

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

Sistemas para Testes de CubeSat em Câmara de Termo-Vácuo

Professores: Alex Reis, Jose Felicio da Silva, Jungpyo Lee,
Ricardo Matos Chaim e Rhander Viana

Brasília, DF

2021



André Aquino Braga, Ciro Barbosa Costa, Daniel Moreira Carreira, Débora da Silva Dantas, Gustavo de Barros Borges, Isla Kalleny Marques Brandão, João Pedro Mota Jardim, Marcos Breno da Silva Aguiar, Matheus Rodrigues do Nascimento, Maurício Sá Gontijo, Paulo Victor de Menezes Lopes, Priscila Yukie Yamada, Rana Mayeli Piêgas Taborda, Renato de Brito do Nascimento Filho, Shayane Marques Alcântara

Sistemas para Testes de CubeSat em Câmara de Termo-Vácuo

Ponto de controle 2 referente ao projeto Sistemas para Testes de CubeSat em Câmara de Termo-Vácuo, no âmbito da disciplina Projeto Integrador de Engenharia 2.

Universidade de Brasília – UnB

Faculdade UnB Gama – FGA

Orientador: Alex Reis, Jose Felicio da Silva, Jungpyo Lee, Ricardo Matos Chaim e Rhander Viana

Brasília, DF

2021

André Aquino Braga, Ciro Barbosa Costa, Daniel Moreira Carreira, Débora da Silva Dantas, Gustavo de Barros Borges, Isla Kalleny Marques Brandão, João Pedro Mota Jardim, Marcos Breno da Silva Aguiar, Matheus Rodrigues do Nascimento, Maurício Sá Gontijo, Paulo Victor de Menezes Lopes, Priscila Yukie Yamada, Rana Mayeli Piégas Taborda, Renato de Brito do Nascimento Filho, Shayane Marques Alcântara

Sistemas para Testes de CubeSat em Câmara de Termo-Vácuo/ André Aquino Braga, Ciro Barbosa Costa, Daniel Moreira Carreira, Débora da Silva Dantas, Gustavo de Barros Borges, Isla Kalleny Marques Brandão, João Pedro Mota Jardim, Marcos Breno da Silva Aguiar, Matheus Rodrigues do Nascimento, Maurício Sá Gontijo, Paulo Victor de Menezes Lopes, Priscila Yukie Yamada, Rana Mayeli Piégas Taborda, Renato de Brito do Nascimento Filho, Shayane Marques Alcântara.

– Brasília, DF, 2021-

[280](#) p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Projeto Integrador 2 – Universidade de Brasília – UnB
Faculdade UnB Gama – FGA , 2021.

1. Câmara de vácuo. 2. Cubesat. II. Universidade de Brasília. III. Faculdade UnB Gama. IV. Sistemas para Testes de CubeSat em Câmara de Termo-Vácuo

Listas de ilustrações

Figura 1 – CubeSat padrão 1U sem as paredes laterais (mm)	24
Figura 2 – Câmara de Termo-Vácuo do LaSE-FGA.	25
Figura 3 – Escopo do produto nos subsistemas.	27
Figura 4 – Divisão das soluções por área de engenharia.	28
Figura 5 – Arquitetura da solução.	29
Figura 6 – Sistemas desenvolvidos na solução estrutural.	39
Figura 7 – Suporte do CubeSat.	40
Figura 8 – Mecanismo do motor de rotação.	42
Figura 9 – Demonstração da movimentação do sistema integrado	44
Figura 10 – Esquemático: viga em balanço submetida à carga distribuída	47
Figura 11 – Diagrama de corpo livre	47
Figura 12 – Geometria do suporte em formato de casca utilizado na simulação.	50
Figura 13 – Gráfico da métrica dos elementos no suporte do CubeSat.	51
Figura 14 – Gráfico da métrica dos elementos no eixo do motor.	51
Figura 15 – Condições de contorno aplicadas na simulação do suporte.	52
Figura 16 – Condições de contorno aplicadas na simulação do eixo do motor.	53
Figura 17 – Tensões equivalentes de von-Mises do suporte.	54
Figura 18 – Tensões equivalentes de von-Mises do eixo do motor.	54
Figura 19 – Coeficiente de segurança do suporte do Cubesat.	55
Figura 20 – Coeficiente de segurança do eixo do motor.	55
Figura 21 – Suporte do simulador solar.	56
Figura 22 – Condições de contorno na caixa.	57
Figura 23 – Malha da caixa.	57
Figura 24 – Avaliação da qualidade da malha através da métrica de <i>skeuwness</i>	58
Figura 25 – Tensão equivalente de von-Mises na caixa.	58
Figura 26 – Condições de contorno do suporte dos simulador solar.	59
Figura 27 – Malha do suporte dos simulador solar.	60
Figura 28 – Avaliação da qualidade da malha do suporte dos simulador solar.	60
Figura 29 – Deformação total e carga crítica do suporte dos simulador solar.	61
Figura 30 – Diagrama hidráulico/elétrico	63
Figura 31 – Diagrama hidráulico/elétrico dentro da Câmara de Termo-Vácuo	63
Figura 32 – Diagrama hidráulico	65
Figura 33 – Vista ampliada da malha	68
Figura 34 – Qualidade da malha	68
Figura 35 – Análise de convergência	69
Figura 36 – Condições de contorno	69

Figura 37 – Resultados de tensão circunferencial	70
Figura 38 – Malha	71
Figura 39 – Qualidade da malha	71
Figura 40 – Condições de contorno	72
Figura 41 – Resultados de tensão circunferencial	72
Figura 42 – Fluxograma de operação do Sistema de Alimentação.	73
Figura 43 – CAD (do inglês, <i>Computer Aided Design</i>) Simulador Solar.	76
Figura 44 – Distribuição espectral dos diferentes tipos de lâmpadas.	77
Figura 45 – Diagrama Simulador Solar.	79
Figura 46 – Diagrama Trocadores de Calor.	81
Figura 47 – Diagrama Parte Elétrica.	83
Figura 48 – Seção condutor nobreak.	86
Figura 49 – Teste em <i>Loopback</i>	92
Figura 50 – Conexão Raspberry para Usb.	92
Figura 51 – Medidor de vazão na linha de alimentação.	94
Figura 52 – Válvulas controladas pelo Sistema de Atuadores.	95
Figura 53 – Curva de Resposta para Método de Ziegler-Nichols (Z., 2009)	97
Figura 54 – Figura modelo PID	97
Figura 55 – Resposta a uma entrada de degrau unitário no sistema de PID.	98
Figura 56 – Diagrama de blocos do controle térmico.	99
Figura 57 – Diagrama de blocos da etapa A do controle térmico.	100
Figura 58 – Diagrama de blocos da etapa B do controle térmico.	101
Figura 59 – Diagrama de blocos da etapa C do controle térmico.	102
Figura 60 – Diagrama de blocos da etapa D do controle térmico.	103
Figura 61 – Etapa A do controle térmico.	104
Figura 62 – Etapa B do controle térmico.	104
Figura 63 – Etapa C do controle térmico.	105
Figura 64 – Etapa D do controle térmico.	105
Figura 65 – Simulação do controle térmico.	106
Figura 66 – Teste de Comunicação na Raspberry Pi.	107
Figura 67 – Teste de Comunicação na Esp32.	108
Figura 68 – Projeto da Placa do Circuito Eletrônico.	109
Figura 69 – Simulação DRC da PCB.	110
Figura 71 – Arquitetura da eletrônica	110
Figura 70 – Placa do Circuito Eletrônico 3D.	111
Figura 72 – Arquitetura de software da eletrônica	112
Figura 73 – Arquitetura da aplicação com os módulos macro de FrontEnd e BackEnd.	116
Figura 74 – Diagrama da arquitetura geral com as tecnologias a serem utilizadas.	116

Figura 75 – Diagrama de casos de uso sobre as principais interações do usuário com a aplicação.	118
Figura 76 – Diagrama de casos de uso sobre a segunda parte das funcionalidades do usuário.	119
Figura 77 – Diagrama de sequência.	120
Figura 78 – Diagrama de pacotes referente ao Backend.	121
Figura 79 – Diagrama de pacotes referente ao FrontEnd.	122
Figura 80 – Modelagem do banco de dados.	123
Figura 81 – Funcionamento da <i>Single Thread</i> do NodeJS.	125
Figura 82 – Fluxo das práticas Devops.	127
Figura 83 – Gráfico com dados das pressões obtidas.	129
Figura 84 – Gráfico com dados das temperaturas obtidas.	129
Figura 85 – Captura de tela com demonstração da pipeline de integração contínua. .	130
Figura 86 – Paleta de cores para a aplicação.	131
Figura 87 – Tela do Painel inicial.	131
Figura 88 – Tela da definição dos parâmetros a serem realizados no teste.	132
Figura 89 – Tela que disponibiliza o histórico dos experimentos realizados.	132
Figura 90 – Tela que apresenta os sensores da câmara.	133
Figura 91 – Diagrama da rede sem fio utilizando um Access Point externo.	135
Figura 92 – Diagrama da rede sem fio utilizando a Raspberry como Access Point. .	135
Figura 93 – Conexão com a rede da Câmara de Vácuo	135
Figura 94 – Requisição via terminal ao servidor	136
Figura 95 – Requisição via navegador ao servidor	137
Figura 96 – Interface do aplicativo VNC Viewer em duas telas.	138
Figura 97 – Acesso pelo endereço IP do <i>nobreak</i> aos seus dados	139
Figura 98 – Componentes eletrônicos dentro da placa térmica.	141
Figura 99 – Sensores na câmara de vácuo e na placa térmica.	141
Figura 100 – Componentes eletrônicos na linha de alimentação.	142
Figura 101 – Atuadores na linha de alimentação.	142
Figura 102 – Componentes eletrônicos na linha de alimentação e no tanque de GN2 .	143
Figura 103 – Diagrama de alimentação dos componentes eletrônicos.	144
Figura 104 – Integração energia e estruturas: Simulador Solar.	145
Figura 105 – Integração energia e estruturas: Condensador de nitrogênio.	146
Figura 106 – Vistas da montagem no laboratório.	174
Figura 107 – Fixação do motor 1 no suporte em U.	176
Figura 108 – Encaixe entre o disco de acoplamento e o motor 1.	176
Figura 109 – Fixação do eixo do motor 1 no disco de acoplamento.	177
Figura 110 – Fixação dos motores laterais no suporte em U.	177

Figura 111 – Encaixe dos envelopes dos motores laterais para fixação nos trilhos da placa térmica.	178
Figura 112 – Suporte do CubeSat montado.	178
Figura 113 – Estrutura treliçada da placa térmica que fica na frente dos trilhos de fixação.	179
Figura 114 – Colocação do suporte da placa térmica.	179
Figura 115 – Alinhamento do suporte com os trilhos.	180
Figura 116 – Encaixe do suporte nos trilhos da placa térmica.	180
Figura 117 – Fixação do suporte em U nos trilhos da placa térmica através do envelope do motor.	181
Figura 118 – Fixação do suporte em U nos trilhos da placa térmica através do envelope do motor.	181
Figura 119 – Fixação da caixa no tripé.	182
Figura 120 – Fixação dos reatores para as lâmpadas.	183
Figura 121 – Encaixe dos bocais.	183
Figura 122 – Colocação das lâmpadas.	184
Figura 123 – Montagem parte elétrica.	186
Figura 124 – Passos da montagem do sistema de alimentação - Parte 1.	188
Figura 125 – Passos da montagem do sistema de alimentação - Parte 2.	188
Figura 126 – Passos da montagem do sistema de alimentação - Parte 3.	189
Figura 127 – Montagem quadro de distribuição.	192
Figura 128 – Montagem <i>nobreak</i>	194
Figura 129 – Montagem parte elétrica.	195
Figura 130 – Montagem fonte chaveada.	196
Figura 131 – Montagem fonte creality 3D.	197
Figura 132 – Esquemático eletrônico.	198
Figura 133 – Termopares integrados a câmara de vácuo.	199
Figura 134 – Termopar integrado ao tanque de N ²	200
Figura 135 – PGC201.	201
Figura 136 – Sensores de pressão integrado a estrutura.	201
Figura 137 – Conexão do medidor de vazão ao dispositivo CTH-2265.	202
Figura 138 – Placa de Circuito Impresso.	202
Figura 139 – Posicionamento dos cabos na câmara de vácuo.	203
Figura 140 – Interface de configuração do banco de dados InfluxDB.	206
Figura 141 – Rotas das requisições na API.	207
Figura 142 – Montagem do suporte do CubeSat.	228
Figura 143 – Montagem do suporte do Simulador Solar.	229
Figura 144 – Suporte em U.	230
Figura 145 – Interface entre o motor e o Cubesat.	231

Figura 146 – Envelope do motor.	232
Figura 147 – Caixa para as lâmpadas.	233
Figura 148 – Tripé.	234
Figura 149 – Diagrama do sistema de alimentação durante a obtenção de vácuo	235
Figura 150 – Diagrama do sistema de alimentação durante a obtenção de alto vácuo	236
Figura 151 – Diagrama do sistema de alimentação durante a obtenção de nitrogênio líquido	236
Figura 152 – Diagrama do sistema de alimentação durante o fornecimento de nitrogênio líquido	237
Figura 153 – Diagrama do sistema de alimentação dentro da câmara de termo-vácuo durante o fornecimento de nitrogênio líquido	237
Figura 154 – Diagrama do sistema de alimentação durante a obtenção de nitrogênio gasoso	238
Figura 155 – Diagrama do sistema de alimentação durante o fornecimento de nitrogênio gasoso	238
Figura 156 – Diagrama do sistema de alimentação dentro da câmara de termo-vácuo durante o fornecimento de nitrogênio gasoso	239
Figura 157 – Esquemático do sistema eletrônico	241
Figura 158 – Diagrama de integração da solução.	253
Figura 159 – Vista frontal da placa térmica da câmara de termo-vácuo (dimensões em milímetros).	274
Figura 160 – Vista lateral da placa térmica da câmara de termo-vácuo (dimensões em milímetros).	274
Figura 161 – Dimensões do motor para rotação do CubeSat.	275
Figura 162 – Dimensões do motor para rotação do Suporte em U.	275
Figura 163 – Catálogo da lâmpada de vapor metálico da fabricante Lukma.	276
Figura 164 – Catálogo do reator utilizado para a lâmpada de vapor metálico de 70W.	277
Figura 165 – Especificações técnicas do nobreak.	277
Figura 166 – Diagrama multifilar do sistema de energia. Fonte: Autoria Própria.	278
Figura 167 – Variação da massa específica com a temperatura para uma pressão de 10 bar.	279
Figura 168 – Variação do calor específico a pressão constante com a temperatura para uma pressão de 10 bar.	279
Figura 169 – Variação do calor específico a volume constante com a temperatura para uma pressão de 10 bar.	280
Figura 170 – Variação da razão dos calores específicos com a temperatura para uma pressão de 10 bar.	280

Lista de tabelas

Tabela 1 – Modos de operação da Câmara.	26
Tabela 2 – Requisitos da missão	31
Tabela 3 – Requisitos da solução estrutural.	33
Tabela 4 – Requisitos da solução eletrônica.	34
Tabela 5 – Requisitos da solução de software.	36
Tabela 6 – Requisitos da solução energética	38
Tabela 7 – Propriedades do Aço Inox 304	41
Tabela 8 – Especificações técnicas do motor para a rotação do CubeSat	43
Tabela 9 – Especificações técnicas do motor para a rotação do sistema integrado	46
Tabela 10 – Tabela de número de nós e elementos por simulação.	50
Tabela 11 – Vazões mássicas de nitrogênio	66
Tabela 12 – Parâmetros do Nitrogênio	66
Tabela 13 – Análise comparativa entre as tecnologias.	78
Tabela 14 – Componentes para o simulador solar.	80
Tabela 15 – Potência aparente do sistema.	84
Tabela 16 – Seção mínima para os condutores.	86
Tabela 17 – Seção mínima para os condutores.	87
Tabela 18 – Comandos para obter dados de pressão do PGC201.	91
Tabela 19 – Parâmetros de Controle 1 ^a Ordem.	96
Tabela 20 – Software de Controle.	111
Tabela 21 – Software de Interface (API).	112
Tabela 22 – Modelo do roteiro de testes de software.	157
Tabela 23 – Roteiro de testes para preenchimento do formulário prévio ao experimento.	158
Tabela 24 – Roteiro de testes para preenchimento do formulário prévio ao experimento sem a inserção de valores nos campos.	159
Tabela 25 – Roteiro de testes para preenchimento do formulário prévio ao experimento com a inserção de um valor de temperatura máxima que não seja um número.	160
Tabela 26 – Roteiro de testes para preenchimento do formulário prévio ao experimento com a inserção de um valor de duração com temperatura máxima que não seja um número.	161
Tabela 27 – Roteiro de testes para preenchimento do formulário prévio ao experimento com a inserção de um valor de temperatura mínima que não seja um número.	162

Tabela 28 – Roteiro de testes para preenchimento do formulário prévio ao experimento com a inserção de um valor de duração com temperatura mínima que não seja um número.	163
Tabela 29 – Roteiro de testes para preenchimento do formulário prévio ao experimento com a inserção de um valor de quantidade de ciclos quentes que não seja um número.	164
Tabela 30 – Roteiro de testes para preenchimento do formulário prévio ao experimento com a inserção de um valor de quantidade de ciclos frios que não seja um número.	165
Tabela 31 – Roteiro de testes para preenchimento do formulário prévio ao experimento com a inserção de um valor de temperatura máxima acima do valor permitido.	166
Tabela 32 – Roteiro de testes para verificar a emissão de um alerta por ícone em caso de temperatura máxima atingida.	167
Tabela 33 – Roteiro de testes para verificar a emissão de um alerta por ícone em caso de perda na comunicação com os sensores.	168
Tabela 34 – Roteiro de testes para verificar a emissão de um alerta por ícone no caso dos sensores não enviarem as respostas demandadas.	169
Tabela 35 – Roteiro de testes para verificar a emissão de um alerta por ícone no caso dos sensores apresentarem valores discrepantes.	169
Tabela 36 – Roteiro de testes para preenchimento parcial do formulário prévio ao experimento.	170
Tabela 37 – Roteiro de testes para exportação dos dados do experimento selecionado.	171
Tabela 38 – Roteiro de testes para exportação dos dados do experimento com um ID diferente.	172
Tabela 39 – Roteiro de testes para coleta dos índices de temperatura e pressão com valor médio.	172
Tabela 40 – Roteiro de testes para atualização dos valores de rotação do suporte em U.	173
Tabela 41 – Identificação dos componentes da solução montada em laboratório. . .	174
Tabela 42 – Componentes para montagem do Suporte do CubeSat.	175
Tabela 43 – Componentes para montagem do Simulador Solar.	182
Tabela 44 – Componentes para montagem do simulador solar.	185
Tabela 45 – Componentes para montagem do sistema de alimentação.	187
Tabela 46 – Componentes para montagem do quadro de distribuição.	191
Tabela 47 – Componentes para montagem do <i>nobreak</i>	193
Tabela 48 – Componentes para montagem das fontes de alimentação.	196
Tabela 49 – Componentes para montagem do Sistema Eletrônico.	197
Tabela 50 – Componentes para montagem do Sistema Eletrônico.	199

Tabela 51 – Plano de manutenção da solução de energia.	210
Tabela 52 – Plano de manutenção da solução de eletrônica.	213
Tabela 53 – Plano de manutenção da solução de estruturas.	214
Tabela 54 – Custos da solução eletrônica.	216
Tabela 55 – Custos da solução de estrutura.	216
Tabela 56 – Custos da solução de Energia.	217
Tabela 57 – Custos da solução de Software e mão de obra.	220
Tabela 58 – Comandos para obter dados de pressão do PGC201.	242
Tabela 59 – Tabela sobre a descrição do problema.	244
Tabela 60 – Tabela sobre a posição do produto.	244
Tabela 61 – Tabela sobre o perfil dos usuários.	245
Tabela 62 – Tabela sobre o resumo das capacidades.	246
Tabela 63 – Autoavaliação dos integrantes	255

Listas de abreviaturas e siglas

AC	Corrente Alternada
A/D	Analógico/Digital
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
API	Interface de programação de aplicações
CI	Circuito Integrado
DC	Corrente Contínua
DPS	Dispositivo de Proteção de Surtos
EAP	Estrutura Analítica de Projeto
FCA	Fator de correção de agrupamento
FCT	Fator de correção de temperatura
ID	Identificador
I^2C	<i>Inter-Integrated Circuit</i>
IHC	Interação Humano Computador
ISO	Organização Internacional de Normalização
HTTP	<i>Hypertext Transfer Protocol</i>
LED	Diodo Emissor de Luz
LIT	Laboratório de Integração e Testes
MPV	Mínimo Produto Viável
MVC	<i>Model-View-Controller</i>
LN_2	Nitrogênio Líquido
N_2	Nitrogênio
NBR	Norma Brasileira
No-SQL	Banco de Dados Não Relacional

OpenMCT	<i>Open Source Mission Control Software</i>
PID	Proporcional Integral Derivativo
PMBOK	<i>Project Management Body of Knowledge</i>
SPI	<i>Serial Peripheral Interface</i>
SQL	Banco de Dados Relacional
TAP	Termo de Abertura do Projeto
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
TCU	<i>Thermal Control Unity</i>
UART	<i>Universal Asynchronous Receiver/Transmitter</i>
USB	Porta Serial Universal
UML	<i>Unified Modeling Language</i>
GN2	Nitrogênio Gasoso
LaSE	Laboratório de Sistemas Aeroespaciais
INPE	Instituto de Pesquisas Espaciais
FGA	Faculdade do Gama
TIG	<i>Tungsten Inert Gas</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>

Lista de símbolos

A	Ampère
Ah	Ampère-hora
D_{disco}	Diâmetro do disco de interface entre o motor e o CubeSat
t	Espessura do disco de interface entre o motor e o CubeSat
D_{eixo}	Diâmetro do eixo do motor
L_{eixo}	Comprimento do eixo do motor
ρ	Densidade do Aço Inoxidável 304
A_1	Largura do CubeSat
B_1	Comprimento do CubeSat
r	Distância do eixo de rotação ao centro da carga
I	Distância do centro do disco de interface entre o motor e o CubeSat ao eixo do motor
m_{sat}	Massa do CubeSat
μ	Coeficiente de atrito
η	Eficiência do motor
V_1	Velocidade de rotação do motor do CubeSat
t_1	Tempo de aceleração do motor
SF	Coeficiente de segurança
C_{dL}	Coeficiente de descarga de líquido
C_{dg}	Coeficiente de descarga de vapor
ρ_l	Massa específica de líquido
ρ_g	Massa específica de gás
ΔP	Queda de pressão
p_t	Pressão de saída do tanque de N_2

p_s	Pressão de saída da câmara de termo-vácuo
γ	Razão dos calores específicos
γ_l	Razão dos calores específicos para o líquido
γ_g	Razão dos calores específicos para o gás
\dot{m}_l	Vazão mássica de líquido
\dot{m}_g	Vazão mássica de gás
C	Comprimento do braço
B	Largura do braço
m	Massa do conjunto Suporte-CubeSat
V_2	Velocidade de rotação do motor do suporte em U
g	Aceleração da gravidade
I_c	Corrente de Projeto
P	Potência
fp	Fator de potência
FCA	Fator de correção de agrupamento
FCT	Fator de correção de temperatura
cm	Centímetros
K	Kelvin
mm	Milímetros
nm	Nanômetros
W/m^2	Watt por metro quadrado
V	Volts
s	Segundos
$E_{flamagem}$	Erro da flambagem
E_{tensao}	Erro da tensão
P_{cr}	carga crítica

P_{cr_a}	Carga crítica analítica
P_{cr_n}	Carga crítica numérica
n	Numero do modo de flambagem
E	Módulo de Young
I_{min}	Momento de inércia de seção mínimo
L	Comprimento
Σ	tensão normal circunferencial
Σ_a	tensão normal circunferencial analítica
Σ_{a_n}	tensão normal circunferencial numérica
r	raio
t	espessura do tubo
Vol	Volume
d	Distância do centro de rotação ao centro de gravidade
ω	Velocidade angular
α	Aceleração angular
F_{peso}	Força peso
I_x	Momento de inércia no eixo x
I_y	Momento de inércia no eixo y
Δt	Incremento de tempo
$Torque_{carga}$	Torque de carga do motor
$Torque_{aceleração}$	Torque de aceleração do motor
$Torque$	Torque total do motor

Sumário

1	INTRODUÇÃO	23
1.1	Contextualização da problemática	23
1.2	Problemática	24
1.3	Solução	26
2	VISÃO GERAL DA SOLUÇÃO	27
2.1	Delimitação do escopo	27
2.2	Divisão da solução	28
2.3	Arquitetura da solução	28
2.4	Modos de operação da Câmara de Termo-Vácuo	29
2.4.1	Vácuo simples	29
2.4.2	Vácuo frio	30
2.4.3	Vácuo quente	30
2.4.4	Ciclagem térmica	30
2.4.5	Simulação espacial	30
2.4.6	Outras possibilidades	31
2.5	Requisitos	31
2.5.1	Requisitos de missão	31
2.5.2	Requisitos da solução estrutural	32
2.5.3	Requisitos da solução eletrônica	34
2.5.4	Requisitos da solução de Software	36
2.5.5	Requisitos da solução energética	37
3	SOLUÇÃO ESTRUTURAL	39
3.1	Arquitetura do Suporte para o CubeSat	39
3.1.1	Materiais	40
3.1.2	Motor de rotação do satélite	41
3.1.3	Motores para rotação do sistema integrado	44
3.1.4	Cálculo analítico estrutural	46
3.1.5	Simulação estrutural do suporte	49
3.1.5.1	Elemento de malha	49
3.1.5.2	Interface do suporte com o motor	51
3.2	Arquitetura do Simulador Solar	56
3.2.1	Simulação estrutural do suporte do simulador solar	56
3.2.1.1	Tensões na caixa	57
3.2.1.2	Flambagem do suporte	58

3.3	Arquitetura do Sistema de Alimentação	61
3.3.1	Materiais e componentes do sistema de alimentação.	64
3.3.2	Selamento das conexões hidráulicas	65
3.3.3	Dimensionamento da tubulação	66
3.3.4	Simulação estrutural da tubulação	67
3.3.5	Dinâmica de Operação do Sistema de Alimentação	72
3.4	Plano de Fabricação	75
4	SOLUÇÃO ENERGÉTICA	76
4.1	Simulador Solar	76
4.1.1	Premissas para escolha dos componentes do simulador solar	76
4.1.2	Dimensionamento dos componentes do simulador solar	79
4.2	Trocadores de Calor	80
4.2.1	Dimensionamento condensador	81
4.2.2	Dimensionamento aquecedor	82
4.3	Parte Elétrica	82
4.3.1	Dimensionamento <i>nobreak</i>	84
4.3.2	Dimensionamento condutores	85
4.3.3	Dimensionamento quadro de distribuição e disjuntores	86
5	SOLUÇÃO ELETRÔNICA	88
5.1	Central de Controle e Sensoriamento	88
5.1.1	Sensor de temperatura	89
5.1.2	Sensor de pressão	90
5.1.3	Sensor de radiação	93
5.1.4	Medidor de vazão	93
5.2	Sistema de atuadores	93
5.2.1	Relé	94
5.2.2	Atuador Elétrico	95
5.2.3	Controlador dos motores	95
5.2.4	Controle de Temperatura	96
5.2.4.1	Caracterização do sistema	96
5.2.4.2	Método de Ziegler-Nichols	96
5.2.4.3	Implementação do controle térmico	98
5.2.4.4	Simulação do controle térmico	103
5.3	Integração Raspberry Pi com a ESP-32	106
5.3.1	Placa de Circuito Impresso	109
5.4	Arquitetura eletrônica	110
6	SOLUÇÃO DE SOFTWARE	113

6.1	Documento de Visão	113
6.2	Arquitetura de Software	113
6.2.1	Arquitetura Cliente-Servidor	114
6.2.2	WebSocket	114
6.2.3	Raspberry	114
6.2.4	Bancos de Dados No-SQL	115
6.2.5	Padrão Arquitetural MVC	115
6.2.6	Arquitetura Geral	115
6.2.7	Diagramas expositivos sobre a aplicação	117
6.2.7.1	Diagrama de caso de uso	117
6.2.7.2	Diagrama de Sequência	119
6.2.7.3	Diagramas de Pacote	120
6.2.7.4	Diagrama de Classes	122
6.2.8	Tecnologias utilizadas na aplicação	123
6.2.8.1	ReactJS	124
6.2.8.2	Cypress	124
6.2.8.3	Chart.JS	124
6.2.8.4	NodeJS	124
6.2.8.4.1	Node Express	125
6.2.8.5	Jest	125
6.2.8.6	Banco de Dados InfluxDB	125
6.2.8.6.1	Node-influx	126
6.2.8.7	ESLint	126
6.2.9	Automação de entrega de Software	126
6.2.9.1	Github	127
6.2.9.2	Docker	127
6.2.9.3	Integração contínua	127
6.3	Proposta de inovação	128
6.3.1	Usabilidade	128
6.3.2	InfluxDB	128
6.3.3	Cultura DevOps	130
6.4	Arquitetura da Informação - Prototipagem	130
7	INTEGRAÇÃO	134
7.1	Visão Geral	134
7.2	Software e Eletrônica	134
7.3	Software e Energia	138
7.4	Eletrônica e Estruturas	140
7.5	Eletrônica e Energia	143
7.6	Estruturas e Energia	144

8	PLANO DE TESTES	147
8.1	Visão geral	147
8.2	Teste da central energética	147
8.2.1	Instalação elétrica	147
8.2.1.1	Continuidade	148
8.2.1.2	Resistência de isolamento da instalação	148
8.2.1.3	Tensão aplicada	148
8.2.1.4	Funcionamento	149
8.2.2	<i>Nobreak</i>	149
8.2.2.1	Sem carga	149
8.2.2.2	Plena carga	149
8.2.2.3	Teste das baterias	149
8.2.2.4	Teste do sistema de carregamento	150
8.3	Teste do simulador solar	150
8.3.1	Parte estrutural	150
8.3.2	Parte elétrica	150
8.4	Teste do sistema de alimentação de nitrogênio	150
8.4.1	Aquecedor	150
8.4.2	Condensador	151
8.4.3	Linha de alimentação	151
8.5	Teste dos motores	151
8.6	Teste da central de controle	152
8.6.1	Teste de abertura e fechamento das válvulas	152
8.6.2	Teste do controle de temperatura	153
8.7	Teste da Central de Sensoriamento	153
8.7.1	Sensor de temperatura: termopar tipo T	153
8.7.2	Sensor pressão: pirani APG100 e penning PEG100	154
8.7.3	Radiômetro: SI1146-M01-GMR	155
8.7.4	Medidor de vazão: tipo turbina STV - L/G	155
8.8	Testes Software	156
8.8.1	Introdução	156
8.8.2	Objetivo	156
8.8.3	Roteiros de testes	156
9	MANUAL DE MONTAGEM	174
9.1	Visão Geral	174
9.2	Suporte do CubeSat	175
9.3	Simulador Solar	182
9.3.1	Parte estrutural	182
9.3.2	Parte elétrica	184

9.4	Sistema de alimentação	187
9.4.1	Trocadores de Calor	190
9.5	Quadro de distribuição	191
9.6	Nobreak	193
9.7	Fontes de alimentação	195
9.8	Central de Controle e Sensoriamento	197
9.8.1	Termopar	198
9.8.2	Sensor de pressão	200
9.8.3	Sensor de radiação	201
9.8.4	Medidor de vazão	202
9.8.5	PCB	202
9.9	Posicionamento dos cabos dentro da câmara de vácuo	203
9.10	Software	203
9.10.1	Módulo do FrontEnd (Interface)	203
9.10.1.1	Guia de instalação e execução	204
9.10.2	Módulo do BackEnd (Ponte de integração dos módulos de FrontEnd e Eletrônica)	204
9.10.2.1	Guia de instalação e execução	205
9.10.2.2	Configuração do InfluxDB	205
9.10.2.3	Rotas da API	206
10	MANUAL DE USO	209
11	PLANO DE MANUTENÇÃO PERIÓDICA	210
12	CUSTOS	216
13	CONSIDERAÇÕES FINAIS	221
	REFERÊNCIAS	222
	APÊNDICES	227
	APÊNDICE A – DESENHOS TÉCNICOS	228
	APÊNDICE B – DIAGRAMAS DOS MODOS DE FUNCIONAMENTO	235
	APÊNDICE C – ESQUEMÁTICO DO SISTEMA ELETRÔNICO	241
	APÊNDICE D – COMANDOS DO DISPOSITIVO PGC201	242
	APÊNDICE E – DOCUMENTO DE VISÃO	243

E.1	Introdução	243
E.1.1	Finalidade	243
E.1.2	Escopo	243
E.1.3	Visão Geral	243
E.2	Posicionamento	243
E.2.1	Descrição do problema	244
E.2.2	Sentença de Posição do Produto	244
E.3	Perfis de usuários	244
E.3.1	Pesquisador	245
E.3.2	Ambiente do usuário	245
E.3.3	Alternativas e Concorrência	245
E.4	Visão geral do produto	245
E.4.1	Perspectiva do Produto	245
E.4.2	Resumo das Capacidades	245
E.4.3	Suposições e Dependências	246
E.4.4	Custos e Precificação	246
E.4.5	Licenciamento e Instalação	246
E.5	Visão Geral dos Recursos do Produto	247
E.5.1	Informar ao usuário sobre o estado da câmara para o início dos testes	247
E.5.2	Apresentar ao usuário os indicadores da câmara termo-vácuo	247
E.5.3	Informar saúde e aspectos de cada sensor	247
E.5.4	Gerar histórico	247
E.6	Restrições	247
E.6.1	Restrições externas	247
E.6.2	Restrições de design	248
E.7	Outros Requisitos do Produto	248
	APÊNDICE F – DECISÕES ARQUITETURAIS DE SOFTWARE	249
F.1	Arquitetura da Informação	249
F.2	Arquitetura do Software	249
F.2.1	Microsserviços	250
F.2.2	Cliente-Servidor	250
F.2.3	Conclusão	250
F.2.4	Escolha das tecnologias utilizadas no projeto	251
	APÊNDICE G – DIAGRAMA DE INTEGRAÇÃO	253
	APÊNDICE H – LINKS DE ACESSO PARA OS REPOSITÓRIOS COM CÓDIGOS FONTE	254
	APÊNDICE I – AUTOAVALIAÇÃO DOS INTEGRANTES	255

J	-	MANUAL DE USUÁRIO	259
ANEXOS			273
ANEXO A – DESENHOS TÉCNICOS - PARTES E COMPONENTES DA SOLUÇÃO ESTRUTURAL			274
ANEXO B – ANEXOS DAS SOLUÇÕES ENERGÉTICAS			276
B.1	Catálogos dos componentes energéticos	276	
B.2	Diagrama multifilar do sistema de energia	278	
ANEXO C – PROPRIEDADES DO NITROGÊNIO			279

1 Introdução

1.1 Contextualização da problemática

Os CubeSats, classe de nanossatélites, foram criados por motivos puramente educacionais como uma forma de diminuir custos da construção e atenuar o tempo da missão de um satélite para que estudantes tenham treinamento com essa tecnologia de uma forma viável. Porém, esses CubeSats tornaram-se uma das inovações que transformaram o setor aeroespacial ao integrar serviços de satélites para diferentes objetivos, abrindo os horizontes para novos negócios. Com a popularização desse modelo de satélite, instituições e países que ainda não tinham acesso ao espaço devido ao custo, encontraram nesse modelo uma solução para realizar missões espaciais de curto prazo. Dessa forma, os CubeSats tornaram-se uma tendência tecnológica sendo utilizado em aplicações espaciais para missões com custo baixo e equipe pequena, e capacitação de profissionais na área ([TWIGGS, 2008](#)).

A popularização dos CubeSats ocorreu principalmente pela necessidade de treinar alunos do nível superior numa missão espacial completa no período típico de suas graduações e sem custos exorbitantes. Posteriormente, foi introduzido como um modelo funcional para agências espaciais em todo o mundo desafiando os padrões de satélites, uma vez que um projeto de CubeSat aceita os riscos de utilizar componentes sem qualificação para uso no espaço e otimizar os testes. Mas esses riscos são compensados pela facilidade da rápida reposição de um desses projetos caso ocorra falhas.

