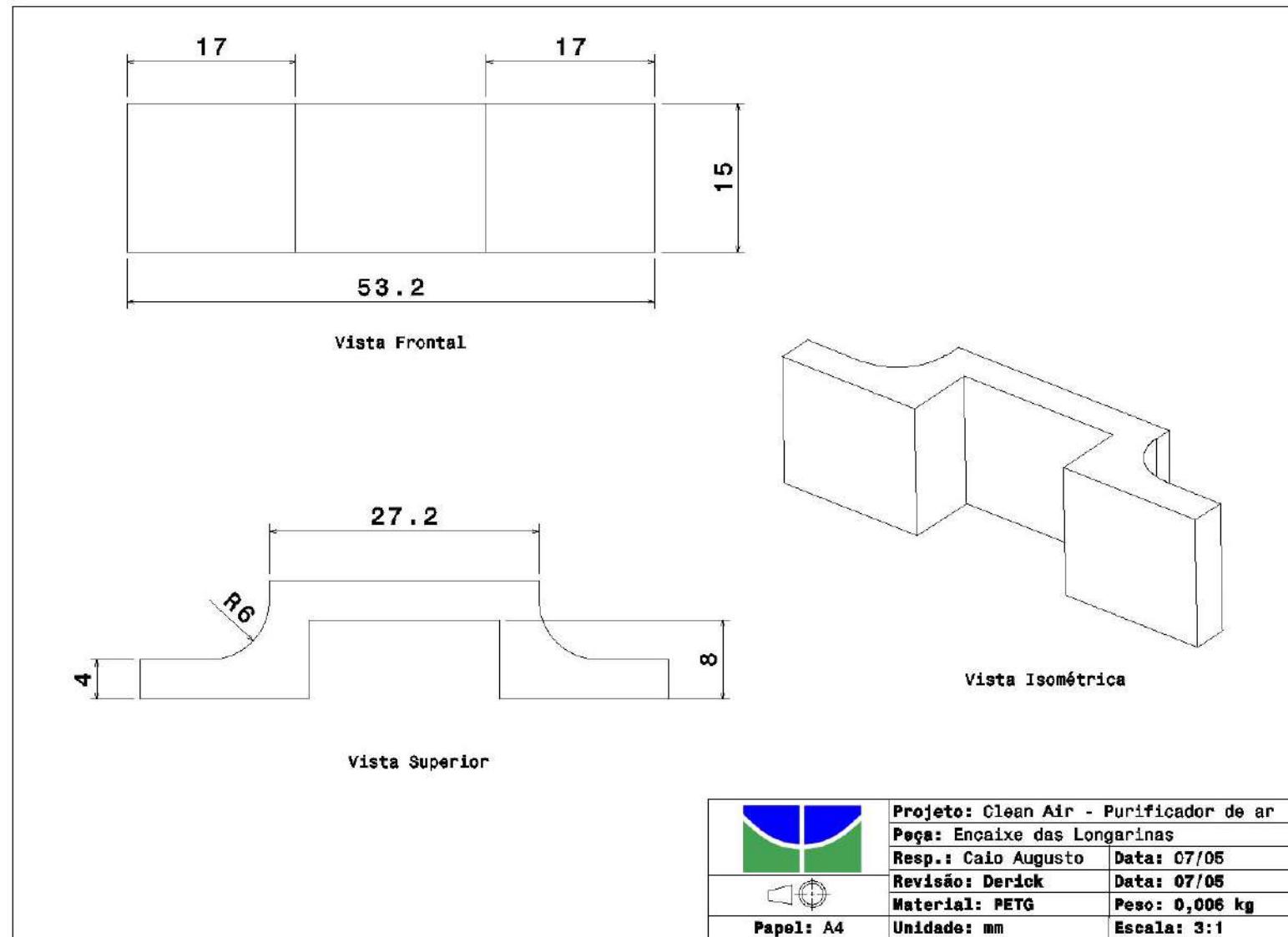


Figura 101 – Encaixe CleanAir

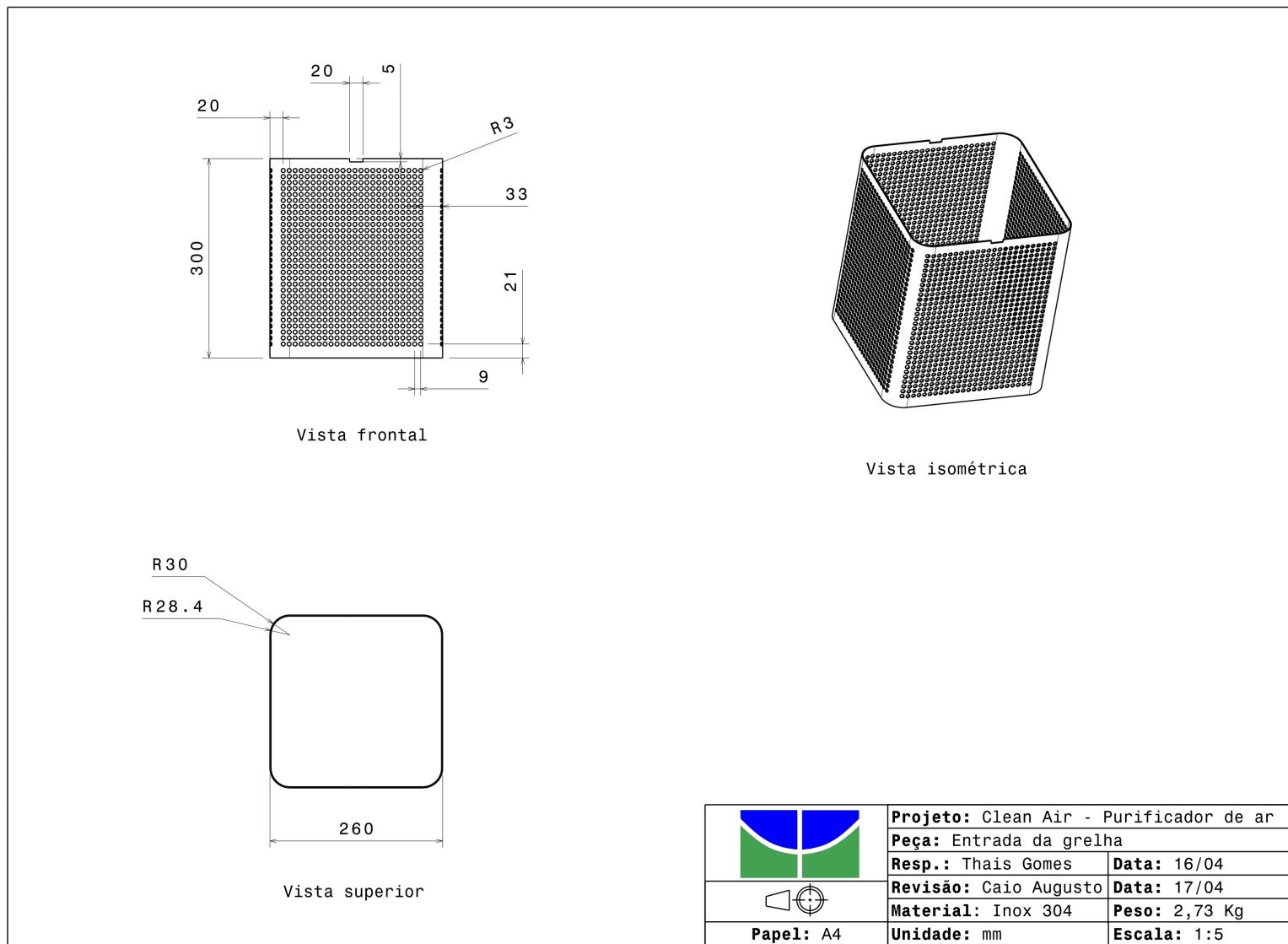


Figura 102 – Entrada para a grelha de ventilação do *CleanAir*

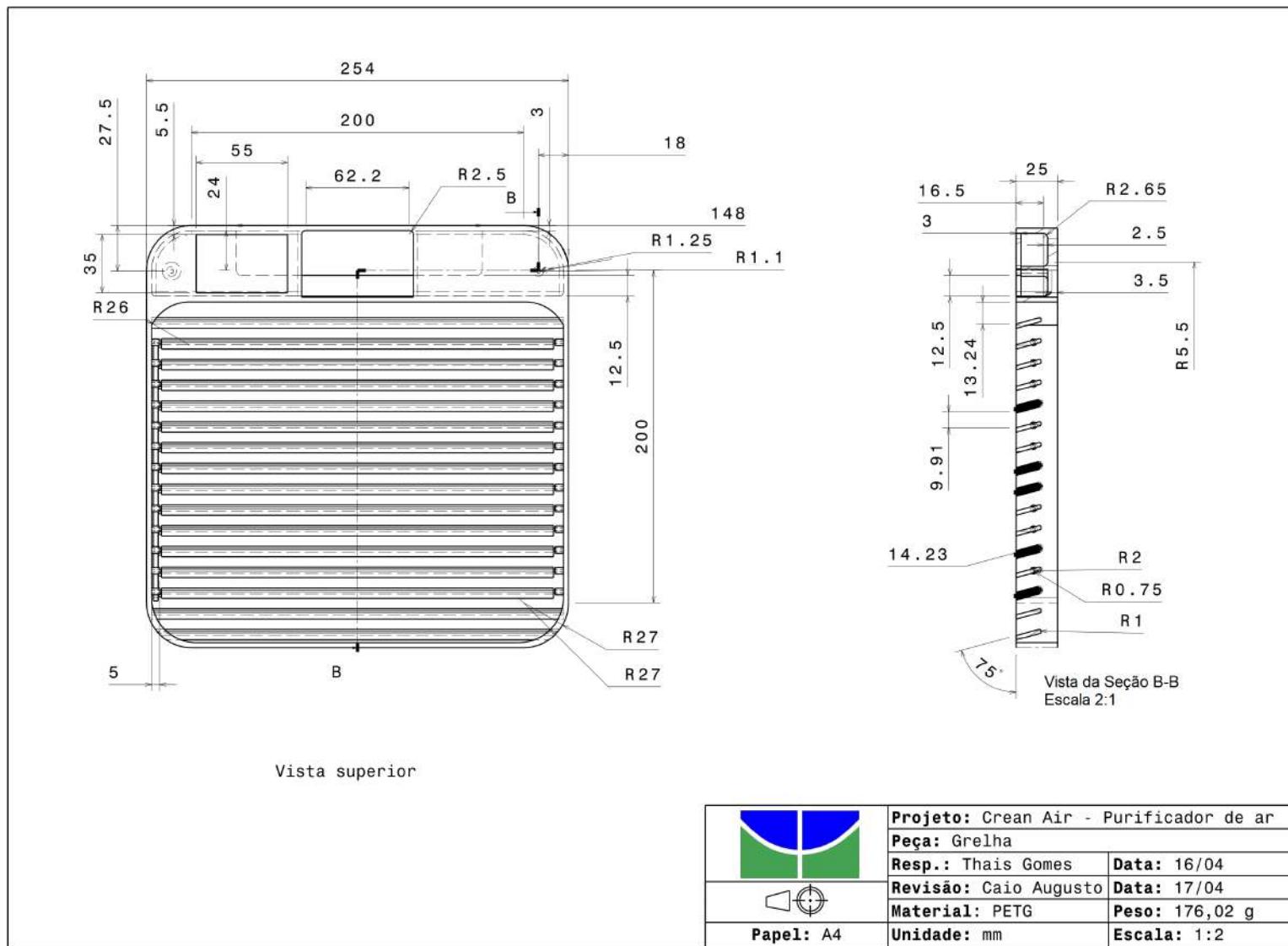


Figura 103 – Grelha de ventilação *CleanAir*

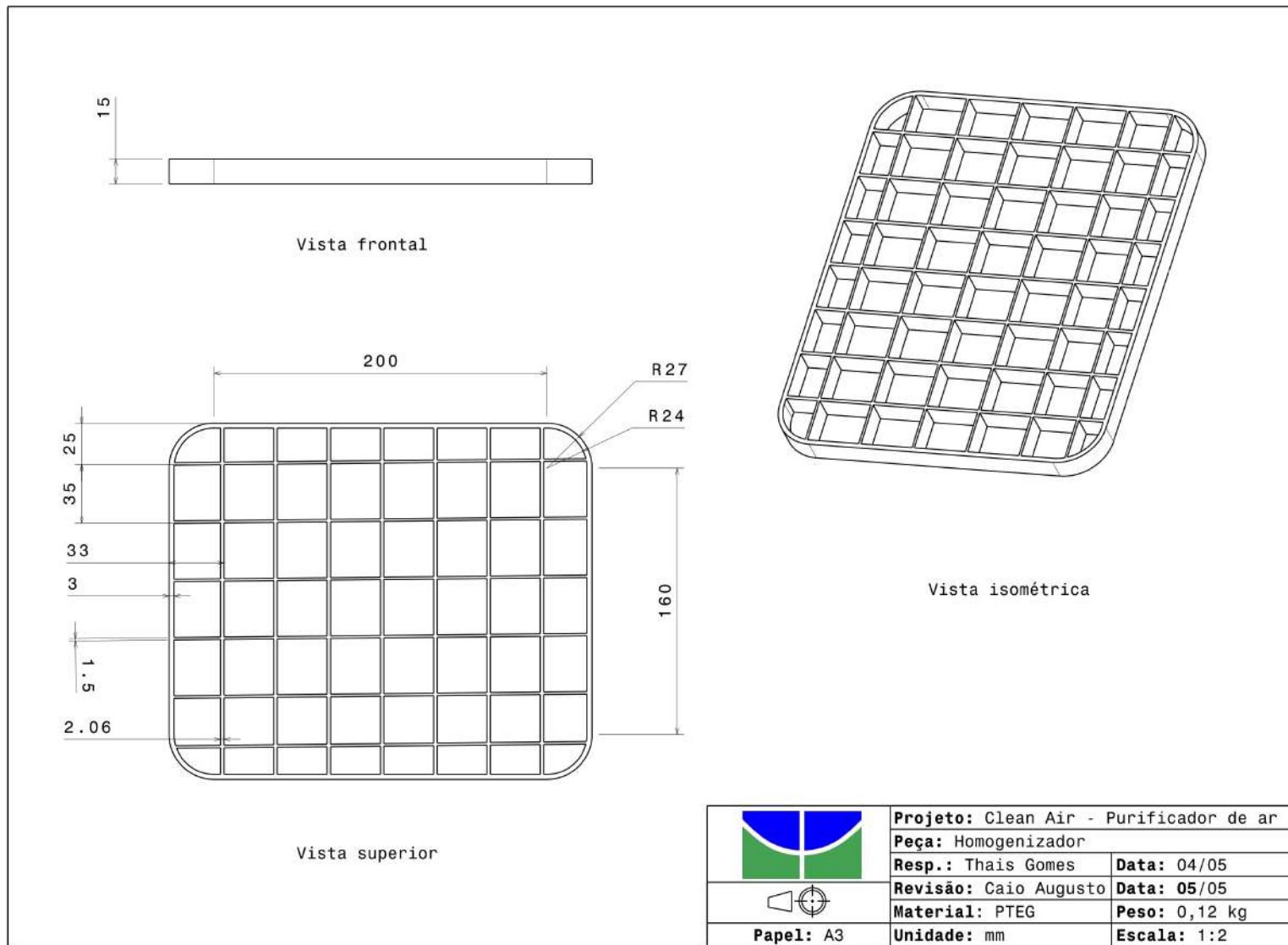
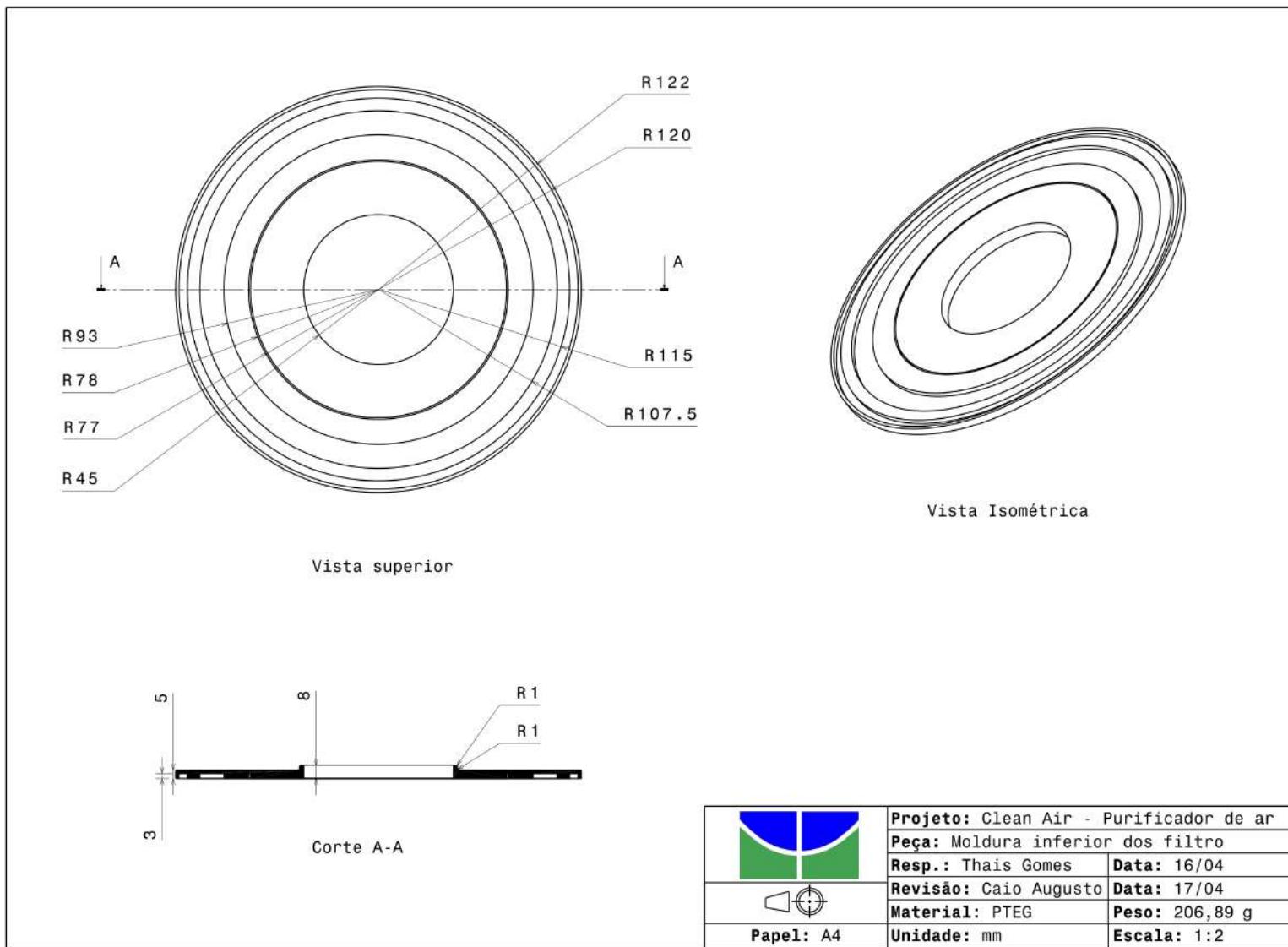


Figura 104 – Homogenizador *CleanAir*

Figura 105 – Moldura inferior *CleanAir*

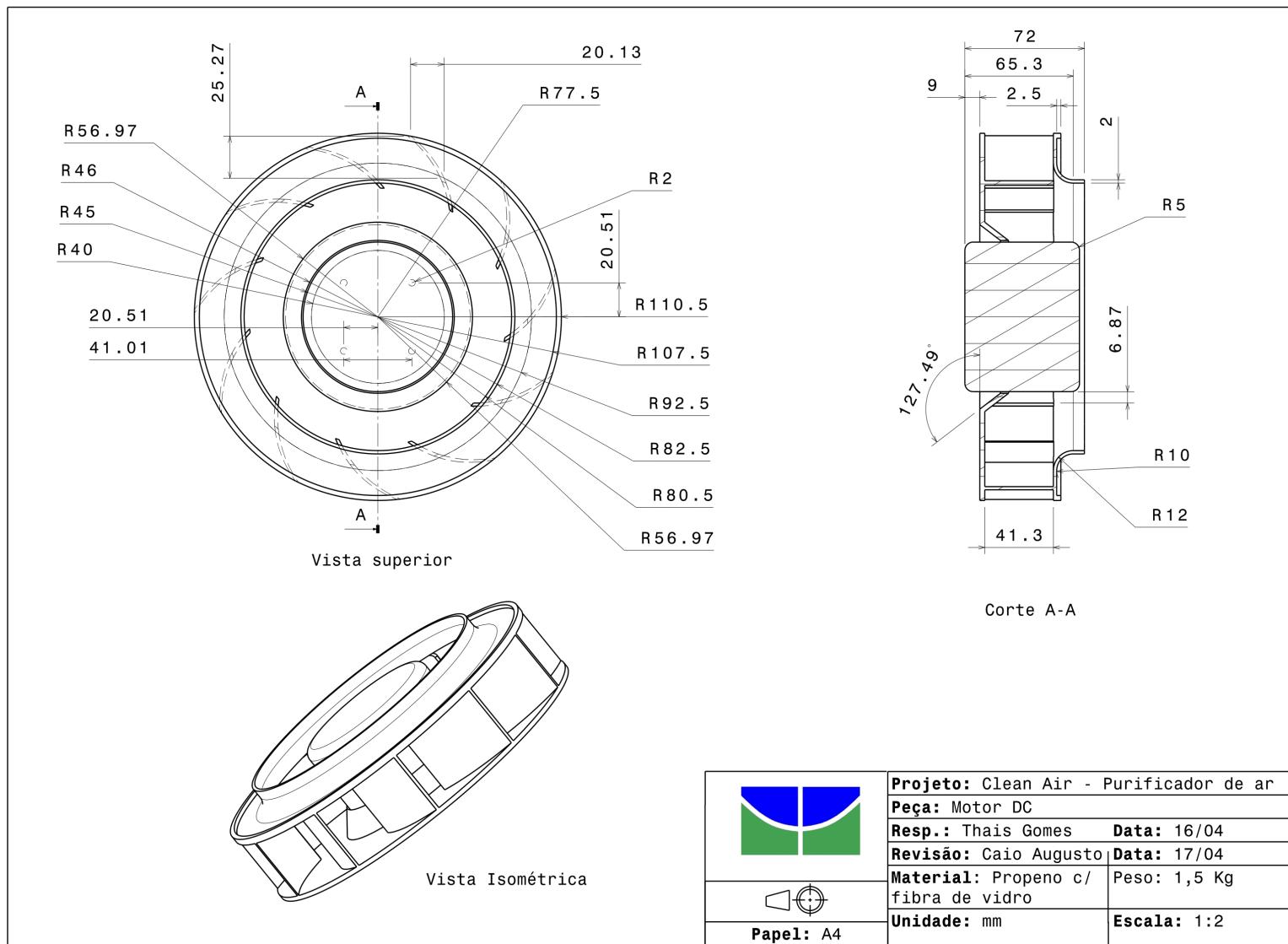


Figura 106 – Motor DC do *CleanAir*

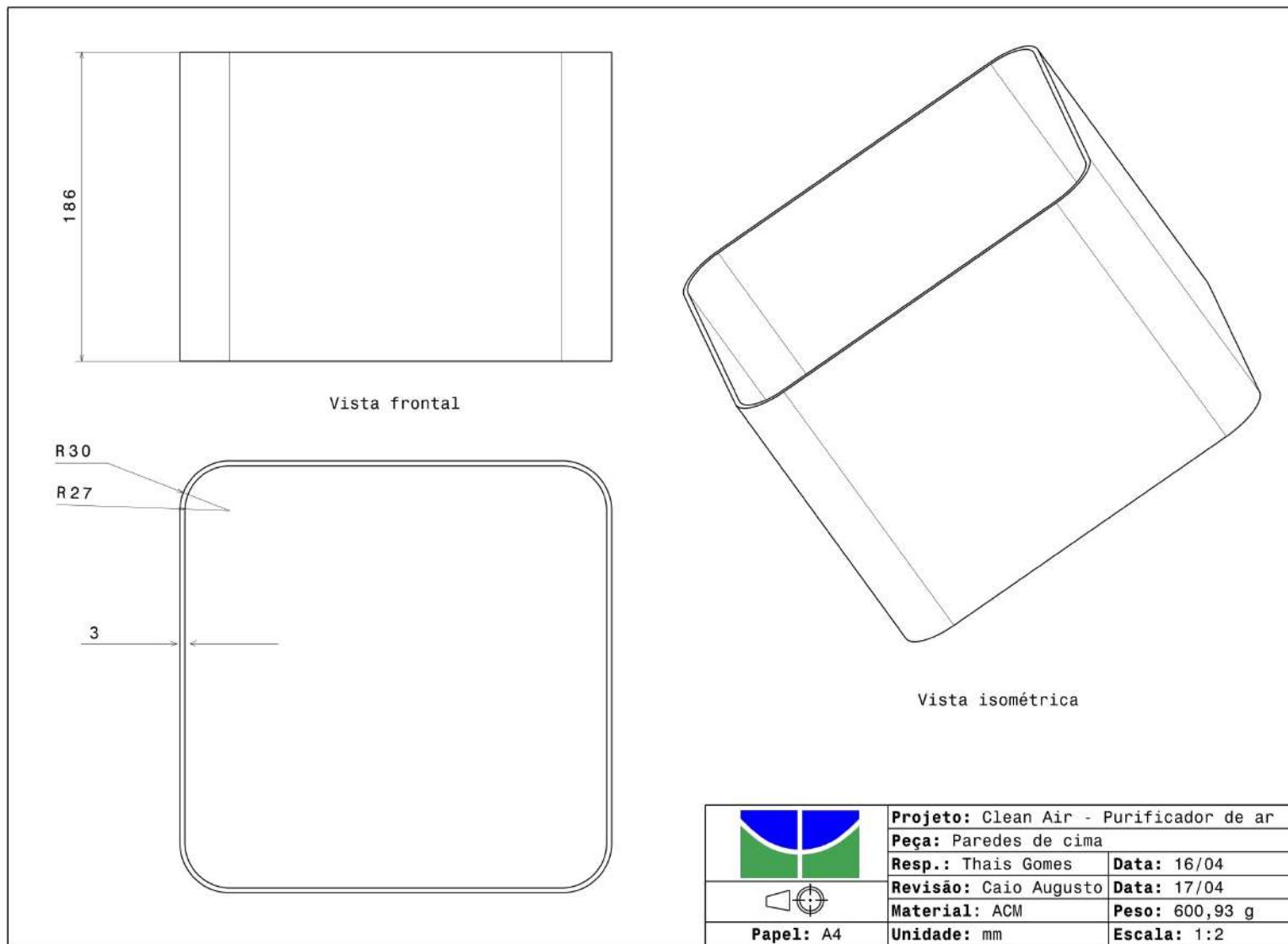


Figura 107 – Paredes de cima do *CleanAir*

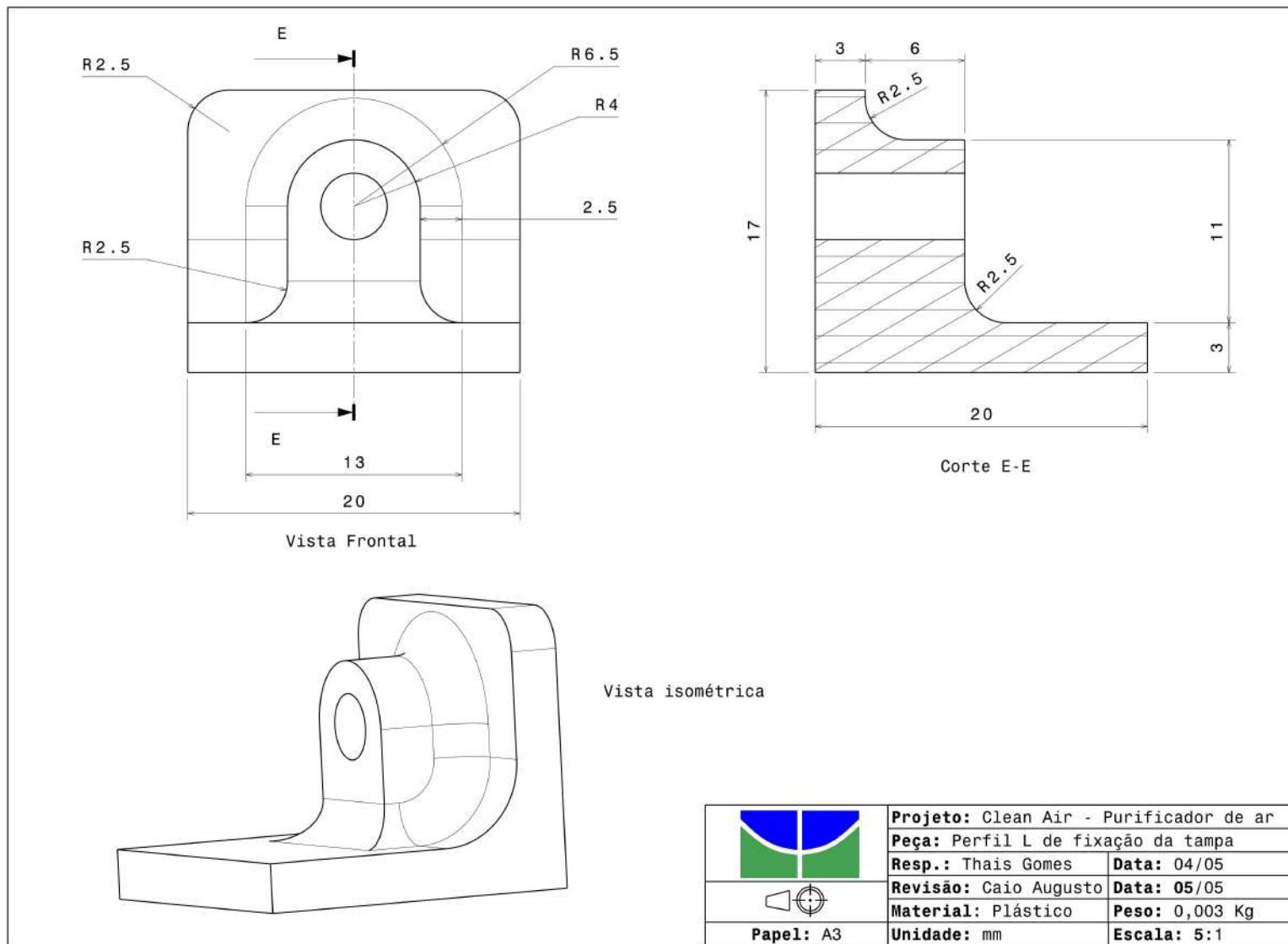
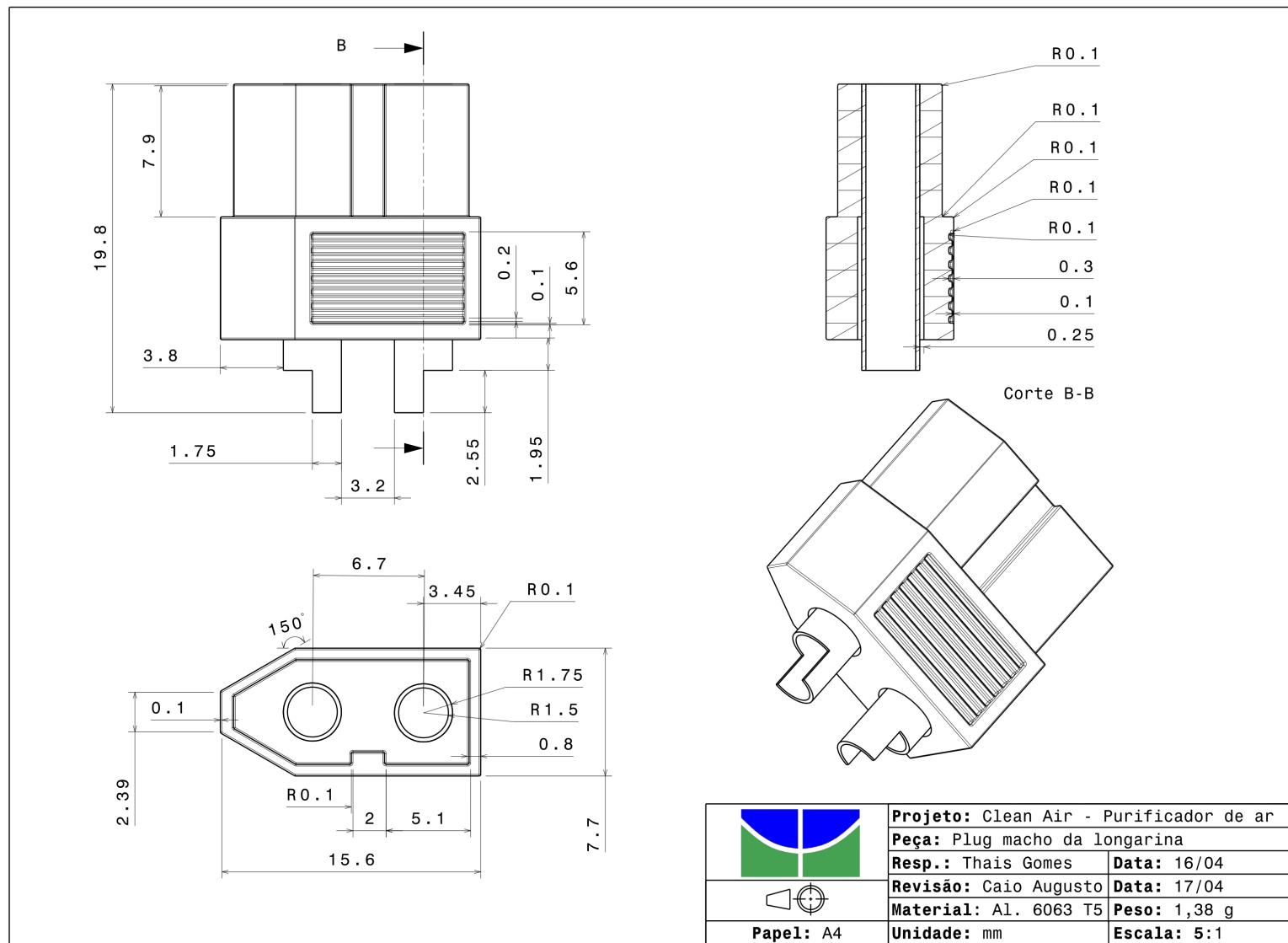