Devido às vantagens comerciais apresentadas por esse tipo de satélite, iniciativas privadas começaram a adotar esse modelo e agências espaciais implementaram esse projeto em suas missões. Dessa forma, os lançamentos de CubeSats por ano superaram o lançamento de satélites convencionais em 2017 demonstrando como os CubeSats possibilitaram acesso ao espaço para países e organizações que não possuíam recursos para custear programas espaciais ([VILELA; BRANDÃO; LEONARDI, 2016](#)).

A arquitetura dos CubeSats obedece um padrão de especificações de domínio público, onde a principal característica é a montagem padronizada em cubo, com arestas de 10 centímetros, possuindo uma massa de até 1,3 quilogramas, conforme ilustra a Fig. 1. Esse único cubo constitui um módulo 1U e podem ser utilizados vários desses cubos para construir CubeSats maiores com uma arquitetura aberta ([TOORIAN, 2004](#)).

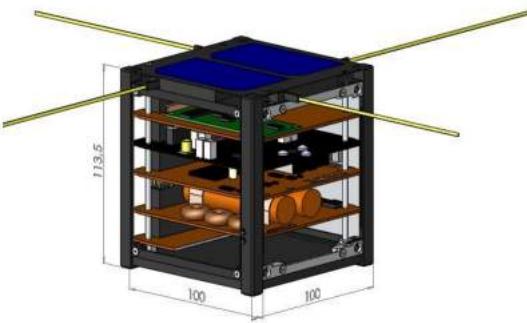


Figura 1 – CubeSat padrão 1U sem as paredes laterais (mm).

Fonte: ([DURÃO; SHUCH, 2016](#)).

1.2 Problemática

Para que os CubeSats possam entrar em fase de operação, é necessário que os mesmos passem por todas as fases de desenvolvimento do ciclo de vida do produto espacial convencional, sendo eles: viabilidade, concepção, projeto detalhado, fabricação e integração e teste. Nas duas últimas fases, o CubeSat precisa passar por processos interativos para testar os subsistemas para verificar se as soluções propostas estão aptas para suportar as condições espaciais e o sistema como um todo deve ser submetido a testes de validação ([NASA, 2007](#)).

Para a execução do programa de testes que integram essas etapas, é necessário o uso de diferentes tipos de instalações. Porém, dentre todos esses, os testes de simulação de ambiente espacial realizados pela câmara de termo-vácuo desempenham um papel fundamental na qualificação dos três modelos sistêmicos do CubeSat (Modelo de Engenharia, Modelo de Qualificação e Modelo de Voo) ([CHISABAS et al., 2017](#)).

Os três modelos sistêmicos podem ser definidos por meio dos seguintes conceitos: I. Modelo de Engenharia: possui todas as funcionalidades de desempenho contempladas no protótipo; II. Modelo de Qualificação: deve contemplar todas os requisitos do Modelo de voo (versão final) demonstrando que os subsistemas do protótipo atendem as especificações da missão com uma margem satisfatória; III. Modelo de voo: versão final do projeto sendo construído após ajustes e revisão de qualificação.

A câmara de termo-vácuo é composta por uma Câmara de Vácuo, conforme é representado pelo desenho do dispositivo do Laboratório de Sistemas Espaciais (LaSE) na Fig. 2, com controle de temperatura interno. Esse controle de temperatura pode ser feito por meio de uma placa inserida na Câmara de Vácuo para passagem de nitrogênio gasoso aquecido e nitrogênio líquido, visando simular as temperaturas extremas do espaço. Junto a esse sistema térmico, também é implementado um conjunto de lâmpadas capaz de simular a luz solar que incide sobre as faces do CubeSat no espaço, em que esse sistema

é chamado de simulador solar ([ALMEIDA; PANISSI; SANTOS, 2016](#)).



Figura 2 – Câmara de Termo-Vácuo do LaSE-FGA.

Fonte: ([SILVEIRA, 2021](#)).

No modelo de engenharia, é possível realizar nesse dispositivo testes de exposição dos materiais e dos subsistemas para validação de seu comportamento em baixas pressões e temperaturas extremas. No modelo de qualificação, a câmara de termo-vácuo pode ser utilizada para estudar o CubeSat sob a influência da radiação e, no último caso, no modelo de voo pode ser realizado testes de ciclagem térmica para verificar se o projeto é capaz de suportar todas as variações térmicas do ambiente espacial. A maioria dos subsistemas de um CubeSat tem como requisito mandatório passar por testes de termo-vácuo para serem qualificados e aceitos para o lançamento ([SILVA; PERONDI, 2011](#)).

A falta desses testes pode ocasionar a não detecção de falhas dos subsistemas do CubeSat comprometendo toda a missão e o investimento feito no projeto. No Brasil, é possível realizar os testes de simulação do ambiente espacial na Câmara de Termo-Vácuo do Laboratório de Integração e Testes (LIT) localizado no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) ([CHISABAS et al., 2017](#)). Os pesquisadores realizam todos os protocolos de testes necessários para a validação do modelo de voo do CubeSat emitindo relatórios com certificação internacional. Porém, essa solução não contempla com satisfação projetos em fase de modelo de engenharia ou validação, uma vez que não é possível realizar facilmente outras configurações de procedimentos de testes e o acesso é demorado, devido as etapas para submissão para realização de um teste no INPE.

Dessa forma, o tempo para desenvolver esses satélites prolonga-se mais do que o esperado e, geralmente, não é possível fazer testes menores para validar novas soluções em ambiente espacial de forma eficaz. Com o aumento da produção de CubeSats descentralizados do INPE no Brasil, torna-se necessário uma solução para viabilizar que esses novos projetos tenham à sua disposição todas as ferramentas necessárias para desenvolver um produto de qualidade com rapidez.

1.3 Solução

Tendo em vista a problemática exposta, foi idealizada uma solução que pudesse permitir que centros de pesquisas, como universidades, empresas privadas ou institutos, pudessem ter um meio de realizar testes em um ambiente que simula as condições espaciais para validação de modelos de engenharia e, parcialmente, modelos de qualificação em diversos subsistemas do CubeSat, permitindo que o pesquisador execute seu projeto em qualquer momento e usando o protocolo de teste que desejar e, dessa forma, viabilizar um rápido crescimento na produção e lançamento de CubeSats Brasileiros.

A delimitação de CubeSats com dimensão até 3U, onde 1U equivale a 10x10x10 cm, foi feita para que fosse possível ter uma câmara padrão que suportasse qualquer projeto de CubeSat dentro desse intervalo, além disso, CubeSats de 1U até 3U contemplam aproximadamente 95% dos nanosatélites já produzidos e lançados até o momento. Logo, a câmara cobrirá a grande maioria dos projetos desenvolvidos ([VILELA et al., 2019](#)). Quanto ao intervalo de temperatura entre 253 K e 333 K, este foi definido com base nos principais testes de termo-vácuo realizado por instuições de pesquisas espaciais ([FER-NANDES et al., 2016](#)). E, por último, os modos de operação serão definidos de acordo com a Tab. 1, onde é possível visualizar em quais modos tem-se o uso de Nitrogênio Líquido (LN2) ou Nitrogênio Gasoso (GN2) para alcançar as temperaturas desejadas, além do uso do simulador solar.

Tabela 1 – Modos de operação da Câmara.

Nº	Modo de operação	Alto Vácuo	LN2	GN2	Luz Solar
1	Vácuo simples	X			
2	Vácuo frio	X	X		
3	Vácuo quente	X		X	
4	Ciclagem térmica	X	X	X	
5	Simulação espacial	X	X	X	X

Fonte: Autoria própria.

2 Visão geral da solução

2.1 Delimitação do escopo

Devido a complexidade do sistema, o presente trabalho será desenvolvido em parceria com um TCC (Trabalho de Conclusão de Curso) para possibilitar que toda a Câmara de Termo-Vácuo seja desenvolvida durante a disciplina. É possível conferir o TCC na referência (SILVEIRA, 2021). A Figura 3 apresenta todos os subsistemas necessários para o funcionamento da Câmara de Termo-Vácuo. Os subsistemas marcados como "Fora de Escopo" não serão contemplados nesse projeto e serão abordados com a premissa de que já estão concluídos. Além disso, tanto o projeto dessa disciplina como o TCC estão desenvolvendo uma solução que se encaixe no sistema de vácuo (Câmara de vácuo + sistema de bombeamento) presente no Laboratório de Sistemas Espaciais da Universidade de Brasília, campus FGA (Faculdade do Gama).

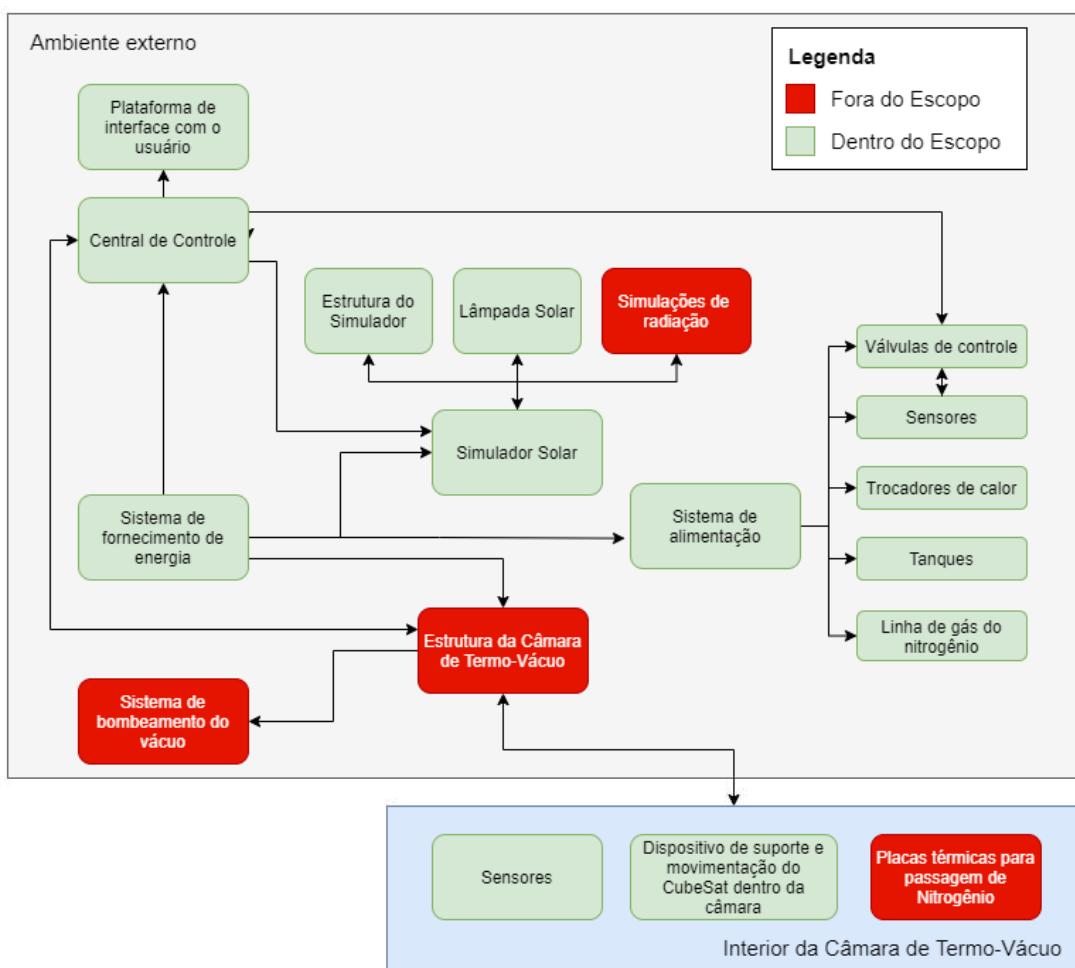


Figura 3 – Escopo do produto nos subsistemas.
Fonte: Autoria Própria.

2.2 Divisão da solução

Tendo o conhecimento dos subsistemas contemplados no escopo desse projeto, as soluções para o projeto serão divididas e apresentadas no próximo capítulo por área de engenharia. A Figura 4 mostra como os subsistemas estão alocados dentro dos núcleos de trabalho da equipe (Estruturas, Energia, Eletrônica e Software) e qual área de engenharia é responsável por cada subsistema. Os subsistemas do simulador solar e sistema de alimentação serão divididos entre a solução estrutural e a solução energética.

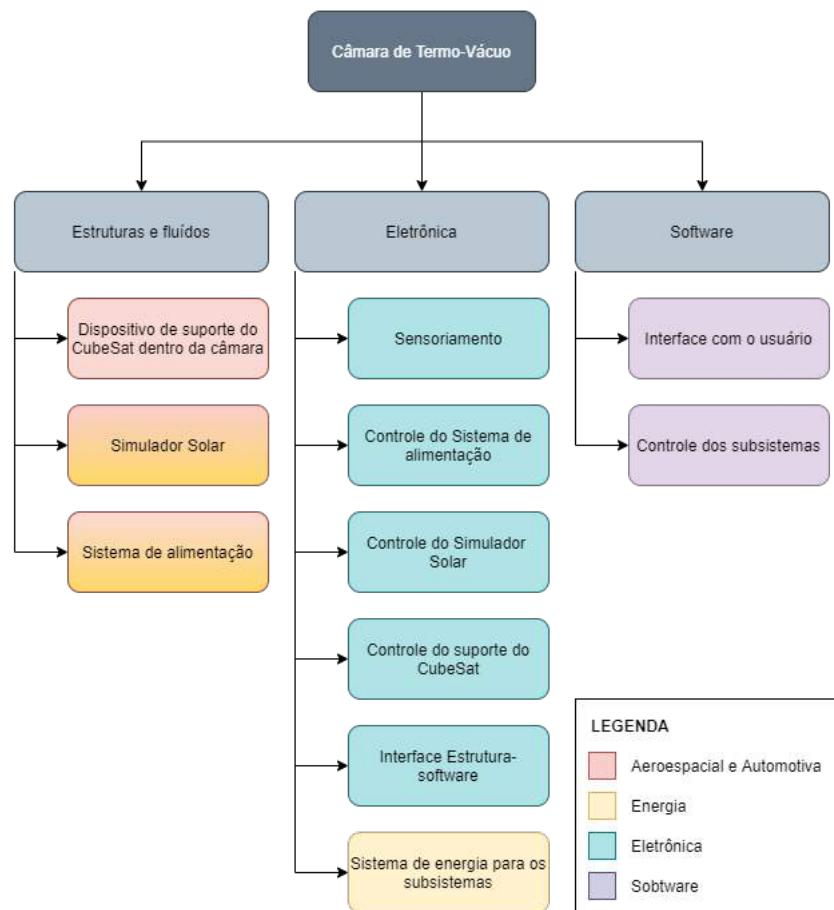


Figura 4 – Divisão das soluções por área de engenharia.

Fonte: Autoria Própria.

2.3 Arquitetura da solução

A Figura 5 apresenta a arquitetura planejada para a solução. É possível visualizar o sistema de alimentação composto pelo tanque de nitrogênio (N2), condensador, aquecedor e linha de alimentação. A central de controle e sensoriamento atua sobre os atuadores que controlam a linha de alimentação, os motores do dispositivo de suporte do CubeSat e os sensores presentes no sistema de alimentação, câmara de vácuo e placa térmica. Já a central de controle e sensoriamento comunica-se com a interface de usuário para

distribuição de dados e controle dos componentes.

O sistema energético fornece energia para o aquecedor, condensador e a central de controle por meio de um *nobreak online* que mantém esses subsistemas ligados em caso de queda de energia por até 30 minutos. Outro componente desse sistema é o simulador solar que será conectado diretamente a rede elétrica e não será usado durante todo o tempo de teste, e sim quando o usuário necessitar.

Cada uma das soluções descritas serão detalhadas nos capítulos posteriores, conforme a divisão da Figura 4.

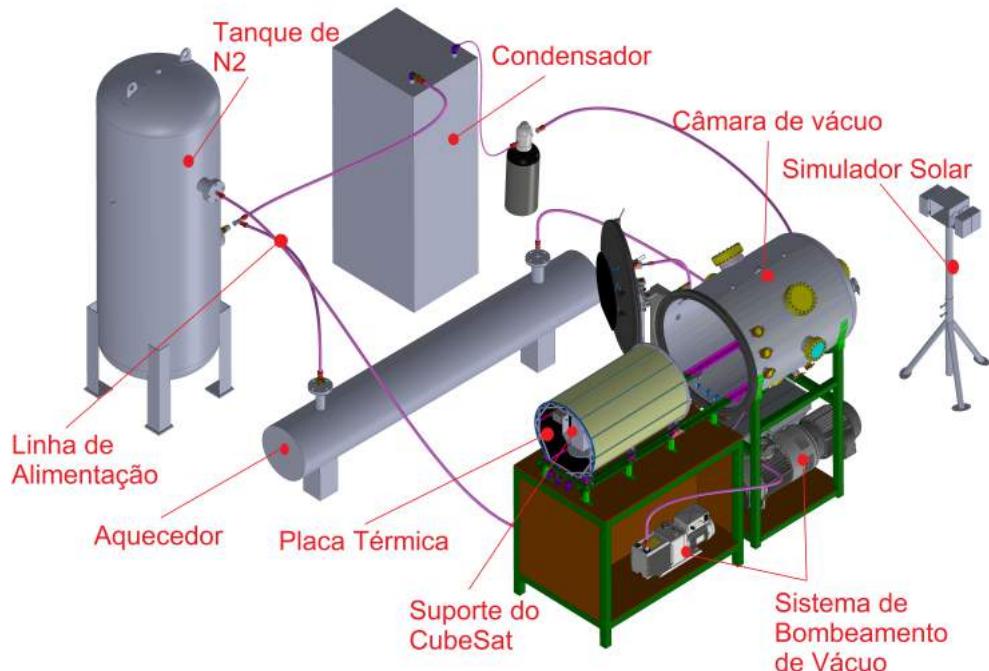


Figura 5 – Arquitetura da solução.

Fonte: Autoria Própria.

2.4 Modos de operação da Câmara de Termo-Vácuo

Como foi apesentado na Tabela 1, a solução possui 5 modos de operação e a seguir será apresentado a descrição de cada modo.

2.4.1 Vácuo simples

Nesse modo de operação, o CubeSat é posicionado dentro da câmara de TermoVácuo e em seguida ela é vedada. O sistema de bombeamento de vácuo é iniciado e o CubeSat fica exposto apenas a pressão do alto vácuo. Essa operação é realizada para garantir que os materiais escolhidos para o CubeSat resistirão ao vácuo. Ressaltando que, a Câmara de Termo-Vácuo é apenas o ambiente de simulação, o material deve ser submetido pos-

teriormente a testes específicos, que estão fora do escopo desse projeto, para determinar se suas propriedades sofreram alterações significativas. O procedimento do vácuo simples deve ocorrer antes de iniciar qualquer outro modo de operação.

2.4.2 Vácuo frio

A operação vácuo frio é iniciada após o procedimento de Vácuo simples ser realizado. Quando a pressão dentro da câmara alcançar alto vácuo (10^{-6} mbar), a linha de nitrogênio líquido do sistema de alimentação de N₂ será ativado e a placa térmica será resfriada pela passagem do nitrogênio líquido até que a temperatura desejada na face do CubeSat seja alcançada.

2.4.3 Vácuo quente

Esse modo de operação funciona da mesma forma que o vácuo frio, porém, nesse caso, a linha de nitrogênio gasoso será ligada e a placa térmica será aquecida até que seja alcançada a temperatura desejada na face do CubeSat. Além disso, o sistema terá termopares na linha de gás e nas faces do CubeSat para verificar se os requisitos de temperatura foram atingidos.

2.4.4 Ciclagem térmica

Nesse caso, após a operação de vácuo simples ocorrer, a linha de nitrogênio líquido será ativada até que a temperatura desejada seja alcançada, após isso, o sistema de controle manterá a temperatura desejada durante o período que o usuário definir. Em seguida, o sistema interromperá a passagem do nitrogênio líquido e iniciará a passagem do nitrogênio gasoso para que a placa térmica retorne a temperatura ambiente e então iniciar o aquecimento da placa térmica até a temperatura desejada durante o tempo pré-determinado pelo o usuário. Dessa forma, o CubeSat será submetido à duas temperaturas extremas num curto período de tempo.

Esse ciclo pode ser repetido enquanto o sistema de alimentação possuir nitrogênio líquido e essa condição será apresentada no manual de uso presente nesse relatório no Capítulo 10.

2.4.5 Simulação espacial

O objetivo desse modo de operação é simular uma órbita do CubeSat pela Terra e tem o funcionamento parecido com a ciclagem térmica. Nesse modo, o CubeSat ficará exposto a temperatura mínima (253 K) durante 90 minutos e, após esse período, a placa térmica será aquecida até alcançar a temperatura máxima (333 K) e permanecerá submetido à essa temperatura por 90 minutos em conjunto com o simulador solar ligado.

2.4.6 Outras possibilidades

Conforme foi explicitado na Introdução, o objetivo desse produto é permitir que o usuário possa realizar qualquer teste que desejar, desde que esteja dentro das capacidades da câmara. Dessa forma, os modos de operação são uma sugestão de como o usuário pode utilizar esse dispositivo, mas ele terá a opção de ativar o simulador solar e o suporte com dois graus de liberdade em qualquer momento da operação e poderá definir as temperaturas e duração do teste dentro dos limites propostos (253 K até 333 K e até 90 minutos para cada temperatura).

2.5 Requisitos

Os requisitos do projeto seguem o nível hierárquico de: I. Necessidades dos Stakeholders, II. Requisitos da missão e III. Requisitos técnicos. A partir das necessidades dos Stakeholders, presente no TAP, definiu-se os requisitos da missão e, pelos requisitos da missão, foram definidos os requisitos técnicos de cada solução. Os requisitos técnicos possuem uma coluna chamada "Rast.", que indica a rastreabilidade daquele requisito, ou seja, de qual requisito de missão aquele item originou-se. As outras duas colunas indicam o tipo Funcional (F) ou não-funcional (N-F) e se ele é Mandatório (M) ou Desejável (D). Todas as soluções apresentadas na seção Solução foram baseadas nos respectivos requisitos técnicos de cada área.

2.5.1 Requisitos de missão

A Tabela 2 apresenta os requisitos da missão.

Tabela 2 – Requisitos da missão

ID	Requisitos
GER-01	O projeto deve conter um sistema de controle para manutenção, ativação e arquivamento dos dados da câmara de vácuo
GER-02	O sistema deve gerar um vácuo de 10^{-3} mbar até 10^{-9} mbar (alto vácuo)
GER-03	O sistema deve produzir alto vácuo em no máximo 3 horas
GER-04	O sistema deve propiciar que a face do Cubesat varie entre as temperaturas -253,15 K e 333,15 K
GER-05	O sistema deve informar em tempo real a temperatura e pressão dentro da câmara e na linha de gás
GER-06	Os materiais no interior da câmara devem manter suas propriedades mecânicas sobre circunstâncias de radiação, extrema temperatura e alto vácuo

GER-07	A pressão de vapor dos materiais do sistema deve ser mínima quando exposto a altas temperaturas (≥ 400 K) durante a operação
GER-08	Os materiais estruturais do sistema devem ser impermeáveis aos gases, com superfície que impeça a retenção de impurezas e substâncias
GER-09	As bombas de vácuo devem possuir um sistema de energia emergencial
GER-10	Todos os componentes ligados a face interna da câmara devem suportar as temperaturas máximas e mínimas
GER-11	A câmara de vácuo deve permitir a transmissão e comunicação de dados e temperatura do cubesat
GER-12	O sistema deve iniciar os testes apenas quando alcançar o alto vácuo
GER-13	O sistema não deve aquecer o cubesat por condução
GER-14	O sistema deve ser capaz de suportar um Cubesat de dimensões até 3U
GER-15	O sistema deve ser controlado remotamente durante toda a operação
GER-16	Todos os sistemas devem possuir fonte de energia para seus respectivos abastecimento
GER-17	Os sistemas térmico e de vácuo devem ter um sistema de automação e controle para as rampas de refrigeração/aquecimento
GER-18	O sistema deve possuir um simulador solar
GER-19	O sistema deve possuir um sistema de rotação para simular o sistema solar em todas as faces do cubesat
GER-20	Todos os subsistemas devem ser exequíveis para operação e manutenção
GER-21	O sistema deve atender todas as especificações do TCC (parceria) e da câmara de vácuo existente no LASE

A Tabela 3 apresenta os requisitos da estrutura.

2.5.2 Requisitos da solução estrutural

Tabela 3 – Requisitos da solução estrutural.

ID	Categoria	Requisitos	Tipo	M/D	Rast.
EST-01	Suporte do Cubesat	Os materiais do sistema não devem reagir no vácuo	N-F	M	GER-06
EST-02	Suporte do Cubesat	Os materiais do sistema não devem reagir com outros materiais adjacentes	N-F	M	GER-06
EST-03	Suporte do Cubesat	A expansão térmica dos materiais adjacentes deve corresponder ao sistema sem gerar distorções indesejáveis e interações mecânicas	N-F	M	GER-06
EST-04	Suporte do Cubesat	Os materiais do sistema não devem emanar gases excessivamente sob interação de partículas de alta energia	N-F	M	GER-08
EST-05	Suporte do Cubesat	Os materiais do sistema devem ter um baixo potencial de liberação de gás sob vácuo	N-F	M	GER-07
EST-06	Suporte do Cubesat	Os materiais do sistema devem ter propriedades de desgaseificação adequadas para manipulação	N-F	M	GER-08
EST-07	Suporte do Cubesat	Os materiais do sistema devem ser adequados para minimizar ou cancelar a presença de fontes de vapor e gases indesejáveis	N-F	M	GER-08
EST-08	Suporte do Cubesat	Os materiais escolhidos não devem interferir na telemetria	N-F	M	GER-14
EST-09	Suporte do Cubesat	O suporte deve ter o mínimo contato com a estrutura do satélite para evitar transferência de calor por condução	N-F	M	GER-13
EST-10	Sistema de alimentação	Deve haver medição de temperatura e pressão na linha para monitoramento das condições do Nitrogênio	F	M	GER-11
EST-11	Sistema de alimentação	O sistema de alimentação deve ter interface com a placa térmica para fornecimento de Nitrogênio	N-F	M	GER-15

EST-12	Sistema de alimentação	É necessário um controle de vazão para garantir que a quantidade correta de Nitrogênio chegue à placa térmica	F	M	GER-17
EST-13	Sistema de alimentação	Deve contar com uma linha de resfriamento capaz de levar a temperatura na face do Cubesat até 253,15 K	F	M	GER-04
EST-14	Sistema de alimentação	A câmara deve ser capaz de manter nos limites de temperatura durante o período dos testes térmicos	F	M	GER-04
EST-15	Sistema de alimentação	Deve contar com uma linha de aquecimento capaz de levar a temperatura na face do Cubesat até 333,15 K	F	M	GER-04
EST-16	Sistema de alimentação	O sistema térmico deve conter um sistema específico de ventilação	F	D	GER-04
EST-17	Suporte do Cubesat	O sistema deve ter dois graus de liberdade	F	D	GER-14
EST-18	Suporte do Cubesat	O sistema não deve entrar em contato com a placa térmica durante a operação	F	M	GER-14

A Tabela 4 apresenta os requisitos da eletrônica.

2.5.3 Requisitos da solução eletrônica

Tabela 4 – Requisitos da solução eletrônica.

ID	Categoría	Requisitos	Tipo	M/D	Rast.
ELE-01	Sensoria-mento	O sistema eletrônico deve possuir um sensor de temperatura em cada face do cubesat que suporte temperaturas entre 253,15 K e 333,15 K	F	M	GER-04 GER-05
ELE-02	Sensoria-mento	O sistema eletrônico deve possuir pelo menos 4 sensores de temperatura na placa térmica que suporte temperaturas entre 253,15 K e 333,15 K	F	M	GER-04 GER-05

ELE-03	Sensoria-mento	O sistema eletrônico deve possuir sensores de temperatura na linha dos tanques que suporte temperaturas entre 253,15 K e 333,15 K	F	M	GER-04 GER-05
ELE-04	Sensoria-mento	O sistema eletrônico deve possuir um sensor de alto vácuo e um sensor de baixo vácuo na placa térmica	F	M	GER-02 GER-05
ELE-05	Sensoria-mento	O sistema eletrônico deve possuir sensores de pressão na linha dos tanques que suporte pressões entre 10^{-3} mbar à 10^{-7} mbar	F	M	GER-02 GER-05
ELE-06	Sistema de atuadores	O sistema eletrônico deve controlar a rotação dos motores utilizados para a rotação no próprio eixo e a rotação de 180°	F	M	GER-19 GER-20
ELE-07	Sistema de atuadores	O sistema eletrônico deve ligar e desligar o simulador solar	F	M	GER-18
ELE-08	Controle térmico	O sistema de controle de temperatura da placa térmica deve iniciar o teste apenas quando estiver em $333,15 \text{ K} \pm 3 \text{ K}$	N-F	M	GER-17
ELE-09	Controle térmico	O sistema de controle de temperatura da placa térmica deve estagnar a temperatura em $333,15 \text{ K} \pm 3 \text{ K}$ durante 2 horas	N-F	M	GER-17
ELE-10	Controle térmico	O sistema de controle de temperatura da placa térmica deve diminuir a temperatura em uma velocidade de 5 K/min	N-F	M	GER-17
ELE-11	Controle térmico	O sistema de controle de temperatura da placa térmica deve estagnar a temperatura em $253,15 \pm 3 \text{ K}$ após o decaimento da temperatura	N-F	M	GER-17
ELE-12	Sensoria-mento	Os componentes eletrônicos devem manter sua calibração e integridade sobre circunstâncias de radiação, extrema temperatura e alto vácuo	N-F	M	GER-06
ELE-13	Central	A central de controle deve coletar os dados de todos os sensores de temperatura e de pressão em tempo real	F	M	GER-05

ELE-14	Sistema de atuadores	O sistema de atuadores deve coletar a situação do simulador solar, dos motores e das válvulas	F	D	GER-01
ELE-15	Central	A central de controle deve transmitir todos os dados coletados para a interface gráfica de usuário	F	M	GER-01
ELE-16	Central	A central de controle deve receber todos os comando da interface gráfica de usuário e executá-lo	F	M	GER-15

A Tabela 5 apresenta os requisitos de software.

2.5.4 Requisitos da solução de Software

Tabela 5 – Requisitos da solução de software.

ID	Categoría	Requisitos	Tipo	M/D	Rast.
SOF-01	Câmara de vácuo	A aplicação deve permitir a integração com a câmara	N-F	M	GER-11
SOF-02	Sistema térmico	A aplicação deve ativar e desativar o sistema térmico	F	M	GER-01
SOF-03	Sistema térmico	A aplicação deve coletar dados do sistema térmico	F	M	GER-01
SOF-04	Sistema térmico	A aplicação deve monitorar o sistema térmico	F	M	GER-01
SOF-05	Sistema térmico	A aplicação deve alertar o usuário sobre possíveis obstáculos do sistema térmico	F	D	SOF-04
SOF-06	Sistema térmico	A aplicação deve coletar em tempo real os índices de temperatura mediante sensor	F	M	GER-05
SOF-07	Câmara de vácuo	A aplicação deve coletar em tempo real os índices do vácuo mediante sensor	F	M	GER-05
SOF-08	Interface com o usuário	A aplicação deve gerar gráficos de temperatura e pressão pelo tempo	F	D	GER-05

SOF-09	Aquisição de dados	A aplicação deve registrar o histórico de dados de cada experimento	F	M	GER-01
SOF-10	Câmara de Vácuo	A aplicação deve permitir cancelar a missão em qualquer momento	F	M	GER-01
SOF-11	Interface com o usuário	A aplicação deve informar ao usuário quando o sistema entrar no modo de energia emergencial	F	D	GER-09
SOF-12	Interface com o usuário	A aplicação deve permitir realizar testes que possuam seu parâmetros setados	F	M	OBJ-03
SOF-13	Aquisição de dados	A aplicação deve permitir exportar os dados do experimento	F	D	GER-01
SOF-14	Câmara de Vácuo	A aplicação deve informar o nível de N2 e de GN2	F	M	GER-13
SOF-15	Câmara de Vácuo	A aplicação deve controlar a rotação do CubeSat	F	M	SOF-01
SOF-16	Câmara de Vácuo	A aplicação deve iniciar o teste somente após a pressão alcançar o nível ideal	F	M	GER-12
SOF-17	Interface com o usuário	A aplicação deve possibilitar que o usuário escolha outro tipo de teste em sequência	F	D	SOF-19
SOF-18	Aquisição de dados	A aplicação deve informar o estado dos sensores	F	D	SOF-01
SOF-19	Interface com o usuário	A aplicação deve ser intuitiva e acessível para os operadores	N-F	D	GER-01

A Tabela 6 apresenta os requisitos da energia.

2.5.5 Requisitos da solução energética

Tabela 6 – Requisitos da solução energética

ID	Categoría	Requisitos	Tipo	M/D	Rast.
ENE-01	Simulador Solar	O sistema deve ter uma fonte pontual de luz para simulação solar, possuindo um fluxo de radiação solar de 1400 W/m ² e potência de 274,89W	N-F	M	GER-18 GER-21
ENE-02	Simulador Solar	O sistema deve possuir um sensor para aferição do fluxo de radiação do simulador solar	F	M	GER-18
ENE-03	Simulador Solar	A fonte de luz deve possuir um reator externo de descarga para auxiliar na estabilidade e partida das lâmpadas	F	M	GER-18
ENE-04	Parte Elétrica	O sistema deve estar conectado à rede elétrica para duração dos testes de no mínimo 2 horas e máximo de 10 horas	F	M	GER-16
ENE-05	Parte Elétrica	O sistema deve ter uma fonte de alimentação emergencial capaz de mantê-lo funcionando durante o desligamento dos componentes , ou seja, 30 minutos	F	M	GER-16
ENE-06	Parte Elétrica	O sistema deve fornecer energia suficiente para todos os subsistemas	F	M	GER-16
ENE-07	Trocador de calor	Os trocadores de calor devem fornecer energia suficiente para garantir o aquecimento ou resfriamento do nitrogênio para que a face do Cubesat varie entre 253,15 K até 333,15 K	F	M	GER-04

3 Solução Estrutural

A solução estrutural para o projeto consiste na arquitetura de sistemas que viabilizam os cinco modos de operações de teste previstos na justificativa. As arquiteturas de solução consistem em um **Suporte com dois graus de liberdade** para o satélite, um **Suporte para a lâmpada** do simulador solar e um **Sistema de alimentação** de Nitrogênio (N_2) para a placa térmica. O sistema de alimentação é responsável pelo resfriamento/aquecimento do sistema. Na Figura 6 é mostrada uma representação da placa térmica com o suporte para o CubeSat e a o suporte da lâmpada.

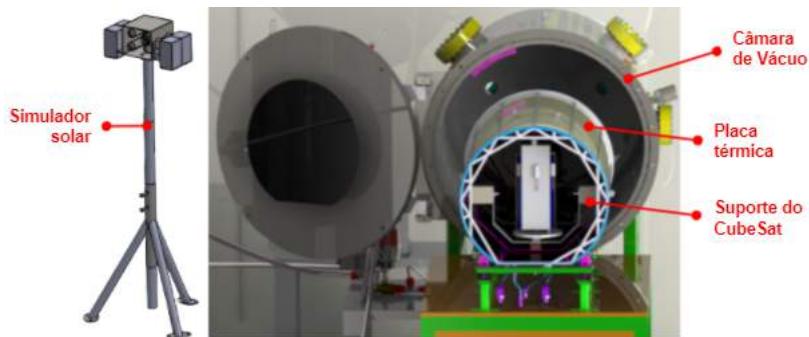


Figura 6 – Sistemas desenvolvidos na solução estrutural.
Fonte: Autores.

Observando a Figura 6, é possível verificar os sistemas citados acima. O suporte do CubeSat está dentro da placa térmica e será abordado em detalhes na Seção 3.1. Já o sistema de suporte do simulador solar será abordado na Seção 3.2. Por último, o sistema de alimentação será detalhado na Seção 3.3.

3.1 Arquitetura do Suporte para o CubeSat

Com o intuito de permitir que todas as faces do CubeSat seja exposto à radiação do simulador solar (definido na Seção 4.1), um suporte foi desenvolvido com motores elétricos que rotacional o CubeSat. A Figura 7 mostrar o suporte do CubeSat.