Figura 108 – Paredes de cima do *CleanAir*

Figura 109 – Plug macho para conexão das longarinas do *CleanAir*

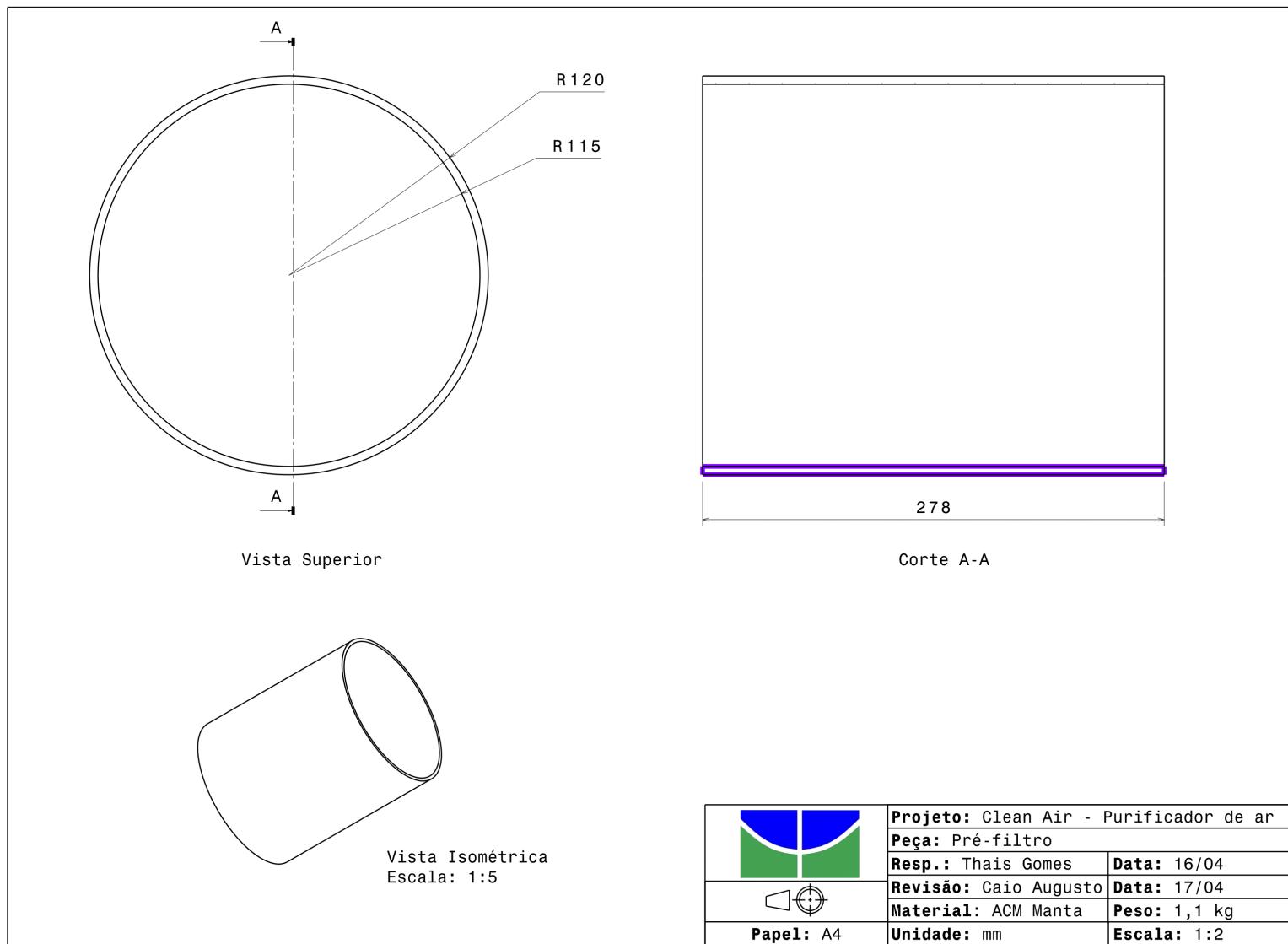


Figura 110 – Pré-filtro do purificador *CleanAir*

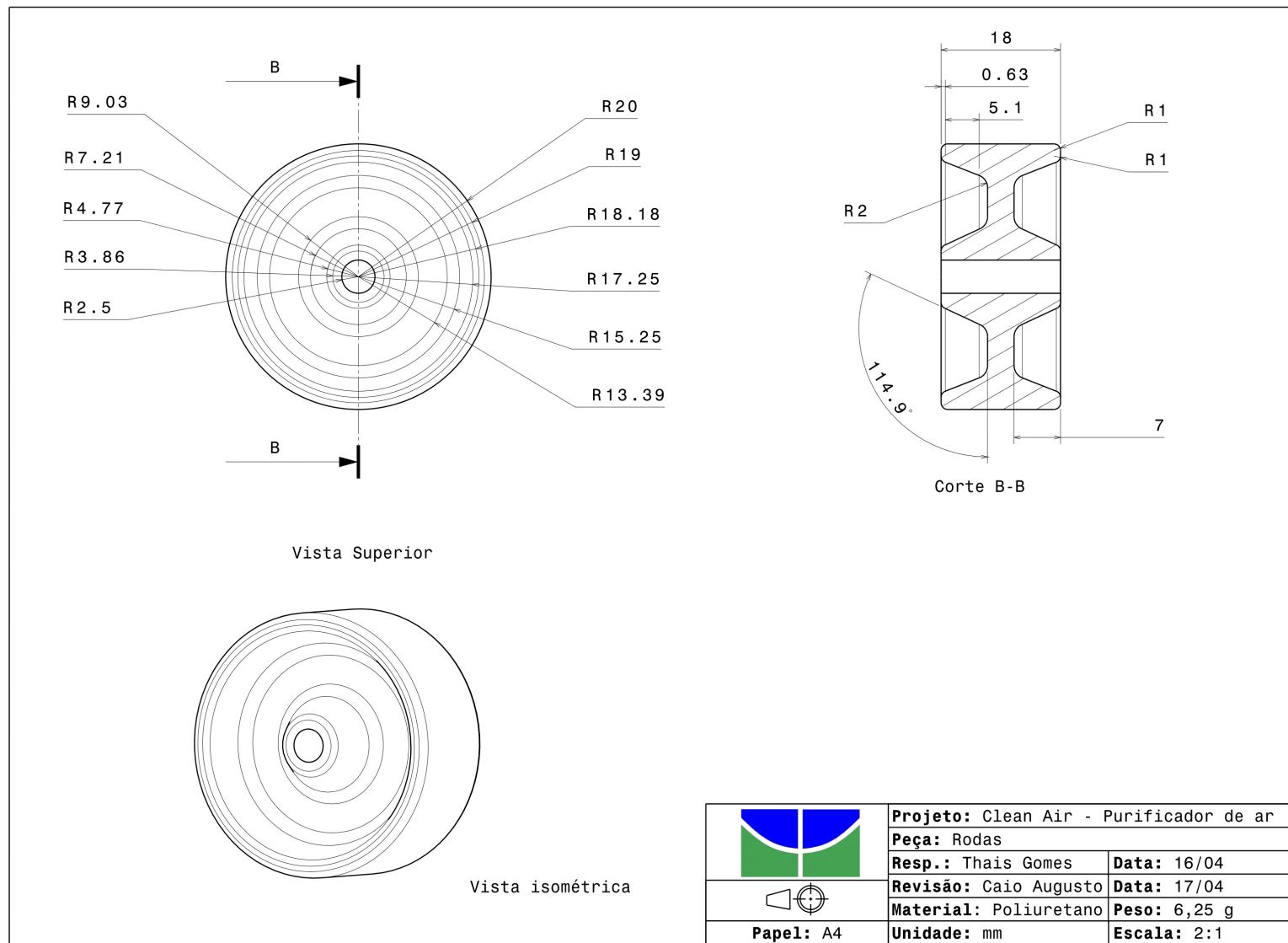


Figura 111 – Modelo das rodas do *CleanAir*

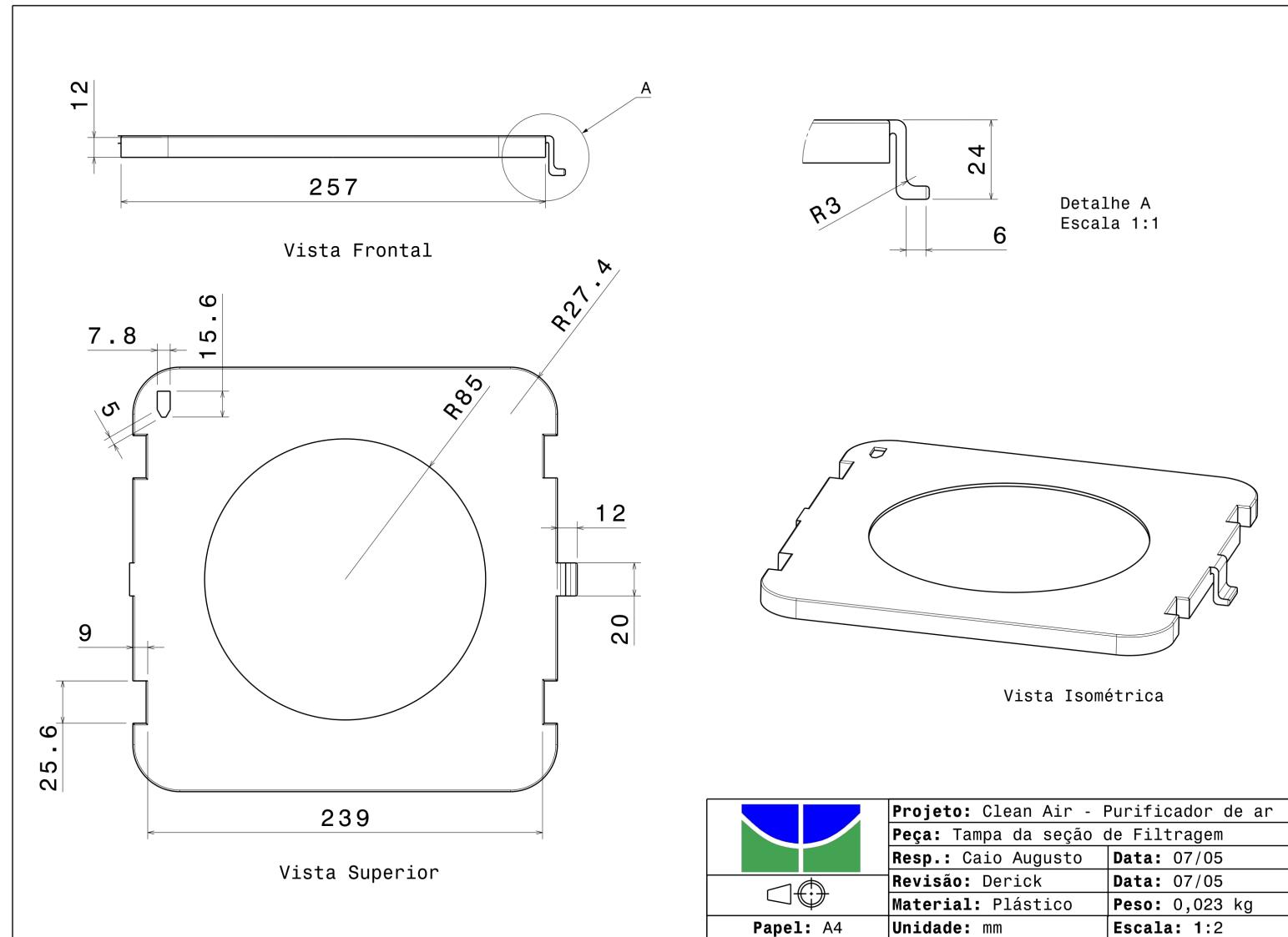


Figura 112 – Tampa da seção de fitragem *CleanAir*

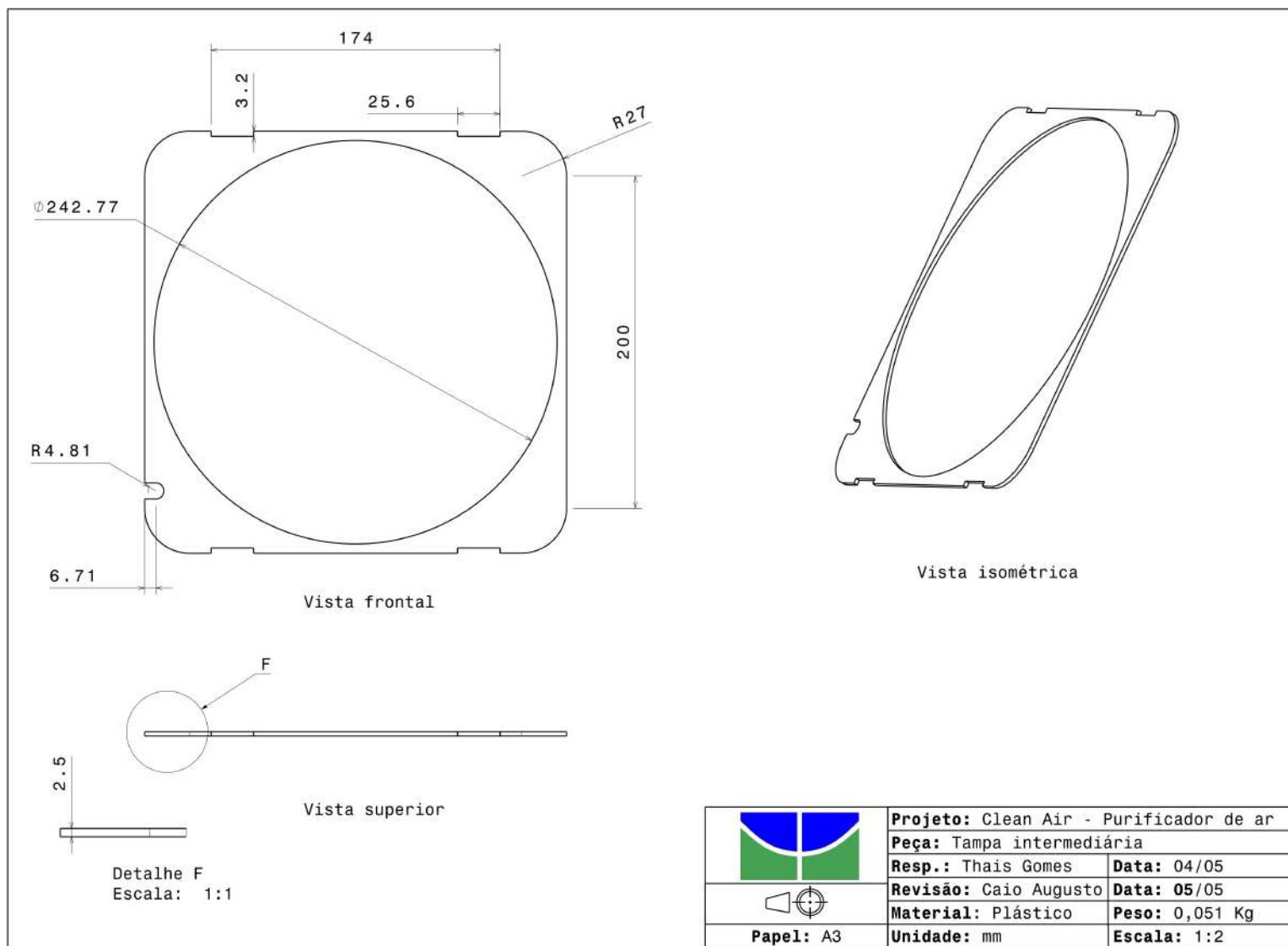


Figura 113 – Tampa intermediária *CleanAir*

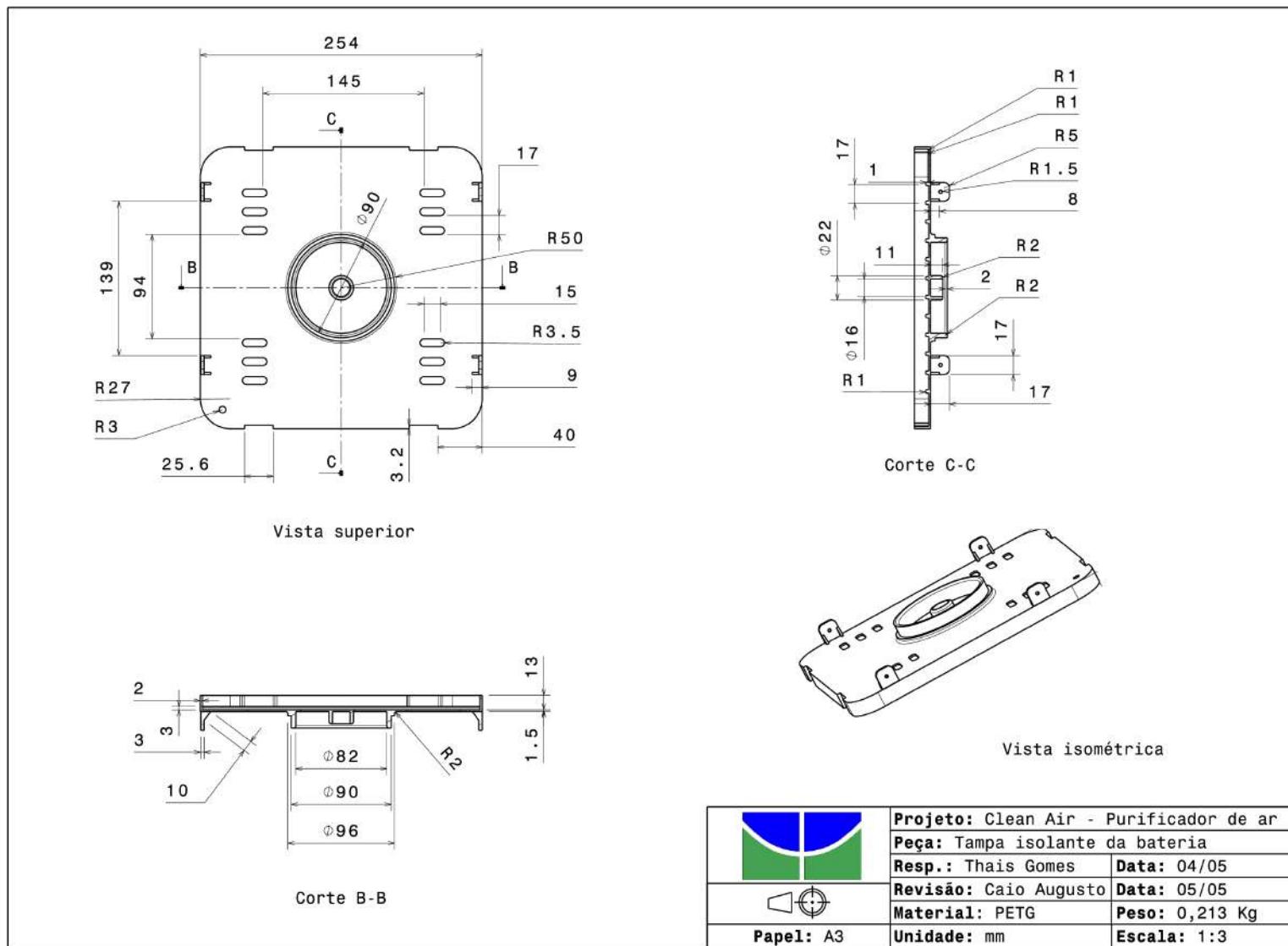


Figura 114 – Tampa isolante para a bateria *CleanAir*

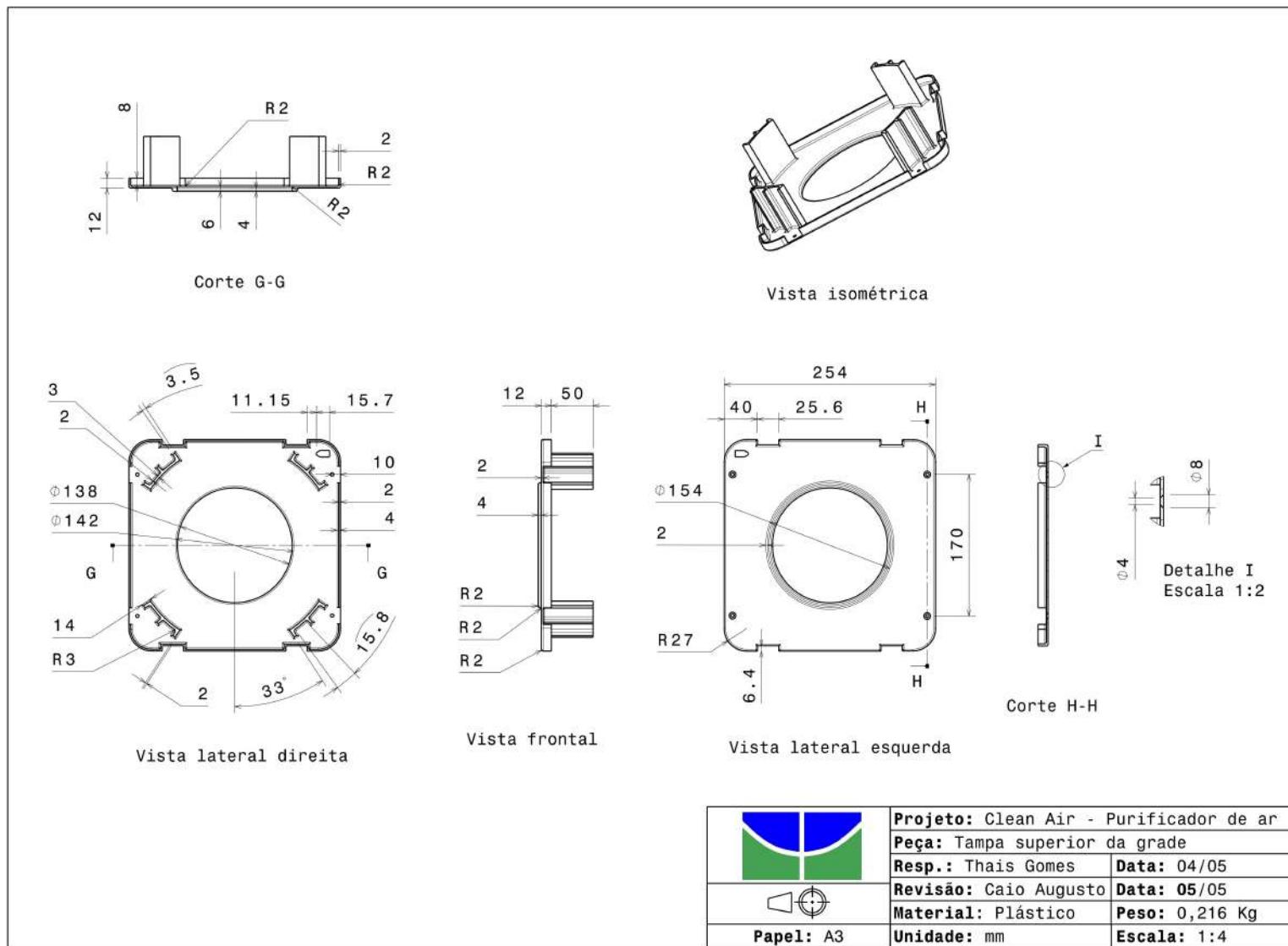


Figura 115 – Tampa superior da grade *CleanAir*

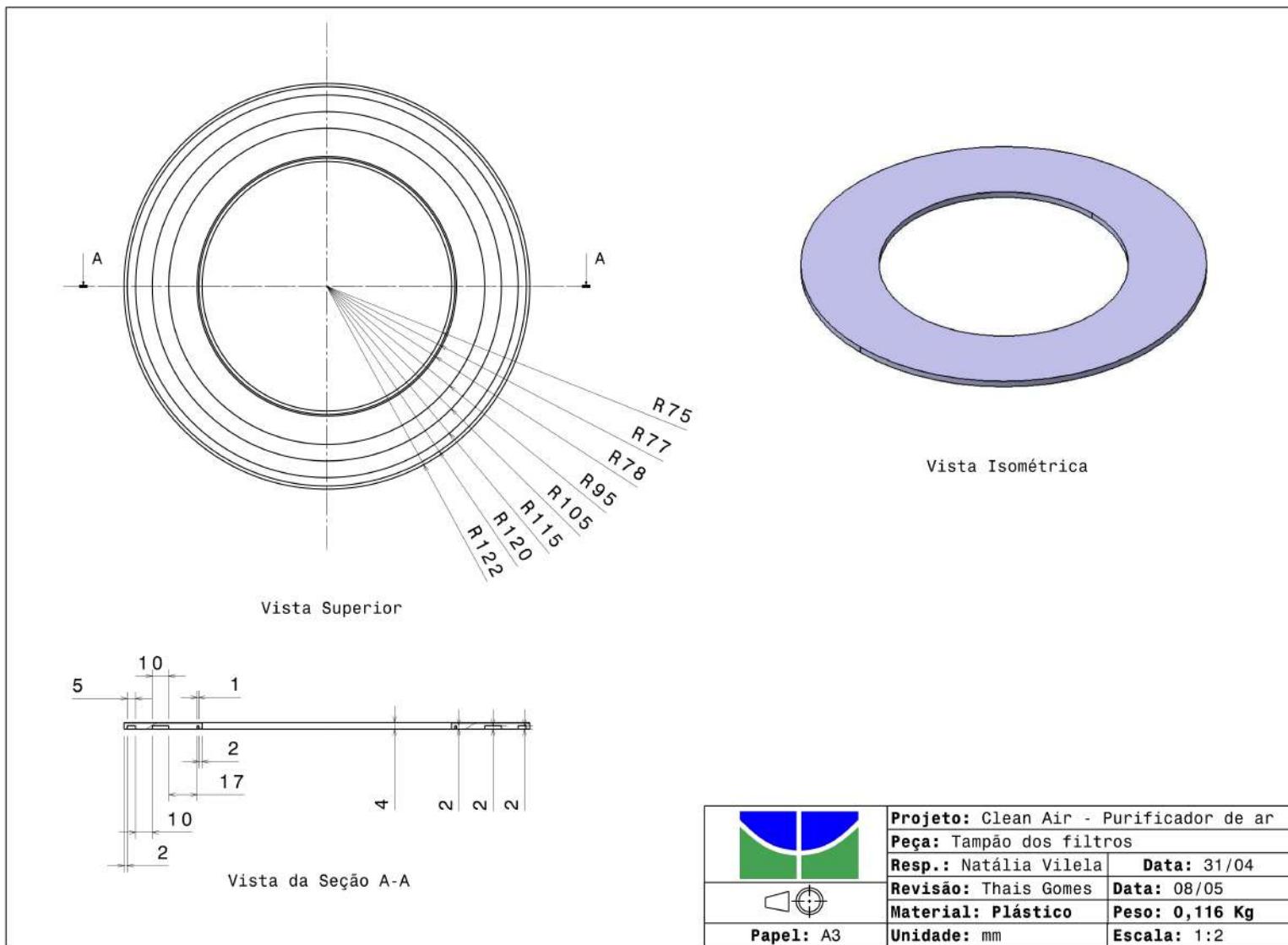


Figura 116 – Tampão dos filtros *CleanAir*

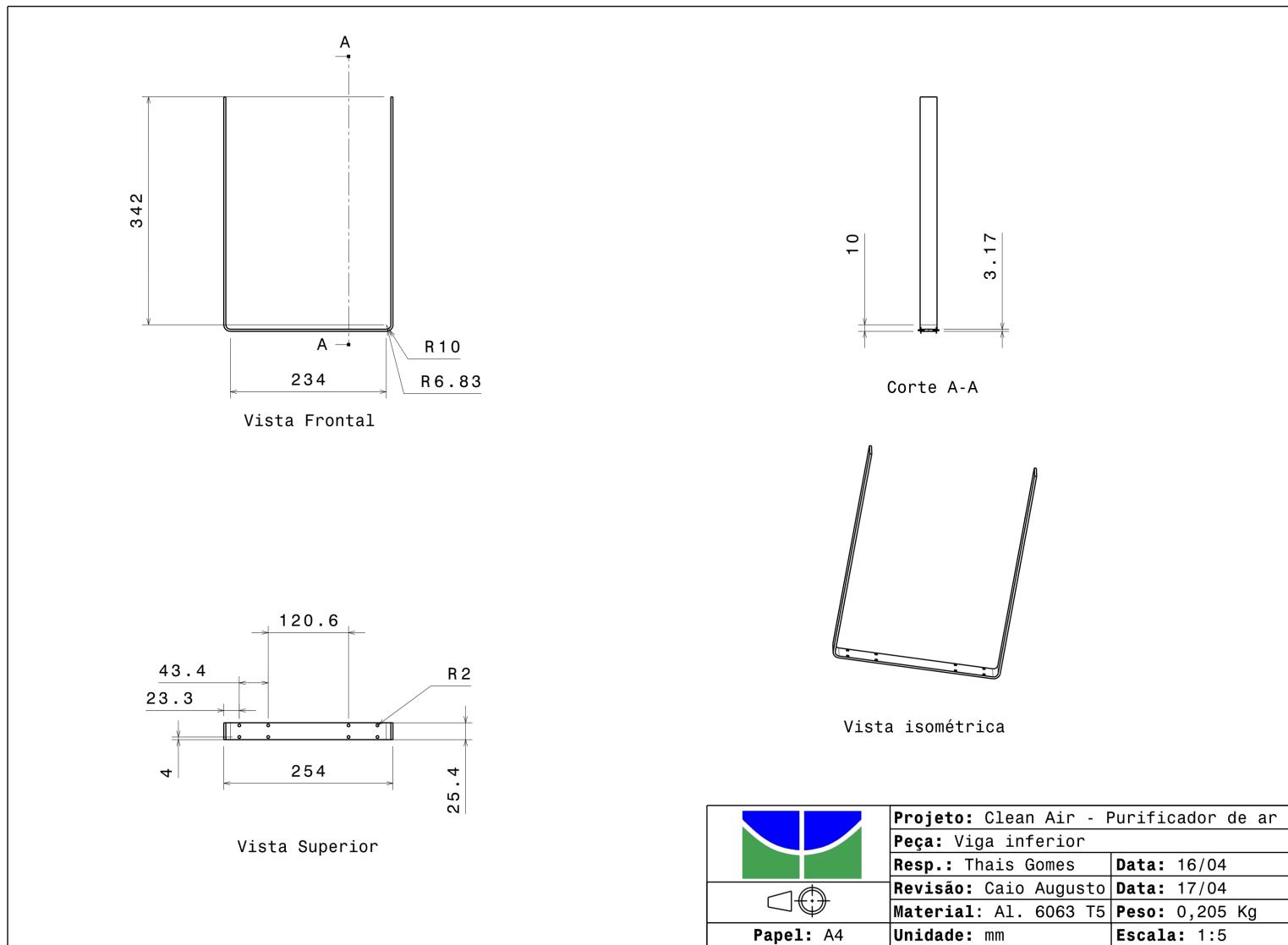


Figura 117 – Viga inferior do *CleanAir*

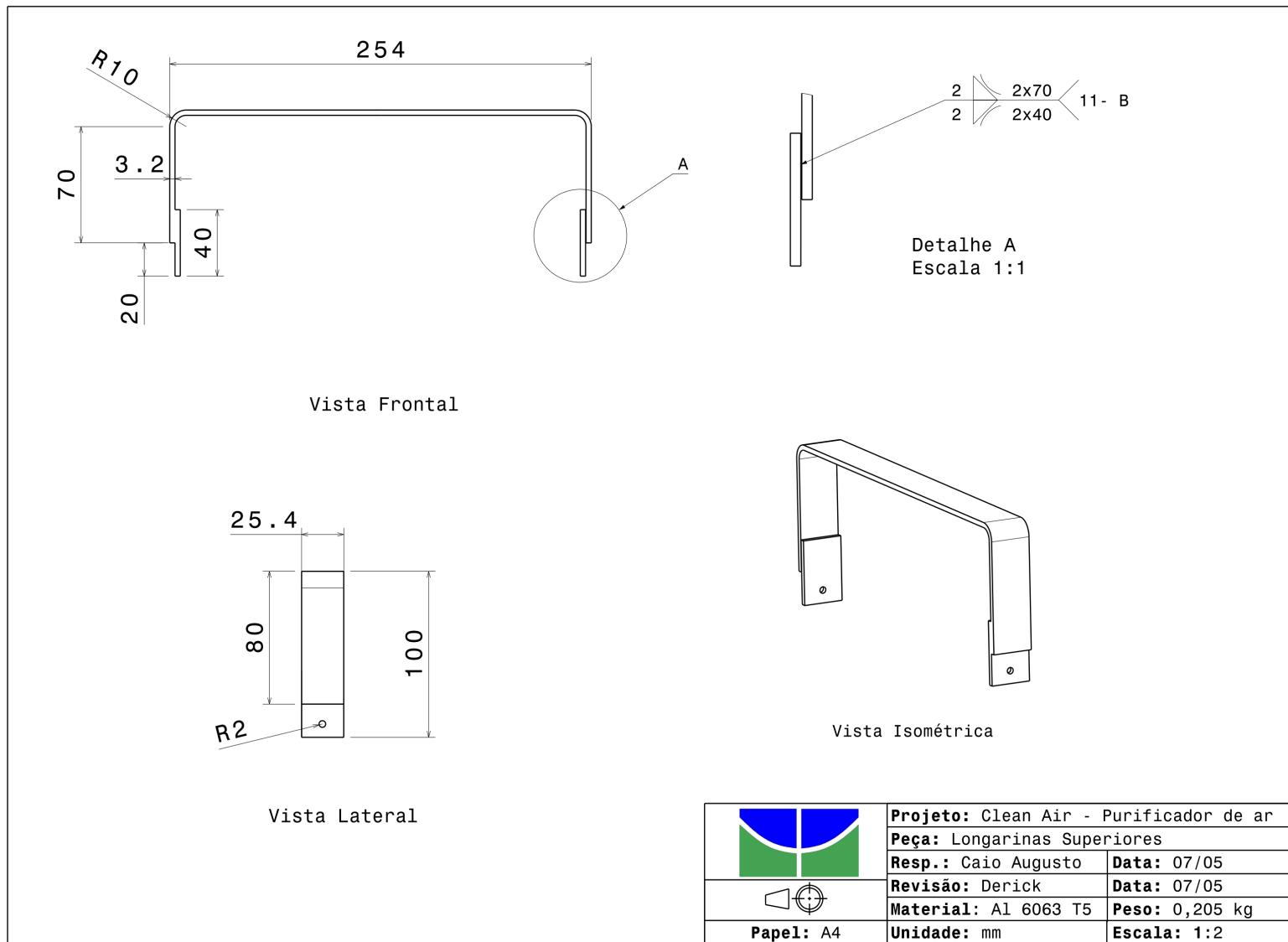


Figura 118 – Viga superior do *CleanAir*

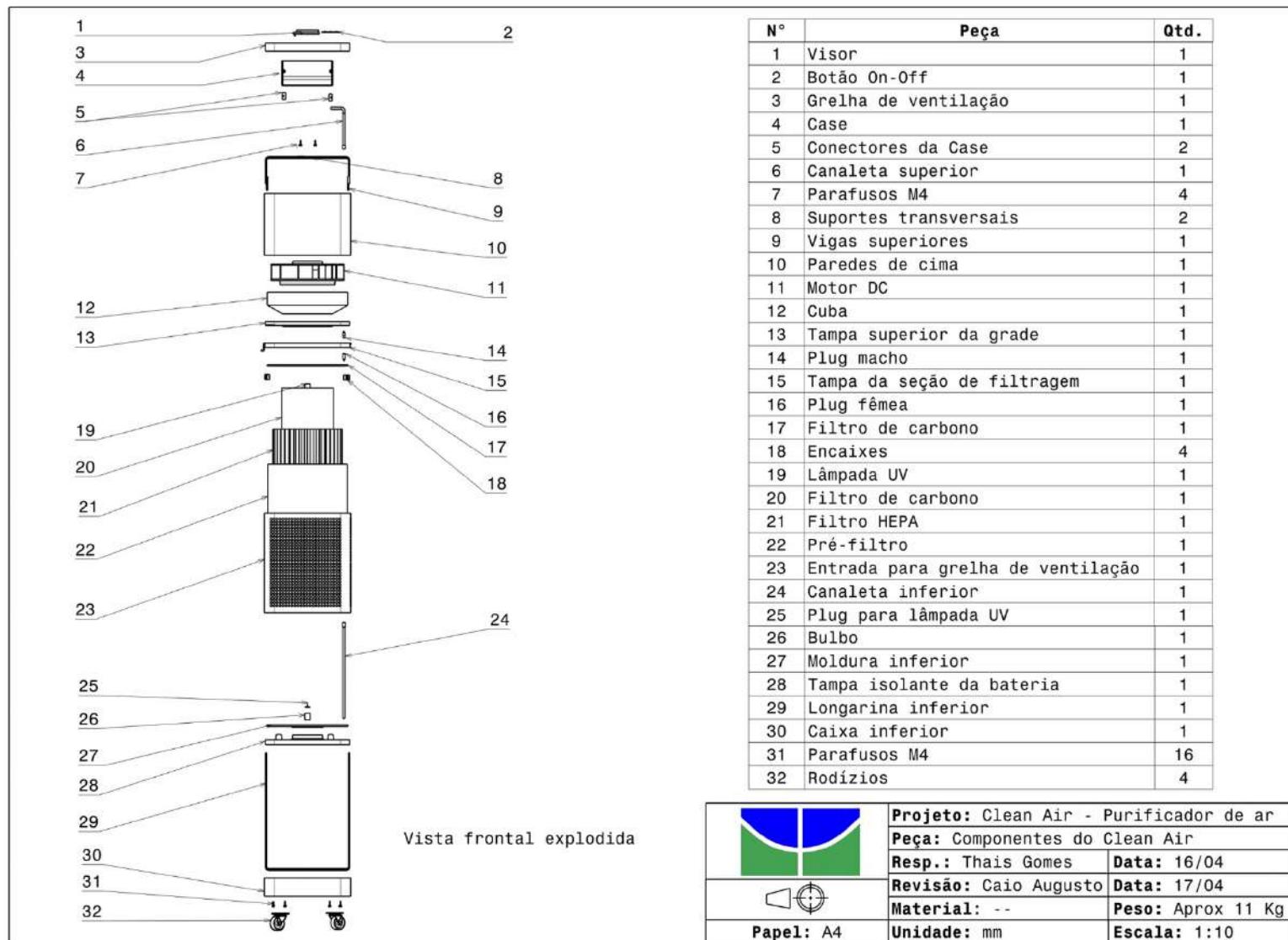


Figura 119 – Vista explodida com os componentes do *CleanAir*