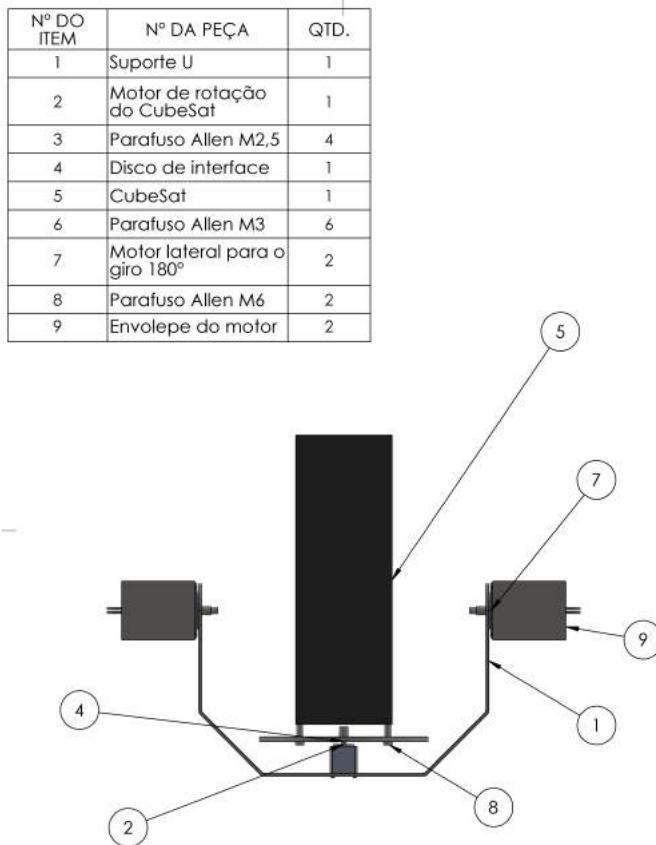


Figura 7 – Suporte do CubeSat.

Fonte: Autoria própria.

3.1.1 Materiais

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

- Resistente a produtos químicos;
- Fácil higienização;
- Material não magnético;
- Resistente ao Calor;
- Reciclável.

Tabela 7 – Propriedades do Aço Inox 304

Aço	%C	%Cr	%Ni	Limite de Resistência a Tração [MPa]	Limite de Escoamento [MPa]	Alongamento [%]	Massa Específica [kg/m³]
Inox 304	0,08	0,19	0,10	517	207	30	8030

Fonte: ([ASKELAND D. R.; WRIGHT, 2019](#)).

3.1.2 Motor de rotação do satélite

O dimensionamento do motor de rotação do satélite requer que as propriedades de momento de inércia de massa sejam determinadas para todos os componentes da estrutura a qual o motor deverá rotacionar em 360°, com 10 revoluções por minuto. A partir disso, é possível encontrar o torque necessário para movimentar a estrutura, bem como escolher o motor adequado capaz de fornecer esse torque.

O motor deve suportar uma carga correspondente a, no máximo, a carga aplicada pelo peso de um modelo 3U. Dessa forma, de acordo com o padrão de dimensões e peso para CubeSats, a carga máxima dos mesmos deve ser de 6kg. Além da massa do modelo 3U, o motor responsável pela rotação deve ter um torque suficiente para movimentar o peso do disco de interface entre o motor e o CubeSat. Essa interface foi escolhida no formato de disco para acomodar o formato do CubeSat com mais estabilidade e facilitar a fabricação. É considerado que a massa dos componentes está distribuída de forma homogênea, o que implica no balanceamento dos mesmos.

O sistema é diretamente acoplado na estrutura, sendo o mecanismo de dispositivo rotativo no formato de um disco na horizontal. Desta forma, o sistema torna-se simples, pois não conta com polias e correias de transmissão, já que o motor, o CubeSat e o disco estão com os eixos de rotação centralizados. Esse mecanismo está demonstrado na Fig.8:

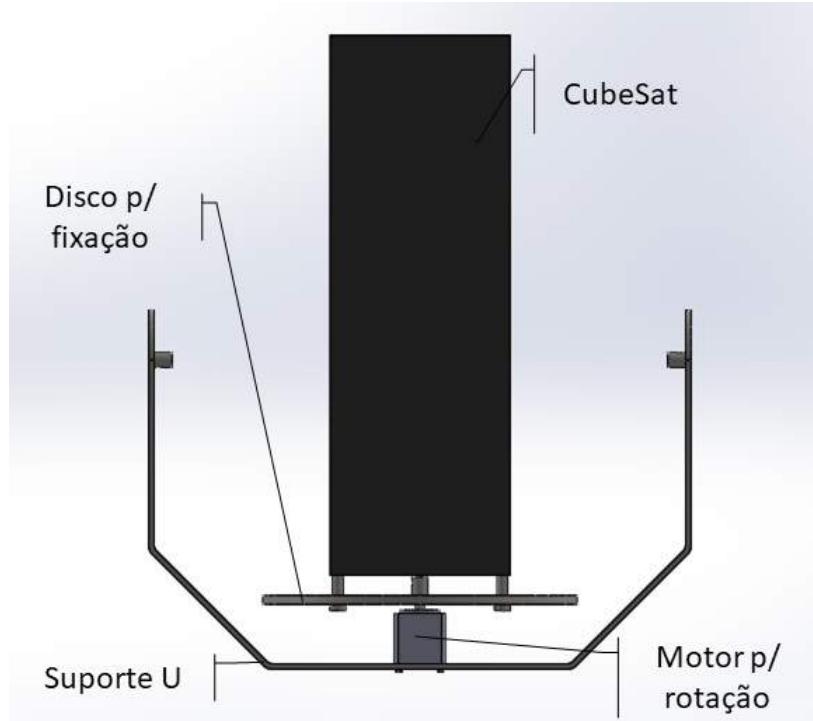


Figura 8 – Mecanismo do motor de rotação.

Fonte: Autoria própria.

Nesse caso, como os eixos estão alinhados e a distância ao centro de rotação é zero, o torque será composto apenas pela componente de aceleração, descrita a seguir:

$$Torque_{aceleracao} = I \cdot \alpha \quad (3.1)$$

O momento de inércia de massa (NORTON, 2010) é dado pela soma de cada componente:

- CubeSat:

$$I_y = \frac{1}{12}m \cdot (b^2 + c^2) = 0,010kg \cdot m^2 \quad (3.2)$$

onde $m=6\text{ kg}$; $b=c=0,1\text{ m}$

- Disco de Interface:

$$I_y = \frac{1}{2}m \cdot r^2 = 0,38210^{-3}kg \cdot m^2 \quad (3.3)$$

onde $m=$ aprox. 1 kg ; $r=0,0875\text{ m}$

- Parafuso de conexão (2 itens)

$$I_y = \frac{1}{12}m \cdot l^2 = 2(7,812 \cdot 10^{-7}kg \cdot m^2) \quad (3.4)$$

onde $m=$ aprox. $0,015\text{ kg}$; $l= 0,025\text{ m}$

A aceleração angular (α) é obtida através do valor estimado para a velocidade angular, de modo a atender os requisitos do projeto de fornecer uma movimentação lenta para o CubeSat. O conjunto gira, do repouso ($\omega_0 = 0$) até atingir 10 rpm, em $t = 3$ segundos. Considera-se 3 segundos por ser um tempo de aceleração suficientemente brando em relação ao tempo de aceleração dos motores de passo em geral, de modo a não sobrecarregar o motor. Dessa forma:

$$\omega = 10\text{rpm} = 10 \cdot \frac{2\pi}{60} = 1,047 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \quad (3.5)$$

$$\omega = \omega_0 + \alpha t \quad (3.6)$$

$$\alpha = 0,349 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2} \quad (3.7)$$

A inércia a ser vencida pelo motor é dada pela Equação:

$$Inercia_{total} = Inercia_{rmotor} + Inercia_{componentes} \quad (3.8)$$

$$Inercia_{total} = 0,0104 \text{kg} \cdot \text{m}^2 \quad (3.9)$$

Onde a inércia do rotor do motor é fornecida pelo fabricante:

$$Inercia_{rmotor} = 7 \cdot 10^{-7} \text{kg} \cdot \text{m}^2 \quad (3.10)$$

Logo, o Torque necessário é:

$$Torque = (Torque_{aceleracao})SF = 7,4 \cdot 10^{-3} \text{N} \cdot \text{m} \quad (3.11)$$

onde o Fator de Segurança (SF) = 2.

Uma vez que as faces do CubeSat devem ser expostas à radiação luminosa durante o teste, a velocidade de rotação dos motores é suficiente para atender os requisitos do ensaio. Por consequência, o torque requerido pelo sistema é de $7,4 \cdot 10^{-3} \text{N} \cdot \text{m}$. A Tabela 8 apresenta os dados do motor selecionado.

Tabela 8 – Especificações técnicas do motor para a rotação do CubeSat

Modelo	11HS2810
Ângulo do passo [°]	1,8
Diâmetro do eixo [mm]	5
Dimensões do Motor [mm]	28 x 28 x 28
Peso do Motor [g]	90
Torque de Retenção [Nm]	0,08
Faixa de temperatura de operação [K]	243,15 a 353,15

Fonte: ([HANPOSE, 2021](#)).

O motor escolhido atende as condições de operação do sistema, pois o torque fornecido é aproximadamente 10 vezes o torque requerido. A temperatura de operação atende a faixa do sistema, de 253,15 a 333,15 K. Os motores de passo são motores classe

B e, conforme ABNT NBR 7094, podem operar em uma temperatura de até 393,15 K sem perdas das propriedades elétricas ou mecânicas. Vale ressaltar que essa temperatura máxima também é válida para os motores de rotação do suporte do CubeSat.

3.1.3 Motores para rotação do sistema integrado

Os motores do sistema integrado compreendem a movimentação em 180°, com 3 revoluções por minuto, da estrutura em U que sustenta o satélite, o disco de interface e o motor responsável pela rotação do satélite. O mecanismo de braço foi utilizado para basear o dimensionamento, sendo que a potência total pode ser dividida entre os dois motores. Os motores são diretamente acoplados na estrutura, conforme a Fig. 9:

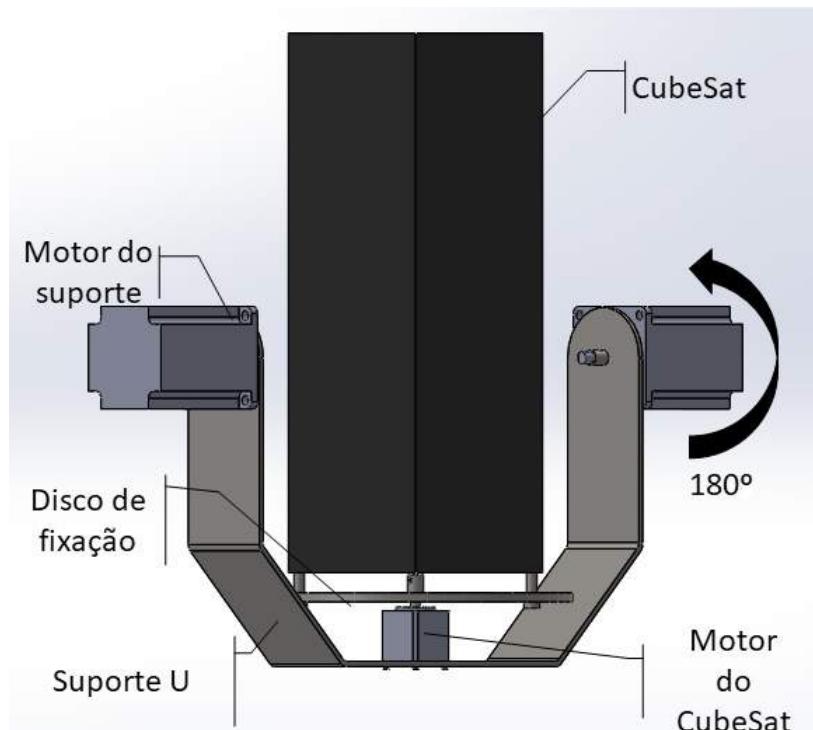


Figura 9 – Demonstração da movimentação do sistema integrado

Fonte: Autoria própria.

Os cálculos para o dimensionamento desses motores são realizados de forma semelhante aos cálculos para o motor usado para a rotação do satélite, com a diferença de que, nesse caso, contabiliza-se a componente de torque de carga e a componente de torque de aceleração.

$$Torque_{carga} = F_{peso} \cdot d \quad (3.12)$$

Onde d é a distância (no eixo y) do centro de rotação ao centro de gravidade do conjunto. As coordenadas em y para o centro de rotação no eixo do motor e do centro de gravidade do conjunto foram obtidas a partir do CAD da estrutura no software *SolidWorks*.

$$Torque_{aceleracao} = I \cdot \alpha \quad (3.13)$$

O momento de inércia do suporte em U foi fornecido pelo software *SolidWorks*, por simplicidade. O momento de inércia de massa é dado pela soma de cada peça:

- CubeSat:

$$I_x = \frac{1}{12}m \cdot (c^2 + a^2) = 0,050kg \cdot m^2 \quad (3.14)$$

onde $m = 6\text{ kg}$; $a = 0,3\text{ m}$; $c = 0,1\text{ m}$

- Disco de Interface:

$$I_x = \frac{1}{4}m \cdot r^2 = 1,91310^{-3}kg \cdot m^2 \quad (3.15)$$

onde $m = \text{aprox. } 1\text{ kg}$; $r = 0,0875\text{ m}$

- Parafuso de conexão (2 itens)

$$I_x = \frac{1}{12}m \cdot l^2 = 2(7,812 \cdot 10^{-7}kg \cdot m^2) \quad (3.16)$$

onde $m = \text{aprox. } 0,015\text{ kg}$; $l = 0,025\text{ m}$

- Motor de rotação:

$$I_x = \frac{1}{12}m \cdot (c^2 + a^2) = 1,132 \cdot 10^{-5}kg \cdot m^2 \quad (3.17)$$

onde $m = \text{aprox. } 0,1\text{ kg}$; $a = 0,028\text{ m}$; $c = 0,024\text{ m}$

- Suporte em U:

$$I_x = 0,00335kg \cdot m^2 \quad (3.18)$$

A inércia a ser vencida pelo motor é dada pela Equação:

$$Inercia_{total} = Inercia_{rmotor} + Inercia_{componentes} = 0,055kg \cdot m^2 \quad (3.19)$$

Onde a inércia do rotor do motor é fornecida pelo fabricante:

$$Inercia_{rmotor} = 4,8 \cdot 10^{-5}kg \cdot m^2 \quad (3.20)$$

Logo, o Torque necessário é:

$$Torque_{carga} = F_{peso} \cdot d = 1,43N \cdot m \quad (3.21)$$

onde $F_{peso} = 76,83\text{ N}$; $d = 0,01868\text{ m}$

A aceleração angular (α) nesse caso também é obtida através do valor estimado para a velocidade angular. O conjunto gira, do repouso ($\omega_0 = 0$) até atingir 3 rpm, em $t = 3$ segundos. Considera-se 3 segundos por ser um tempo de aceleração suficientemente brando

em relação ao tempo de aceleração dos motores de passo em geral, de modo a não sobre-carregar o motor. Dessa forma:

$$\omega = 3rpm = 3 \cdot \frac{2\pi}{60} = 0,314 \frac{rad}{s} \quad (3.22)$$

$$\omega = \omega_0 + \alpha t \quad (3.23)$$

$$\alpha = 0,1047 \frac{rad}{s^2} \quad (3.24)$$

$$Torque_{aceleracao} = I \cdot \alpha = 5,78 \cdot 10^{-3} N \cdot m \quad (3.25)$$

$$Torque = (Torque_{carga} + Torque_{aceleracao})SF = 2,88 N \cdot m \quad (3.26)$$

onde o Fator de Segurança (SF)=2.

Portanto, os motores escolhidos devem ser capazes de suportar 1,44 Nm de torque cada, tendo em vista que a configuração utilizada estabelece dois motores laterais que podem dividir o torque necessário para movimentar o conjunto da estrutura. As especificações técnicas do motor selecionado são apresentadas na Tabela 9 :

Tabela 9 – Especificações técnicas do motor para a rotação do sistema integrado

Modelo	23HS7628
Ângulo do passo [°]	1,8
Diâmetro do eixo [mm]	6,35
Dimensões do Motor [mm]	57 x 57 x 76
Peso do Motor [kg]	1,4
Torque de Retenção [Nm]	1,89
Faixa de temperatura de operação [K]	243,15 a 353,15

Fonte: ([HANPOSE, 2021](#)).

O motor escolhido atende as condições de operação do sistema. O torque fornecido pelo motor é aproximadamente 25 % maior que o torque requerido, e sua temperatura de operação está dentro da faixa aceitável para a variação de temperatura do sistema, de 253,15 a 333,15 K.

Como a massa do satélite e dos demais componentes é homogênea e os eixos principais de inércia coincidem com os eixos de rotação, a configuração está balanceada e portanto o torque máximo será igual ao torque gerado pela inércia, independente da posição em que o sistema se encontra durante a movimentação em 180º.

3.1.4 Cálculo analítico estrutural

Para verificar se não há prejuízos ao motor em relação a carga suportada por ele, a tensão normal máxima foi calculada em relação aos três motores do sistema. No caso

do motor de rotação do CubeSat, consideramos que o conjunto formado pelo CubeSat, parafusos e disco de interface tem aproximadamente 8 kg e se comporta como uma viga em balanço (engastada), suportando uma força uniformemente distribuída w , com $L = 0,3m$ conforme a Fig.10:

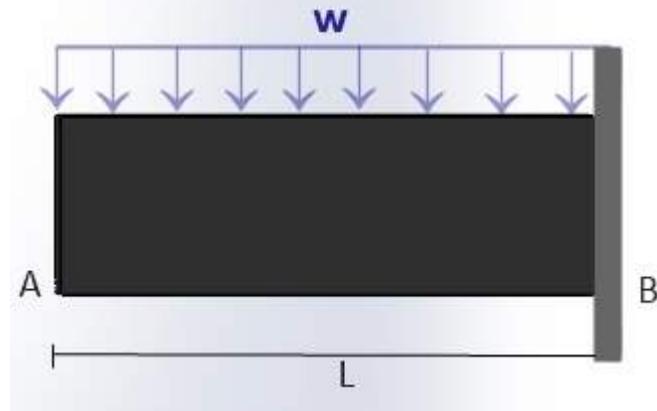


Figura 10 – Esquemático: viga em balanço submetida à carga distribuída
Fonte: Autoria própria.

$$w = \frac{8kg \cdot 10\frac{m}{s^2}}{0,3m} = 266,66N/m \quad (3.27)$$

A Fig. 11 demonstra o diagrama de corpo livre, onde corta-se a viga no ponto C entre A e B, direcionando a força cortante (V) e o momento fletor (M) conforme indicado.

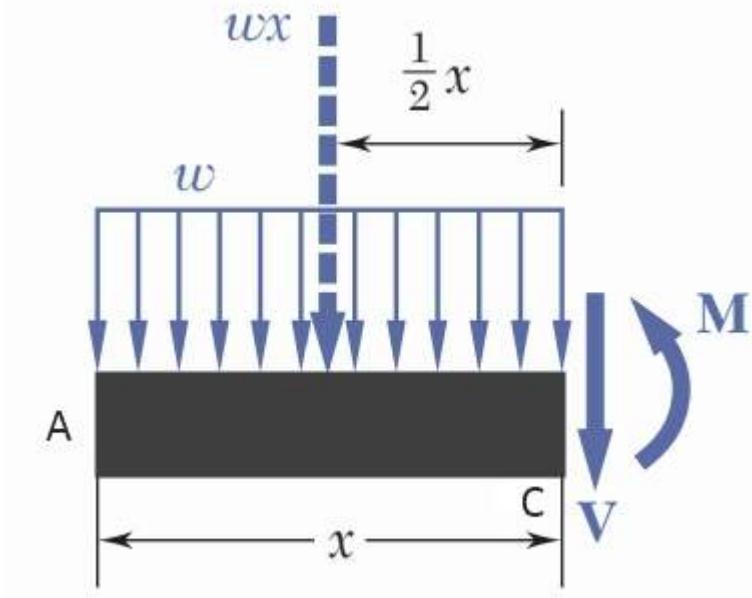


Figura 11 – Diagrama de corpo livre
Fonte: Autoria própria.

Toma-se $x = 0,15m$ como a distância de A até C e, substituindo a força distribuída sobre AC pela sua resultante wx aplicada no ponto médio de AC, tem-se:

Para o a força cortante (V):

$$\sum F_y = 0 : -wx - V = 0 \quad (3.28)$$

$$V = -wx = -40N \quad (3.29)$$

Para o momento fletor (M):

$$\sum M = 0 : wx\left(\frac{x}{2}\right) + M = 0 \quad (3.30)$$

$$M = -\frac{1}{2}wx^2 = -2,99N.m \quad (3.31)$$

Os valores máximos de V e M ocorrem ambos em B. Dessa forma, temos:

$$V_B = -wL = -79,99N \quad (3.32)$$

$$M_B = -\frac{1}{2}wL^2 = -11,99N.m \quad (3.33)$$

Para calcular a Tensão Normal máxima, considera-se primeiramente o módulo de resistência de seção retangular (W):

$$W = \frac{1}{6}bh^2 = 0,0005m^3 \quad (3.34)$$

Em que $b = 0,3m$ e $h = 0,1m$ são, respectivamente, a largura e a altura da seção transversal. Quanto à Tensão Normal máxima, tem-se:

$$\sigma_m = \frac{|M_B|}{W} = 23,98kPa \quad (3.35)$$

Como o valor obtido de σ_m é menor que o valor da tensão admissível do material (Tab. 7) utilizado, conclui-se que a viga estimada pode suportar com segurança a carga à qual ela está submetida.

Para os dois motores do sistema integrado aplica-se a mesma analogia, sendo o eixo de cada motor considerado uma viga em balanço (engastada). O conjunto da estrutura nesse caso será considerado com massa igual a 10 kg. O eixo do motor possui comprimento(L) = 0,021m e diâmetro(d)=0,00635m. Dessa forma, tem-se para a força uniformemente distribuída w :

$$w = \frac{10kg \cdot 10\frac{m}{s^2}}{0,021m} = 4,76kN/m \quad (3.36)$$

Para a força cortante máxima e o momento fletor máximo, considera-se:

$$V_B = -wL = -100N \quad (3.37)$$

$$M_B = -\frac{1}{2}wL^2 = -2,1N.m \quad (3.38)$$

Nesse caso, utiliza-se o módulo de resistência de seção circular (W_c), expresso por:

$$W_c = \frac{\pi d^3}{32} = 2,51 \cdot 10^{-8}m^3 \quad (3.39)$$

Para a Tensão Normal máxima, tem-se:

$$\sigma_m = \frac{|M_B|}{W_c} = 83,66MPa \quad (3.40)$$

O valor obtido para σ_m é menor que o valor da tensão admissível do material (Tab. 7) utilizado, além de que esse valor pode ser dividido entre os dois motores da configuração. Conclui-se que o eixo do motor pode suportar com segurança a carga à qual está submetido.

3.1.5 Simulação estrutural do suporte

Foi utilizado o software ANSYS Academic 2021 R1 para fazer a análise da geometria do suporte do CubeSat e do eixo do motor que apoia o suporte. As análises foram divididas em estruturais para o suporte e para o eixo, e a análise dos modos de vibração para o suporte.

3.1.5.1 Elemento de malha

Para a avaliação de uma malha são utilizadas métricas que caracterizam a sua qualidade, nesse estudo utilizaremos a métrica do *Skeuwness*. No *Skeuwness*, a deformação dos elementos é avaliada e são atribuídos valores de 0,00 a 1,00 e quanto mais próximo de 1,00 menor é a distorção do elemento e maior a qualidade (ANSYS, 2010).

A simulação do suporte do CubeSat foi feita através de elementos de casca. Este tipo de elemento trata-se de um elemento 2D com seis graus de liberdade, sendo eles translação e rotação nos eixos x, y e z. Para que a simulação 3D possa ser simplificada através da simulação 2D, usou-se uma superfície média na linha neutra, como mostrado na Fig. 12, que passa pelo centro de massa do suporte (ANSYS, 1994).

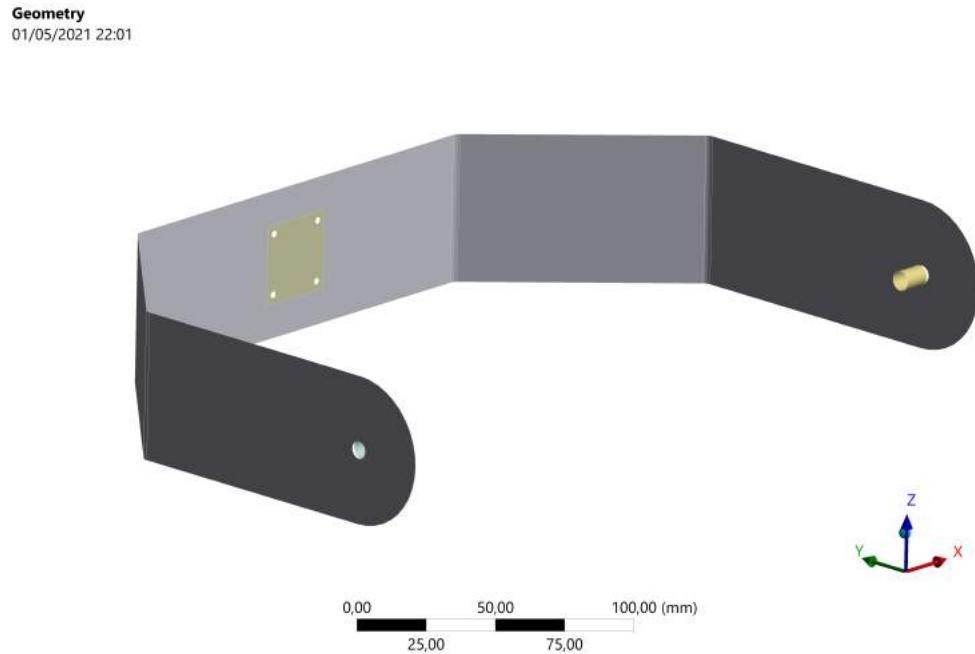


Figura 12 – Geometria do suporte em formato de casca utilizado na simulação.
Fonte: Autoria própria.

Apenas chapas com geometrias simples podem ser simuladas em casca ([ANSYS, 1994](#)), portanto o eixo do motor não poderá ser simulado da mesma maneira. Essa simplificação acarreta em um menor custo computacional devido à redução do número de nós e elementos, Tab. 10, em comparação ao suporte sólido. Como pode ser observado na Fig. 13, a maior parte dos elementos tem métrica próxima a 1,00, dessa forma é possível obter uma melhor convergência na solução.

Tabela 10 – Tabela de número de nós e elementos por simulação.

Malha	Suporte Sólido	Suporte Casca	Eixo do motor
Nós	228480	35659	16852
Elementos	76184	34828	4422

Fonte: Autoria própria.

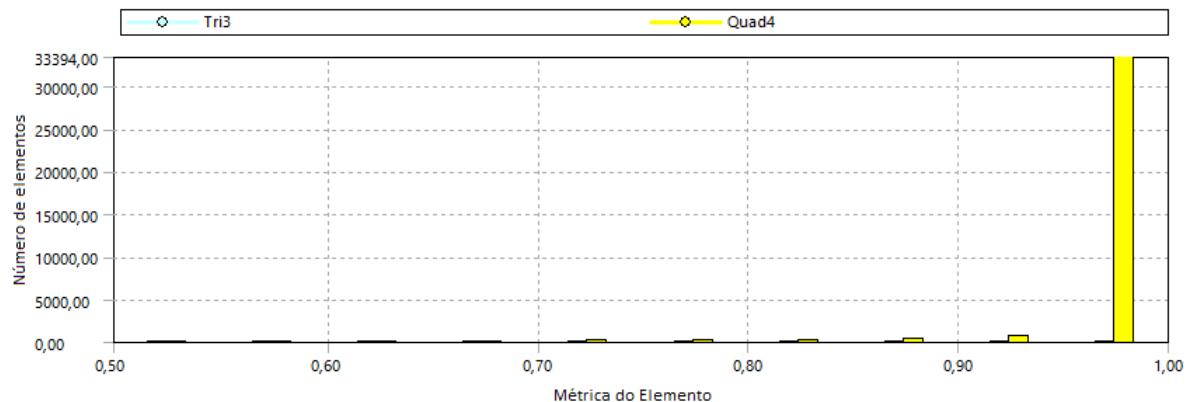


Figura 13 – Gráfico da métrica dos elementos no suporte do CubeSat.

Fonte: Autoria própria.

O eixo do motor que apoia todo o sistema foi simulado como uma geometria em 3D. Na Figura 14 podemos observar a métrica dos elementos do motor que ficaram acima de 0,31, com a maior porção de elementos acima de 0,90. Isso ocorre por que as dimensões da geometria são pequenas e dessa forma, um refino da malha precisaria de elementos muito pequenos, o que tem por consequência alto custo computacional.

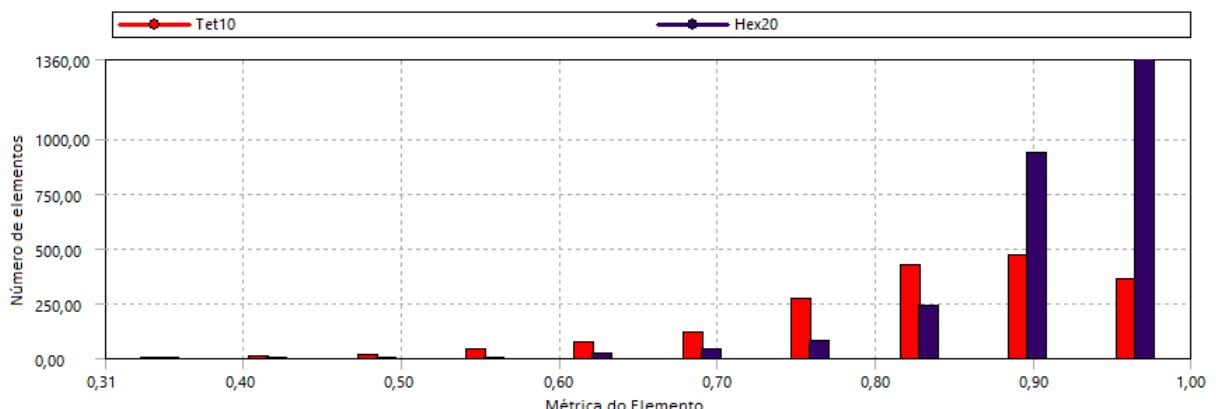


Figura 14 – Gráfico da métrica dos elementos no eixo do motor.

Fonte: Autoria própria.

3.1.5.2 Interface do suporte com o motor

O eixo dos motores é um componente crítico para o sistema e deve suportar as cargas do suporte. Para avaliar essas condições o eixo foi simulado para a condição onde o suporte está na metade de seu movimento de giro, com 90 graus em relação a sua posição original. Nessas condições o CubeSat fica na posição horizontal, com um peso de 100 N que gerou um momento de 18,186 Nm, como indicados na Fig. 15. Além disso, dois apoios fixos foram colocados nos pontos do suporte, onde estará conectado com os eixos dos motores laterais.

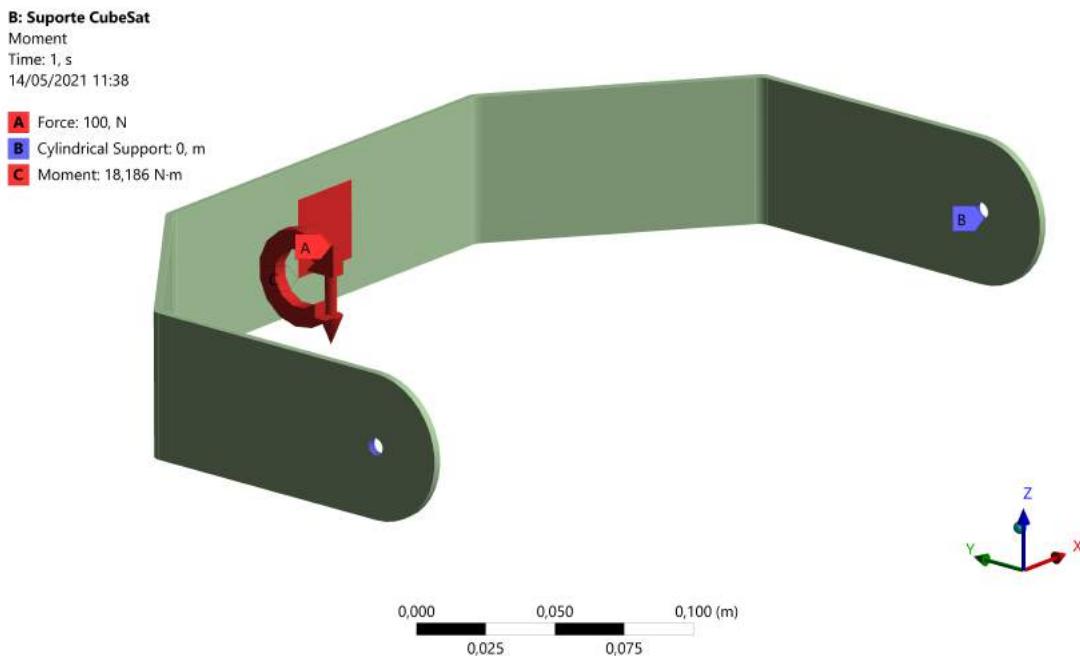


Figura 15 – Condições de contorno aplicadas na simulação do suporte.
Fonte: Autoria própria.

Na Figura 15 a etiqueta com a letra A representa o momento gerado, a etiqueta com a letra B representa um momento que é gerado tanto no suporte em U quanto nos eixos dos motores. Essa condição foi escolhida para a simulação por ser o caso mais crítico da dinâmica do mecanismo.

As condições de contorno são determinadas pelo peso do conjunto que é composto pelo CubeSat, pela interface de fixação, pelos parafusos e pelo motor. Esse conjunto tem a o peso e as etiquetas com a as letras C e D representam os apoios fixos.

Com a simulação do suporte é possível adquirir as condições as quais o eixo do motor será submetido, através das reações geradas nos apoios fixos da peça. A força de 100 N e momento de 2,239 Nm e 0,581 Nm nos eixos x e y respectivamente, foram as reações encontradas nos pontos de apoio do suporte. Essas cargas foram aplicadas ao eixo do motor, como pode ser observado na Fig. 16.

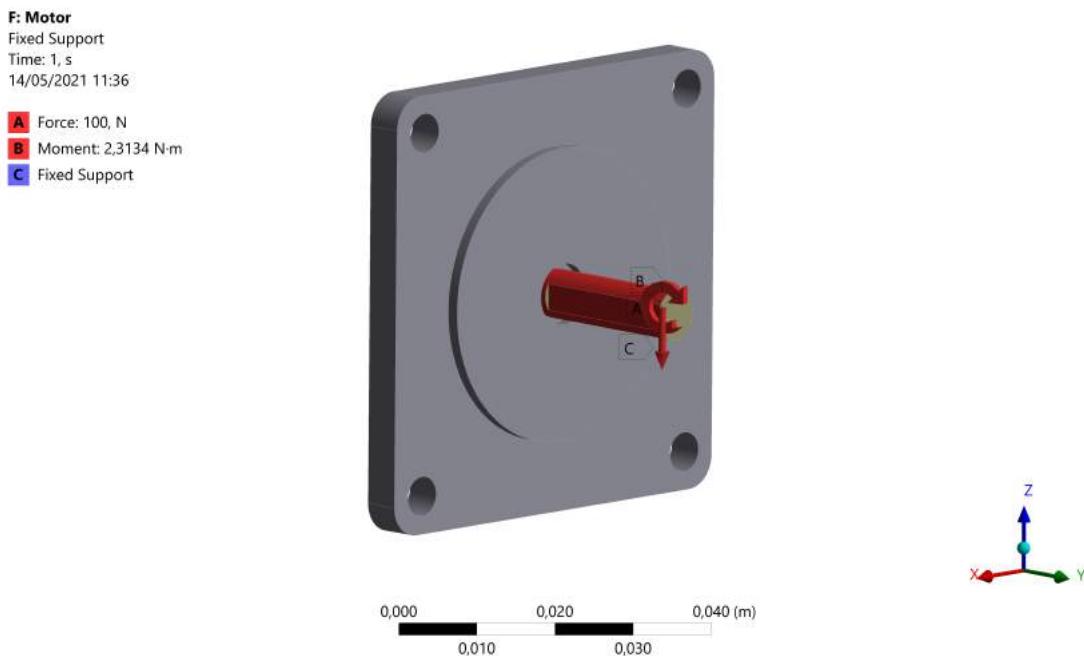


Figura 16 – Condições de contorno aplicadas na simulação do eixo do motor.
Fonte: Autoria própria.