APÊNDICE N – Telas do protótipo do aplicativo



Figura 120 – Estilos do protótipo

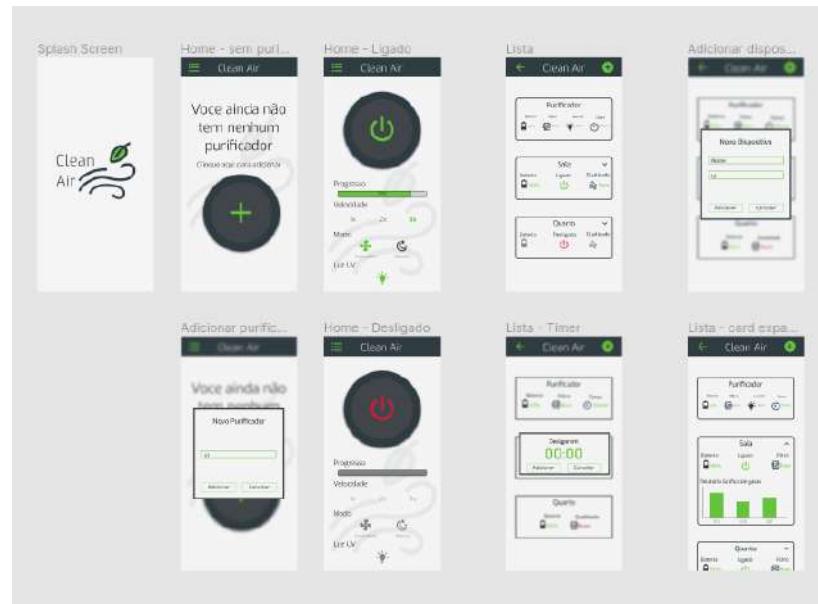


Figura 121 – Visão geral do protótipo



Figura 122 – Fluxos do protótipo

APÊNDICE O – Telas do Visor LCD

O sistema de controle do Purificador exibirá no visor LCD alguns avisos e status do sistema que consiste o projeto. Dessa forma, ao cadastrar um purificador e o dispositivo *Mobile Sensor* (o qual será escolhido por uma identificação) pelo aplicativo mobile como também a rede Wi-fi específica e depois com todos os equipamentos devidamente configurados e conectados é mostrado a tela inicial no visor como visto na figura 123. Apresenta informações do progresso da purificação que está sendo feita em porcentagem, os valores de umidade relativa do ar e de temperatura aferidas no ambiente, além de informar qual o modo de ventilação está ativo como também o status com a rede de internet. Outras funcionalidades expostas são a de nível de bateria e se a lâmpada UV está ligada ou não (de acordo com a preferência do usuário).

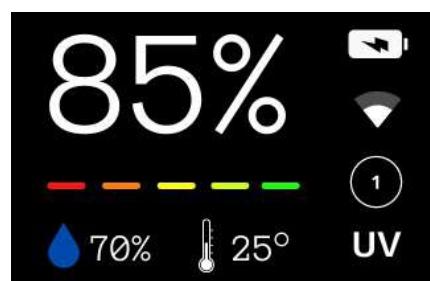


Figura 123 – Tela principal

Uma outra tela utilizada é a de modo de descanso, observada na figura 124, em que aparece automaticamente quando o equipamento do purificador não está realizando sua operação de purificar e esterilizar o ar. Então, é informado somente os dados de nível de bateria, o horário e o status do índice da qualidade do ar (IQA).

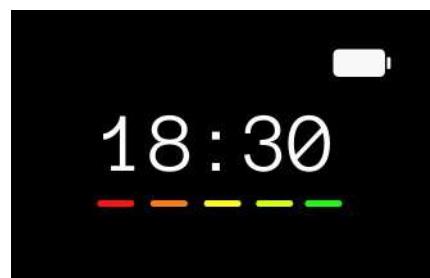


Figura 124 – Tela de descanso

APÊNDICE P – Pesquisa de público

1. **Qual sua idade?** (Respostas disponíveis: menor de 18, 18 - 25 anos, 26 - 30 anos, +30 anos)

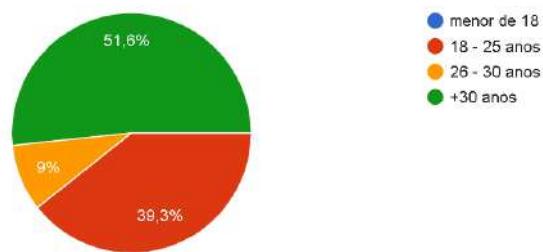


Figura 125 – Gráfico das porcentagens de respostas da pergunta número 1.

2. **Você mora em?** (Respostas possíveis: Casa, Apartamento)

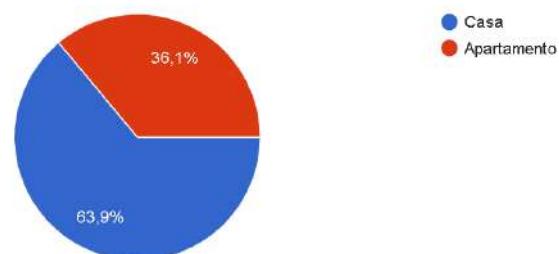


Figura 126 – Gráfico das porcentagens de respostas da pergunta número 2.

3. **Quantas pessoas moram com você?** (Respostas possíveis: Apenas eu, 2 a 3 pessoas, 3 a 4 pessoas, +4 pessoas)

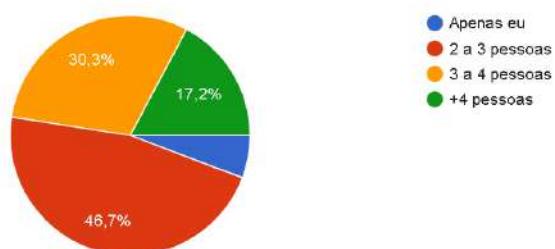


Figura 127 – Gráfico das porcentagens de respostas da pergunta número 3.

4. Você considera o local onde você mora é bem ventilado? (Respostas possíveis: Sim, Não)

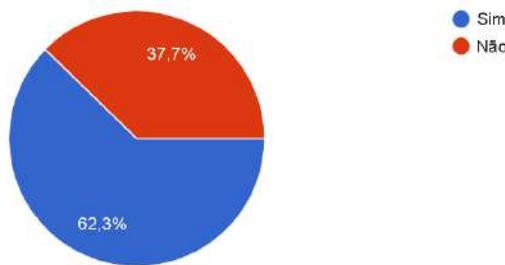


Figura 128 – Gráfico das porcentagens de respostas da pergunta número 4.

5. Levando em consideração a presença de acáros, vírus, fungos, bactérias, fumaça, poeira, fuligem, pelos, umidade e odores indesejáveis como você quantifica a qualidade do ar no local onde você mora? (Respostas possíveis: 1; 2; 3; 4; 5)

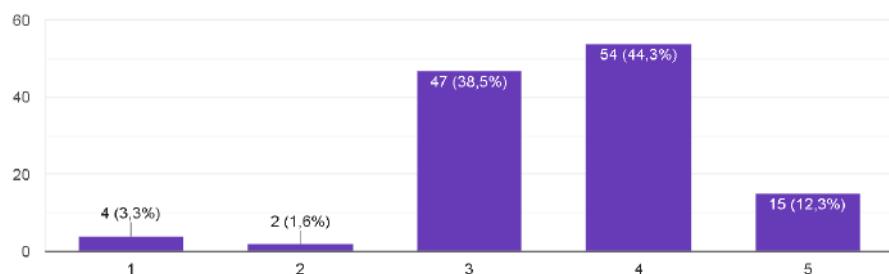


Figura 129 – Gráfico das porcentagens de respostas da pergunta número 5.

6. Você possui alguma doença respiratória crônica? (Respostas possíveis: sim, não, não sei)

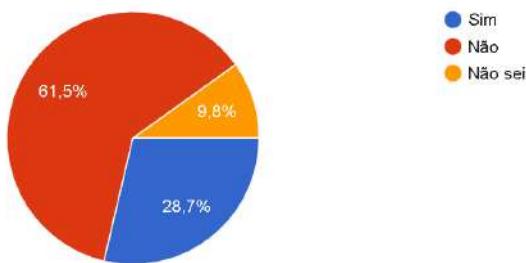


Figura 130 – Gráfico das porcentagens de respostas da pergunta número 6.

7. Você acha que a qualidade do ar do local onde você mora impactam diretamente na sua saúde? (Respostas possíveis: sim, não, não sei)

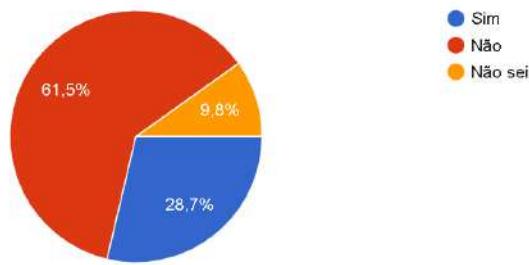


Figura 131 – Gráfico das porcentagens de respostas da pergunta número 7.

8. Você costuma permitir ventilação no local em que dorme durante seu sono? (Respostas possíveis: sim, não)

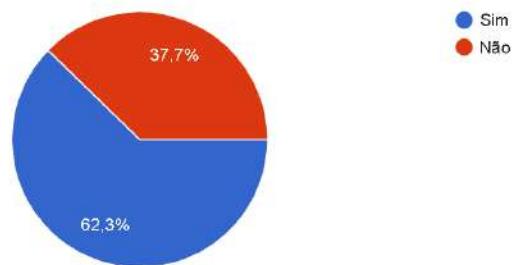


Figura 132 – Gráfico das porcentagens de respostas da pergunta número 8.

9. De 1 à 5 quão importante é para você saber da qualidade do ar que respira? (Respostas possíveis: sim, não)

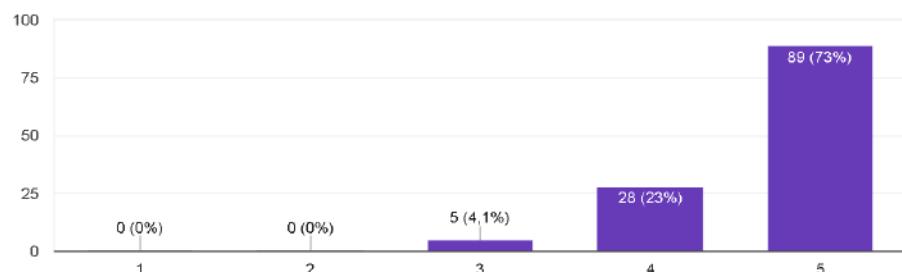


Figura 133 – Gráfico das porcentagens de respostas da pergunta número 9.

10. Das necessidades que devem ser atendidas pelo Purificador/Esterilizador de ar, marque-as com a ordem de prioridade na sua opinião. (Respostas possíveis: Eliminar Vírus, Bactérias e Fungos; Eliminar elementos alérgenos(que causam alergias); Eliminar odores indesejáveis.)

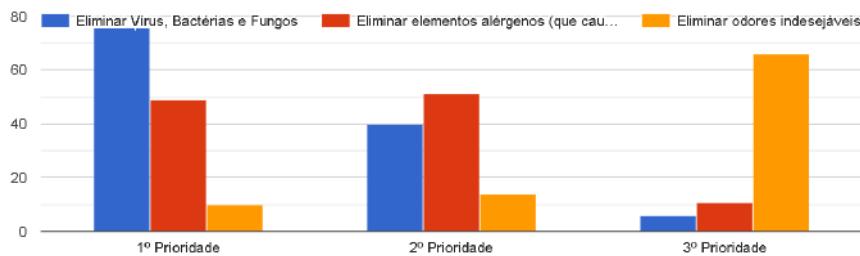


Figura 134 – Gráfico das porcentagens de respostas da pergunta número 10.

11. Se você fosse comprar um Purificador/Esterilizador de ar ambiente, qual das características abaixo você levaria em conta na escolha do produto. (Respostas possíveis: Eficiência na purificação e esterilização do ar; Capacidade de purificar a maior área possível; Funcionalidades como: Controle por voz e monitoramento da qualidade do ar e do aparelho via celular; Design atraente e compacto; Durabilidade; Preço)



Figura 135 – Gráfico das porcentagens de respostas da pergunta número 11.

12. Você acredita que um Purificador/Esterilizador de ar possa ajudar na sua saúde respiratória? (Respostas possíveis: sim, não, talvez)

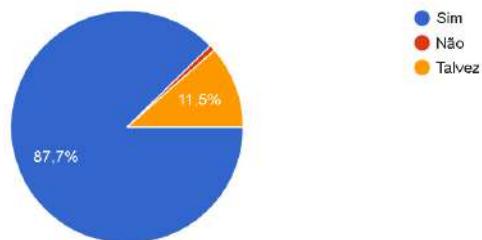


Figura 136 – Gráfico das porcentagens de respostas da pergunta número 12.

13. Caso fosse acessível, você compraria um Purificador de ar com o compromisso de melhorar e resguardar sua saúde respiratória? (Respostas possíveis: sim, não, talvez)

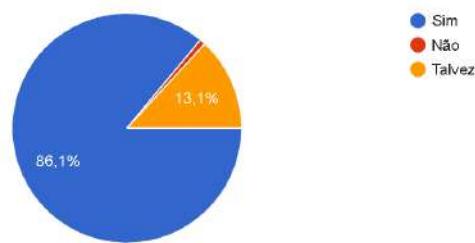


Figura 137 – Gráfico das porcentagens de respostas da pergunta número 13.

- item Em uma escala de 1 à 5 quanto interessante você acha que seria ter uma aplicativo de celular que informasse a qualidade do ar na sua casa? (Respostas possíveis: 1; 2; 3; 4; 5)

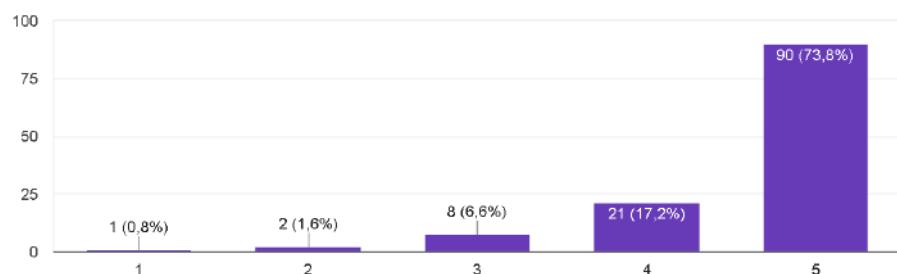


Figura 138 – Gráfico das porcentagens de respostas da pergunta número 14.

14. O que você mais gostaria de saber sobre o ar que respira? (Respostas possíveis: Quantidade de poeira, fuligem e outros elementos alérgenos (que causam alergias); Quantidade de gases poluentes; Temperatura e umidade do ar; Outro)

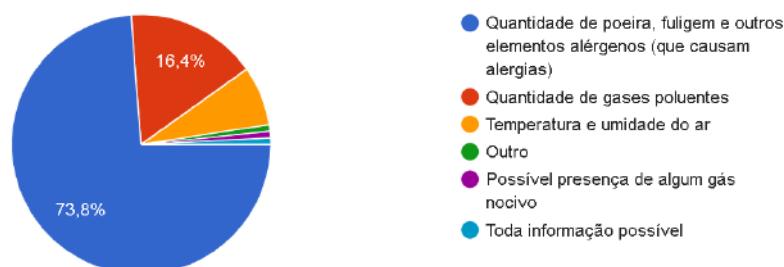


Figura 139 – Gráfico das porcentagens de respostas da pergunta número 14.

15. Qual outro local além da sua casa você gostaria que tivesse um sistema de purificação e esterilização do ar? (Resposta livre)

Das 122 pessoas que responderam à pesquisa, 45 disseram que gostaria de ter um sistema de purificação e esterilização no trabalho, 26 disseram que gostaria que tivesse um sistema em ambiente escolar/acadêmico e outras 52 pessoas responderam com locais variados, entretanto, em todas as respostas notou-se relação com grande trânsito de pessoas.

APÊNDICE Q – Dados em JSON

Os dados coletados dos purificadores e sensores mobile são armazenados no banco de dados MongoDB. Na *collection* chamada *clean-air* é armazenado uma listagem com todos os purificadores cadastrados, dentro de cada purificador é listado os sensores mobile que estão conectados à ele. A seguir é apresentado um exemplo do JSON referente a um purificador.

```
{
  "device": {
    "type": "purifier",
    "battery": 50,
    "filter_status": "medium",
    "light_status": "good",
    "active": false,
    "id": 1,
    "mobile_sensors": [
      {
        "type": "mobile_sensor",
        "battery": 80,
        "quality": "good",
        "active": true,
        "id": 1,
        "metrics": {
          "MP10": "15",
          "MP2.5": "8",
          "O2": "25",
          "CO": "2",
          "NO2": "45",
          "SO2": "5"
        },
        "temperature": "23",
        "humidity": "54"
      },
      {
        "type": "mobile_sensor",
        "battery": 20,
        "quality": "bad",
        "active": false,
        "id": 2
      }
    ]
  }
}
```

```
    "active": false,
    "id": 2,
    "metrics": {
        "MP10": "15",
        "MP2.5": "8",
        "O2": "25",
        "CO2": "2",
        "NO2": "45",
        "SO2": "5"
    },
    "temperature": "23",
    "humidity": "53"
}
]
}
```

APÊNDICE R – Manual de Montagem



MANUAL DE MONTAGEM



Sumário

1. Especificações Gerais	2
2. Componentes eletrônicos	2
3. Componetes estruturais	3
4. Montagem eletrônica	5
4.1. Display.	
4.2. PCI Superior.	
4.3. PCI Inferior	
5. Montagem estrutural	8
5.1. Estrutura Externa	
5.2. Reforços Internos (Longarinas)	
5.3. Seção de Filtragem	
5.4. Seção de Potência.	
5.5. Rodas.	
5.6. Display	
5.7. Sensor Mobile	

1. Especificações Gerais

O Clean Air é um equipamento destinado a purificação e verificação da qualidade do ar do ambiente. Seu objetivo é manter o ambiente limpo e notificar ao usuário via aplicativo quando um ambiente necessita ser purificado.

2. Componentes elétricos e eletrônicos

2.1. Purificador

- 1 Botão Membrana 3 chaves
- 1 Display LCD TFT 2.2"
- 1 Microcontrolador
- 1 Placa de Circuito Impresso do Sistema de controle
- 1 Placa de Circuito Impresso da Potência
- 1 Motor DC e Ventilador
- 1 Lâmpada UV
- 2 baterias de 24V
- 1 Carregador (Fonte)

2.2. Mobile Sensor

- 1 Botão Liga e desliga
- 1 Microcontrolador
- 1 Módulo com sensor MQ-2 (Fumaça)
- 1 Módulo com sensor MQ-131(Ozônio)
- 1 Módulo com sensor MICS (NO₂)
- 1 Módulo DGS (SO₂)
- 1 Módulo com sensor BME680
- 1 Placa de Circuito Impresso
- 1 Indicador de bateria
- 1 Micro-cooler
- 1 Bateria 5V
- 1 Carregador (Fonte)

3.Componentes estruturais

3.1. Purificador

- 6 barras chatas de alumínio (largura x espessura: 25,40mm x 3,17mm);
- 2 Chapas de Aço Inox 304 (largura x espessura: 54mm x 1mm);
- 1 Chapa de Aço Inox 304 (300mm x 1040 mm, espessura 1,6mm);
- 7 Tampas de PETG;
- 4 Rodas (Swivel castor)- 25mm;
- 6 Parafusos M2- 6mm;
- 2 Parafusos M3- 30mm;
- 24 Parafusos M4- 8mm;
- 4 Parafusos M4- 10mm;
- 8 Parafusos M4- 12mm;
- 6 Porcas M2;
- 36 Porcas M4;
- 4 Encaixes perfil L
- 4 Encaixes perfil U
- 1 Alça
- 1 Chapa de ACM (3mm x 240mm x 1040mm);
- 2 Bulbos (diâmetro 16mm x comprimento 20mm);
- 2 Conectores XT60 Plugs (macho e fêmea);
- 2 Canaletas (superior e inferior);
- 1 Lâmpada UV
- 1 Anel de vedação (O-ring)- diâmetro externo e interno de 170mm e 145mm, espessura de 2,4mm)
- 1 Pré-filtro
- 1 Filtro de Carbono
- 1 Filtro HEPA
- 4 Pinos ranhurados 2x5 mm

3. Componentes estruturais

3.2. Mobile Sensor

- 1 Estrutura interna de PETG
(97 mm x 94 mm, espessura 3 mm);
- 1 Estrutura externa de ACM
(100 mm x 100 mm, espessura 3 mm);
- 2 Suportes transversais de PETG
(73 mm x 5 mm, espessura 2 mm);
- 1 Suporte da bateria de PETG
(63 mm x 39 mm);
- 2 Encaixes de ACM
(80 mm x 3 mm);

4. Montagem eletrônica

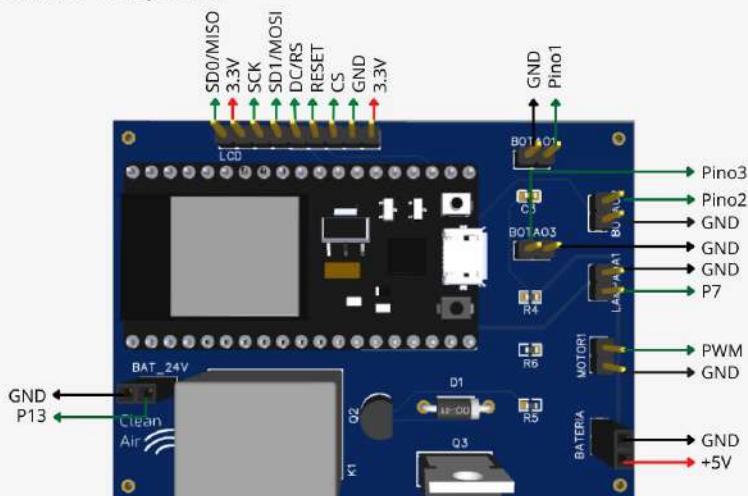
Toda a conexão das PCIs devem ser realizadas na ordem apresentada na tabela seguindo os pinos na coluna **Legenda PCI**, ou seja, o que está escrito na PCI, até onde deve ser conectado (coluna **Conexão externa**) e qual cabeamento necessário (coluna **Cabos**).