Pode-se observar nas Figuras 17 e 18 os pontos com maior solicitação mecânica. No suporte, a tensão equivalente de von-Mises máxima está nos furos onde o motor do CubeSat é fixado, a tensão é de 157,09 MPa. Enquanto no eixo do motor está concentrada na base do eixo, e a tensão equivalente de von-Mises máxima é de 150,88 MPa. Em ambos os casos as tensões estão abaixo da limite de escoamento do material, portanto, não há deformação plástica.

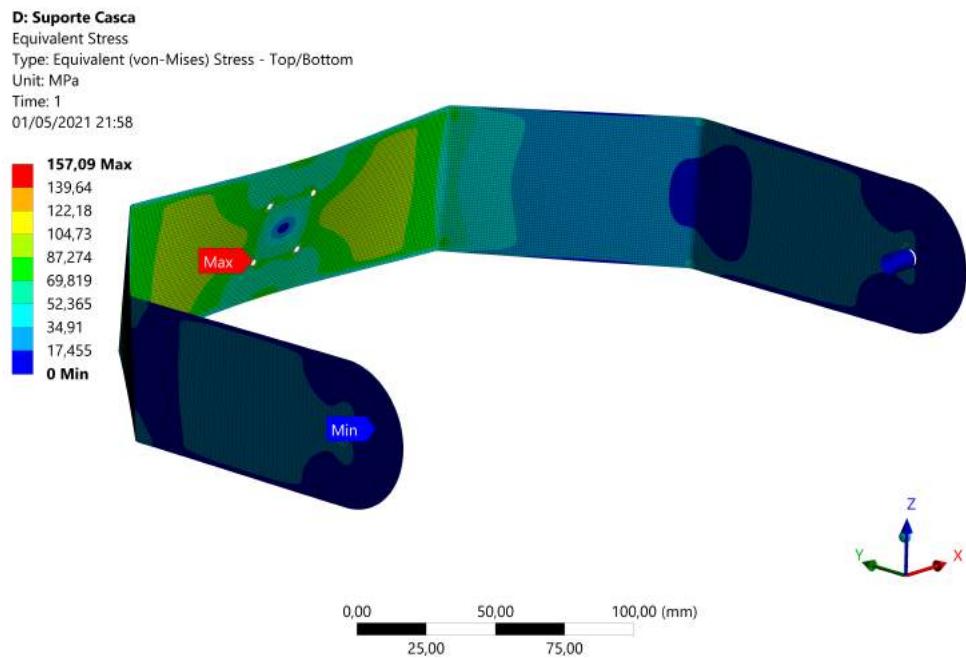


Figura 17 – Tensões equivalentes de von-Mises do suporte.
 Fonte: Autoria própria.

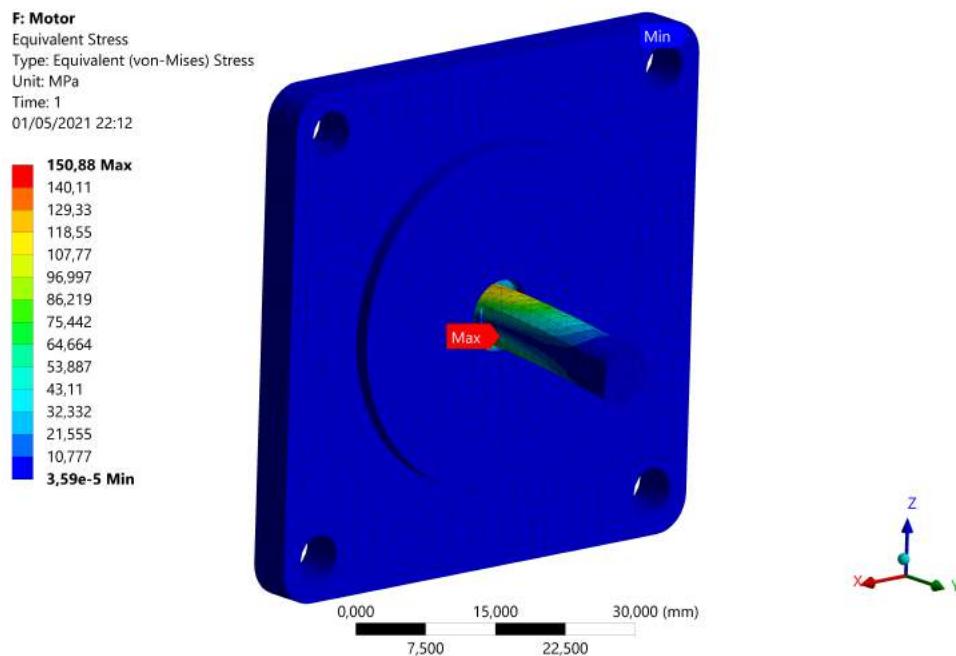


Figura 18 – Tensões equivalentes de von-Mises do eixo do motor.
 Fonte: Autoria própria.

A tensão equivalente de von-Mises foi analisada por se tratar de um critério de falha mais conservador, garantindo assim que os componentes possuam maior fator de segurança. Além disso, o critério de von-Mises é amplamente utilizado tanto na indústria quanto na academia.

Os coeficientes de segurança de cada peça, podem ser verificados nas Figs. 19 e 20.

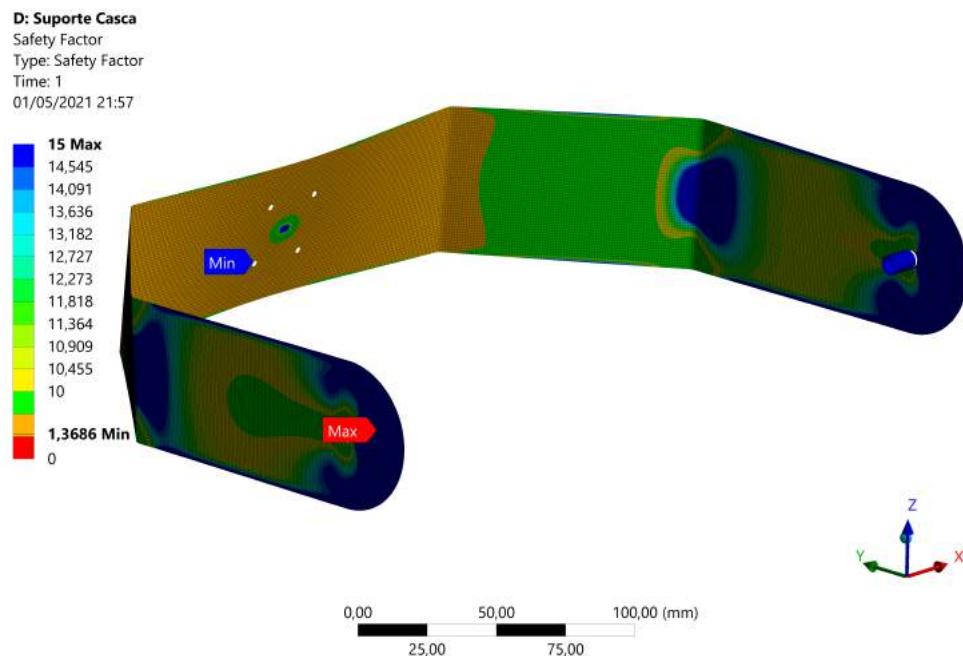


Figura 19 – Coeficiente de segurança do suporte do Cubesat.
Fonte: Autoria própria.

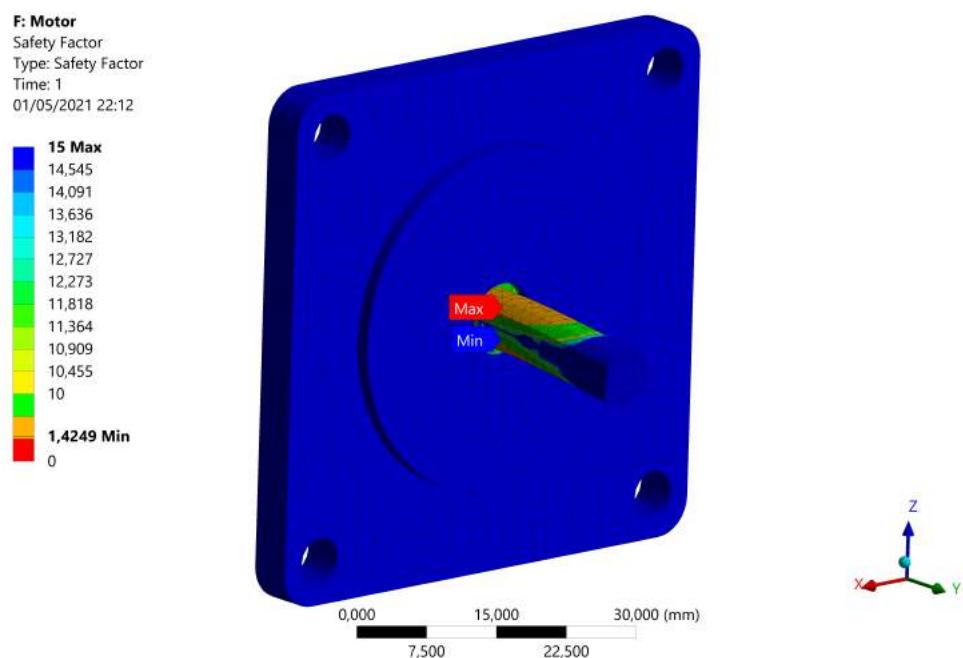


Figura 20 – Coeficiente de segurança do eixo do motor.
Fonte: Autoria própria.

Como observado nas Figs. 19 e 20, os coeficientes de segurança obtidos são de 1,36 e 1,42 para o eixo do motor e o suporte, respectivamente, mantendo a integridade estrutural, além de estarem de acordo com os cálculos analíticos realizados.

3.2 Arquitetura do Simulador Solar

O simulador solar tem por objetivo fornecer radiação luminosa às faces do CubeSat. Para isso, uma janela na Câmara de Termo-Vácuo permite que a luz do simulador solar, instalado externamente à Câmara de Termo-Vácuo, entre em contato com o CubeSat. Mais detalhes do simulador solar se encontram na Seção 4.1.

Para que o simulador solar fique na altura correta, com o objetivo de ficar alinhado com a janela, um suporte faz-se necessário. Deste modo, um suporte com altura regulável foi desenvolvido. A Fig. 21 mostra o suporte projetado.

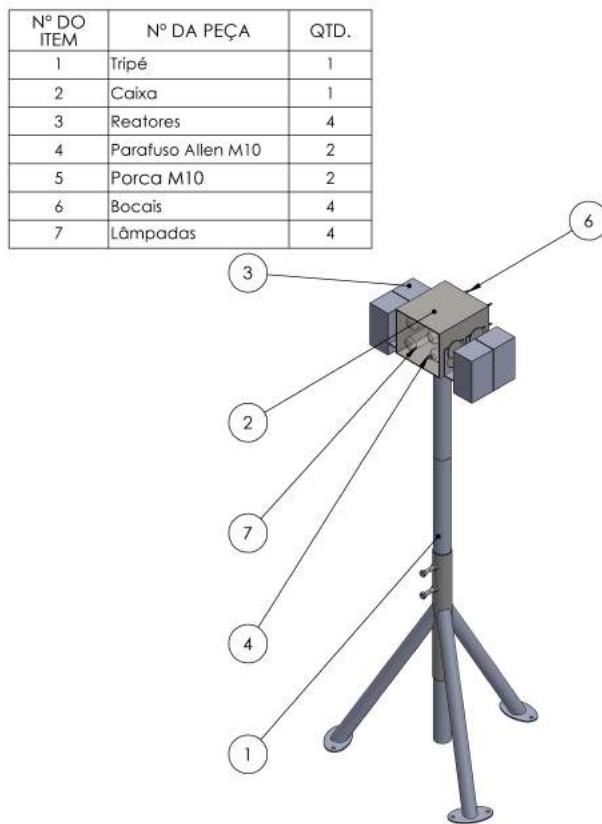


Figura 21 – Suporte do simulador solar.

Fonte: Autoria própria.

Como visto na Fig. 21, este suporte consegue comportar 4 lâmpadas, juntamente com seus respectivos bocais e reatores.

3.2.1 Simulação estrutural do suporte do simulador solar

Para a simulação estrutural do suporte do simulador solar, o software ANSYS Academic 2021 R1 foi utilizado. As análises numéricas no suporte compreendem duas vertentes, sendo a primeira a modelagem das tensões e deformações sofridas pela caixa que suporta os reatores e as lâmpadas, a segunda como uma análise de flambagem no tubo central do tripé que sustenta o simulador solar.

3.2.1.1 Tensões na caixa

A primeira etapa da simulação é definir as condições de contorno do problema. Para este caso, a caixa está fixa em um tubo na sua superfície inferior. Em suas laterais, os encaixes suportam o peso dos reatores e na traseira a caixa sustenta os pesos quatro bocais das lâmpadas. As condições de contorno estão representadas na Fig. 22.

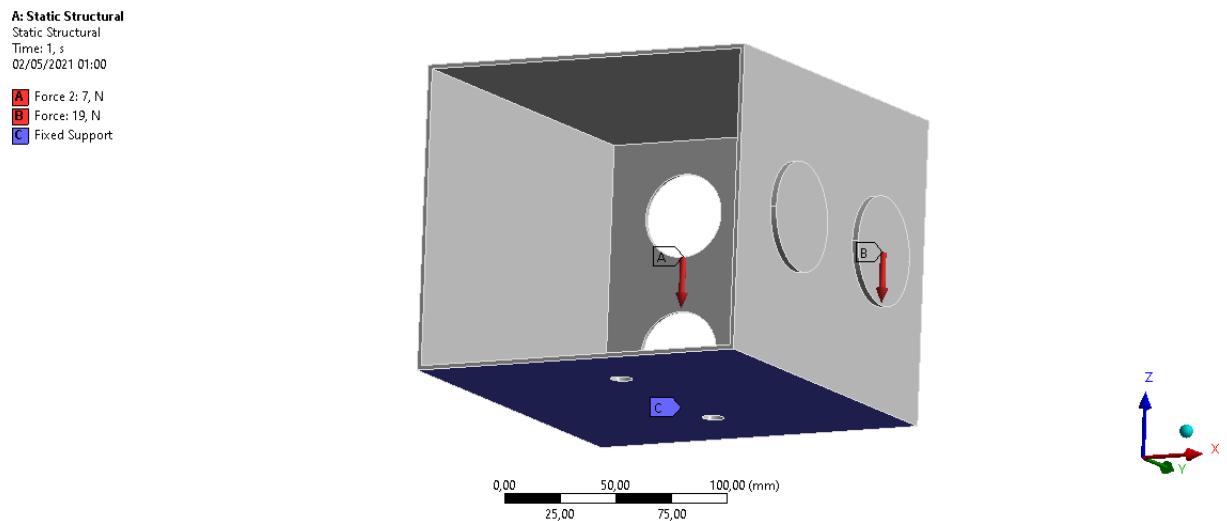


Figura 22 – Condições de contorno na caixa.
Fonte: Autoria própria.

Como pode ser observado na Fig. 22, as forças aplicadas foram calculadas através da massa do reatores e dos bocais com as lâmpadas, sendo essas 1890 g e 720 g, respectivamente. Com as condições de contorno definidas, a discretização do modelo é feita com a malha, mostrada na Fig. 23.

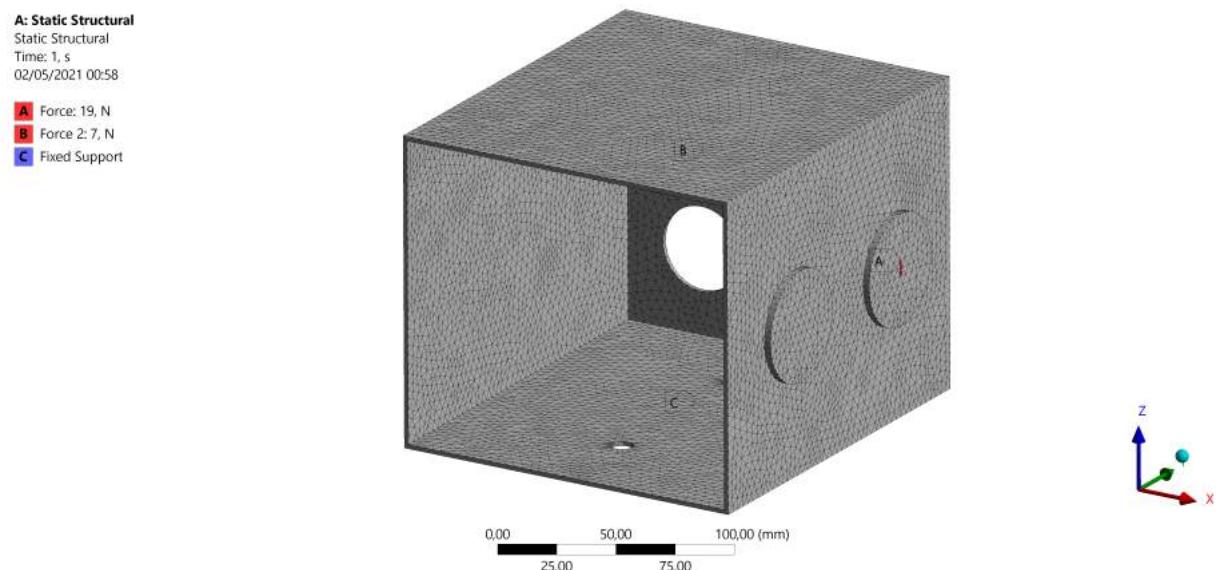


Figura 23 – Malha da caixa.
Fonte: Autoria própria.

A qualidade da malha é avaliada pela métrica do *skewness* e a distribuição dessa métrica está representada na Fig. 24.

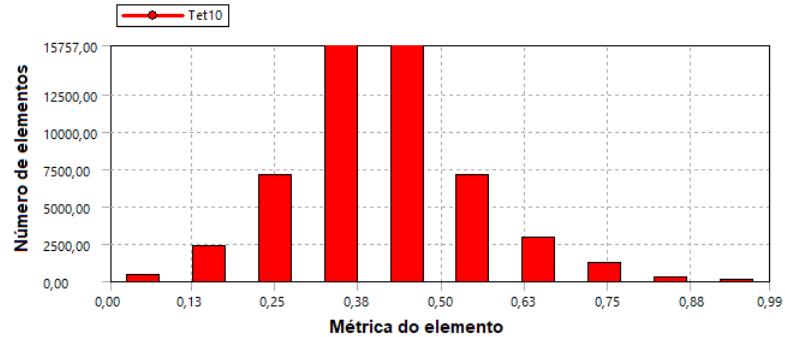


Figura 24 – Avaliação da qualidade da malha através da métrica de *skewness*.

Fonte: Autoria própria.

Observando a Fig. 24, o *skewness* médio ficou abaixo de 0,5, indicando uma malha de boa qualidade (ANSYS, 2010).

A última etapa da simulação é avaliar as tensões equivalentes de von-Mises, Fig. 25, afim de verificar se as tensões no modelo superam a tensão limite de escoamento do material.

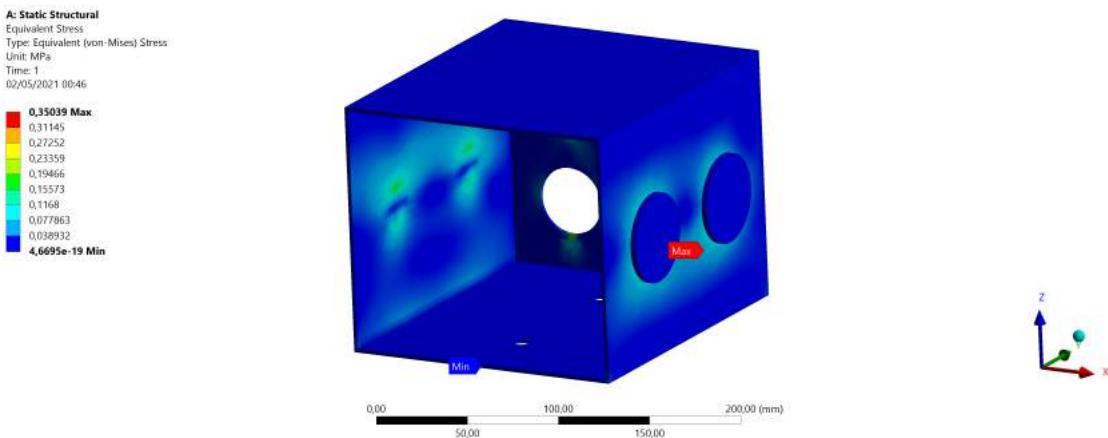


Figura 25 – Tensão equivalente de von-Mises na caixa.

Fonte: Autoria própria.

Pode-se verificar a partir da Fig. 25 que a caixa suporta todos os reatores, bocais e lâmpadas sem apresentar deformações plásticas, já que a máxima tensão encontrada é inferior o limite de escoamento do material e a está na ordem de 10^5 Pa.

3.2.1.2 Flambagem do suporte

O suporte do simulador está sujeito a carregamento de compressão em seu topo. Tal carregamento é aplicado devido à força peso dos componentes estruturais fixados no

suporte. Desta forma, essa força peso tende a flamar o suporte. Por tanto, a fim de avaliar o efeito de flambagem no suporte do simulador solar, uma análise numérica e analítica foi feita com a carga crítica gerada na flambagem.

A coluna é modelada como coluna ideal de Euler, por não estar sujeito a carregamentos transversais, bem como ausência de descontinuidade da coluna (TIMOSHENKO; GERE, 2009), (MEGSON, 2016). A Equação 3.41 mostra o cálculo da carga crítica.

$$P_{cr} = \frac{n^2 \pi^2 EI_{min}}{(2L)^2} \quad (3.41)$$

onde n é a quantidade de modos, E é o módulo de elasticidade, I_{min} é o momento de inércia mínimo e L é o comprimento do tubo. Aplicando esta equação, obteve-se um valor de carga crítica de 16781,06 N.

Para a análise numérica, o software Ansys Academic foi utilizado. A flambagem de coluna é um problema de autovalor e, por isso, é usado o módulo *Eigenvalue Buckling* do Ansys para determinar a carga crítica. Além disso, é determinado o modo de flambagem da coluna (TIMOSHENKO; GERE, 2009), (MEGSON, 2016). A Figura 26 mostra as condições de contorno aplicadas à geometria.

A: Static Structural
Static Structural
Time: 1, s
02/05/2021 19:53

A Force: 1, N
B Fixed Support

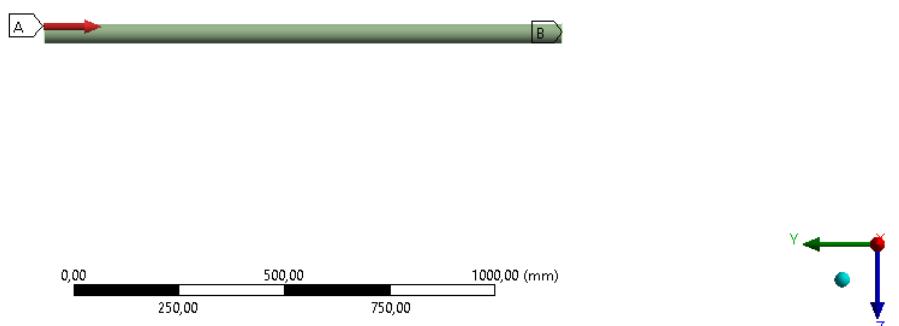


Figura 26 – Condições de contorno do suporte dos simulador solar.
Fonte: Autoria própria.

A Figura 27 mostra a malha de discretização da geometria.

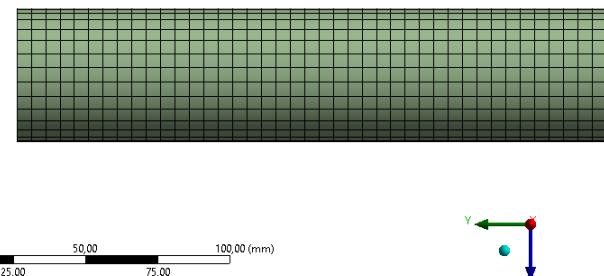


Figura 27 – Malha do suporte dos simulador solar.
Fonte: Autoria própria.

A Figura 28 mostra a métrica de qualidade da malha.

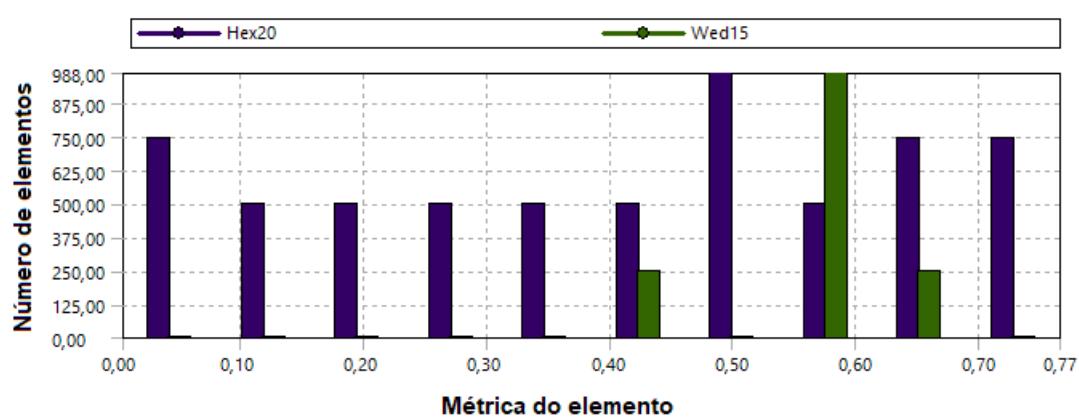


Figura 28 – Avaliação da qualidade da malha do suporte dos simulador solar.
Fonte: Autoria própria.

Como pode ser analisado na Fig. 28, o *skewness* médio foi de A Figura 29 mostra a deformação do tubo, juntamento com o valor de carga crítica calculado numericamente pelo software.

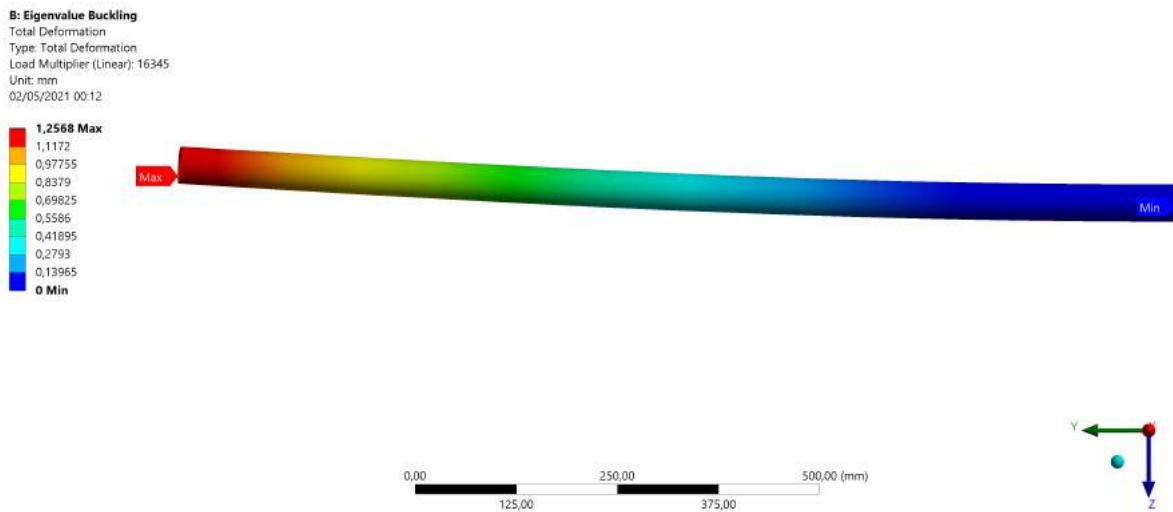


Figura 29 – Deformação total e carga crítica do suporte dos simulador solar.

Fonte: Autoria própria.

Como pode ser observado na Fig. 29, a carga crítica calculada numericamente foi de 16345 N. A Equação 3.42 compara o resultado analítico com o numérico.

$$E_{flambagem} = \left| \frac{Pcr_a - Pcr_n}{Pcr_a} \right| \cdot 100 \quad (3.42)$$

onde Pcr_a é a carga crítica analítica e Pcr_n é a carga crítica numérica. Por meio desse cálculo, é possível obter uma diferença de 2,68 % nos resultados, que está dentro da tolerância de 5 % usada em pesquisas científicas de análises estruturais. A direção de flambagem depende diretamente do eixo de menor inercia, por se tratar de uma coluna de seção transversal circular, logo simétrica nos eixos x e y o primeiro e segundo modo de flambagem ocorrem na mesma direção. A força peso somada do dos componentes fixados no topo do suporte é de 123,8 N. Analisando os resultados de carga crítica e de peso dos componentes, verifica-se que a força peso é menor do que a carga crítica e resultam em pequenas deformações e, consequentemente, pequenas tensões que garantem a operação da coluna em regime elástico

3.3 Arquitetura do Sistema de Alimentação

O sistema de alimentação tem o objetivo de suprir o nitrogênio líquido e gasoso à placa térmica da Câmara de Termo-Vácuo para atingir as temperaturas requeridas. Este sistema deve oferecer uma operação simples, segura e confiável ao usuário. Para isso, válvulas de controle, de retenção e sensores e transdutores serão implementados para controlar e monitorar o sistema.

O sistema vai contar com duas linhas principais, uma para nitrogênio líquido e uma para gasoso, responsáveis pelo processo de resfriamento e aquecimento, respectivamente.

O sistema tem início em um tanque de armazenamento de nitrogênio gasoso, esse gás flui para as duas linhas de resfriamento e aquecimento, que vão operar em momentos distintos. Esse controle é feito através de válvulas de controle atuadas automaticamente. Na linha de resfriamento o nitrogênio gasoso passa por um condensador, por onde sai na fase líquida e é armazenado em um *Dewar*. Tal dispositivo utilizado para manter o líquido a baixas temperaturas, mantendo-o no estado líquido.

O sistema de resfriamento requer que o nitrogênio esteja no estado líquido, pois quanto maior a densidade do fluido usado no resfriamento, menor a quantidade necessária por hora de operação para obter o mesmo nível de resfriamento. Na linha de aquecimento, o nitrogênio gasoso passa através de um aquecedor e vai direto para a placa térmica.

Ambas as linhas possuem válvulas de controle de vazão e um medidor de vazão para realizar o controle necessário da quantidade de gás e líquido fornecidos para a placa térmica, permitindo que a transferência de calor seja eficiente no controle de temperatura do ambiente interno da câmara. Além disso, válvulas de retenção previnem fluxo reverso indesejado e um filtro previne que partículas sólidas danifiquem o sistema.

Após circular na placa térmica, todo o nitrogênio deverá voltar para o tanque de armazenamento, permitindo a sua reutilização. Esta opção tem, por consequência, uma maior complexidade, pois é necessário avaliar o estado termodinâmico do nitrogênio na saída da placa térmica e, se necessário, resfriá-lo ou aquecê-lo para ser utilizado novamente ([KIECKHAFER; WALKER, 2011](#)). Esta solução tem a finalidade de tornar o sistema mais rentável a longo prazo.

A Figura 30 mostra o diagrama hidráulico do sistema de alimentação, representando os equipamentos e as linhas de distribuição do nitrogênio. Na Figura 31 é possível ver em detalhes a disposição dos componentes dentro da Câmara de Termo-Vácuo.

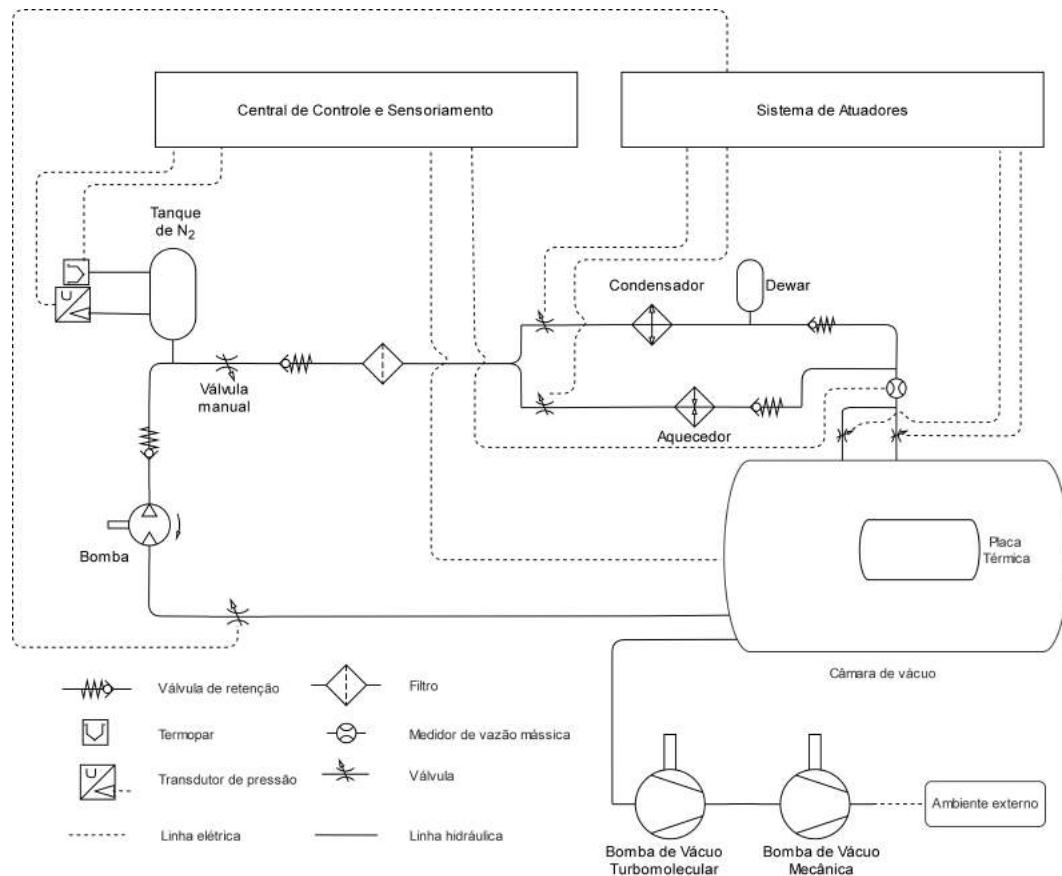


Figura 30 – Diagrama hidráulico/elétrico
Fonte: Autoria Própria.

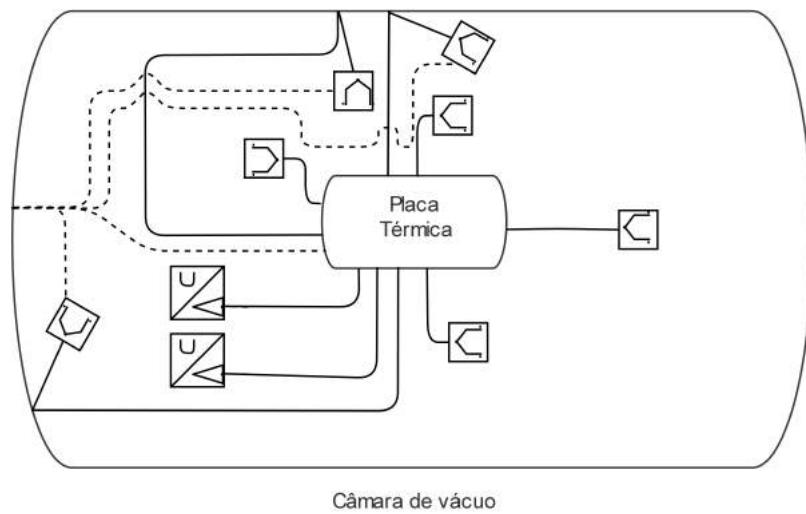


Figura 31 – Diagrama hidráulico/elétrico dentro da Câmara de Termo-Vácuo
Fonte: Autoria Própria.

O Apêndice B mostra os diagramas para os modos de operação possíveis.

3.3.1 Materiais e componentes do sistema de alimentação.

Todas as roscas do sistema foram definidos como sendo NPT, por ser uma rosca de alta acessibilidade, baixo custo e por ser comumente utilizada em sistemas similares. Os conectores usados são o dupla anilha, pois elas se fixam ao tubo, promovendo a vedação e facilitando a montagem.

As tubulações são compostas por tubos rígidos sem costura, pois garantem melhor organização e possibilitam o uso de conexões dupla anilha. Uma exceção é a tubulação da porta da Câmara de Termo-Vácuo que será de mangueiras flexíveis, pois estas permitem o movimento da porta.

Para evitar danos aos equipamentos devido a possíveis partículas sólidas suspensas no nitrogênio, um filtro será utilizado. O filtro escolhido foi o da empresa New Filter, que possuem filtros próprios para nitrogênio. Além disso, ainda é possível a instalação de um indicador de contaminação do nitrogênio.

Para obter dados de vazão mássica e possibilitar o controle de vazão, um medidor de vazão será utilizado. O medidor escolhido foi o do tipo turbina, pois pode ser utilizado tanto para gases quanto para líquidos e é um dos mais utilizados em linhas de alimentação por possuir alta acurácia.

A solução para o armazenamento do nitrogênio consiste na instalação de um tanque comercial de uso próprio para armazenamento nitrogênio. A capacidade do tanque é de 1000 litros e este volume permite que todos os modos de operação, citados na Seção 2.3, sejam executados. O cálculo do volume necessário encontra-se na Seção 3.3.3.

O armazenamento do nitrogênio líquido é feito em um *Dewar*. O *Dewar* tem uma camada de vácuo entre a parede interna e externa que faz o isolamento térmico do líquido, dessa forma o nitrogênio proveniente do condensador leva mais tempo para evaporar e se mantém por mais tempo no estado liquefeito. A capacidade do Dewar é de 40 litros e este volume permite que todos os modos de operação, citados na Seção 2.3, sejam executados.

O uso do *Dewar*, juntamente com o condensador, justifica-se pelo fato de que armazenar nitrogênio líquido em um tanque adicional é inviável, pois este tanque precisa ser abastecido anteriormente à todos os testes. Isso se faria necessário, pois não é possível armazenar nitrogênio líquido por muito tempo devido a trocas de calor com o ambiente. Deste modo, a operação de abastecimento anteriormente aos testes aumentaria a complexidade operacional e aumentaria os custos a longo prazo.

O projeto requer o uso de válvulas para um controle preciso de fluxo de gás e líquido por meio de válvulas criogênicas, devido às propriedades do fluido. Além disso, válvulas de retenção para impedir fluxo reverso foram adicionadas para garantir a segurança do sistema. As válvulas de controle e de retenção selecionadas que atendem aos requisitos do projeto foram do tipo globo, da empresa Grofe. A válvula criogênica escolhida foi a

Globo VAP 74 AL, as quais são utilizadas seis dessas. Tem-se também quatro válvulas de retenção *Stop Check*.

A fim de possibilitar que o sistema seja fechado, ou seja, que o fluido que passa pela Câmara de Termo-Vácuo volte ao tanque, uma bomba é necessária. A bomba escolhida foi a NB-45 da Aero Specialties, cuja é projetada para uso em nitrogênio e suporta as temperaturas e pressões supracitadas. Esta bomba tem um limite inferior e superior de pressão operação de 35 bar e 310 bar, respectivamente, o que é suficiente para permitir o uso do sistema fechado.

3.3.2 Selamento das conexões hidráulicas

O uso de tubulações para líquidos e, principalmente, gases requerem um modo de selamento entre as conexões. Quando utiliza-se fluidos criogênicos essa tarefa se torna mais complexa, pois a maioria dos métodos de selamento disponíveis no mercado não podem ser utilizados devido às baixas temperaturas atingidas. Uma das soluções, como dito anteriormente, foi o uso de conexões dupla anilha que promovem alta estanqueidade. A solução para conexões onde os conectores dupla anilha não são aplicáveis é o uso de fios de índio, um metal, que são cortados e colocados de entre as conexões. Quando os componentes são conectados o fio de índio é comprimido e promove o selamento. Esta solução é similar ao uso de anéis de vedação, mas, neste caso, os fios de índio precisam ser cortados de uma maneira específica, como mostrado na Fig. 32, e vale ressaltar que este metal suporta as temperaturas de operação do sistema de alimentação (PEDROW, 2021).

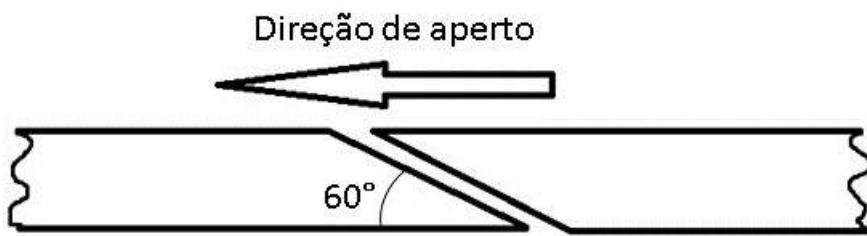


Figura 32 – Diagrama hidráulico
Fonte: Adaptado de (PEDROW, 2021).

Como visto na Fig. 32, o corte é feito em 60° e sobreposto de forma a não haver espaço entre as duas pontas do fio quando comprimido.

3.3.3 Dimensionamento da tubulação

Para determinar o diâmetro da linha de alimentação as vazões mássicas mostradas na Tab. 11 e as Eqs. 3.43 e 3.44 foram utilizadas. Os valores de vazão mássica foram obtidos através do trabalho feito em parceria com este ((SILVEIRA, 2021)). O diâmetro calculado foi de 3/4 de polegada. A Equação 3.43 é a equação de Bernoulli, a qual é válida para fluidos compressíveis, e a Eq. 3.44, a qual é válida para fluidos compressíveis em velocidades subsônicas (WHITMORE; CHANDLER, 2010).

Tabela 11 – Vazões mássicas de nitrogênio

Fase	Vazão mássica [kg/s]
Líquido	0,0015638
Gasoso	0,0015627

Fonte: Autoria própria.

- Bernoulli (líquidos incompressíveis):

$$\dot{m}_l = A \cdot C_{dl} \sqrt{(2\rho_l \Delta P)} \quad (3.43)$$

- Compressível e subsônico:

$$\dot{m}_g = A \cdot C_{dg} \sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma - 1} \rho_g p_t \left[\left(\frac{p_s}{p_t} \right)^{2/\gamma} - \left(\frac{p_s}{p_t} \right)^{(\gamma+1)/\gamma} \right]} \quad (3.44)$$

onde A é a área de passagem, C_{dl} é o coeficiente de descarga da fase líquida, C_{dg} é o coeficiente de descarga da fase gasosa, ρ_l é a massa específica de líquido, ρ_g é a massa específica de gás, ΔP é a queda de pressão entre a saída do tanque e a saída da Câmara de Termo-Vácuo ($p_t - p_s$), p_t é a pressão que sai do tanque de N_2 , p_s é a pressão de saída da Câmara de Termo-Vácuo e γ é a razão dos calores específicos que corresponde ao γ_l se for líquido ou ao γ_g se for do gás, uma vez que depende da temperatura e do estado físico do fluido. Os valores de cada parâmetro estão listados na Tab. 11 e na Tab. 12.

Tabela 12 – Parâmetros do Nitrogênio

Parâmetro	Valor
p_t [bar]	10
ΔP [bar]	3
C_{dg}	0,66
C_{dl}	0,76
ρ_l [kg/m ³]	808,53
ρ_g [kg/m ³]	8,89
γ_l	1,8
γ_g	1,39

Fonte: (NIST, 2021).

As propriedades do nitrogênio foram obtidas em 77,15 K para líquido e em 473,15 K para gasoso, e 10 bar. Os gráficos com a variação dessas propriedades com a temperatura são mostradas no Anexo C.

Para calcular o volume requerido de N₂, a Eq. 3.45 foi utilizada.

$$Vol = \frac{\dot{m}_g \cdot t_{op}}{\rho_g} \cdot 1000 \quad (3.45)$$

Por meio da Eq. 3.45, o volume requerido calculado foi de 949,1 L. Este cálculo foi feito com a fase de vapor, pois nesse estado físico a densidade é menor e o volume é maior. O tempo de operação é de 90 minutos, como definido na Seção 7.6.

O fornecedor dos tubos escolhido foi a empresa Milano. Em seu catálogo o tubo rígido de aço inox sem costura possui a espessura de 3 mm. Para verificar se a espessura é suficiente pra suportar a pressão do nitrogênio a Eq. 3.46 usada para calcular a tensão normal circumferencial na parede interna da tubulação.

$$\sigma = \frac{p_t r}{t} \quad (3.46)$$

onde r é o raio da tubulação e t é a espessura. A Equação 3.46 resulta em 3,25 MPa de tensão normal.

3.3.4 Simulação estrutural da tubulação

Para validar os resultados, uma simulação numérica usando o ANSYS foi feita. Para isso, um tubo de 1000 mm com o diâmetro interno de 19,05 mm e espessura de 3 mm foi modelado e a malha construída. Uma malha hexaédrica foi feita por apresentar melhor adequação à geometria e menor deformação dos elementos. A Figura 33 mostra uma vista aproximada da malha que possui 30590 elementos e 214360 nós. A Figura 34 mostra a métrica de qualidade dos elementos da malha.

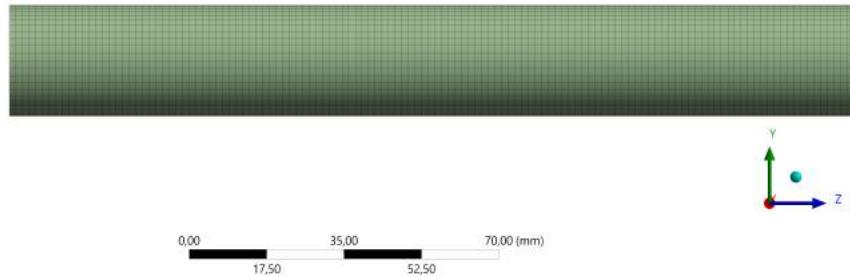


Figura 33 – Vista ampliada da malha
Fonte: Autoria Própria.

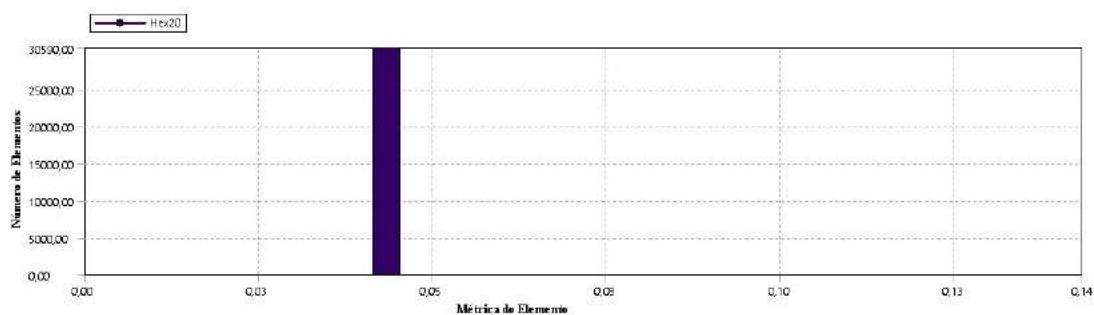


Figura 34 – Qualidade da malha
Fonte: Autoria Própria.

Como pode ser observado na Fig. 34, o valor da métrica dos elementos é de 0,043 para todos os elementos. A métrica analisada foi o *skewness*. A malha está adequada para a simulação e possível mostrar apenas uma parte da malha na Fig. 33, pois todos os elementos são iguais.

Para garantir que a malha está adequada, uma análise de convergência foi feita. O gráfico da Fig. 35 mostra essa análise.

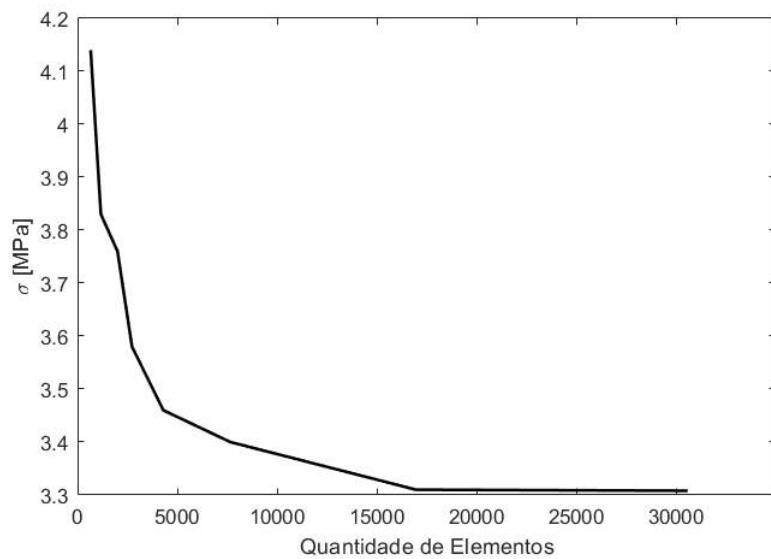


Figura 35 – Análise de convergência

Fonte: Autoria Própria.

A Figura 36 mostra as condições de contorno aplicadas ao modelo.

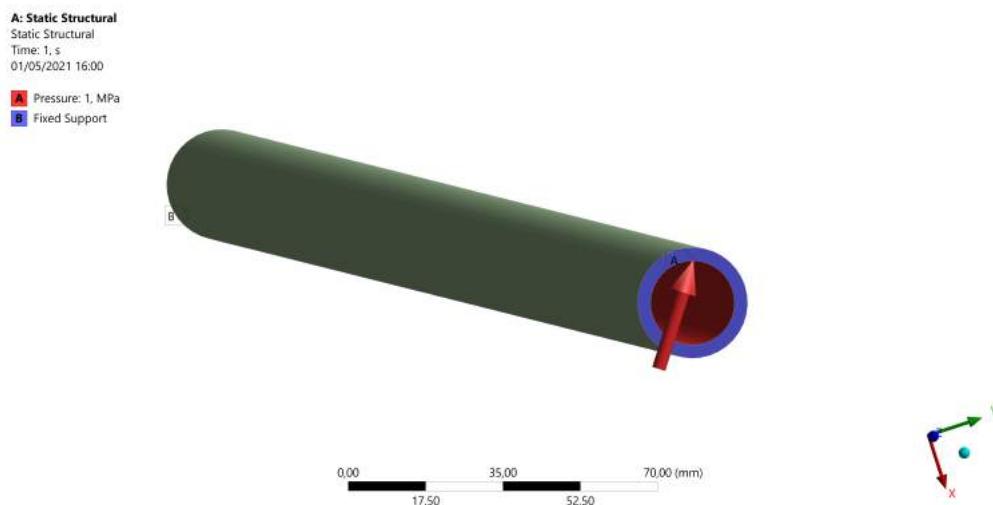


Figura 36 – Condições de contorno

Fonte: Autoria Própria.

As condições de contorno são apenas um suporte fixo, para restringir os movimentos e simular as conexões hidráulicas, e a pressão do nitrogênio agindo sobre as paredes internas da tubulação. O resultado de tensão circumferencial da simulação pode ser observado na Fig. 37.

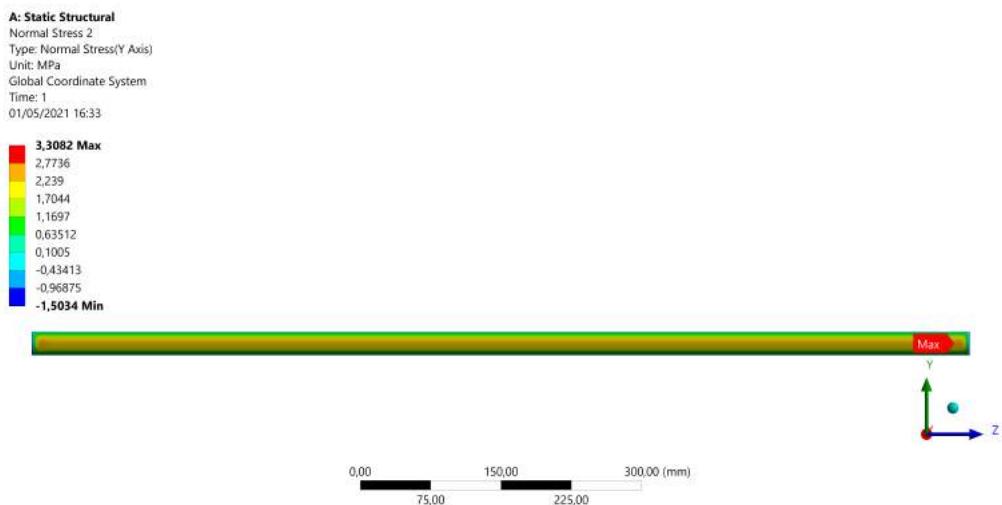


Figura 37 – Resultados de tensão circumferencial
Fonte: Autoria Própria.

Analizando a Fig. 37, é possível verificar que o resultado está próximo do analítico. A Equação 3.47 compara o resultado analítico com o numérico.

$$E_{tensao} = \left| \frac{\sigma_a - \sigma_n}{\sigma_a} \right| \cdot 100 \quad (3.47)$$

onde σ_a é a tensão circumferencial analítica e σ_n é a tensão circumferencial numérica. Por meio desse cálculo, é possível obter uma diferença de 1,78 % nos resultados, que está dentro da tolerância de 5 % usada em pesquisas científicas de análises estruturais. A tensão circumferencial obtida de 3,25 MPa é menor do que o limite de escoamento do aço inox 304 (234 MPa), garantindo assim a que não haverá deformação plástica nas tubulações.

Além da simulação mostrada acima, também foi analisado o caso de uma curva em 90°, pois pode sofrer uma tensão maior devido à curvatura. A Figura 38 a malha que possui 191873 elementos e 285981 nós. A Figura 39 mostra a métrica de qualidade dos elementos da malha.

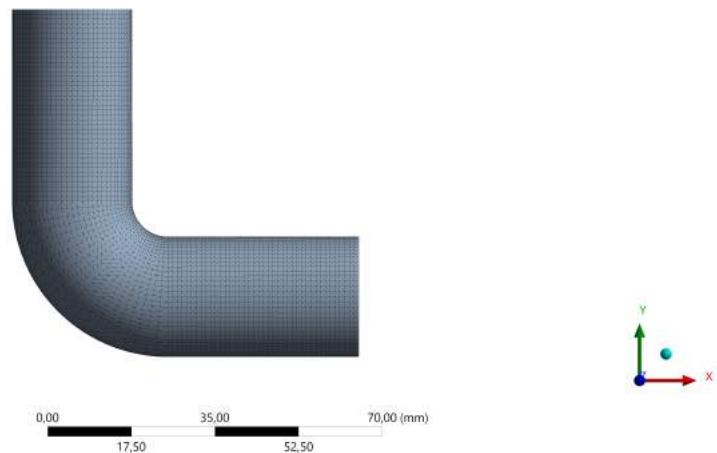


Figura 38 – Malha
Fonte: Autoria Própria.

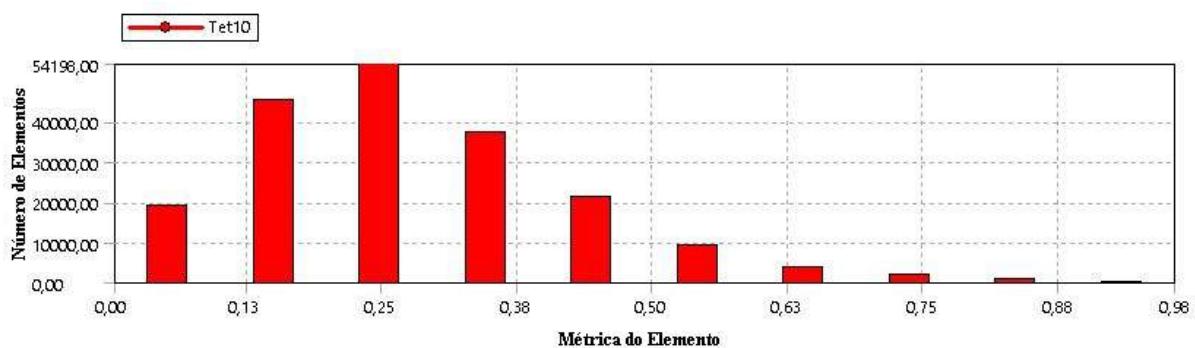


Figura 39 – Qualidade da malha
Fonte: Autoria Própria.

Como pode ser observado na Fig. 39, o valor médio da métrica dos elementos é de 0,27. A métrica analisada foi o *skewness*.

A Figura 40 mostra as condições de contorno aplicadas ao modelo.

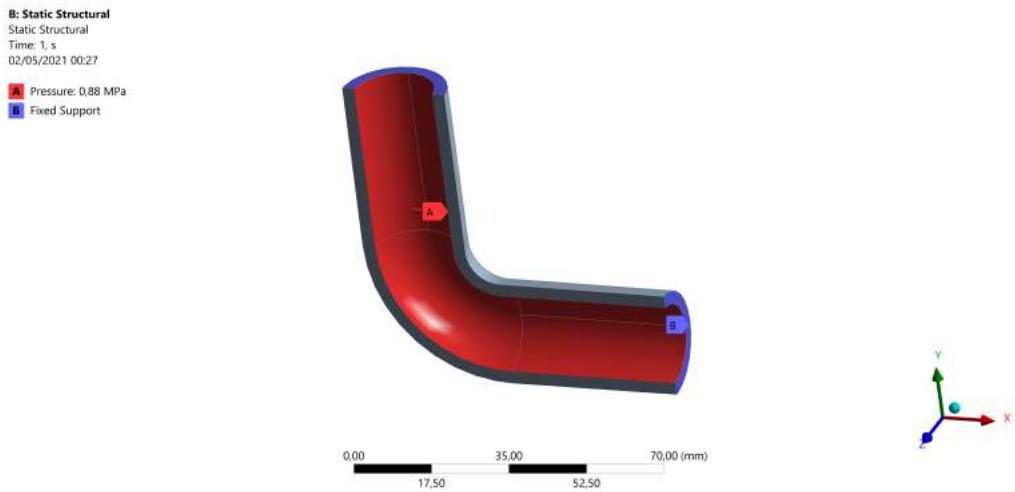


Figura 40 – Condições de contorno
Fonte: Autoria Própria.

As condições de contorno são apenas um suporte fixo, para restringir os movimentos e simular as conexões hidráulicas, e a pressão do nitrogênio agindo sobre as paredes internas da tubulação. O resultado de tensão circumferencial da simulação pode ser observado na Fig. 41.

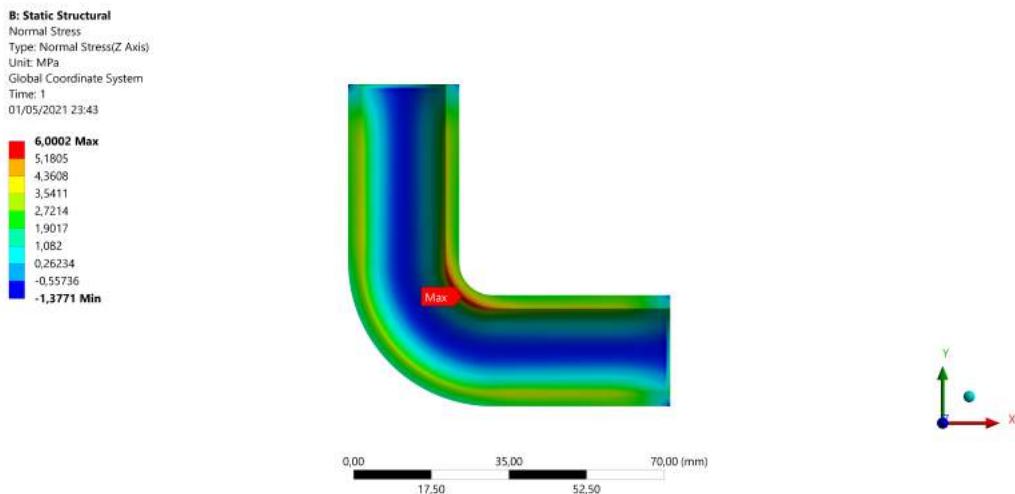


Figura 41 – Resultados de tensão circumferencial
Fonte: Autoria Própria.

Analizando a Fig. 41, é possível verificar que o resultado de tensão circumferencial é maior do que obtido para tubulação sem curvatura, mas ainda está muito abaixo do limite de escoamento do aço inox.

3.3.5 Dinâmica de Operação do Sistema de Alimentação

Para representar como a operação do sistema será apresentado de forma clara e intuitiva pelo fluxograma da Fig. 42. O sistema foi pensado para que as seja possível operar

as linhas de resfriamento/aquecimento separadamente, de acordo com a necessidade dos testes térmicos. O primeiro procedimento trata-se da geração de vácuo com as bombas. Primeiro a bomba de vácuo mecânica leva a pressão interna à ordem de 10^{-3} mBar, então a bomba de vácuo turbomolecular é acionada para gerar vácuo até um pressão na ordem de 10^{-6} mBar. Com o vácuo gerado, define-se então o modo de operação do sistema térmico e tem inicio o teste. Após isso, a bomba e a lâmpada são ligadas e a válvula após a Câmara de Termo-Vácuo é aberta. O usuário, então, deve escolher o modo de operação, a partir dai o fluxograma da Fig. 42 mostra como o sistema funcionará dependendo da escolha do usuário (CHISABAS et al., 2017).

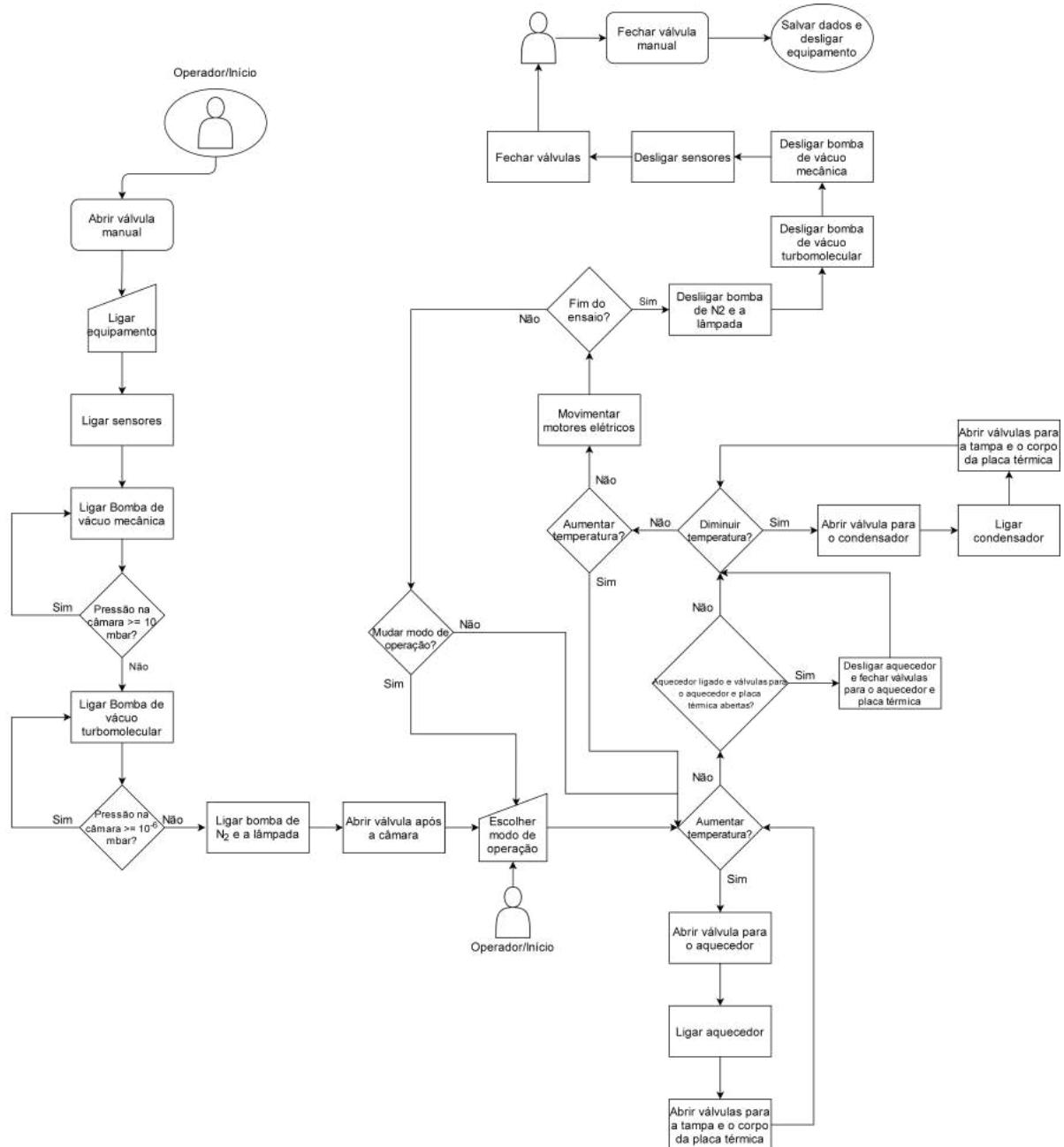


Figura 42 – Fluxograma de operação do Sistema de Alimentação.
Fonte: Autoria Própria.

Analizando a Fig. 42, temos os seguintes passos:

1. Início: o operador abre a válvula manual;
2. Ligação de equipamento: o operador liga os equipamentos à rede de energia;
3. Ligação de sensores: os sensores são ligados;
4. Ligação de bomba de vácuo mecânica: a bomba de vácuo mecânica é ligada e, por meio dos sensores, a pressão dentro da Câmara de Termo-Vácuo é checada durante seu funcionamento. Quando a pressão de 10^{-3} mbar é atingida, a próxima bomba é ligada;
5. Ligação de bomba de vácuo turbomolecular: novamente, por meio de sensores, a pressão é checada durante o funcionamento da bomba de vácuo turbomolecular. Quando a pressão de 10^{-6} mbar é atingida, a operação pode dar prosseguimento;
6. Ligação de bomba de N₂ e lâmpadas: A bomba que permite o sistema de alimentação ser fechado e as lâmpadas responsáveis pelo simulador solar são ligadas;
7. Abrir válvula final: A válvula após a Câmara de Termo-Vácuo é aberta;
8. Escolher modo de operação: Nesta parte, o operador pode escolher o modo de operação. Os modos de operação são detalhados na Seção 2.3;
9. Controle de temperatura: A partir do momento em que o vácuo é obtido na Câmara de Termo-Vácuo, a bomba de N₂ e as lâmpadas são ligadas, a válvula após a Câmara de Termo-Vácuo é aberta e o operador escolhe o modo de operação, o controle de temperatura é iniciado de acordo com o modo de operação escolhido por meio dos trocadores de calor e da atuação das válvulas de controle;
10. Movimentação dos motores elétricos: Após a temperatura desejada ser atingida e mantida, os motores elétricos são acionados para permitir a exposição das placas solares ao simulador solar;
11. Fim do ensaio?: Após todo o procedimento de exposição do CubeSat às temperaturas, ao vácuo e ao simulador solar ser executado, é possível voltar para a escolha de um novo modo de operação ou prosseguir para o encerramento do sistema;
12. Encerramento: Caso o ensaio termine de fato, o procedimento de encerramento deve ser seguido. A bomba de N₂, as lâmpadas, as bombas de vácuo e os sensores são desligados, as válvulas são fechadas e o operador deve fechar a válvula manual, salvar os dados obtidos e desligar o equipamento;

3.4 Plano de Fabricação

- **Suporte em U**

O suporte em U será fabricado a partir de chapas de 3 mm de aço inoxidável 304. Por ter uma geometria simples e a mesma espessura da placa comercial, a peça pode ser fabricada através de corte e dobra da chapa. Para evitar concentradores de tensão na peça, nos locais de dobra são feitos filetes de 5 mm de raio.

Dois tubos são soldados por solda TIG (do inglês, *Tungsten Inert Gas*) no suporte e dois furos perpendiculares são feitos nesse tubo, para fixação dos eixos dos motores laterais com o suporte.

- **Disco de interface**

O disco de interface será fabricado a partir de um tarugo de aço inoxidável 304, para evitar soldagem na peça. No tubo para fixação do eixo dos motores serão feitos dois furos perpendiculares para fixação com o eixo.

- **Envelope do motor**

Através do corte, dobra e soldagem de chapas de aço inoxidável 304. As partes que vão se conectar com os trilhos da placa térmica podem ser feitas da mesma chapa e soldadas ao envelope por solda TIG. Em uma das faces do envelope deve ser feito uma abertura para passagem dos fios do motor.

- **Caixa**

A caixa pode ser fabricada através do corte, dobra e soldagem de chapas de Aço Inoxidável 304. Os suportes para os reatores são fabricados com tarugos de aço inox e soldados por solda TIG nas laterais da caixa. Na face oposta à abertura da caixa são feitos quatro furos para fixação dos bocais das lâmpadas.

- **Tubulação de N₂**

Os tubos do sistema de alimentação são vendido no metro pelo fornecedor e podem ser cortados e dobrados para serem adequados ao projeto. Os processos de corte e dobra são feito com as ferramentas cortador de tubo rígido e dobrador de tubo rígido, respectivamente.

4 Solução Energética

A solução proposta para o sistema de energia consiste na implementação de um simulador solar, uma fonte de alimentação principal, uma fonte de alimentação emergencial, um aquecedor e um condensador. A finalidade dessas soluções é viabilizar os testes a serem realizados na câmara de termovácuo.

Desta maneira, é colocada abaixo a concepção de cada projeto, possuindo seus respectivos diagramas e especificações para escolha das tecnologias selecionadas.

4.1 Simulador Solar

4.1.1 Premissas para escolha dos componentes do simulador solar

Como mencionado anteriormente, um importante teste a ser realizado na câmara de vácuo é a simulação de radiação solar incidente no CubeSat. Assim, são utilizadas lâmpadas que permitem reproduzir as conjunções da luz solar espacial, sendo que essa solução deve promover qualidade espectral, estabilidade temporal e adequada intensidade de iluminação.

Pelo fato deste projeto estar sendo realizado em conjunto com o TCC já mencionado, foram adotadas as mesmas premissas de projeto. Assim, será utilizada uma fonte pontual de luz, como mostrado na Fig. 43, em que é necessário um fluxo de radiação solar de 1400 W/m^2 e potência de 274,89 W. Esses valores foram obtidos no TCC realizado em conjunto com esse trabalho.

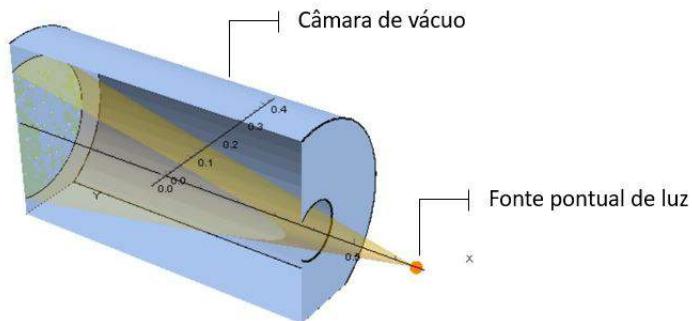


Figura 43 – CAD (do inglês, *Computer Aided Design*) Simulador Solar.

Fonte: ([SILVEIRA, 2021](#))

Para que seja atendida a demanda acima, foi pensado em um sistema em paralelo

de 4 lâmpadas de 70W para que seja possível chegar no valor necessário de projeto. Além disso, para a escolha da tecnologia foram avaliadas outras premissas que serão discutidas abaixo.