4.1. Purificador

- PCI de controle (superior)

Legenda PCI	Conexão externa	Cabos
LCD	Módulo LCD	Molex 9 Pin
BOTA01	Pino 1 e GND Membrana 3x1	Molex 2 Pin
BOTA02	Pino 2 e GND Membrana 3x1	Molex 2 Pin
BOTA03	Pino 3 e GND Membrana 3x1	Molex 2 Pin
LAMPADA1	LAMPADA_12V*	Molex 2 Pin
MOTOR1	M_24v*	Molex 2 Pin
BAT_24V	M3_3*	Molex 2 Pin
BATERIA	Regulador de tensão 5V	Molex 2 Pin

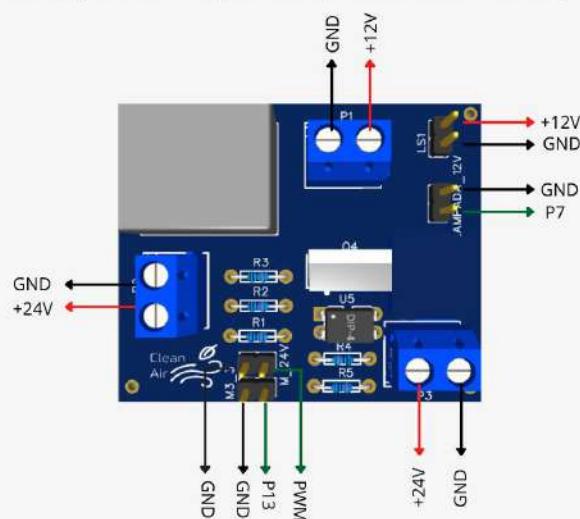
* Portas da PCI de potência



- PCI de potência (inferior)

Legenda PCI	Conexão externa	Cabos
M_24V	MOTOR1 *	Molex 2 pin
Lâmpada_12V	LAMPADA1*	Molex 2 pin
M3_3	BAT_24V *	Molex 2 pin
LS1	Lâmpada	GND e 12V
P1	Regulador de tensão 12V	GND e 12V
P2	Motor/ventilador	GND e 24V
P3	Bateria 24V	GND e 24V

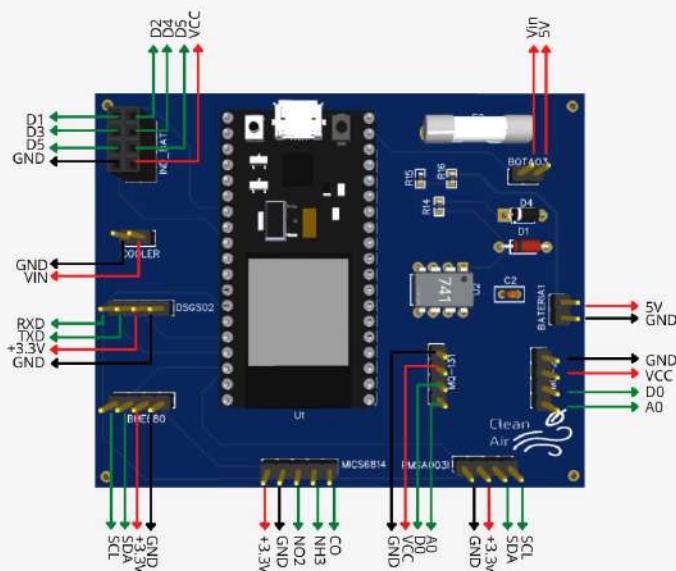
* Portas da PCI ligadas a PCI do purificador (microcontrolador ESP32).



4.2. Mobile Sensor

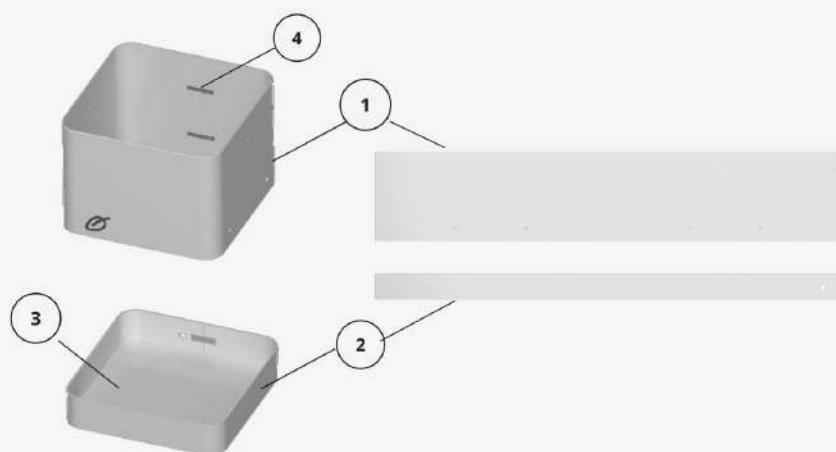
Legenda PCI	Conexão externa	Cabos
BATERIA1	Bateria 5V	GND e 5V
BOTAO3	Botão On/Off	Molex 2 pin
MQ-2	MQ-2	Molex 4 pin
MQ-131	MQ-131	Molex 4 pin

Legenda PCI	Conexão externa	Cabos
MICS6814	MICS-6814	Molex 5 pin
DSGSO2	DSG-S02	Molex 4 pin
PMSA003I	PMSA003I	Molex 4 pin
BME680	BME680	Molex 4 pin
COOLER	Micro-cooler	Molex 2 pin
IND_BAT	Indicador de bateria	Molex 8 pin

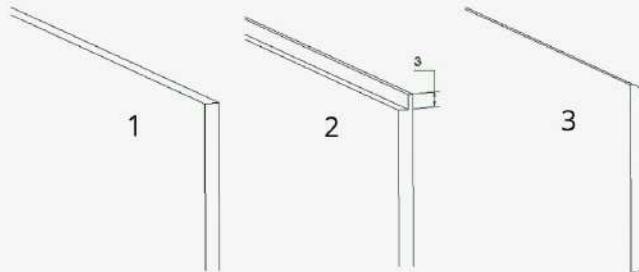


5. Montagem estrutural

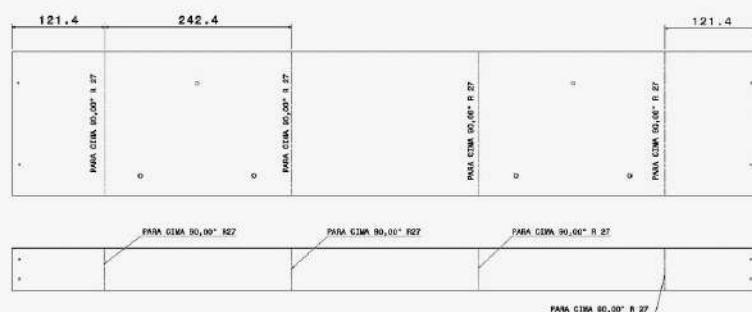
5.1 Paredes externas



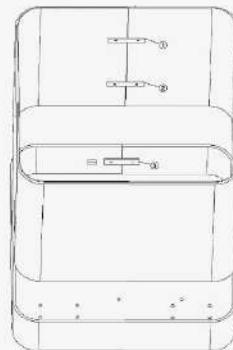
Nº do item	Nome	QTD.
1	Lateral superior (ACM)	1
2	Lateral inferior (ACM)	1
3	Parede inferior (ACM)	1
4	Placa de junção	3
-	Rebite 3,2 mm	6
	Adesivo liq. instantâneo	1

Etapa 1

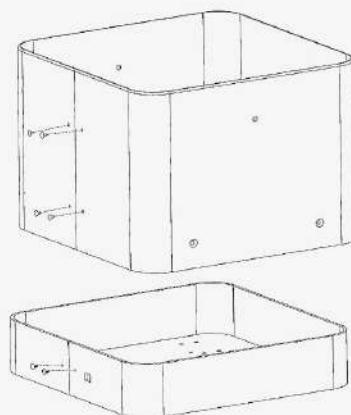
Fresar a lateral superior da chapa de ACM de 186 mm de largura e a lateral inferior do ACM de 55 mm de largura com uma fresa 45° a uma profundidade de 2 mm ou até atingir a lâmina de alumínio exterior. Após, dobrar a lâmina para dentro conforme a imagem afim de realizar o acabamento desejado.

Etapa 2

Dobrar as chapas de ACM, previamente perfuradas, da parede superior e inferior do equipamento conforme as marcações e legendas da imagem.

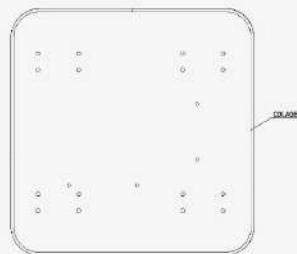
Etapa 3

Com as chapas dobradas, posicionar as placas de junção (1, 2, 3) nos devidos orfícios.

Etapa 4

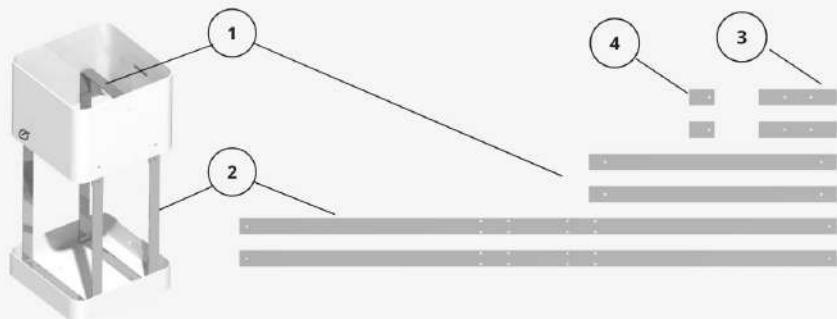
Utilizando de rebitador manual, rebite nos orifícios indicados com rebites de 3,2 mm de diâmetro.

Etapa 5



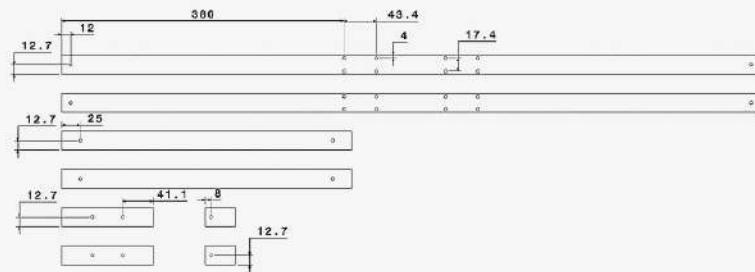
Com líquido adesivo instantâneo, cole as bordas da superfície inferior nas laterais da parede inferior do purificador conforme ilustrado na imagem. Deixe secar pelo tempo estabelecido pelo fabricante do adesivo.

5.2 Longarinas



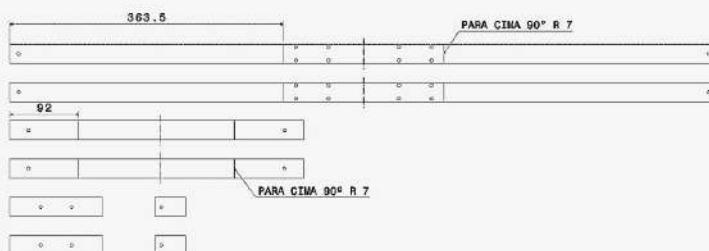
Nº do item	Nome	QTD.
1	Viga superior	2
2	Viga inferiore	2
3	Suporte transversal	2
4	Viga de junção	4
-	P. ISO 7046-2 M4X8	4

Etapa 1

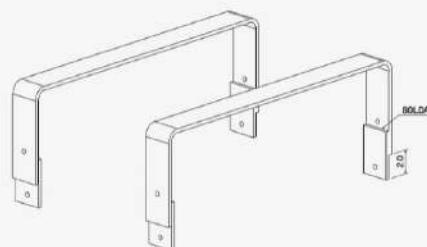
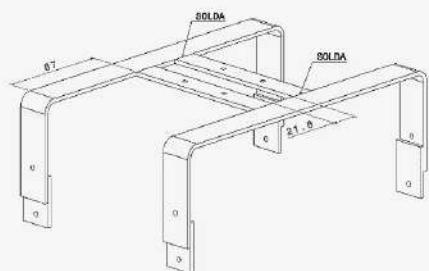


De posse das vigas previamente cortadas nas dimensões especificadas, realize , com broca 4mm para metais, furos nas posições indicadas na imagem.

Etapa 2

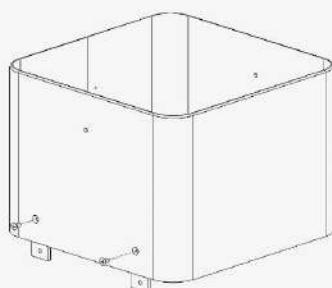


Dobre nas posições indicadas, é aconselhável utilizar um molde circular ou um dobra ferro.

Etapa 3**Etapa 4**

Una as vigas de junção nas extremidades das vigas superiores por uma solda filete nas posições indicadas na imagem com auxilio de máquina de solda TIG e barra de enchimento de alumínio. (Uso de EPI é indicado).

Una os suportes transversais às vigas superiores por uma solda filete nas posições indicadas na imagem com auxilio de máquina de solda TIG e barra de enchimento de alumínio. (Uso de EPI é indicado).

Etapa 5

Parafuse as vigas superiores à parede superior com parafusos ISO 7046-2 M4 X 8 conforme indicado na imagem.

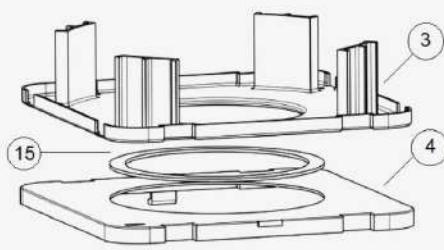
5.3. Seção de Potência

Com o objetivo de facilitar o esquemático de montagem e fabricação, dividiu-se o equipamento principal em seção superior (de potência) e inferior (de filtragem). A seção de potência comporta os elementos de controle e de interface com o usuário, o ventilador de sucção, os dutos estabilizadores de fluxo e a grelha direcionadora de fluxo. Demais peças com funções estruturais também são listadas e mostradas a seguir.

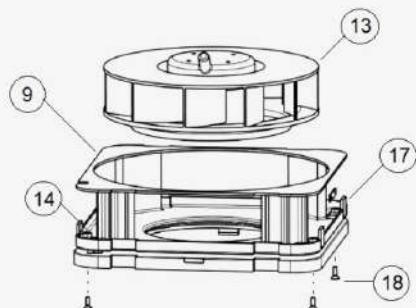


Nº do item	Nome	QTD.
1	Alça	1
2	Parede superior	1
3	Tampa estabilizadora	1
4	Tampa divisória	1
5	Conectores do PCB	2
6	Grelha de ventilação	1
7	Homogeneizador	1
8	Longarinas superiores	4
9	Tampa intermediária	1
10	Display e botões	1

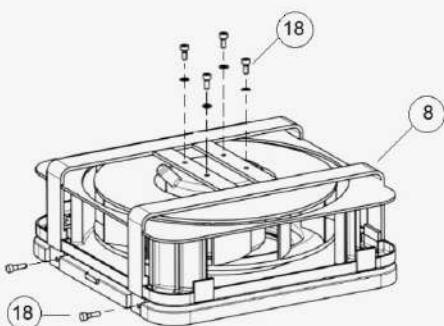
Nº do item	Nome	QTD.
11	Case PCB superior	1
12	Canaleta superior	1
13	Ventilador comercial	1
14	Conector- plug	2
15	Anel de vedação	1
16	Pinos ranhurados	4
17	Encaixe perfil L	4
18	Parafusos M4	14
19	Parafusos M3	2

Etapa 1

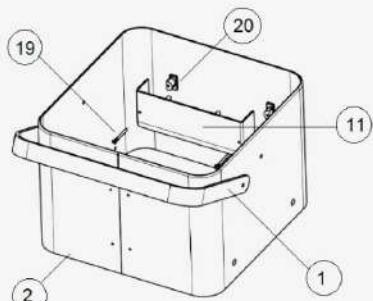
Posicionar as tampas 3 e 4 na devida disposição, com o anel de vedação entre as tampas.

Etapa 2

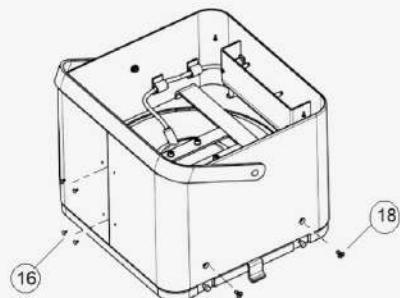
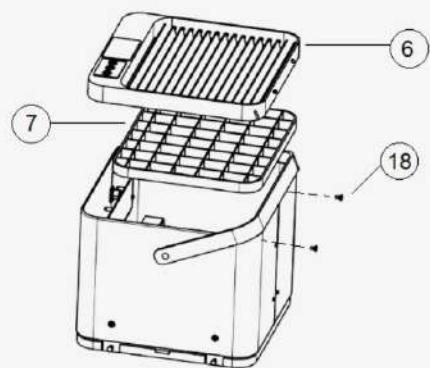
Posicionar a tampa 9, o conector e os encaixes, como mostrado na figura. Fixar as tampas inferiores através de parafusos M4 e, por fim, encaixar o ventilador no conjunto.