Uma dessas premissas é o espectro da radiação solar, para isso, deve-se considerar a temperatura efetiva de corpo negro do Sol correspondente a 5.777 Kelvin (K). De tal forma, que a lâmpada precisa ter um espectro semelhante a esse valor para que seja possível simular a radiação solar. Sendo assim, uma das necessidades é que a fonte de luz deva ter uma temperatura de cor de no mínimo 6.000K ([RODRIGUES, 2016](#)).

Além da temperatura de cor, outro ponto importante a ser analisado é a distribuição espectral dos diferentes tipos de lâmpada, entretanto não foi possível encontrar os *data sheets* que mostrassem os gráficos dessa grandeza. Deste modo, foi utilizado um estudo desenvolvido pela Universidade do Extremo Sul Catarinense que realiza uma análise comparativa de viabilidade de sistemas de iluminação pública em vapor de sódio, vapor metálico e LED (Light Emitting Diode).

A imagem abaixo demonstra a comparação dos gráficos de distribuição espectral entre essas lâmpadas avaliando a eficiência da lâmpada pelo comprimento de onda das mesmas.

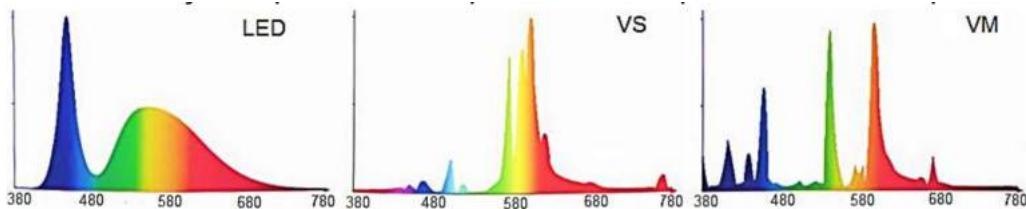


Figura 44 – Distribuição espectral dos diferentes tipos de lâmpadas.

Fonte: ([ROSA; CASTRO, 2017](#))

Analizando o gráfico, é possível inferir que tanto a lâmpada de vapor de sódio quanto de vapor metálico possuem picos de eficiência nas faixas de frequência acima de 500 nanômetros (nm). Se considerarmos os requisitos de desempenho dispostos na norma ABNT NBR ISO 11879/1991, a distribuição espectral nessa faixa possui porcentagem de radiação total maior, cerca de 20,1%, contra 18,5% se considerarmos a faixa espectral da lâmpada LED ([ABNT, 1991](#)).

Abaixo é apresentada uma tabela comparativa entre os diferentes tipos de lâmpada considerando as premissas de temperatura de cor (mínimo de 6000K), distribuição espectral, potência necessária para o projeto (70W), luminosidade, vida útil e custo.

Tabela 13 – Análise comparativa entre as tecnologias.

Modelo	Lâmpada vapor metálico tubular - Lukma	Lâmpada vapor metálico - HQI Xelux	Lâmpada LED 6U (Milho)	Lâmpada Xenon Cermax/ Excelitas PE150AF para EPX-2200/EPX-2500/EPX-3200
Potência (Watts)	70	70	70	150
Temperatura da Cor (Kelvin)	6.000	6.000	6.000	5.900
Lumens	5.600	5.000	5.400	1.350
Vida útil (Horas)	18.000	6.000	25.000	500
Preço (R\$)	13,80 (Valor em promoção)	52,40	75,00	2.422,62

Fonte: [Lukma](#), [Mercado Livre](#), [SW Comercial](#), [HPMed](#).

Apesar da lâmpada de vapor de sódio apresentar uma boa distribuição espectral, não foi encontrada alguma marca que tivesse uma lâmpada de 70W com uma temperatura de cor de 6000K.

Deste modo, atentando as premissas apresentadas, a lâmpada escolhida foi a de vapor metálico do fabricante Lukma, sendo o catálogo apresentado no apêndice deste trabalho ([B.1](#)). Além disso, é necessário que a lâmpada esteja associada a um reator externo AFP de descarga, conforme é estabelecido na norma ABNT NBR ISO 14305/2015. ([ABNT, 2015](#))

Também será utilizado no projeto um sensor que permita a aferição do fluxo de radiação da lâmpada, sendo comumente utilizados radiômetros. Dessa forma, será medido a energia proveniente da lâmpada, a quantidade de energia que é absorvida e a que é transmitida para a câmara de termovácuo ([JUNIOR; WINCK; KRENZINGER, 2020](#)), por meio do radiômetro "SI1146-M01-GMR" que será conectado a Raspberry, mais informações sobre esse componente podem ser encontradas no Capítulo [5](#).

Com base no que já foi mencionado, abaixo apresentamos o diagrama da solução de energia para esse sistema:

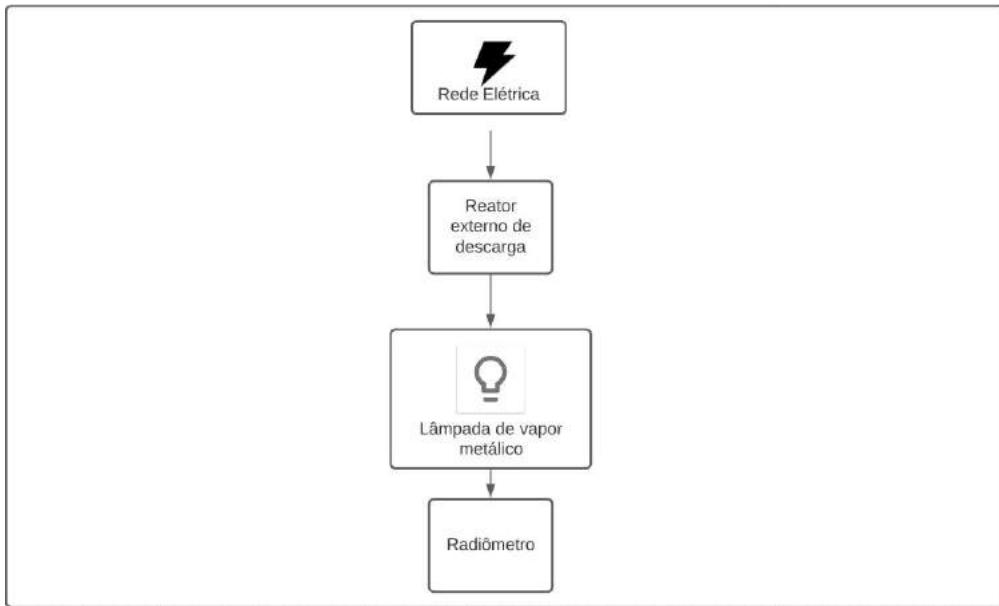


Figura 45 – Diagrama Simulador Solar.

Fonte: Autoria Própria.

4.1.2 Dimensionamento dos componentes do simulador solar

Como já mencionado anteriormente, para o simulador solar será considerado um conjunto de 4 lâmpadas de vapor metálico de 70W conectadas em paralelo associadas aos seus respectivos reatores externos de descarga. Para esse sistema não será necessário uma fonte de energia emergencial, pois o sistema não será danificado em caso de queda energética abrupta.

Sendo assim, será utilizado apenas um interruptor para que seja permitido ligar ou desligar a lâmpada conforme necessidade do teste em andamento. Já em relação ao dimensionamento dos condutores utilizados no circuito foram considerados os parâmetros definidos na norma ABNT NBR ISO 5410/2005.

- Dimensionamento dos condutores
 - Foram considerados duas etapas para a escolha correta do condutor:
 1. Segundo a norma ([ABNT, 2005](#)), o cabo utilizado para circuito de iluminação deve ter seção mínima de $1,5mm^2$
 2. Definir a corrente nominal do projeto para seleção do condutor do circuito de iluminação através da tabela [15](#).

Para a segunda etapa é preciso definir a corrente de projeto do circuito, sendo selecionado um condutor com capacidade de condução de corrente igual ou acima do valor encontrado. Neste caso, consideraremos: um fator de potência (f_p) unitário; fator de

agrupamento (FCA) igual a 1, por se tratar de um único circuito; e fator de temperatura (FCT) igual a 1, visto que a temperatura usada como referência será igual a 30°C.

Assim, utilizando a equação 4.1, corrente de projeto encontrada foi:

$$I_c = \frac{P}{fp.FCA.FCT} = \frac{280W}{220V.1.1.1} = 1,27A \quad (4.1)$$

Assim, se considerarmos a tabela 36 da norma, encontramos a seção nominal de 0,5mm² para 2 condutores carregados, com método de referência B1. Entretanto, para a adequada escolha da seção final dos condutores, deve-se optar pela maior seção dos parâmetros utilizados, de tal forma que a seção a ser utilizada é a de 1,5mm².

Posto isto, os componentes utilizados no simulador solar estão listados na tabela 14.

Tabela 14 – Componentes para o simulador solar.

Componentes	Quantidade
Lâmpada de vapor metálico 70W	4
Reator de descarga externa AFP	4
Radiômetro	1
Condutores de 1,5mm ²	2
Interruptor	1
Bocal E27	1

Fonte: Autoria própria.

4.2 Trocadores de Calor

O sistema de alimentação deverá ter equipamentos para esquentar e resfriar o nitrogênio até a temperatura ideal. Para isso, serão utilizados trocadores de calor que permita uma variação de temperatura na face do microssatélite entre 253,15 K e 333,15 K. Além disso, esses deverão operar por 2 horas, a depender do tempo da experimentação, conforme o requisito ENE-04 apresentado na tabela 6.

Com o intuito de atender essas premissas, o sistema contará com duas linhas principais, sendo uma para resfriamento e outra para aquecimento. Na primeira será utilizado nitrogênio gasoso e esse será liquefeito através de um condensador, necessitando de seu armazenamento em um dispositivo *Dewar*, que tem por finalidade isolar termicamente esse fluido e, assim, permitir que o líquido atinja os níveis necessários de resfriamento.

Em paralelo, existe a linha de aquecimento que também utiliza nitrogênio gasoso, porém, para alcançar temperaturas maiores, é utilizado um aquecedor e este tem conexão direta com a câmara de vácuo, diferentemente da primeira linha que deve armazenar o fluido em um outro equipamento.

Para o dimensionamento de ambos os trocadores de calor, deve-se considerar que a temperatura que o nitrogênio deve aquecer/resfriar a câmara de termovácuo é diferente daquela que chega à superfície do CubeSat, a qual é objeto desse projeto (253,15 K a 333,15 K). Também é necessário que a escolha dos trocadores de calor leve em consideração o menor custo, eficiência da operação e economia de energia, visto que estes testes tendem a durar muitas horas e ocorrem em momentos distintos. Por exemplo, em um determinado tempo é feito o resfriamento da câmara e só depois é feito o aquecimento para teste térmico do CubeSat.

Assim, é apresentado abaixo o diagrama de blocos para a arquitetura de solução inicial desta etapa:

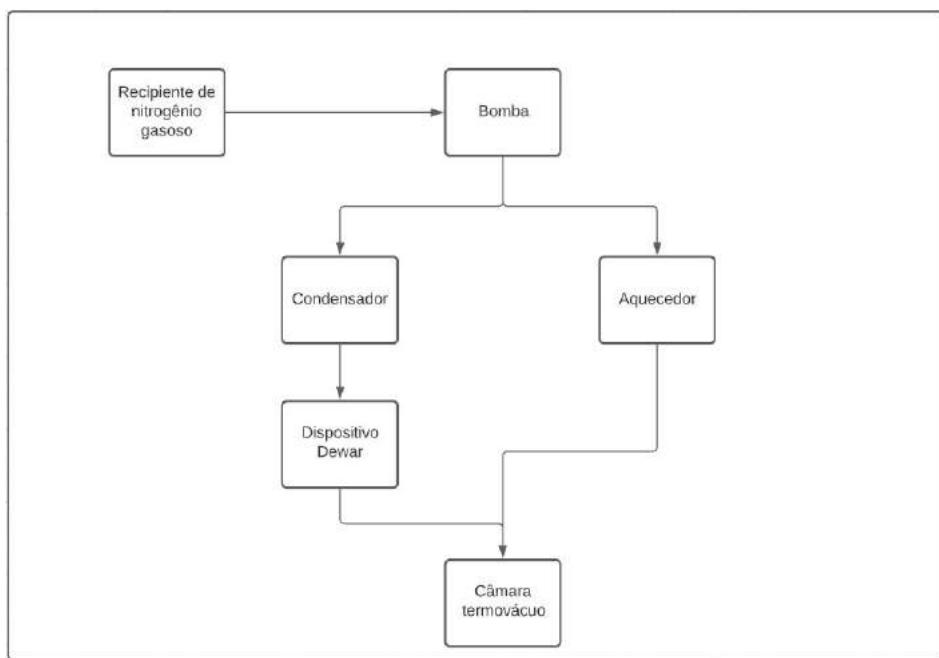


Figura 46 – Diagrama Trocadores de Calor.

Fonte: Autoria Própria.

4.2.1 Dimensionamento condensador

Para a escolha do condensador foram consideradas as mesmas premissas presentes no TCC do Marcelo que consiste em uma vazão aproximada de 0,0015638 kg/s, sendo uma temperatura de entrada no aquecedor de 293,15 K e saída de até 78,15 K. A saída do nitrogênio será de -195 °C para manter o nitrogênio líquido e facilitar o processo, mas o sistema de controle vai controlar a vazão para que a temperatura na face do CubeSat seja de 253,15 K.

No entanto, o funcionamento da linha de resfriamento consiste em um período de teste de até 90 minutos, dessa forma foi calculado a capacidade de armazenamento do nitrogênio líquido para uma densidade de 807 kg/m³, através da equação 4.2.

$$\text{Armazenamento}(LN_2) = (7,56[\frac{kg}{h}]/807,36[\frac{kg}{m^3}]) \cdot 1,5[h] \cdot 1000[l/m^3] = 14,05l \quad (4.2)$$

Assim, para a seleção do condensador, levou-se em consideração a quantidade necessária de litros por dia para os testes, quantidade a ser armazenada no dewar (necessário para armazenar o líquido), a pressão (2 a 10 bar), a vazão do projeto e as temperaturas de entrada e saída.

Posto isto, a tecnologia escolhida foi a condensadora de nitrogênio M50-H (15-20 LPD), modelo monofásico, com capacidade de 20 l/dia e capacidade de armazenamento no dewar de 40 litros.

4.2.2 Dimensionamento aquecedor

Para a escolha do aquecedor foram consideradas as mesmas premissas presentes no TCC do Marcelo que consiste em uma vazão de 0,0015627 kg/s, sendo uma temperatura de entrada no aquecedor de 293,15 K e saída de até 423,15 K. Essa temperatura de saída foi prevista no Trabalho de Conclusão de Curso.

Além disso, foi adotado como premissa uma pressão de até 150 bar e que este componente será ligado em uma tensão de 220V. Assim, selecionou-se o aquecedor elétrico de passagem de gás nitrogênio e de potência de 10 kW, conforme solicitação ao catálogo do fornecedor ([Catálogo](#)).

4.3 Parte Elétrica

Para dimensionar as fontes de alimentação necessárias ao abastecimento da parte elétrica do projeto, será dividido em 2 seções: principal e secundária, a primeira abastecerá os motores de passo, componentes eletrônicos e trocadores de calor. Já a segunda seção abastecerá o simulador e o sensor de radiação. Essa divisão pode ser observada na Fig. [47](#).

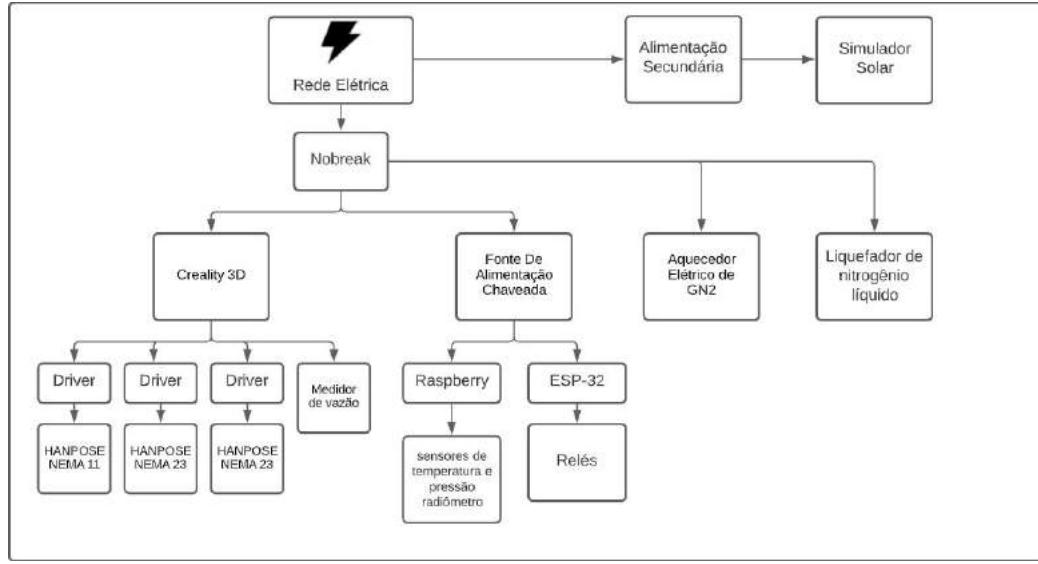


Figura 47 – Diagrama Parte Elétrica.

Fonte: Autoria Própria.

A seção principal será dividida em três circuitos, sendo eles: Fontes de alimentação, aquecedor elétrico e o liquefador de nitrogênio líquido.

A Raspberry demanda para o seu funcionamento adequado uma fonte DC (Direct Current) chaveada 5 V e corrente de 3 Ampères, enquanto que o microcontrolador ESP-32 demanda uma tensão de operação de 3,6 V CC e corrente de 240 mA. Dessa forma, a potência necessária para abastecer a Raspberry será de 15 W e para a ESP-32 será de 0,864 W, totalizando 15,864 W. Visto que o maior tempo de teste é de 10h00, a potência total necessária é de 158,64 Wh. Dessa forma, será utilizado uma fonte de alimentação chaveada 3,3V/5/12/-12Vdc 450 W, ou seja, as tensões de saída são de 3,3 V, 5 V, 12 V e -12 V. Essa fonte permitirá uma fluidez de tensão e correntes necessárias para os diferentes componentes do sistema. No projeto serão necessários 3 motores de passo:

- 1 HANPOSE NEMA 11; 28mm
- 2 HANPOSE NEMA 23; 73mm

Cada motor necessita de um *driver* para uma operação adequada. Por conseguinte, os *drivers* nos dão uma percepção suficiente para dimensionar o sistema. O HANPOSE NEMA 11 tem uma necessidade de corrente menor do que o outro tipo de motor, por isso ao selecionar um *driver* que alimente os motores com necessidades maiores, também podemos utilizar do mesmo modelo para a alimentação do menor, dado a possibilidade de modificar a corrente de saída.

Para suprir a necessidade dos outros 2 motores, HANPOSE NEMA 23, será utilizado o *driver* para motor de passo 3A TB6560 que tem como corrente 3A com pico de 3,5A,

sendo o suficiente para suprir a necessidade de 2,8A de cada motor e a de 1A do motor com dimensões menores. Importante ressaltar que será necessário um *driver* por motor, cada *driver* possuindo como tensão de alimentação de 10V a 35V. Devido a diferença grande de tensão requerida dos *drivers* para alimentação dos motores quando comparadas aos demais componentes do sistema, teremos uma fonte alimentando a Raspberry e o microcontrolador ESP-32 enquanto a outra fonte alimenta os motores. Essa segunda fonte será a *Creality 3D 24V/15A*, uma fonte comumente utilizada para alimentar impressoras 3D, que suprirá a necessidade do sistema.

A fonte *Creality 3D* também abastecerá o medidor de vazão. A princípio, o medidor seria conectado diretamente à placa Raspberry, porém sua necessidade de tensão, de 13V ~2V, é maior do que previsto, sendo necessária a conexão com a fonte de 24V.

Como mostrado anteriormente, também serão conectados trocadores de calor ao sistema, possuindo uma potência total de 13kW.

Toda a parte elétrica será conectada à rede de distribuição 220V, entretanto alguns equipamentos não podem ter desligamentos abruptos (tais como: trocadores de calor, bomba e motores). Deste modo, foi pensado para alimentação emergencial um *nobreak* para suprir o sistema até o desligamento de todos esses componentes, possuindo um tempo estimado de autonomia de até no máximo 30 minutos.

4.3.1 Dimensionamento *nobreak*

Para o dimensionamento correto do *nobreak* foi realizada a conversão da potência ativa para a potência aparente, considerando um fator de potência mínimo para cada aparelho. A potência aparente do sistema e outros parâmetros podem ser conferidos na Tab. 15.

Tabela 15 – Potência aparente do sistema.

Componente	Potência Ativa (W)	Fator de Potência	Potência Aparente (VA)
Fonte Creality 3D	350,4	0,7	500,6
Fonte chaveada	450	0,7	642,9
Aquecedor Elétrico	10.000	1	10.000
Condensador	3.000	0,85	3.529,41
Total	13.800,4	-	14.672,8

Fonte: Autoria própria.

Apesar da potência aparente total do sistema ser de 15kVA, os fabricantes pedem que seja considerada uma margem de segurança de 20% para definição do dispositivo. Assim, o valor da potência aparente com essa margem passa a ser de 18kVA.

Atualmente, existem 3 tipos desse dispositivo: *off-line*, interativo e *on-line* dupla conversão. Para o nosso projeto, o ideal será o *nobreak on-line* pois o inversor desse

equipamento permanece ativo e, assim, em uma eventual falha, o sistema ainda será abastecido com uma energia contínua e ininterrupta, até o tempo de autonomia previsto para as baterias.

O cálculo correspondente a corrente necessária para a bateria está presente na eq. 4.3 considerando 30 minutos de autonomia.

$$Autonomia_{baterias} = \frac{P \cdot t}{V} = \frac{16000W \cdot 0,5h}{220V} = 36,4Ah \quad (4.3)$$

A partir das premissas anteriores foi escolhido o *Nobreak Innovation S1* do fabricante CM Comando Lineares ([Catálogo Fabricante](#)), sendo suas especificações: 20kVA trifásico com tensão de saída de 220V, possuindo uma extensão de baterias para uma autonomia de até 30 min.

4.3.2 Dimensionamento condutores

Assim como para a seção do simulador solar, para o dimensionamento dos condutores foi utilizada a Norma ABNT NBR ISO 5410/2005. Sendo considerados dois critérios de análise:

- Primeiro critério: Seção mínima estipulada para cada tipo de circuito, conforme a norma. Por exemplo: para cabos de força, a seção mínima do cabo é de 2,5 mm²;
- Segundo critério: Com base na corrente nominal de projeto, em que cada circuito terá sua seção específica.

Os circuitos utilizados para cálculo das seções foram:

- Circuito 1: Nobreak;
- Circuito 2: Fontes de alimentação;
- Circuito 3: Aquecedor;
- Circuito 4: Condensador.

Para o método 2 foi considerada a referência B1, fator de agrupamento e temperatura igual a 1, exceto para o circuito 2 em que o fator de agrupamento é igual a 0,8. Além disso, para o cálculo da corrente foi considerada a Eq. 4.4.

$$I_c = \frac{P}{fp \cdot FCA \cdot FCT} \quad (4.4)$$

A partir dessas premissas, foi encontrada as seções mínimas para o método 2, sendo escolhida a seção com maior valor entre os dois métodos de análise. Deste modo, temos:

Tabela 16 – Seção mínima para os condutores.

Círculo	Potência (W)	Corrente de Projeto (A)	Método 1 (mm ²)	Método 2 (mm ²)	Seção Escolhida (mm ²)
Fonte chaveada	450	5	2,5	0,5	2,5
Fonte Creativity 3D	350,4	4,3	2,5	0,5	2,5
Aquecedor	10.000	45,5	2,5	10	10
Condensador	3.000	16,0	2,5	2,5	2,5

Fonte: Autoria própria.

No entanto, para o circuito do *nobreak* foi considerada a especificação do fornecedor de 16 mm² como pode ser vista na imagem abaixo:

No-break Innovation – 220 VAC							
Potência	Círculo A (Entrada Geral)			Círculo D (Saída Geral)			Disjuntor curva C
	Disjuntor	Cabo R, S, T e Neutro.	Terra	Disjuntor	Cabo R, S, T e Neutro.	Terra	
2 x 10,0 kVA = 20,0 kVA	63 A	16 mm ²	16 mm ²	63 A	16 mm ²	16 mm ²	
2 x 15,0 kVA = 30,0 kVA	100 A	35 mm ²	25 mm ²	80 A	25 mm ²	25 mm ²	
2 x 20,0 kVA = 40,0 kVA	125 A	50 mm ²	25 mm ²	125 A	50 mm ²	25 mm ²	
2 x 30,0 kVA = 60,0 kVA	200 A	95 mm ²	50 mm ²	175 A	95 mm ²	50 mm ²	

No-break Innovation – 220 VAC							
Potência	Círculo B (Entrada No-break)			Círculo C (Saída No-break)			Disjuntor curva C
	Disjuntor	Cabo R, S, T e Neutro.	Terra	Disjuntor	Cabo R, S, T e Neutro.	Terra	
Innovation 10,0 kVA	32 A	6 mm ²	6 mm ²	32 A	6 mm ²	6 mm ²	
Innovation 15,0 kVA	50 A	10 mm ²	10 mm ²	40 A	10 mm ²	10 mm ²	
Innovation 20,0 kVA	63 A	16 mm ²	16 mm ²	63 A	16 mm ²	16 mm ²	
Innovation 30,0 kVA	100 A	35 mm ²	25 mm ²	80 A	25 mm ²	25 mm ²	

Figura 48 – Seção condutor nobreak.

Fonte: ([COMANDOS, 2021](#)).

4.3.3 Dimensionamento quadro de distribuição e disjuntores

Para o dimensionamento dos disjuntores foram utilizadas três premissas: o valor entre a corrente do circuito e a corrente máxima suportada pelo condutor escolhido, de acordo com a norma; a potência; e o tipo de disjuntor.

Para o projeto foram considerados disjuntores do tipo B e C, pois as cargas do sistema são apenas resistivas e indutivas, respectivamente. Abaixo, está detalhado um quadro com os valores de corrente considerados a partir do catálogo de disjuntores do fabricante "Schneider Electric"([Catálogo](#)).

Portanto, serão utilizados os disjuntores apresentados na Tab. 17.

Tabela 17 – Seção mínima para os condutores.

Círcuito	Tipo Disjuntor	Corrente de Circuito (A)	Corrente máxima do condutor (A)	Modelo	Disjuntor Escolhido (A)	Número de Pólos	Marca
Illuminação	Curva - tipo C	1,27	9,0	EZ9F33104	4	1	Schneider Electric
Nobreak Entrada	Curva - tipo C	63,0	76,0	EZ9F56363	63	3	Schneider Electric
Nobreak saída	Curva - tipo C	63,0	76,0	EZ9F56363	63	3	Schneider Electric
Disjuntor Geral	Curva - tipo C	64,3	76,0	EZ9F33370	70	3	Schneider Electric

Fonte: Autoria própria.

Para a definição do DPS (Dispositivo de Proteção contra Surtos) foi utilizado os seguintes critérios: tensão nominal da rede e a corrente máxima de descarga (com base na área urbana, ou seja, corrente de até 20kA). Dessa forma, escolheu-se o equipamento "CLAMPER VCL SLIM - 20kA - 275V / 20kA" ([Catálogo](#)).

Além disso, para o quadro de distribuição foram considerados a quantidade de disjuntores a serem colocados, de tal modo que se escolheu a caixa "DIN Steck" para 24 disjuntores ([Catálogo](#)). O diagrama multifilar considerando todas as variáveis do projeto está no apêndice (B.2).

5 Solução Eletrônica

O sistema eletrônico tem por objetivo realizar a aquisição de dados provenientes dos sensores de temperatura, pressão, e sensor de radiação, bem como atuar no controle de fluxos das válvulas da alinha de alimentação. Os sensores de temperatura são do tipo termopar que totalizam 13 conjuntos ao longo do sistema. Os sensores de pressão são do tipo Pirani para medir a pressão interna à câmara durante a operação da bomba de vácuo mecânica e sensor de pressão do tipo Penning para medir a pressão interna à câmara durante a operação da bomba de vácuo turbo molecular. As válvulas do tipo globo são atuadas por um atuador elétrico com controlador PID. A vazão mássica é monitorada através do medidor de vazão do tipo turbina por atender as especificações do projeto, como temperatura de operação e fluxo máximo.

Por conseguinte o sistema eletrônico envia os dados adquiridos para interface de programação (do inglês API). O subsistema é definido em duas áreas principais intituladas de Central de Controle e Sensoriamento e Sistema de Atuadores.

5.1 Central de Controle e Sensoriamento

A Central de Controle engloba os requisitos ELE-13, ELE-15 e ELE-16, requisitos de eletrônica que definem as características que a central de controle deve possuir. Nesse sentido, a Central de Controle é responsável por interpretar dados sensoriais provenientes dos sensores, processar esses dados e comunicar-se com a API. Ademais, comunica-se com o Sistema de Atuadores e recebe os comandos de *start* e *stop* através da interface gráfica utilizada pelo usuário.

O Módulo de Sensoriamento encontra-se integrado à Central de Controle. Este realiza a coleta dos dados de interesse. Trata-se de um conjunto de componentes condicionadores de sinais, que comunica-se unicamente com a Central de Controle para transmissão dos dados coletados via SPI (do inglês *Serial Peripheral Interface*) e via I2C (do inglês *Inter-Integrated Circuit*). Os dados de temperatura são transmitidos por SPI, sendo a interface fullduplex responsável por realizar a transmissão e recepção ao mesmo tempo, além de suportar taxas de transmissões maiores em bits por segundo que a I2C. O protocolo I2C é utilizado para a transmissão dos dados do radiômetro, sensor de medição de radiação. Além disso, o protocolo SPI é utilizado para a transmissão de dados, partindo da Raspberry Pi 3B+ para a Esp-32, que realiza as operações de controle.

5.1.1 Sensor de temperatura

O uso de sensores de temperaturas é necessário para monitorar e controlar a variação de temperatura na linha de fluxo de gases e líquidos, na placa térmica e nas faces do CubeSat, totalizando 13 sensores de temperatura. Visto o requisito ELE-01, ELE-02 e ELE-03, que são os requisitos do projeto na área de eletrônica que descrevem quais as características que o sistema de aquisição de temperatura deve possuir, sendo então necessário um sensor que apresente uma faixa de operação de 253,15 K a 333,15 K. Além disso, é necessário que estes sensores sejam capazes de resistir ao alto vácuo ao qual serão expostos no interior da câmara de vácuo.

O teste que será realizado na câmara de vácuo tem uma grande dependência com a temperatura, além de o teste possuir condições críticas, dessa forma, é necessário que a aquisição dos dados de temperatura ocorra rapidamente e minimizando o erro. Visto isso, são utilizados 2 sensores na linha de entrada na câmara e 1 na linha de saída para controlar a transferência de calor, 4 sensores na placa térmica para controlar a temperatura no ambiente em que o CubeSat se encontra, sendo necessários 4 sensores devido a diferença de gradiente, 6 sensores no CubeSat, um para cada face do CubeSat. Os sensores da linha, além de serem usados para o controle da transferência de calor, podem ser utilizados, posteriormente, para estudos que melhorem a eficiência do aquecimento e do resfriamento.

Os termopares são sensores de temperatura que apresentam alta resistência estrutural, apesar de sua simplicidade. A faixa de temperatura de operação depende dos metais que o compõe. O termopar selecionado para a aplicação, é o termopar do tipo T (cobre e constantan) que nos fornece uma faixa de operação entre 23,15 K e 623,15 K com uma margem de erro inferior a 1 K. Apesar de existirem outros modelos de termopares que apresentam uma faixa de operação que atende ao projeto, alguns deles apresentando até mesmo faixas de operações superiores ao do termopar do tipo T, também acompanham, em geral, uma faixa de erro maior, não atendendo aos requisitos do projeto.

Por um lado, o processo de aquisição das temperaturas por meio de termopar, torna necessário a utilização de um amplificador operacional já que os sinais elétricos gerados pelo termopar apresentam baixas amplitudes, além de requerer um processo de filtragem para reduzir os ruídos apresentados no sinal, o que provocaria interferências no processo de aquisição da temperatura. Além do mais, por se tratar de um sinal de grandeza analógica, deve-se utilizar um conversor analógico-digital (A/D), permitindo dessa forma que o sinal seja coletado em formato digital pela Raspberry, considerando que não há entradas analógicas na mesma. O processo tem que existir para todos os termopares no circuito.

Por outro lado, de forma a se reduzir o esforço de implementar amplificadores e filtros para cada termopar, propõe-se o uso de um módulo condicionador de sinal, o

CI "MAX 31856", sendo utilizado uma unidade conectada a dois multiplexadores, que selecionam o termopar. Isso é possível já que o tempo de leitura dos sensores é de aproximadamente 100 ms , e o tempo de transição, nos multiplexadores ADG1607 escolhidos, é de 200 ns para as condições de alimentação fornecidas. Consequentemente, simplifica-se a implementação do sistema de aquisição de temperatura, pois o "MAX 31856" conta internamente com um conversor digital, um filtro para rejeição de ruído, além de uma interface que permite uma comunicação por meio do barramento SPI. Portanto, a Raspberry obtém a temperatura de cada módulo individualmente através do barramento SPI, reduzindo a demanda por processamento e a quantidade de componentes eletrônicos externos.

5.1.2 Sensor de pressão

O sistema de medição de pressão realiza a aquisição dos dados de pressão da câmara de vácuo e do tanque de GN2. O sensor de baixo vácuo é um sensor de pressão de condutividade térmica do tipo Pirani APG 100 , com a faixa de medição entre a pressão atmosférica e 10^3 mbar . O sensor de alto vácuo é um sensor de ionização elétrica do tipo Penning PEG 100, o qual apresenta uma faixa de operação entre 10^9 mbar e 10^2 mbar .

Devido a faixa de pressão de operação da câmara de vácuo é necessário utilizar estes dois modelos de sensores, já que não há disponibilidade de um único sensor que apresente uma faixa de eficiência que atenda a necessidade do projeto. O sensor de pressão do tipo Pirani realizará o monitoramento da pressão do tanque de GN2.

A operação dos sensores de pressão da câmara de vácuo é feito da seguinte forma, primeiro é acionado o sensor de baixo vácuo, quando a pressão dentro da câmara de vácuo estiver entre 10^{-2} mbar e 10^{-3} mbar , é feito o acionamento da sensor de alto vácuo e em seguida, o sensor de baixo vácuo é desligado. O sensor de alto vácuo permanece ligado durante todo o teste do CubeSat.

Para a aquisição dos dados dos sensores Penning e Pirani, utiliza-se o dispositivo PGC201 (do inglês: Passive Gauge Controller 201) da empresa Edwards. Este é um dispositivo universal para monitoramento de pressão de alto e baixo vácuo em sistemas turbomoleculares, difusores, criogênicos, iônicos e aceleradores de partícula, além de ser utilizado em processos de instrumentação analítica, derretimento e fornos de endurecimento, sendo esse um equipamento integrado que já realiza o tratamento dos dados, como filtragem, amplificação, conversão analógica-digital, além de fornecer as saídas analógicas também.

O dispositivo PGC201 permite a conexão de até 2 sensores Pirani e um sensor Penning, mensurando dados de pressão com um limite de pressões atmosféricas de até 1.10^{-9} mbar , sendo o necessário para o presente trabalho. A conexão entre o PGC201 e a Raspberry é feita com um cabo conversor USB - RS232, o que permite o controle

de operações e a aquisição dos dados, por comandos seriais. Contudo, para a utilização do cabo serial RS232 para USB (do inglês: Porta Serial Universal), que possui tensões em TTL, necessita-se da conversão USB para UART, de forma que a placa de circuito impresso faça a conexão com a interface do dispositivo corretamente.

O PGC201 possui uma conexão do padrão DB15 para saída analógica/controle externo, fornece as saídas analógicas das medições individuais dos canais, assim como as entradas para controlar externamente o medidor do canal CPG, canal relacionado ao sensor Penning, que podem ser feitas também através da interface RS232.

Na comunicação pela interface RS232, a Raspberry é o *host*, que pode enviar e receber dados dos sistema de medição, não há nenhum "handshake" em hardware para sinalizar quando o dispositivo estiver preparado para receber os dados, as mensagens são transferidas por strings ASCII, permitindo que o dispositivo seja totalmente controlado pelo terminal através dos comandos seriais, assim como setar os parâmetros de medição, de calibração e unidades em que a pressão será apresentada. Dessa forma, através do datasheet do dispositivo, constata-se que alguns comandos e respostas importantes para definição dos valores de pressão de alto vácuo e baixo vácuo, são os demonstrados pela Tab. 58.

Tabela 18 – Comandos para obter dados de pressão do PGC201.

Categoría	Parámetro	Descrição
Comando RPV	a	1 (Canal 1 PRG1) 2 (Canal 2 PRG2) 3 (Canal 3 CPG)
Resposta	b	0 = Valor medido OK 1 = Valor medido < Alcance de Medição 2 = Valor medido > Alcance de Medição 3 = Valor medido « Alcance de medição = (Err Lo) 4 = Valor medido » Alcance de medição = (Err Hi) 5 = Sensor desligado (S off) 6 = Alta tensão (Hv on) 7 = Erro no sensor (Err S) 9 = Sem sensor (no Sen) 10 = Sem threshold para ligar ou desligar (Notrig) 12 = Erro no Piranni (Err Pi)
Valor	x.xxxxE ± xx	Valor de pressão no canal selecionado

Fonte: Adaptado ([EDWARDS LIMITED, 2017](#)).

Há diversos comandos com outras funcionalidades, como setar threshold, configurar o instrumento, ler parâmetros de configuração, como unidades, frequências, interfaces configuradas, ler controle de sensor, entre outros. De forma a transmitir esses comandos a partir da Raspberry, é necessário que seja realizado a escrita na porta serial, também, deve-se configurar para que haja 1 bit de parada e selecionar o Baudrate, podendo ser

de 9600, 19200 ou 38400, que são as velocidades toleradas pelo dispositivo PGC201, não devendo haver bits de paridade (EDWARDS LIMITED, 2017). Além disso, a resposta vai indicar o valor da pressão aferida pelos sensores, erro caso o sensor apresentar alguma falha ou erro relacionado a pressão fora da faixa de operação. A fim de testar como os comandos podem ser transmitidos e recebidos em C, aplicou-se um teste em *Loopback*, onde os pinos Rx (Recepção) e Tx (Transmissão) são conectados entre si para monitorar se o buffer transmitido está sendo recebido pela própria Raspberry, como pode ser observado na Fig. (Fig.49), onde a primeira linha é a mensagem transmitida sendo recebida pelo buffer de recepção. Ainda, todas as configurações necessárias para o recebimento dos comandos pelo PGC201 foram realizadas em software.

```
pi@pi3 ~/Desktop/Picodes/serialconn [6:08:53]
pi in Desktop/Picodes/serialconn at pi3
> sudo ./pg201
RPV[a]<CR>
Caso o PG201 estivesse connectado e nas condições corretas, a Resposta: b[,] [TAB
]x.xxxxE±xx
```

Figura 49 – Teste em *Loopback*.

Entretanto, para receber os dados do dispositivo, é necessário a conversão UART para nível USB, já que as tensões de operação da UART e USB são diferentes. A Figura 50, define como deve ser realizada a conexão entre Raspberry e o terminal USB que comporta a entrada do cabo RS232 para USB, onde se encontram, o módulo CH330 para conversão USB para serial, o conector USB, capacitores de acoplamento necessários e os leds para mostrar a informação sendo enviada e recebida. Os pinos importantes para conexão com a RPI são o Tx e Rx (pinos UART), além dos pinos de alimentação.

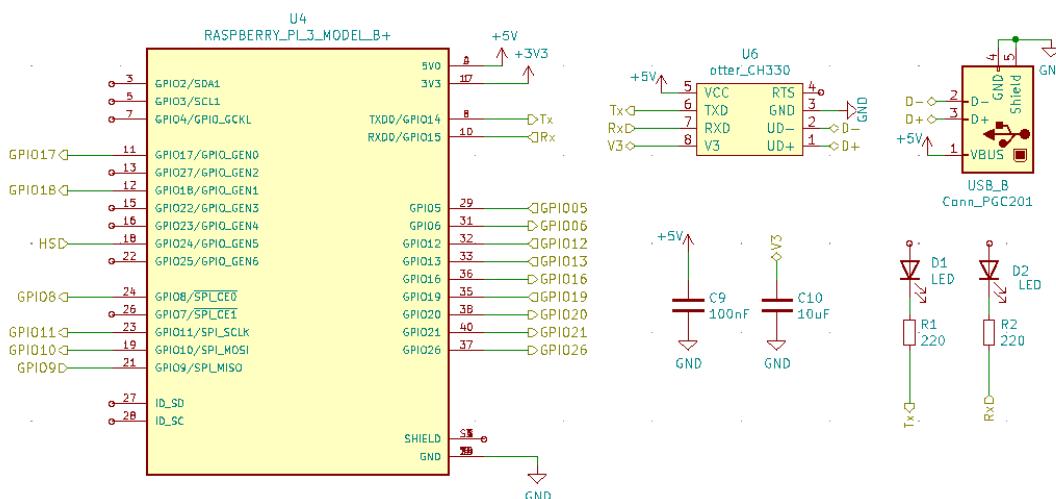


Figura 50 – Conexão Raspberry para Usb.

Fonte: Autoria Própria.

5.1.3 Sensor de radiação

Para o projeto também é necessário o uso de um sensor de radiação para aferição do fluxo de radiação da lâmpada, para isso, será utilizado um único radiômetro, visto que o fluxo luminoso será colocado de forma pontual, ou seja, em uma única direção.

Para a escolha desse componente foi considerado o espectro que ele atua, na faixa de 280 nm a 875 nm, o qual é o intervalo considerado como requisito de desempenho pela norma ABNT NBR ISO 11879/2015. Dessa forma, o radiômetro escolhido foi o do modelo SI1146-M01-GMR. Sensor utiliza o protocolo de comunicação I²C e possui uma tensão de trabalho entre 1,71 V e 3,6 V ([PROXIMITY/UV/AMBIENT...](#),).

5.1.4 Medidor de vazão

O sistema para medir a vazão será inserido na linha de entrada da câmara para medir a vazão do nitrogênio, tanto gasoso como líquido, que está sendo inserido na placa térmica, pois dessa forma, é possível relacionar o volume de N₂ com a temperatura, auxiliando no controle de temperatura. Devido a necessidade de medir a vazão de dois estados diferentes do nitrogênio, foi escolhido o medidor de vazão tipo turbina série STV - L/G ([MEDIDOR...](#),).

O sistema para medir a vazão fica logo após o condensador e o aquecedor, onde ocorre a bifurcação entre as duas linhas de alimentação, como apresentado na Fig. 51. Foi escolhido esse local pois há a passagem dos dois estados do nitrogênio, assim, a vazão é possível medir a vazão total que entra na placa térmica.

O medidor de vazão, é um dispositivo integrado de medição, possui o PICK-UP magnético para fazer a aquisição dos dados, os quais são amplificados pelo amplificador para PICK-UP magnético e enviados para o dispositivo CTH-2265 que faz a leitura dos dados. A comunicação do CHT-2265 com a Raspberry é feita com o uso de um cabo conversor USB - RS232.

5.2 Sistema de atuadores

O Sistema de Atuadores é o componente de estrutura contendo todo o sistema de bombeamento e controle de válvulas e dos motores de rotação do CubeSat. Do ponto de vista da eletrônica, destacam-se as responsabilidades em receber comandos da Central de Controle para ativação do aquecimento ou resfriamento da câmara, de acordo com os dados captados pelo sensoriamento, e ativação dos motores, de acordo com a necessidade do usuário, previsto no requisito ELE-14.

Este sistema utilizará a ESP-32 para realizar todo o controle. A utilização de outro microcontrolador para esse sistema tem o objetivo de tornar o sistema mais flexível,

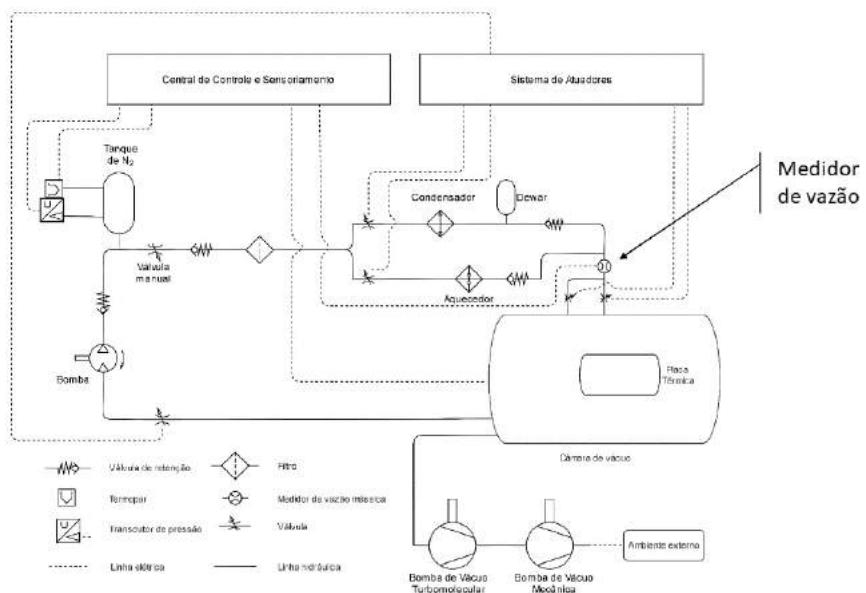


Figura 51 – Medidor de vazão na linha de alimentação.

Fonte: Autoria Própria.

pois é necessário a leitura de muitos dados ao mesmo tempo, sendo necessário um alto processamento.

A forma de implementação do controle para os motores é apenas um controle ON/OFF, onde em determinadas situações, dependendo da iteração em que o procedimento estiver, os motores serão ligados ou se manterão desligados, como previsto no requisito ELE-06. O controle de temperatura, de forma simplificada e seguindo os requisitos ELE-08, ELE-09, ELE-10 e ELE-11, precisa elevar a temperatura até $333,15\text{ K} \pm 3\text{ K}$ e permanecer nessa temperatura por aproximadamente 2 horas. Depois, é necessário baixar a temperatura até $253,15\text{ K} \pm 3\text{ K}$. A temperatura precisa permanecer em $253,15\text{ K} \pm 3\text{ K}$ por aproximadamente 2 horas. Por fim, é preciso voltar à temperatura ambiente.

5.2.1 Relé

O relé é utilizado para fazer o acionamento dos drivers dos motores e a abertura ou fechamento das válvulas com o auxílio de atuadores elétricos. Será necessário 1 módulo de 8 relés de 24V com Borne para realizar os controles.

As conexões dos relés aos dispositivos que precisam ser atuados são feitos no terminal denominado normalmente aberto, ou seja, em estado de repouso o relé se comporta como um circuito aberto. Quando o relé está no estado de normalidade, os motores estão em repouso e as válvulas estão fechadas.

5.2.2 Atuador Elétrico

O projeto requer o uso de 5 atuadores elétricos para realizar o acionamento mecânico de abertura e fechamento das válvulas. As válvulas que utilizam o atuador elétrico são: a válvula que antecede o aquecedor, a válvula que sucede o aquecedor, a válvula que antecede o condensador, a válvula que sucede o condensador e a válvula na saída da câmara de vácuo, de acordo com a Fig. 52.

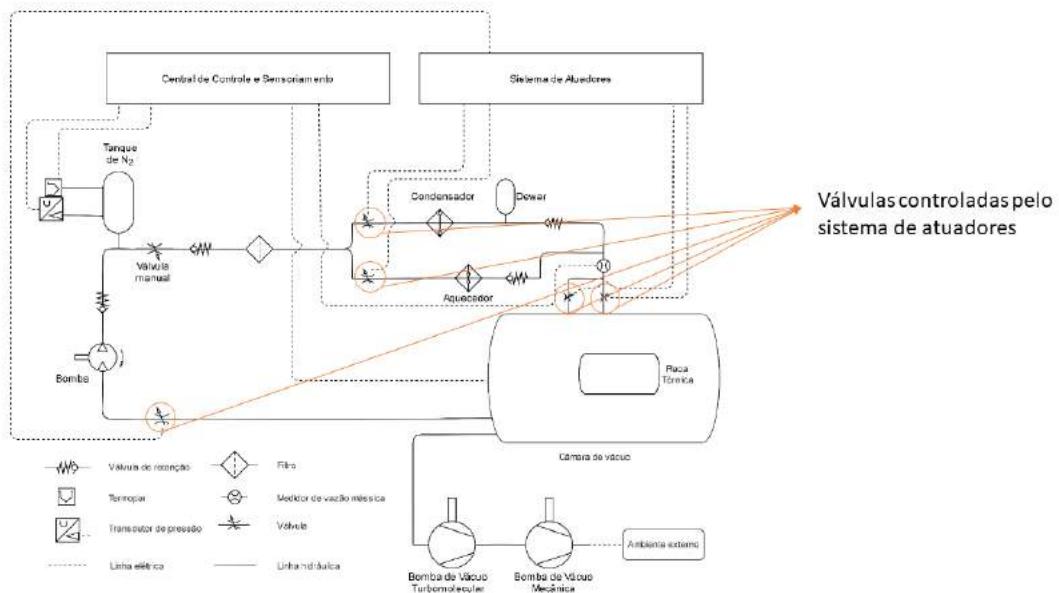


Figura 52 – Válvulas controladas pelo Sistema de Atuadores.

Fonte: Autoria Própria.

5.2.3 Controlador dos motores

O sistema de controle dos motores é composto por 3 drivers para motor de passo do modelo TB6560, que realizaram o acionamento dos motores, estes são necessários dada a corrente exigida pelos motores. Os comandos de acionamento são gerados pela ESP32, quando este recebe o sinal de acionamento do usuário via Raspberry. Ao iniciar a operação, os motores de passo estarão em estado de repouso, ou seja, mantendo a posição do CubeSat fixa. Através da API o usuário poderá acionar o sistema de movimento, o comando é recebido pela Raspberry e enviado para a ESP32 via SPI, dessa forma iniciando a rotina responsável pelo controle dos motores.

5.2.4 Controle de Temperatura

5.2.4.1 Caracterização do sistema

O modelo matemático deve ser construído a partir de dados observados que descrevem o comportamento do sistema em estudo (AGUIRRE, 2013). Obtido muitas vezes por meio de testes em malha aberta, é feito a partir da mudança da variável de processo em função da variável de controle para obter a descrição do comportamento dinâmico do sistema.

Algumas informações conhecidas podem ajudar na modelagem, como por exemplo, uma perturbação que ocorre no sistema e que é possível saber o momento em que afeta. A perturbação proveniente da entrada de LN2 e GN2 em contato com a placa térmica faz com que o processo seja alterado. É importante caracterizar com medições, por isso, aplicou-se um medidor de vazão para colaborar experimentalmente com o controle térmico na câmara, além dos termopares T para medir temperatura, realizando também as comparações com as pressões de alto vácuo e baixo vácuo na câmara.

Relacionando a entrada do processo, ou seja, a porcentagem de abertura da válvula, por exemplo, e a saída, a variável de processo (PV), já considerando o espaço morto, que é definido como o tempo a partir do instante em que o processo foi perturbado, e a temperatura, começa a variar ou sair do seu regime permanente.

5.2.4.2 Método de Ziegler-Nichols

O método de Ziegler-Nichols, comumente utilizado para sintonização do controle, é aplicado em plantas seguindo uma resposta degrau de acordo com a fig. 53. É uma categoria de resposta típica de primeira ordem e descreve também, fluxo de fluídos, sendo caracterizada pelo L, que é o tempo de atraso e T, a constante de tempo, sendo definidos através da tangente da resposta degrau em seu ponto de inflexão.

Ziegler e Nichols derivaram os seguintes parâmetros de controle baseados nesse modelo:

Tabela 19 – Parâmetros de Controle 1^aOrdem.

Tipo	K _p	T _i = $\frac{k_p}{k_i}$	T _d = $\frac{k_d}{k_p}$
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0.9\frac{T}{L}$	$\frac{T}{0.3}$	0
PID	$1.2\frac{T}{L}$	2L	0,5L

Fonte: Método de Ziegler-Nichols.

De acordo com o fluxograma de controle, na figura 54, pode-se obter a função de transferência da saída em relação a entrada, considerando a função de transferência do controlador e do sistema térmico.

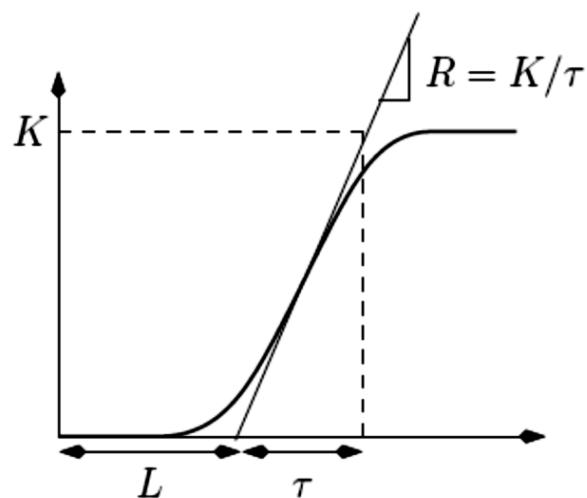
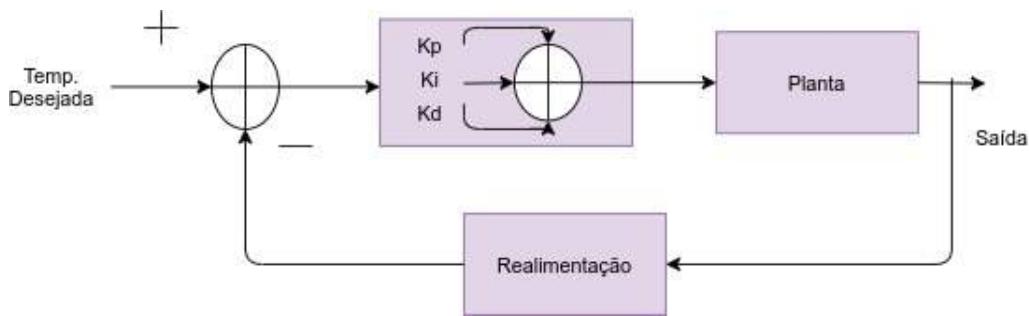
Figura 53 – Curva de Resposta para Método de Ziegle-Nichols ([Z., 2009](#))

Figura 54 – Figura modelo PID

O que acontece na prática é que, além da entrada do sinal, há a entrada de um distúrbio, como a pressão dos gases, ou algum distúrbio no sinal do termopar que envia o valor da temperatura, ou ainda mal comportamento da válvula devido a desgastes físicos. Porém, só é possível mensurar a perturbação que se refere a entrada de LN2 e GN2 no sistema. Para definir precisamente as constantes da planta e de controle, é necessário que ocorram testes dinâmicos e coleta de dados, a identificação obtém modelos a partir de dados, e muitas vezes, os únicos dados disponíveis são os de “operação normal” do processo.

Quando o sistema não responde a um degrau, efetuam-se testes de forma a extrair informações dinâmicas, como por exemplo, gerar sinais aleatórios na variável de controle a fim de obter mudanças no comportamento da variável de processo. Deve-se também, determinar a estrutura do modelo, no caso de modelos lineares, a escolha da estrutura se dá a partir da escolha do número de polos e zeros, bem como a determinação do atraso puro de tempo. A estimativa de parâmetros deve ocorrer com a escolha do algoritmo a ser usado ([AGUIRRE, 2013](#)).

A maneira mais simples de se identificar um sistema é pela resposta ao degrau. Para

variar a saída, é necessário colocar a malha de controle em manual e dar um degrau na entrada, ou seja, alterar o valor de abertura da válvula. Seria então registrada a variação da temperatura e a partir daí, a obtenção do ganho, da constante de tempo e do tempo morto, o que resultaria no modelo de resposta ao degrau, sendo que atingir o regime permanente é fundamental para se conseguir obter tais parâmetros. Realizando esse procedimento, a resposta a um degrau unitário da Planta PID projetada para a central de controle pode ser vista na fig. 55, onde pode ser observado o comportamento dos parâmetros de saída e do processo.

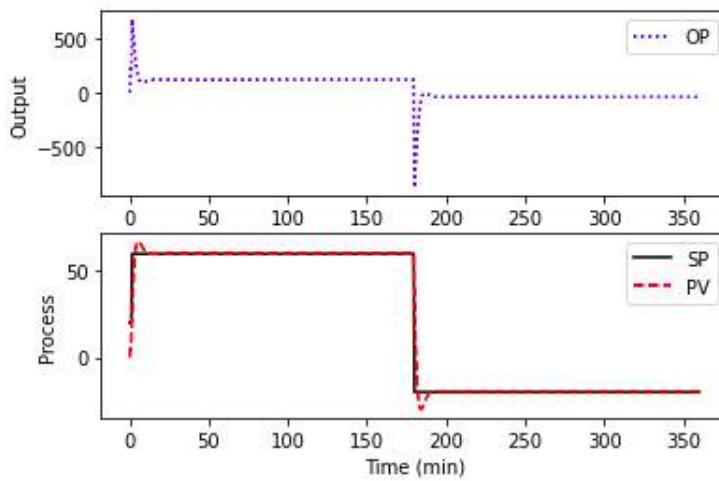


Figura 55 – Resposta a uma entrada de degrau unitário no sistema de PID.
Fonte: Autoria Própria.

5.2.4.3 Implementação do controle térmico

O controle térmico pode ter até quatro etapas diferentes que dependem do teste que o usuário escolher para o CubeSat, que serão explicadas de forma detalhada nessa seção. Cada etapa tem duas variáveis: a temperatura de referência recebida pela API e a temperatura do CubeSat medida pelos termopares. De acordo com essas variáveis o sistema irá enviar um comando para o atuador elétrico para fazer a abertura ou fechamento das válvulas.

O diagrama de blocos apresentado na Figura 56 mostra de forma geral como o controle térmico será implementado. As válvulas são abertas ou fechadas de acordo com a temperatura de referência recebida pela API, os termopares fazem a leitura da temperatura na face do CubeSat, retornando o valor de temperatura para o início do controle, para comparar com a temperatura de referência e assim o controle fazer a decisão de abrir ou fechar a válvula novamente.

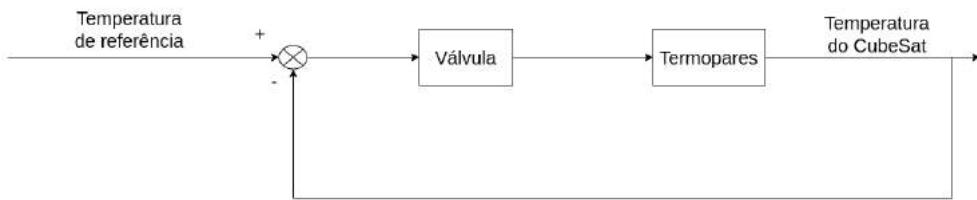


Figura 56 – Diagrama de blocos do controle térmico.

Fonte: Autoria Própria.

O usuário define pela API a temperatura de referência inicial, a temperatura de referência final, o tempo necessário para permanecer na temperatura de referência inicial e o tempo necessário para permanecer na temperatura de referência final. Essas definições são feitas pelo usuário que definem como cada etapa do controle é feita.

- **Etapa A**

Na etapa A, o CubeSat estará, aproximadamente, na temperatura ambiente, sendo necessário aquecer ou resfriar a câmara de acordo com a temperatura de referência inicial. Caso haja a necessidade de aumentar a temperatura o controle será feito na válvula do aquecedor, caso seja necessário diminuir a temperatura o controle será feito na válvula do condensador. Pode haver o caso de não ter que fazer o controle em nenhuma válvula, caso a temperatura de referência inicial seja próxima a temperatura que o CubeSat se encontra.

No diagrama de blocos mostrado na Figura 57 o controlador compara a temperatura de referência inicial com a temperatura do CubeSat, se a temperatura de referência for maior que a temperatura do CubeSat, é necessário aquecer a câmara. Se a temperatura de referência for menor que a temperatura do CubeSat, é necessário resfriar a câmara. Se a temperatura de referência for aproximadamente a temperatura da câmara, não é necessário aquecer nem resfriar a câmara.

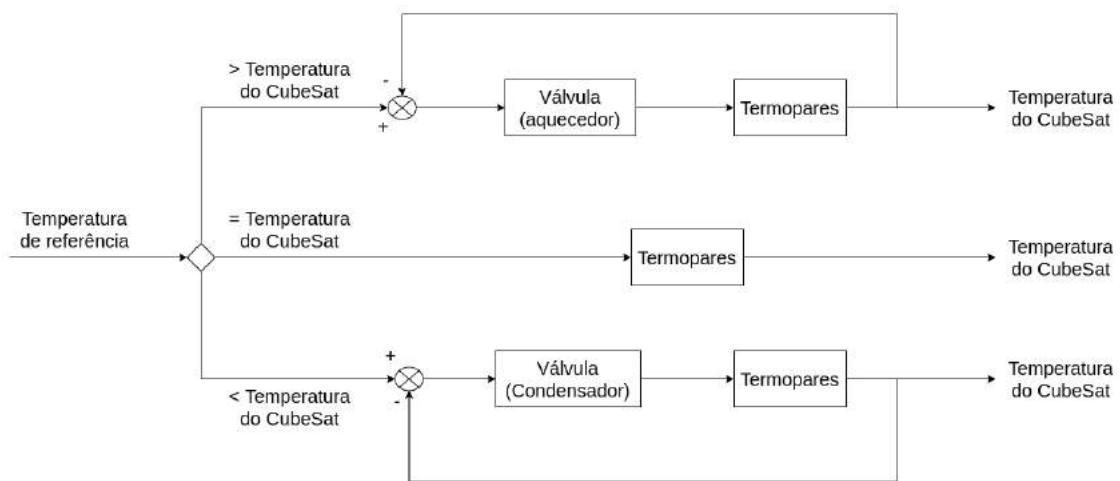


Figura 57 – Diagrama de blocos da etapa A do controle térmico.

Fonte: Autoria Própria.

- **Etapa B**

A etapa B serve para fazer com que a temperatura fique estável na temperatura de referência, quando a temperatura de referência é maior que a temperatura do CubeSat no início do teste. Caso a temperatura de referência seja menor que a temperatura do CubeSat no início do teste é necessário realizar o controle da etapa D.

O controle desta etapa é feito apenas na válvula do aquecedor, pois é necessário manter a câmara de vácuo aquecida, assim a válvula do aquecedor será aberta ou fechada de acordo com a temperatura da face do CubeSat medida pelos termopares.

A temperatura de referência é comparada com a temperatura do CubeSat. Caso a face do CubeSat comece a aquecer, ultrapassando a temperatura de referência é necessário resfriar a câmara, fechando a válvula. Caso a face do CubeSat comece a resfriar, estando abaixo da temperatura de referência é necessário aquecer a câmara, abrindo a válvula. Caso a temperatura esteja na temperatura de referência é necessário apenas fazer o monitoramento da temperatura. O diagrama de blocos Fig. 58 demonstra como esse controle é feito.

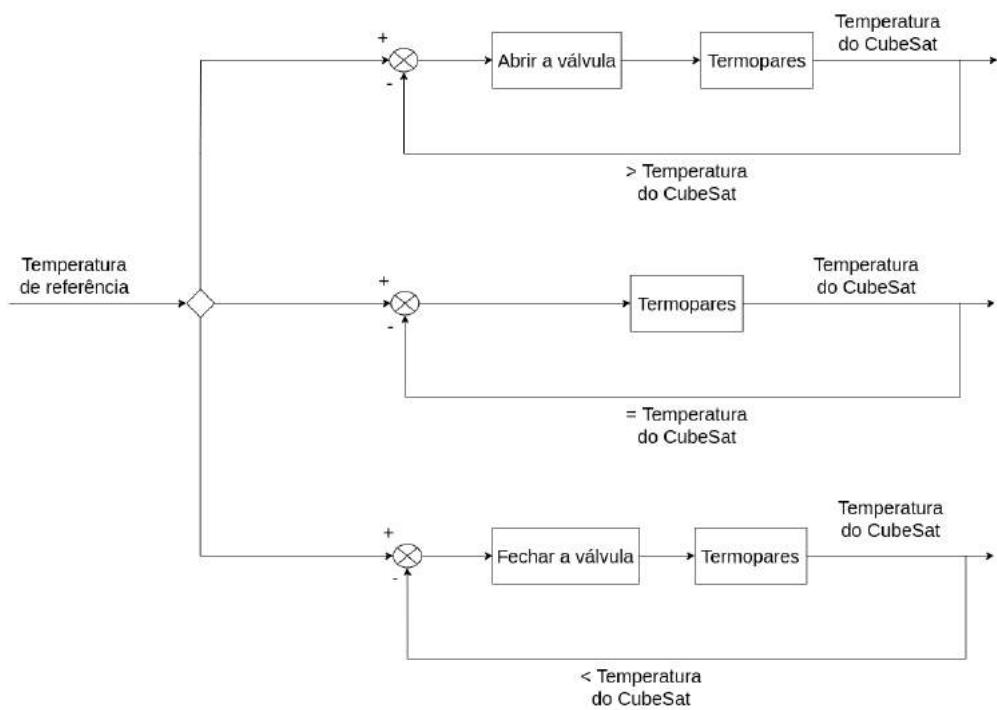


Figura 58 – Diagrama de blocos da etapa B do controle térmico.

Fonte: Autoria Própria.

- **Etapa C**

A etapa C faz com que a temperatura da câmara passe da temperatura de referência inicial para a temperatura de referência final. Para isso, usa-se o diagrama de blocos apresentado na Fig. 59, que consiste na mesma lógica do controle da etapa A.

Se a temperatura de referência final for maior que a temperatura do CubeSat, é necessário aquecer a câmara, abrindo a válvula do aquecedor, se a temperatura de referência final for menor que a temperatura do CubeSat é necessário resfriar a câmara, abrindo a válvula do condensador, se a temperatura de referência final for, aproximadamente, a temperatura do CubeSat é preciso apenas permanecer com as válvulas fechadas.

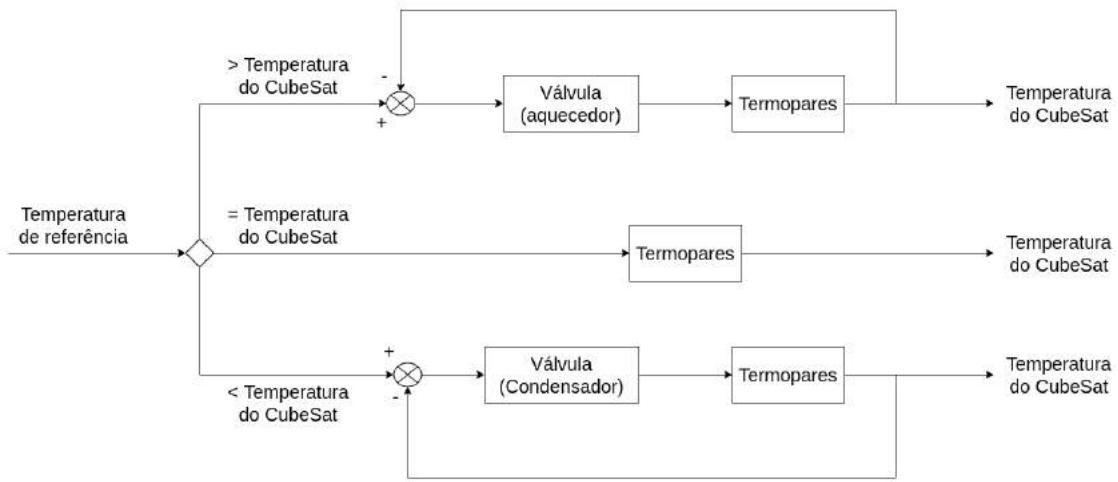


Figura 59 – Diagrama de blocos da etapa C do controle térmico.

Fonte: Autoria Própria.

- **Etapa D**

A etapa D tem o mesmo objetivo da etapa B, fazer a estabilização da temperatura do CubeSat de acordo com a temperatura de referência. No entanto, a temperatura de referência precisa ser menor que a temperatura do CubeSat no início do teste.

Nesta etapa o controle é feito apenas com a válvula do condensador. Caso a temperatura na face do CubeSat comece a aquecer, é necessário resfriar a câmara, abrindo a válvula. Caso a temperatura da face do CubeSat comece a resfriar, é necessário aquecer a câmara, fechando a válvula, caso a temperatura permaneça na temperatura de referência, não é necessário fazer o controle das válvulas, como pode ser visto no diagrama de blocos da Fig. 60.

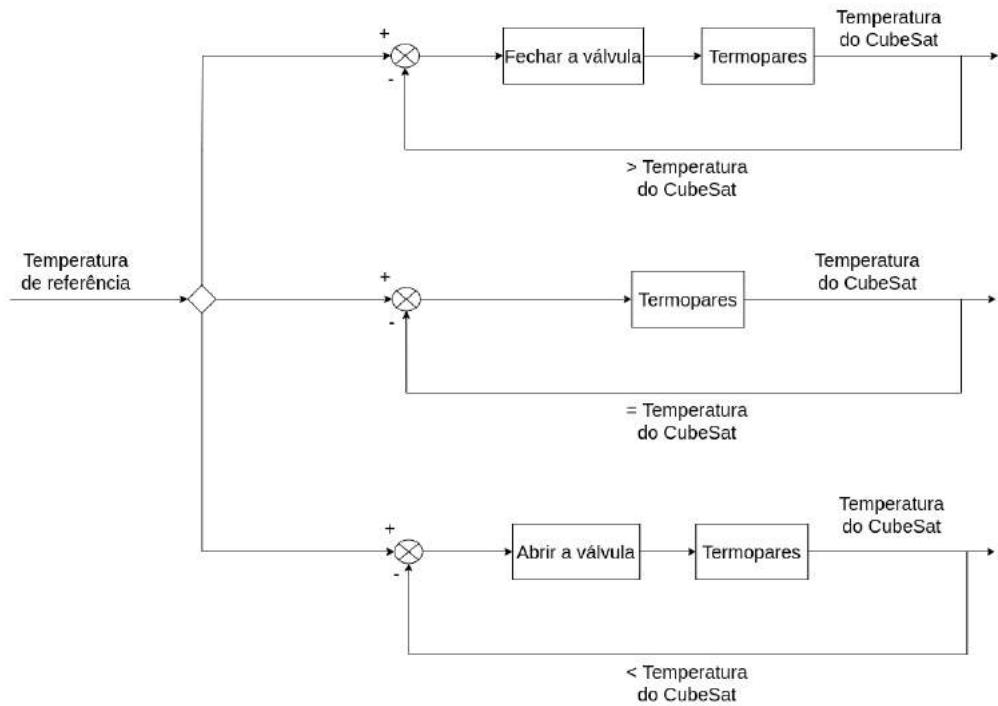


Figura 60 – Diagrama de blocos da etapa D do controle térmico.

Fonte: Autoria Própria.

5.2.4.4 Simulação do controle térmico

Na simulação do controle térmico, foi selecionado 23 °C para ser a temperatura inicial do CubeSat, 50 °C para a temperatura de referência inicial e -10 °C para a temperatura de referência final. Dessa forma, para realizar o controle foi utilizado as etapas A, B, C e D, nessa ordem.

Primeiro, foi necessário abrir a válvula do aquecedor para a câmara aquecer, até alcançar a temperatura de 50 °C (Fig. 61). Em seguida, foi necessário fazer o controle da válvula do aquecedor para a temperatura estabilizar em 50 °C (Fig. 62). Depois, foi necessário abrir a válvula do condensador para resfriar a câmara para chegar na temperatura de referência final de -10 °C (Fig. 63). Por último, foi feita a estabilização na temperatura de -10 °C, com o controle da válvula do condensador (Fig. 64). O gráfico de todo o controle pode ser visto na Figura 65.