Etapa 3

Fixar o ventilador às longarinas e as longarinas à tampa divisora utilizando parafusos M4.

Etapa 4

Posteriormente, para montar a estrutura externa superior os conectores são posicionados nos furos preexistentes, e então a case da PCB é fixada através de parafusos M3x30mm. Já a alça é afixada com parafusos M4.

Etapa 5**Etapa 6**

Integre a sub montagem do case à configuração das tampas e longarinas através de parafusos M4 e pinos, como indicado na figura. Faça as devidas conexões dos fios.

Por fim, o homogeneizador deve ser apoiado entre as longarinas e a grelha de ventilação, que será fixada com dois parafusos M4.

Montagem Final da Seção de Potência

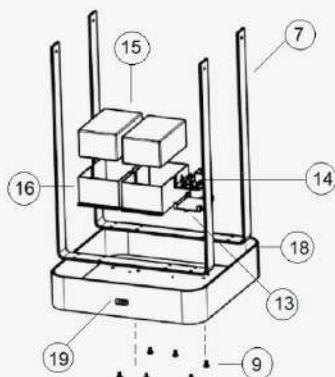
5.3. Seção de Filtragem

A seção de filtragem comporta a bateria e demais sistemas de alimentação, sistema de filtragem e o sistema de esterilização por radiação ultravioleta. Foi desenvolvido de tal forma que qualquer usuário possa realizar, com **facilidade**, a troca periódica dos filtros e as manutenções necessárias.

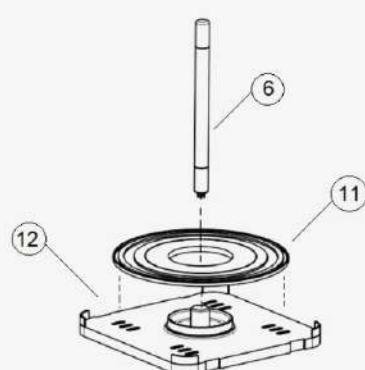


Nº do item	Nome	QTD.
1	Pré-Filtro	1
2	Filtro HEPA	1
3	Filtro de carvão ativado	1
4	Parafusos M4x12	4
5	Bulbo para lâmpada	2
6	Lâmpada UV	1
7	Longarinas inferiores	2
8	Entrada de Ar- Grelha	4
9	Parafusos M4x8	16
10	Moldura superior	1

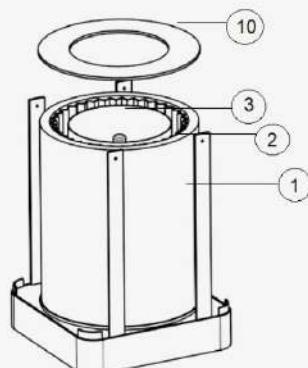
Nº do item	Nome	QTD.
11	Moldura inferior	1
12	Tampa inferior- bateria	1
13	Case PCB inferior	1
14	PCB inferior	2
15	Bateria	2
16	Case da bateria	2
17	Rodízio comercial 25mm	4
18	Parede inferior	1
19	Conector do carregador	1

Etapa 1

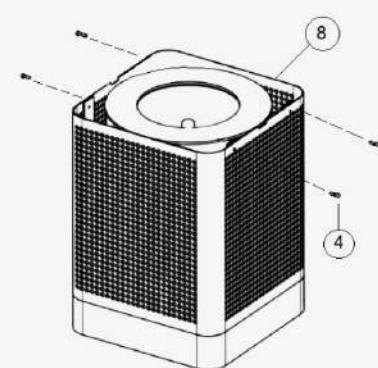
Fixar longarinas e os cases (bateria e PCB) à estrutura externa inferior através de parafusos M4. Encaixar o conector, a bateria e o PCB nos locais indicados.

Etapa 2

Posicionar a moldura inferior dos filtros e a lâmpada UV na tampa inferior. Essa tampa ficará sobre as baterias, isolando-as.

Etapa 3

Encaixar os filtros em seus respectivos rebaixos da moldura inferior, sendo a ordem (de dentro para fora): filtro de carvão, filtro HEPA e pré-filtro. Posteriormente, integrar a configuração com a moldura superior.

Etapa 4

Por fim, posicionar a grelha.

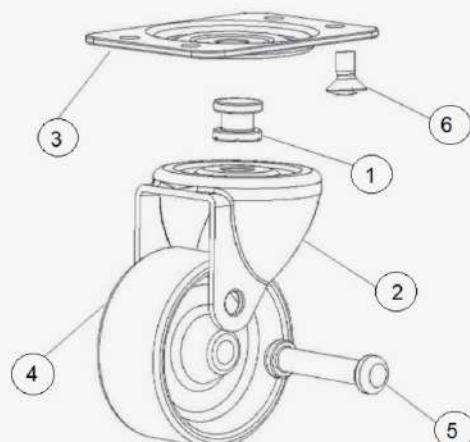
Montagem Final da Seção de Filtragem

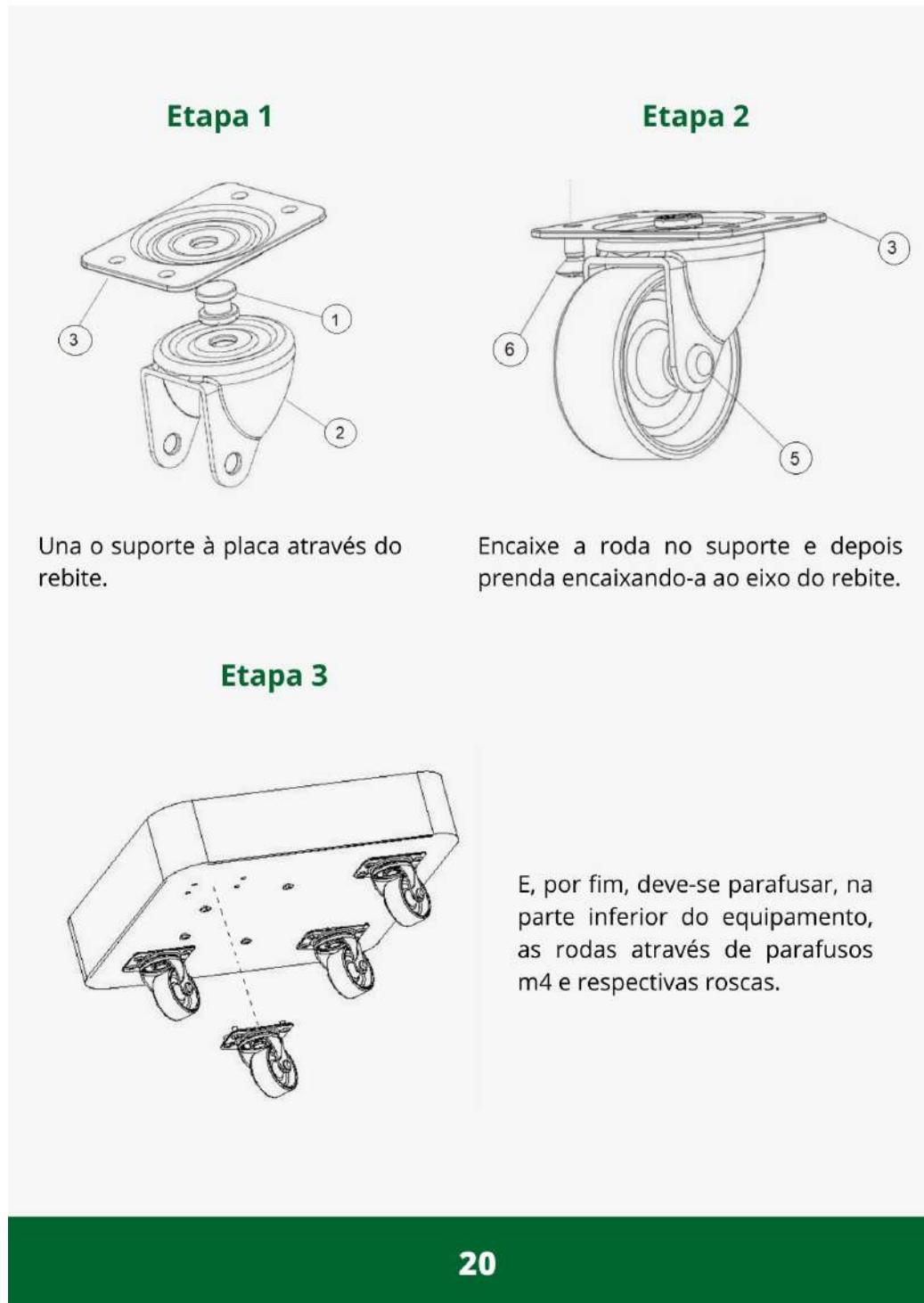


5.5. Rodas

O purificador de ar Clean Air possui 4 rodas de Poliuretano, todas articuladas no modelo swivel castor. Nota-se o esquemático desse componente na figura a seguir. Posteriormente, segue-se a sequência para sua montagem.

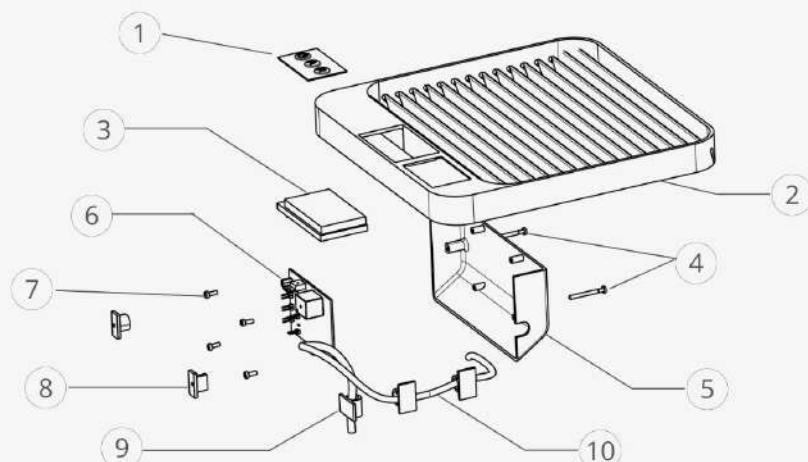
Nº do item	Nome	QTD. por Componente
1	Rebite	1
2	Suporte	1
3	Placa	1
4	Roda	1
5	Eixo do rebite	1
6	Parafusos	4





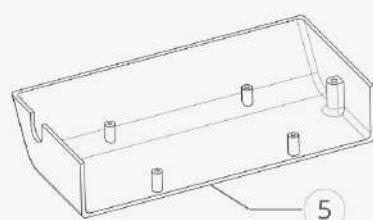
5.6. Display

O Display comprehende o conjunto de componentes necessários para o funcionamento do visor e do botão on-off, acrescentando-se ainda as peças complementares ao posicionamento.

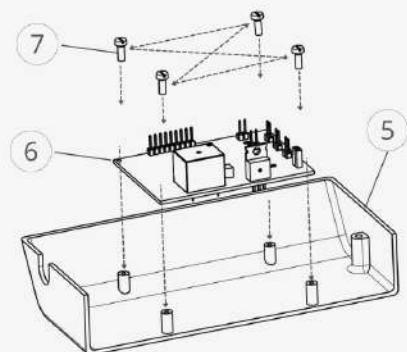


Nº do item	Nome	QTD.
1	Botão on-off	1
2	Tampa superior	1
3	Visor	1
4	Parafuso M2 X 6	2
5	Case da PCI de controle	1
6	PCI de controle	1
7	Parafuso M2 X 6	4
8	Conector da case	2
9	Fixador de fiação	3
10	Fio	2

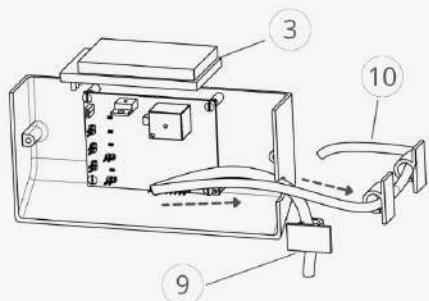
Etapa 1



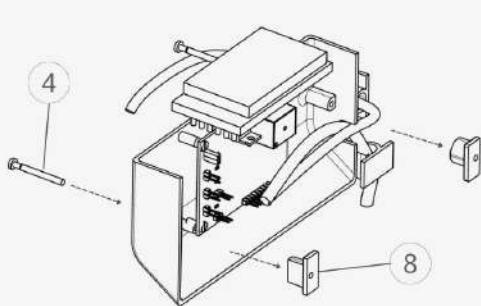
Posicionar a Case da PCI em uma superfície plana

Etapa 2

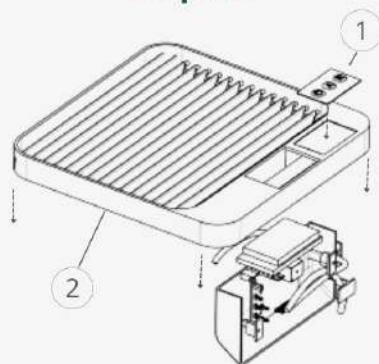
Acoplar a PCI à case utilizando 4 parafusos M2, parafusando na diagonal, pouco a pouco em cada furo até que a PCI esteja bem fixada

Etapa 3

Conectar os componentes eletrônicos, encaixando os fios nos fixadores de fiação.

Etapa 4

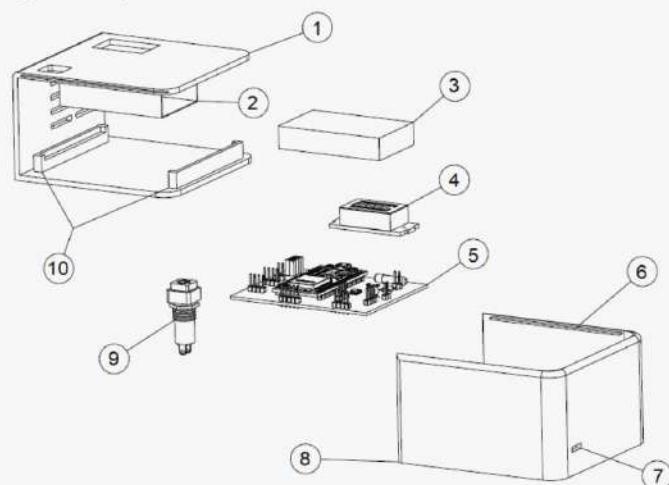
Encaixar a peça obtida na etapa 3 à estrutura do Clean Air, parafusando a case aos conectores

Etapa 5

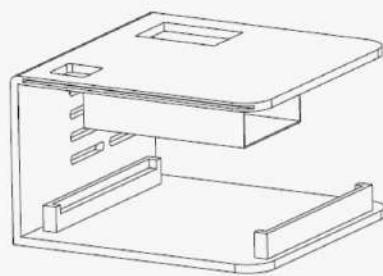
Conectar o visor e o botão on-off à tampa superior

5.7. Sensor Mobile

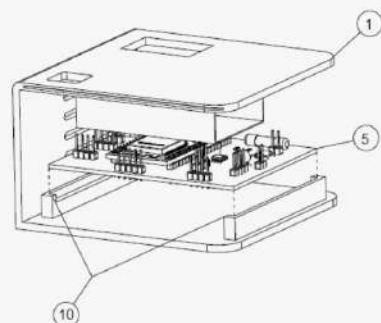
O Sensor Mobile é responsável pela verificação da qualidade do ar. Nele estará integrado alguns componentes eletrônicos, o botão Liga/Desliga e o indicador de bateria.



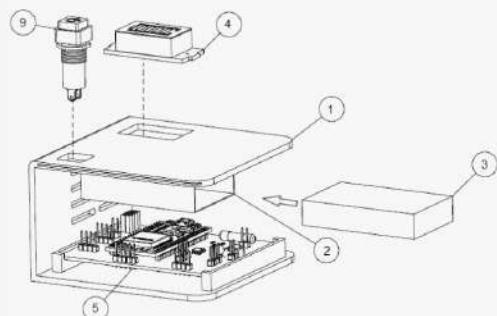
Nº do item	Nome	QTD.
1	Estrutura interna	1
2	Suporte da bateria	1
3	Bateria	1
4	Indicador de bateria	1
5	PCI	1
6	Encaixe	2
7	Entrada do carregador	1
8	Estrutura externa	1
9	Botão Liga/Desliga	1
10	Suporte transversal	2

Etapa 1

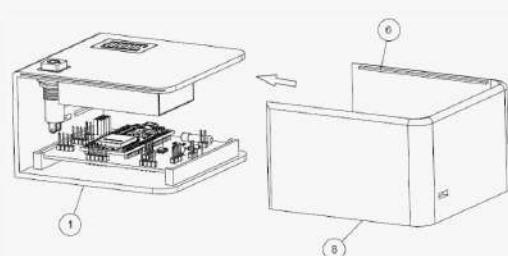
Posicionar a estrutura interna sobre uma superfície plana

Etapa 2

Encaixe a PCI nos suportes transversais, conforme ilustrado

Etapa 3

Posicionar os componentes eletrônicos conforme a imagem acima

Etapa 4

Encaixar a estrutura externa à estrutura interna deslizando-a pelo o encaixe

APÊNDICE S – Manual de Usuário

The image features the 'Clean Air' logo at the top left, consisting of the words 'Clean Air' in a sans-serif font next to a stylized green leaf icon with three curved lines below it. Below the logo is a large, bold, green title 'MANUAL DE USUÁRIO' separated by a thin horizontal line. The central focus is a white and grey air purifier with a perforated front panel and a small blue screen at the top. To its right is a small, black and white remote control. At the bottom, there are abstract wavy lines.

Clean Air

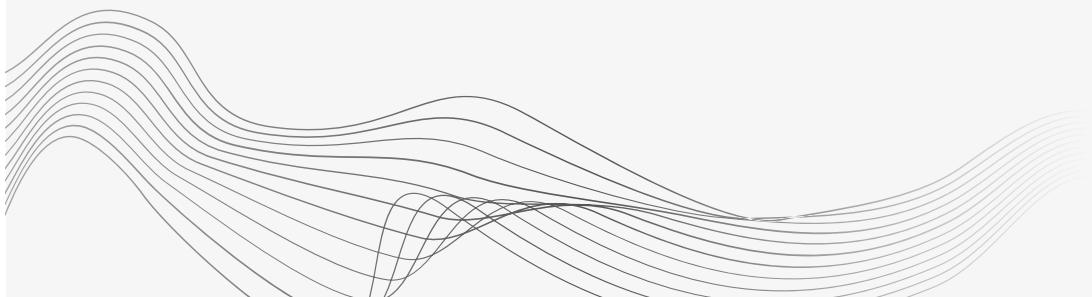
MANUAL DE USUÁRIO

Abstract wavy lines at the bottom of the page.



Bem-vindo a um ar mais limpo com Clean Air.
Obrigado por nos permitir acompanhá-lo em sua
jornada rumo ao bem-estar.

O ar que você respira deve estar limpo, não importa
onde você esteja. O purificador com filtragem com
tecnologia HEPA e o Mobile Sensor garante cômodos
com ar mais limpo.



Sumário

1. Dados do Produto	2
2. Especificação do produto	2
2.1 Indicação de uso/funcionalidade	
2.2 Princípio básico de funcionamento	
3. Especificação Técnica	5
4. Instalação do Equipamento	7
4.1 Condições do local de instalação	
4.2 Instalação elétrica	
5. Operação do Equipamento	8
5.1 Inicialização	
5.2 Utilização	
6. Precauções, Restrições e Advertências	14
7. Conservação e Manutenção	15
7.1 Manutenção preventiva	
7.2 Limpeza	
7.2 Troca de componentes	
8. Solução de problemas	19

1. Dados do Produto

O Clean Air é um equipamento destinado a purificação e verificação da qualidade do ar do ambiente. Seu objetivo é manter o ambiente limpo e notificar ao usuário via aplicativo quando um ambiente necessita ser purificado. (Completar aqui ainda)

2. Especificação do Produto

Purificador

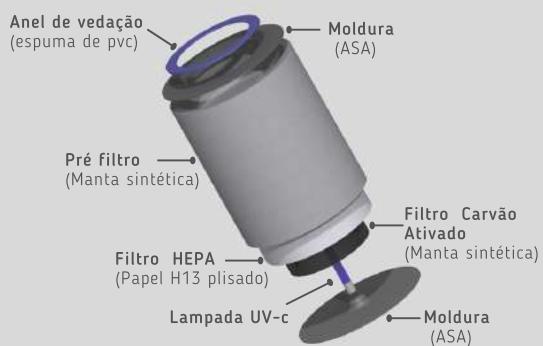
- **Seção de Potência**
 - Elementos de Controle e interface;
 - Ventilador de Sucção;
 - Dutos Estabilizadores de Fluxo;
 - Grelha Direcionadora de Fluxo.
- **Seção de Filtragem**
 - Bateria e sistema de alimentação;
 - Sistema de filtragem;
 - Sistema de esterilização por radiação ultravioleta.



Mobile Sensor



Filtragem e esterilização UV



2.1 Indicação de Uso/Funcionalidade

O produto Clean Air é indicado para ambientes que possuem baixa circulação de ar e alta concentração de agentes alérgenos. Por ser composto de um dispositivo (sensor mobile) que mede o índice de qualidade de ar do ambiente, possui precisão de medição e via integração com aplicativo oferece ao usuário maior conforto.

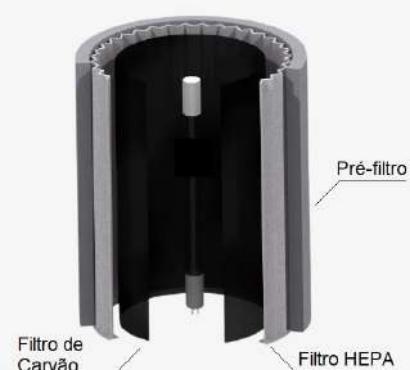
2.2 Princípio Básico de Funcionamento

Primeiramente o usuário deve carregar ambos os dispositivos até obter a bateria completamente cheia. Após isso, o usuário deve fazer o download do aplicativo para controle dos aparelhos. Através do aplicativo, deve-se parear os dispositivos para haver o controle remoto. Ao ligar o sensor mobile começará a análise da qualidade do ar do local, ao ser detectada a necessidade da purificação será enviada um alerta ao usuário para que o purificador seja levado até o ambiente que necessita de purificação. Ao terminar, o purificador entrará no modo de economia, caso esteja com a bateria fraca, será enviado um alerta ao usuário para conectar a rede.

O purificador possui os seguintes filtros:

- Pré-filtro

Este é o primeiro filtro pelo qual o ar passa no purificador e retêm toda a sujeira visível, aumentando a vida útil do filtro HEPA. Siga as recomendações de limpeza e manutenção para que o seu purificador permaneça no máximo desempenho. (Ver capítulo 7)



- Filtro HEPA

O "High Efficiency Particulate Air" é um filtro de partículas aéreas de alta eficiência que retêm partículas suspensas no ar da ordem de micrômetros.

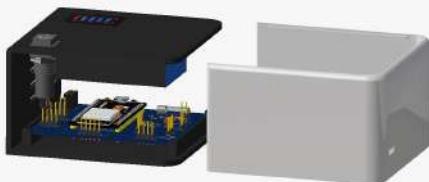
- Filtro de carvão ativado

A principal função é a desodorização e purificação do ar através da retenção de partículas de fumaça.

- Lâmpada Ultravioleta

A lâmpada UV tem a função esterilizante que elimina alguns tipos de microorganismos como bactérias, vírus e fungos causadores de alergias, problemas respiratórios e outros efeitos indesejáveis à saúde.

O Mobile Sensor é um sistema de monitoramento da qualidade do ar e é composto de sensores que coletam os dados de concentração de dióxido de nitrogênio, material particulado, dióxido de enxofre, fumaça, ozônio, compostos orgânicos voláteis e também os dados de umidade, temperatura e pressão.



Através dele os dados coletados são enviados ao aplicativo, permitindo o usuário a visualização do índice de qualidade do ar do ambiente por meio de gráficos, podendo purificá-lo caso julgue necessário.

3. Especificação técnica

Especificações Físicas

Dimensões do purificador (C x L x A):	26 x 26 x 54 cm
Dimensões do sensor mobile (C x L x A):	10 x 10 x 6 cm
Peso do Purificador:	27,3 kg
Peso do Mobile Sensor:	0,640kg
Ruído:	76 dBA
Resistência química:	Álcool Isopropílico, alvejantes, sabão neutro e produtos a base de cloro

Especificações da Fonte de Alimentação

Frequência da linha AC:	60 Hz
Tensão de Entrada:	220 VCA
Tensão de saída Purificador:	24VCC± 2%
Tensão de saída Mobile sensor:	5VCC± 2%
Corrente de saída Purificador:	5 A
Corrente de saída Mobile Sensor:	0,8 A
Potência de saída purificador:	128 W
Potência de saída Mobile sensor:	3,8 W
Eficiência em carga máxima purificador:	64,2%
Eficiência em carga máxima sensor mobile:	83,3%

3. Especificação técnica

Especificações das baterias	
Química:	Íon-lítio
Tensão de saída purificador:	24 VCC
Tensão de saída sensor mobile:	5 VCC
Autonomia purificador:	2 h
Autonomia sensor mobile:	4 h
Vida útil:	1000 a 2000 ciclos
Características visor purificador	
Resolução:	240 x 320 pixels

4. Instalação do Equipamento

Requisitos de infraestrutura: Rede elétrica e Rede Wi-Fi.

4.1 Condições do local de instalação

Para a instalação dos equipamentos é necessário posicionar o equipamento em local plano, firme e que não haja incidência direta dos raios solares e também que seja distante de fontes de calor. Tais medidas são importante para que não haja o aumento de consumo de energia elétrica e a performance dos dispositivos não sejam afetadas.

4.2 Instalação Elétrica

Certifique-se a compatibilidade da tensão de saída da sua residência e das fontes do purificador e Mobile Sensor. Para sua segurança, verifique com um eletricista de sua confiança a condição da rede elétrica do local de instalação do purificador, pois os fios da tomada onde será recarregado seu purificador devem ser de cobre e instalados de acordo com a NBR5410.

O plugue do cabo de alimentação deste equipamento respeita o novo padrão estabelecido pela norma NBR14136. Caso sua residência possua o padrão antigo, é recomendado a substituição e adequação ao padrão da norma NBR14136 com um eletricista de sua confiança.

5. Operação do Equipamento

5.1. Inicialização

Após retirada dos plásticos de segurança, ligar equipamento em rede elétrica para carga da bateria. Assim que estiver carregado completamente, conectar através de aplicativo conforme instruções abaixo:



1- Clique no botão de + na tela principal e selecione um purificador para parear

2- Clique no menu e em seguida no "+" localizado no canto superior direito para adicionar o seu Mobile Sensor.

4- Coloque o nome desejado no campo "**Nome**" e selecione o "**Código de identificação**" do seu Mobile Sensor. Repita este passo de acordo com o número de dispositivos que possuir.

5.2. Utilização

5.2.1 Purificador

- 1- Para ligar o purificador, após pareado com aplicativo, pode optar pelo envio de comando via aplicativo ou pressionar o botão **liga/desliga** uma vez.
- 2- Coloque seu purificador no ambiente em que você deseja purificar, não precisa estar conectado a fonte caso a bateria esteja completa.
- 3- Selecione o modo de ventilação que deseja via aplicativo, caso o botão **Auto** seja pressionado será utilizado a velocidade padrão de acordo com a qualidade do ar do ambiente.
- 4- Ao finalizar a purificação do ambiente, o usuário receberá uma notificação via aplicativo e o purificador retornará ao modo de baixo consumo.
- 5- Para acionar a purificação com a luz UV basta selecionar a seção "Luz UV" no aplicativo e o purificador também a utilizará na filtragem.
- 6- Caso deseje fazer a troca de filtro ou da lâmpada UV, pressione o botão **Reset** e após finalizar a troca, inicialize como de costume.

- Painel de controle



- **Botão de energia**
- **(A)** Modo Auto. O modo Auto só está disponível quando o purificador estiver conectado com o Mobile Sensor e recebendo seu sinal.
- **(R)** Reset do filtro e do indicador UV. Quando for a hora de substituir cada um deles (ver capítulo 7) pressione o botão Reset para zerar o indicador.

• Display

O display iluminado com código de cores comunica a qualidade do ar como boa, moderada ou ruim, e um valor numérico que fornece um maior nível de detalhes da purificação.

Consiste também nos valores de umidade relativa do ar e de temperatura aferidas no ambiente, além de informar qual o modo de ventilação está ativo como também o status com a rede de internet. Outras funcionalidades expostas são a de nível de bateria e se a lâmpada UV está ligada ou não (de acordo com a preferência).



• Painel de cores



BOA
VERDE | 0 - 50

MODERADA
AMARELA | 50 - 100

RUIM
VERMELHA | 100 - 500

O Clean Air usa o Índice de Qualidade do Ar (1-500) criado pelo CONAMA.

10

5.2.2 Mobile Sensor

- 1-** Para ligar o Mobile Sensor pressione o botão liga/desliga uma vez.
- 2-** Após 5 minutos o sensor começará a coletar os dados do ambiente.
- 3-** O display indicador de bateria irá se tornar vermelho ao necessitar de carregamento do dispositivo.
- 4-** Os dados coletados por este dispositivo estará exibido em um gráfico com o histórico do indicador de qualidade do ar disponível no aplicativo.

No modo Auto, o purificador funcionará distribuindo ar limpo até que o este dispositivo faça a leitura de um nível de qualidade aceitável para o ar.

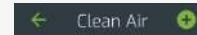
O Mobile Sensor e o purificador são pareados na linha de produção, estando pronto para uso assim que você abrir a caixa. Pode ser colocado em qualquer lugar que você deseja conhecer a qualidade do ar dentro do ambiente. Para melhores resultados, coloque o Mobile Sensor no mesmo ambiente do purificador de ar, sobre um balcão ou mesa, dentro da linha de visão do purificador.

A força do sinal pode variar conforme o local. Nos raros casos em que o sinal seja interrompido, você pode reparar a conexão usando alguns passos, bem fáceis.

5.2.3 Aplicativo

 Clean Air



 Clean Air



1- Na tela principal é possível ver o progresso da purificação, escolher a velocidade e o modo de purificação. Para desligar o purificador, basta clicar no botão em destaque.

 Clean Air



3- Em cada card de ambiente é possível ver mais detalhes sobre os poluentes encontrados no ar, basta clicar no ícone de seta para baixo.

2- Clicando no ícone de lista é possível ver a lista dos ambientes com a informações da qualidade do ar, da bateria do Mobile Sensor e do purificador. No botão no meio dos cards de ambiente é possível ligar ou desligar o respectivo Mobile Sensor.

 Clean Air



4- No primeiro card, o do purificador, clicando no ícone de relógio é possível definir um tempo para desligamento automático do purificador.

5.2.4 Alexa

- É necessário baixar as configurações de Skill customizadas do [repositório](#) e importá-las. Serão criadas 2 skills distintas: CleanAir Purificadores e CleanAir Sensores, ambas em português, com o modelo 'Custom' e configuração de back-end Alexa-Hosting (Python). Para maiores informações de como importar uma skill customizada acessar [aqui](#).
- Para adquirir informações sobre o purificador nomeado 'Sala', por exemplo: 'Alexa, peça a CleanAir Purificadores o estado de Sala'
- Para adquirir informações sobre o sensor nomeado 'Quarto', por exemplo: 'Alexa, peça a CleanAir Sensores o estado de Quarto'

6. Precauções, restrições e advertências



ATENÇÃO!

- Estes equipamentos não devem ser utilizados em ambientes abertos ou muito úmidos.
- Desligue o cabo de alimentação do purificador quando não for utilizá-lo por um longo período.
- Não obstrua a entrada e saída de ar do purificador e do Mobile Sensor.
- Posicione os produtos distantes de aparelhos eletrônicos, ao menos 1,5 m.
- Recomenda-se a verificação regular da saturação do pré-filtro e do filtro HEPA, mantendo a passagem de ar desobstruída para garantir melhor performance do produto.
- Recomenda-se a limpeza regular da placa do Mobile Sensor para garantir a coleta de dados corretamente.
- Desligue o purificador totalmente antes da limpeza e manutenção.
- Não derrube água sobre o aparelho nem mergulhe-o em água.
- Não deixe o aparelho próximo a fontes de calor como fornos, aquecedores, etc.
- Não tente consertar ou reparar este produto.
- Quando o purificador estiver em modo standby, o Mobile Sensor ainda estará transmitindo sinais/dados.

7. Conservação e manutenção

7.1 Manutenção Preventiva

Para segurança do usuário é recomendada a manutenção preventiva dos produtos de acordo com a tabela abaixo:

Manutenção	Período
Pré-filtro	3 a 4 meses
Filtro HEPA	1 a 2 meses
Filtro de Carbono	1 a 2 meses
Mobile Sensor	1 a 2 meses

7.2 Limpeza

Para realizar a limpeza dos filtros, primeiramente acesse a câmera dos filtros conforme os passos a seguir:

1. Sempre desligue o purificador pressionando o botão de energia e desconectando o cabo da tomada;
2. Certifique-se que a unidade está sobre uma superfície plana, de modo que permaneça estável;
3. Gire os 4 parafusos M4 no sentido anti-horário e puxe a seção de potência para cima.
(Figura A)
4. Na seção de filtragem, remova a moldura superior dos filtros puxando-a para cima.

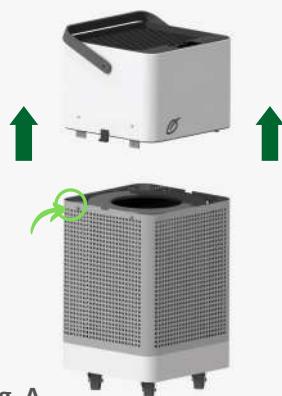


Fig. A

Para uma limpeza eficiente é essencial tomar alguns cuidados:

- Evite limpar seu purificador e seu sensor mobile com fluídos inflamáveis como álcool, querosene, tinner, solventes ou ácidos ou vinagres.
- Limpe a parte externa do purificador com água e sabão neutro, enxague bem e seque com um pano macio limpo. Retire o excesso de água ao passar o pano no display, botões e perto de partes elétricas.

Limpeza do Pré-filtro e Substituição da Lâmpada UV

Para manter a passagem de ar desobstruída e garantir a performance do purificador, recomenda-se remover o excesso de poeira sempre que se julgar necessário ou a cada 20 ciclos de purificação completa.

Para a devida remoção do pré-filtro, basta seguir os procedimentos a seguir:



Recomenda-se a retirada da lâmpada UV anteriormente, a fim de se evitar acidentes. Remova com cuidado o compartimento UV girando-a no sentido anti-horário até desconectá-la do bocal.

Posteriormente, basta retirar o pré-filtro puxando-o para cima.

Limpeza ou Substituição dos filtros HEPA e carvão ativado

É possível utilizar um pequeno aspirador de pó para remover o excesso de poeira acumulada na superfície de entrada do filtro para garantir sua máxima filtragem. O filtro é descartável, portanto, **não** lavar com água. Outra forma também de se realizar a limpeza desse filtro é passar um pano seco e macio para remover as impurezas.



Para limpeza dos filtros internos, deve-se removê-los cuidadosamente da configuração de montagem e colocá-los sobre uma superfície limpa (de preferência estéril).

Obs.: Não há necessidade de remoção da Entrada de Ar (Grelha de Inox) em nenhum processo.

Limpeza Mobile Sensor

Para a limpeza do Mobile Sensor utilize um pano seco e macio e passe entre os componentes para retirar a poeira e resíduos presentes no equipamento. **Não** utilizar água ou qualquer outro produto de limpeza, pois corre risco de dano aos sensores utilizados no aparelho.

7.3. Troca de componentes

A troca dos seguintes componentes deve ser realizada de acordo com a tabela abaixo:

Componente	Período
Filtro HEPA	2 anos (quando feita a manutenção correta)
Filtro de carvão ativado	6 meses
Lâmpada UV	2 anos

8. Solução de problemas

- **Perdi a conexão com o purificador, o que faço?**

Caso a conexão com o purificador for perdida desligue o Mobile Sensor e espere 30 segundos. Depois mantenha pressionado o botão de energia do purificador por 3 segundos. A conexão deve ser estabelecida. Você saberá quando tiver com o ícone do dispositivo ligado no aplicativo.

- **Não consigo acionar o modo auto, como proceder?**

O modo Auto só estará disponível quando o purificador puder reagir às leituras da qualidade do ar feitas pelo Mobile Sensor, então verifique se o mesmo está conectado.

- **Meu purificador não liga, o que fazer?**

Caso o purificador não ligue, verifique se o cabo de energia está conectado à tomada e ao purificador para conferir a carga da bateria. Verifique se há falta de energia na tomada, testando algum outro dispositivo na mesma tomada.

Verifique se o filtro HEPA está devidamente posicionado na câmara do filtro.

Por favor entre em contato conosco se ainda houver problema!