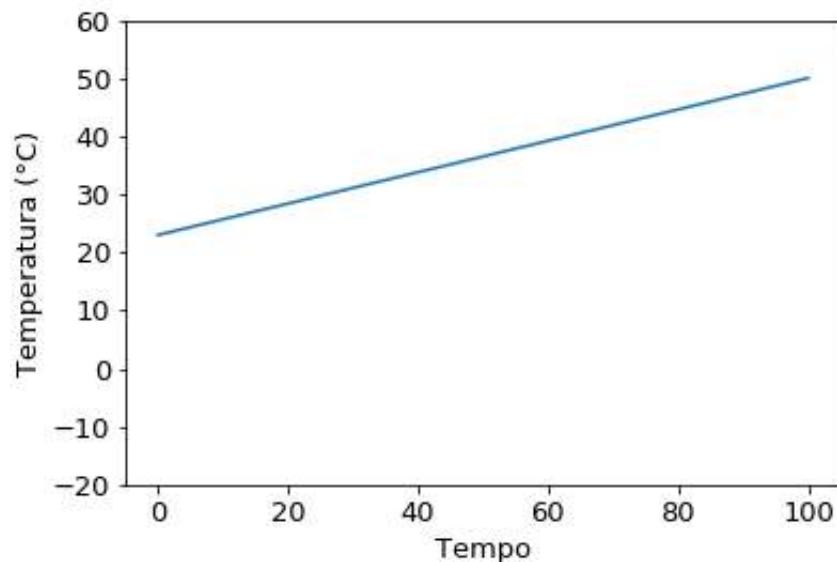


Figura 61 – Etapa A do controle térmico.

Fonte: Autoria Própria.

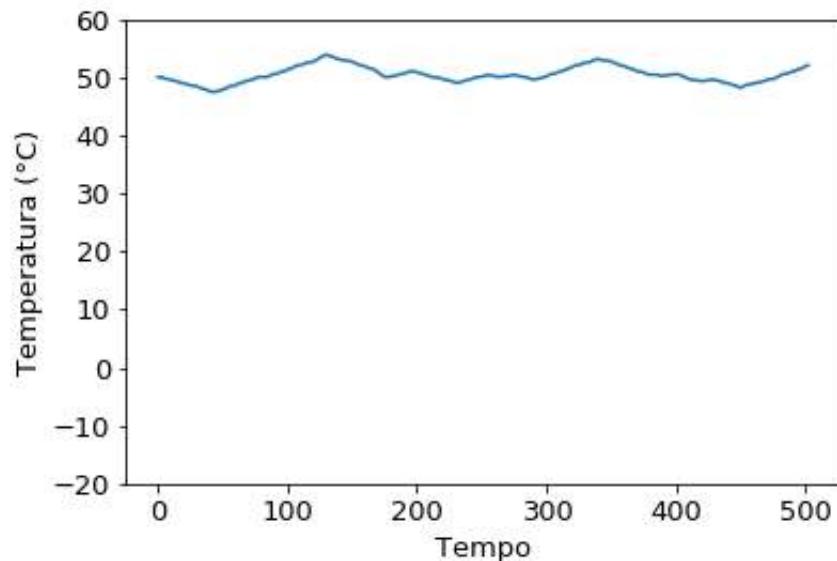


Figura 62 – Etapa B do controle térmico.

Fonte: Autoria Própria.

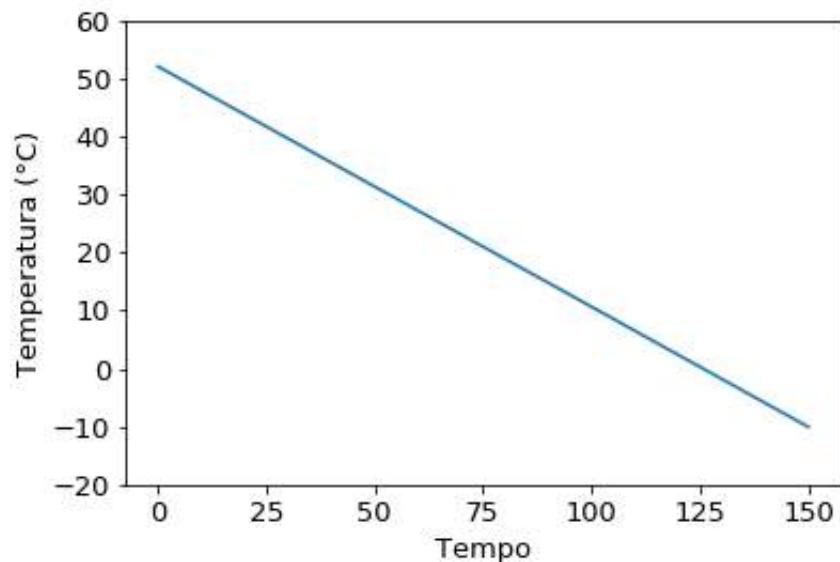


Figura 63 – Etapa C do controle térmico.

Fonte: Autoria Própria.

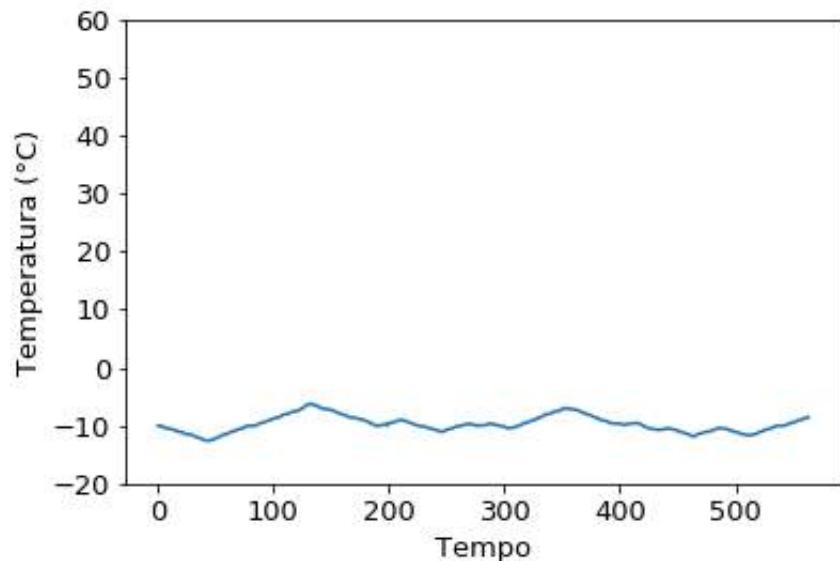


Figura 64 – Etapa D do controle térmico.

Fonte: Autoria Própria.

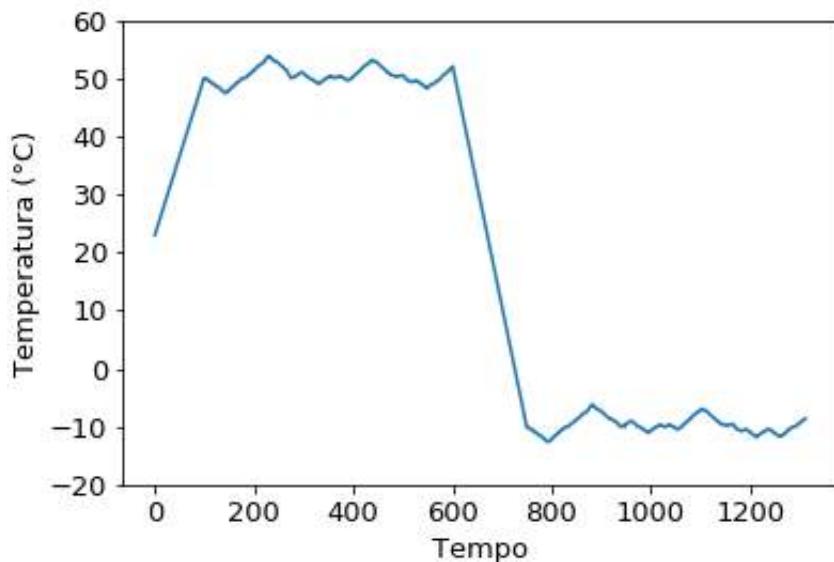


Figura 65 – Simulação do controle térmico.

Fonte: Autoria Própria.

5.3 Integração Raspberry Pi com a ESP-32

A Raspberry conta com dois canais de SPI (canal 0 e canal 1), o canal 0 tem 2 pinos de seleção de chip (em inglês: CS) e o canal 1 tem 3 pinos de CS, os quais são responsáveis por selecionar o módulo a ser lido pelo barramento SPI, já que todos os módulos estão conectados no mesmo barramento. Os pinos (em inglês: Master Output Slave Input) e MISO (em inglês: Master Input Slave Output) são linhas de dados, o pino CLK é o relógio, mais conhecido como CLOCK da placa mestre, o CS habilita a transmissão e o Handshaking (em inglês: HS), que alerta se a ESP-32 está preparada para a transmissão.

Foi realizado testes de software, como analisado na Fig. 66, representando o ambiente da Raspberry enviando dados de temperatura simulados e recebendo a confirmação da ESP-32 pelo buffer de recepção (Rx), juntamente com a realização dos comandos seriais para o terminal USB, e o teste presente na Fig. 67, que representa o ambiente da ESP32 recebendo dados de temperatura e enviando a confirmação presente no buffer de transmissão (Tx).

```
Enviando Comando para ler Pressão
Recebendo Dados da interface por loopback
RPV[a]<CR>
Caso o PG201 estivesse conectado, a Resposta: b[,] [TAB]x.xxxxE±xx
Enviando Temp[0]: -18.400000
-18.4
rx buffer: Recebido(esp)
Enviando Temp[1]: -17.600000
-17.6
rx buffer: Recebido(esp)
Enviando Temp[2]: -15.300000
-15.3
rx buffer: Recebido(esp)
Enviando Temp[3]: -5.000000
-5.0
rx buffer: Recebido(esp)
Enviando Temp[4]: 6.500000
6.5
rx buffer: Recebido(esp)
Enviando Temp[5]: 7.300000
7.3
rx buffer: Recebido(esp)
Enviando Temp[6]: 7.600000
7.6
rx buffer: Recebido(esp)
Enviando Temp[7]: 8.200000
8.2
rx buffer: Recebido(esp)
Enviando Temp[8]: 9.400000
9.4
rx buffer: Recebido(esp)
Enviando Temp[9]: 10.000000
10.0
rx buffer: Recebido(esp)
Enviando Temp[10]: 11.100000
```

Figura 66 – Teste de Comunicação na Raspberry Pi.

Fonte: Autoria Própria.

```
I (2202) spi: Temperatura[0] rx buffer: 8.2
I (2202) spi: tx buffer: Recebido(esp)

I (2212) spi: Temperatura[1] rx buffer: 9.4
I (2212) spi: tx buffer: Recebido(esp)

I (2222) spi: Temperatura[2] rx buffer: 10.0
I (2222) spi: tx buffer: Recebido(esp)

I (2232) spi: Temperatura[3] rx buffer: 11.1
I (2232) spi: tx buffer: Recebido(esp)

I (2242) spi: Temperatura[4] rx buffer: 12.4
I (2242) spi: tx buffer: Recebido(esp)

I (2252) spi: Temperatura[5] rx buffer: 13.8
I (2252) spi: tx buffer: Recebido(esp)

I (2372) spi: Temperatura[6] rx buffer: -18.4
I (2372) spi: tx buffer: Recebido(esp)

I (2382) spi: Temperatura[7] rx buffer: -17.6
I (2382) spi: tx buffer: Recebido(esp)

I (2392) spi: Temperatura[8] rx buffer: -15.3
I (2392) spi: tx buffer: Recebido(esp)

I (2402) spi: Temperatura[9] rx buffer: -5.0
I (2402) spi: tx buffer: Recebido(esp)

I (2412) spi: Temperatura[10] rx buffer: 6.5
I (2412) spi: tx buffer: Recebido(esp)

I (2422) spi: Temperatura[11] rx buffer: 7.3
I (2422) spi: tx buffer: Recebido(esp)
```

Figura 67 – Teste de Comunicação na Esp32.
Fonte: Autoria Própria.

O canal 0, conecta-se ao módulo Max 31856, entretanto, como há uma grande quantidade de sensores, é utilizado um multiplexador analógico (ADG1607), para comutar os dados digitais de uma linha de entrada para diversas linhas de saída numa sequência temporal específica. Por meio deste multiplexador pode-se implementar uma quantidade

maior de pinos CS, permitindo a conexão de um número maior de dispositivos ao barramento SPI.

5.3.1 Placa de Circuito Impresso

Tendo o esquemático finalizado, como visualizado no Apêndice D figura 157, seguiu-se para o projeto da pcb no software Kicad, na qual, utilizou-se de 4 camadas para rotear as trilhas de acordo com a necessidade do posicionamento para cada componente, demonstrado na figura 68.

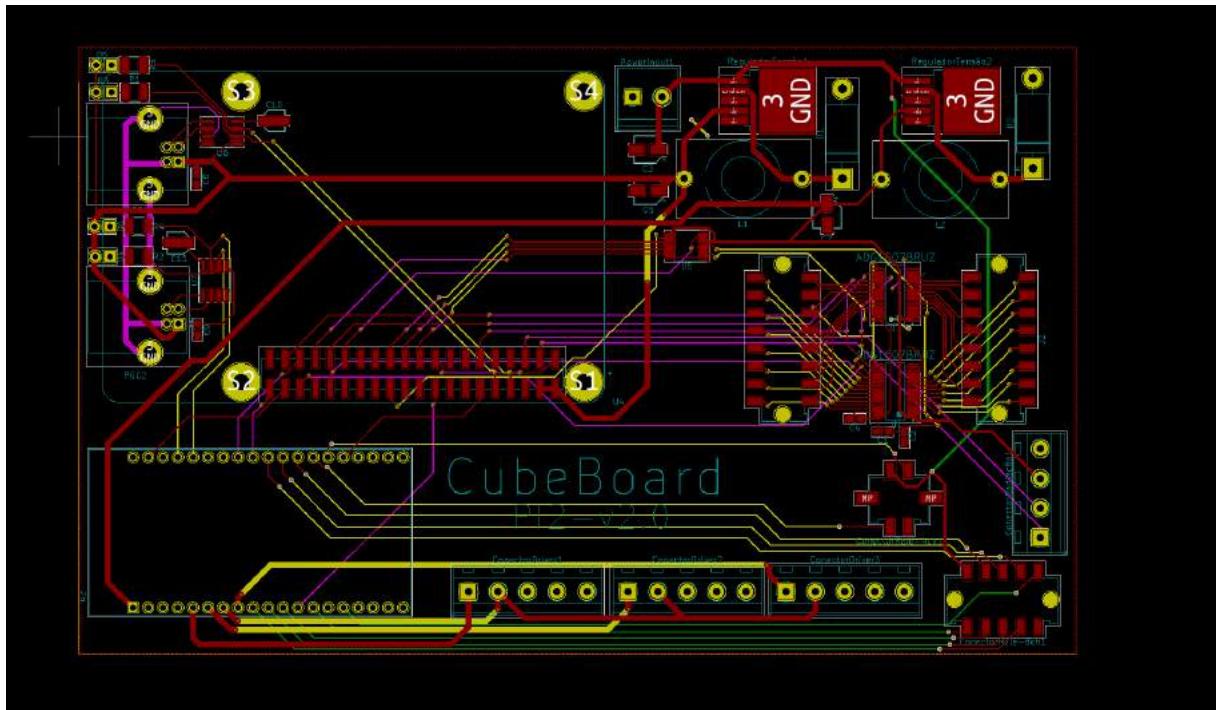


Figura 68 – Projeto da Placa do Circuito Eletrônico.

Fonte: Autoria Própria.

De acordo com a figura 68, os conectores para medição de radiação, drivers do motor e conexão para relé dos atuadores são posicionados nas bordas da placa. A Raspberry é montada em cima de mais dois conectores USB e seus circuitos conversores, respectivamente, além dos conectores para os termopares que são posicionados ao redor dos multiplexadores. A montagem em pilha, da Raspberry por cima dos componentes citados, é possível, pois há a existência de um espaço físico entre o conector embaixo da placa e a Raspberry, sendo que a raspberry pode ser disposta de forma mais elevada para que o circuito embaixo caiba na placa. Finalmente, realizou-se a simulação de Verificação de Regras de Design (em inglês: Design Rule Check) para checar a existência de problemas no design da placa que podem levar a algum tipo de problema futuro na aplicação do projeto. O resultado do DRC (Design Rule Check) pode ser acompanhado através da figura 69, que não aponta problemas de design.

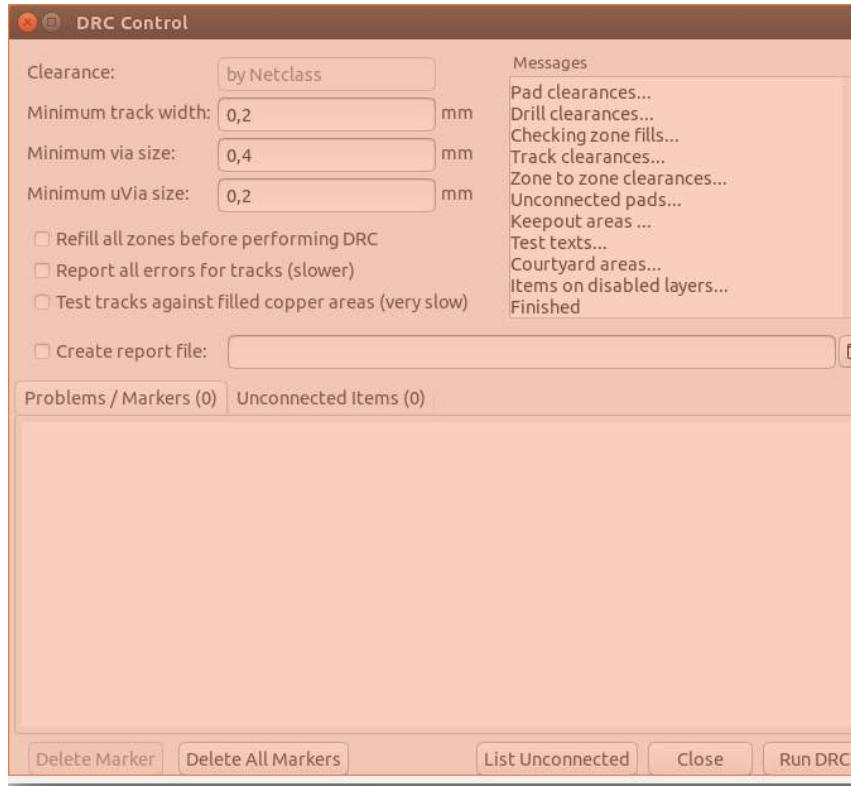


Figura 69 – Simulação DRC da PCB.

Fonte: Autoria Própria.

Verificado que a placa está sem anomalias em trilhas, componentes e disposição de vias, exportou-se a vista 3D para integração com estruturas nos cads, abordado no próximo capítulo. Visualiza-se a placa em 3D através da figura 70.

5.4 Arquitetura eletrônica

Na Figura 71 mostra as conexões do subsistema eletrônico.

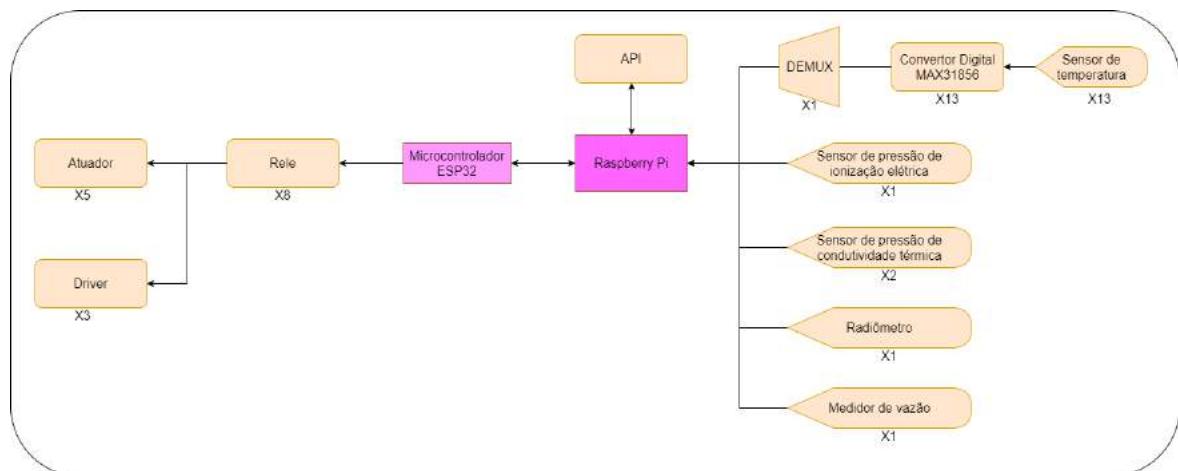


Figura 71 – Arquitetura da eletrônica

Fonte: Autoria Própria.

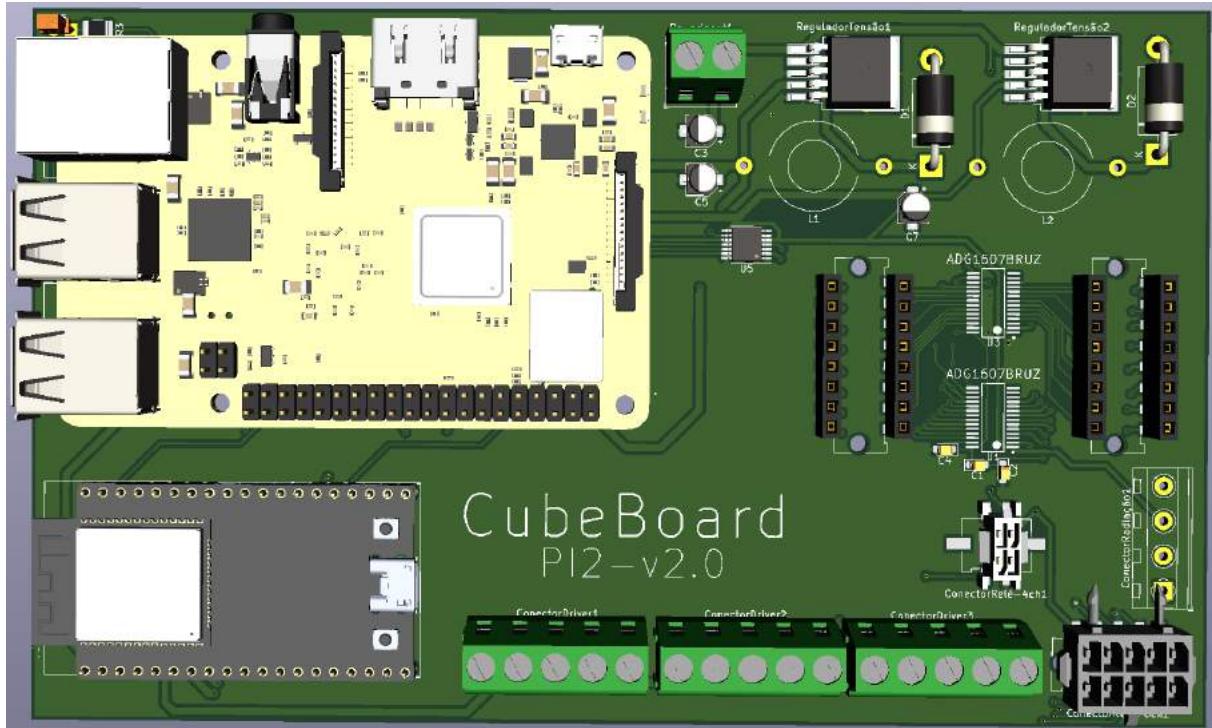


Figura 70 – Placa do Circuito Eletrônico 3D.

Fonte: Autoria Própria.

A unidade de *software* da eletrônica é dividida em *software* de controle e *software* de interface, suas funções estão descritas nas Tabs. 20 e 21, respectivamente. A Figura 72 mostra a arquitetura de *software* do sistema eletrônico baseados nos IDs das Tabs. 20 e 21.

Tabela 20 – Software de Controle.

ID	Funções
SC-01	Leitura de sensores de pressão
SC-02	Configuração de comunicação de sistema
SC-03	Controle de pressão
SC-04	Filtro adaptativo na leitura dos sensores
SC-05	Calibração de temperatura
SC-06	Controle de PID
SC-07	Controle de motor
SC-08	Controle dos atuadores
SC-09	Calibração de motor
SC-10	Calibração dos atuadores
SC-11	Serialização de dados
SC-12	Desserialização de dados

Fonte: Autoria própria.

Tabela 21 – Software de Interface (API).

ID	Funções
SI-01	Configuração de comunicação de sistema
SI-02	Serialização e desserialização de dados
SI-03	Definição de layout da tela do usuário
SI-04	Definição de layout da tela de configuração
SI-05	Geração e apresentação dos gráficos
SI-06	Sistema de exportação de dados
SI-07	Funções de configurações junto ao sistema operacional

Fonte: Autoria própria.

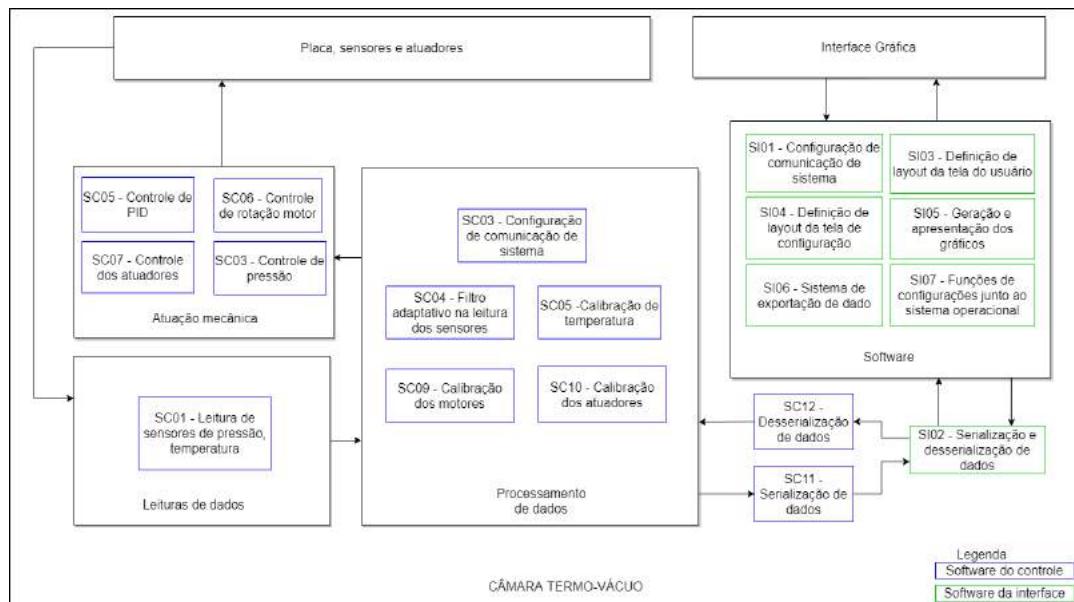


Figura 72 – Arquitetura de software da eletrônica

Fonte: Autoria Própria.

6 Solução de software

A visão geral do projeto consiste no desenvolvimento de uma aplicação *web* que facilite a execução e o monitoramento dos testes aplicados ao CubeSat, contido em uma câmara termo-vácuo. A aplicação tem como principais objetivos:

- Informar ao usuário sobre o estado da câmara para o início dos testes;
- Apresentar ao usuário os indicadores da câmara termo-vácuo, dentre eles a temperatura, pressão e nível dos tanques de gás;
- Informar sobre a saúde e aspectos de cada sensor contido na câmara;
- Gerar histórico e relatórios de testes.

Tanto para a coleta dos dados, quanto para a automatização de algumas tarefas da câmara termo-vácuo, a aplicação se comunicará com o sistema eletrônico integrado, possibilitando a visualização dos indicadores em tempo real e o armazenamento dos dados para análises futuras.

A aplicação também tem como opção executar algumas ações que interferem na missão, como rotacionar o CubeSat.

6.1 Documento de Visão

Para uma visão e entendimento do produto complementar, realizou-se a confecção de um documento de visão, junto aos *stakeholders*, conforme *template* proposto pela ([CORPORATION, 2017](#)). Seu conteúdo pode ser localizado no apêndice E.

6.2 Arquitetura de Software

A seguir são expostos conceitos e tecnologias envolvidas no desenvolvimento e aplicação no projeto, a exposição da arquitetura geral e os diagramas expositivos, com o objetivo de auxiliar na produção do software. Para um maior detalhamento das decisões tomadas no projeto, consulte o conteúdo presente no Apêndice F, sobre as decisões arquiteturais.

6.2.1 Arquitetura Cliente-Servidor

A arquitetura Cliente-Servidor funciona como uma estrutura de processos - que são os servidores - para oferecer serviços aos processos de usuários - que são os clientes - , em que esta comunicação requisição/resposta é realizada por meio de mensagens e protocolos ([UFSC, 2012](#)). Essa arquitetura funciona com o envio de uma requisição por parte do cliente (obtenção dos dados) ao servidor (manutenção da informação). Em seguida, o servidor executa as ações respectivas e envia sua resposta ao cliente ([BASTOS, 2012](#)). Ela será utilizada então no projeto, pois permite a expansão dos serviços para outros computadores ou celulares, permitindo inclusive a troca do computador sem necessidade de *backup*. Nessa arquitetura, o lado cliente fica responsável pela interação com o usuários, levando em questão por exemplo preocupações como usabilidade e outras atividades da Interação Humano Computador (IHC), além disso, deve seguir o protocolo HTTP (Hypertext Transfer Protocol) para envio de requisições para o servidor.

6.2.2 WebSocket

WebSocket é uma tecnologia que permite a comunicação bidirecional por canais *full-duplex* sobre um único soquete, chamado de *Transmission Control Protocol* (TCP). Essa tecnologia surgiu devido a um problema recorrente na *web*: a comunicação entre cliente e servidor era lenta e de alta latência. Isso ocorre porque a partir do momento em que são realizadas requisições utilizando o HTTP clássico, quando o cliente ou o servidor recebem ou enviam uma informação demandada, uma ação só é realizada mediante a espera de uma resposta, além de que após cada ação ou mensagem, a conexão é encerrada. Logo, a cada troca de informação deve ser realizada outra conexão, demandando mais tempo. O Websocket foi desenvolvido então para ser uma ponte de comunicação constante entre o cliente e o servidor, mantendo essa conexão ativa e rápida.

A especificação WebSocket define uma API que estabelece conexões de soquete entre um navegador da *web* e um servidor de forma a estabelecer conexões contínuas. Em outras palavras, há uma conexão persistente entre o cliente e o servidor e ambas as partes podem começar a enviar dados a qualquer momento ([UBL; KITAMURA, 2010](#)). No projeto, seu uso permitirá que os dados demandados para um experimento sejam processados e visualizados com mais rapidez, melhorando então sua performance.

6.2.3 Raspberry

Raspberry é uma marca de computadores com *hardware* em uma placa única e tamanho reduzido. Um dos produtos, a Raspberry Pi, possui um sistema operacional atrelado que permite o desenvolvimento de diversas funcionalidades ([RASPBERRY, 2020](#)). No projeto, será realizada a integração do *hardware* com o *software* por meio de comunicação

via API, conforme é ilustrado nas Figs. 71 e 72. Essa comunicação consistirá em mensagens no formato JSON sobre os dados dos sensores a serem recebidos pelo módulo em NodeJS para serem posteriormente visualizados pelo pesquisador após um experimento no módulo em ReactJS.

6.2.4 Bancos de Dados No-SQL

Bancos de dados não relacionais (NoSQL) são modelos que fogem dos modelos relacionais (SQL) consolidados. Os bancos de dados NoSQL são amplamente reconhecidos por sua facilidade de desenvolvimento, funcionalidade e performance em escala (CÂNDIDO, 2017). Os bancos de dados NoSQL usam uma variedade de modelos de dados para acessar e gerenciar os dados. Esses tipos de banco de dados são otimizados para aplicativos que apresentam grande volume de dados, baixa latência e flexibilidade (AWS, 2020b). Logo, pela necessidade de análise de dados com a variável de tempo, nota-se a necessidade de adaptação a este tipo de tecnologia para melhor aproveitamento ao escopo do projeto.

6.2.5 Padrão Arquitetural MVC

O MVC (Model-View-Controller) é um padrão arquitetural amplamente utilizado em sistemas *web*. Além da alta manutenibilidade provida por este padrão, muitos *frameworks* web já facilitam sua implementação, o que torna desnecessário 'reinventar a roda', para comunicação entre as camadas do padrão, por exemplo, reutilizando implementações já realizadas no *framework*. Essas tecnologias possuem também uma curva de aprendizado que facilita sua utilização em projetos de curto prazo. Facilita ainda, a organização, reutilização de classes e partes do projeto, permitindo também uma alta coesão e baixo acoplamento a nível de código (MEDIA, 2013).

6.2.6 Arquitetura Geral

Se baseando nos conceitos estudados, a arquitetura a seguir é proposta.

Ela consiste em uma arquitetura Cliente-Servidor, em que, o servidor, também citado neste texto como *BackEnd* será uma aplicação *web* embutida na Raspberry, facilitando a sua integração com os sensores e diminuindo o tempo de resposta para o cliente, implementando também um *Websocket*, com protocolo HTTP para geração dessas respostas.

A Figura 73 expõe os módulos macro da aplicação, ou seja, o BackEnd, o banco de dados e o FrontEnd e suas interações e troca de informações durante a execução do software.

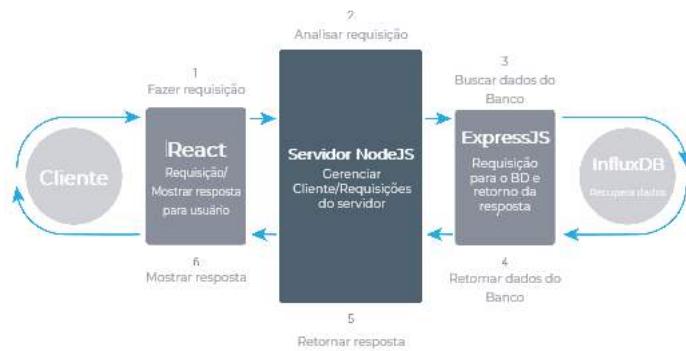


Figura 73 – Arquitetura da aplicação com os módulos macro de FrontEnd e BackEnd.
Fonte: Autoria Própria.

Enquanto isso, a Figura 74 expõe a arquitetura geral com os módulos de integração, bem como as tecnologias utilizadas para que o desenvolvimento seja possível de forma mais prática.

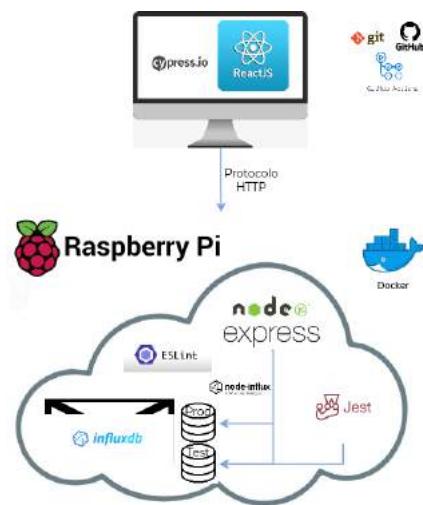


Figura 74 – Diagrama da arquitetura geral com as tecnologias a serem utilizadas.
Fonte: Autoria Própria.

A arquitetura proposta possui o seguinte fluxo de funcionamento:

1. Quando o usuário inicia a interação com a aplicação, é realizada uma movimentação de dados entre a interface em React para a API em NodeJS, em forma de requisição;
2. Em seguida, a API, em constante comunicação com o banco de dados, solicita esses dados para o módulo da Raspberry, que retorna a resposta sobre os sensores em JSON;
3. Após receber a resposta, a API retorna a mensagem para o FrontEnd em ReactJS;
4. Recebendo os dados demandados, o Frontend permite que o usuário visualize as informações.

6.2.7 Diagramas expositivos sobre a aplicação

Nas seções abaixo, foram desenvolvidos diagramas para auxiliar no desenvolvimento da aplicação e expor seus detalhes.

6.2.7.1 Diagrama de caso de uso

Para mapear quais serão as interações do usuário com o sistema, e as interações do sistema com o usuário, foi utilizado o levantamento de casos de uso e seus atores. Os atores do projeto são:

Usuário: Pesquisador ou profissional da área de desenvolvimento tecnológico em simulações espaciais.

Aplicação: Sistema *web* para monitoramento e visualização de dados de experimentos.

No diagrama desenvolvido, exposto pela Fig. 75 observa-se parte dos casos de uso do produto, com as interações principais da aplicação e seus respectivos atores.

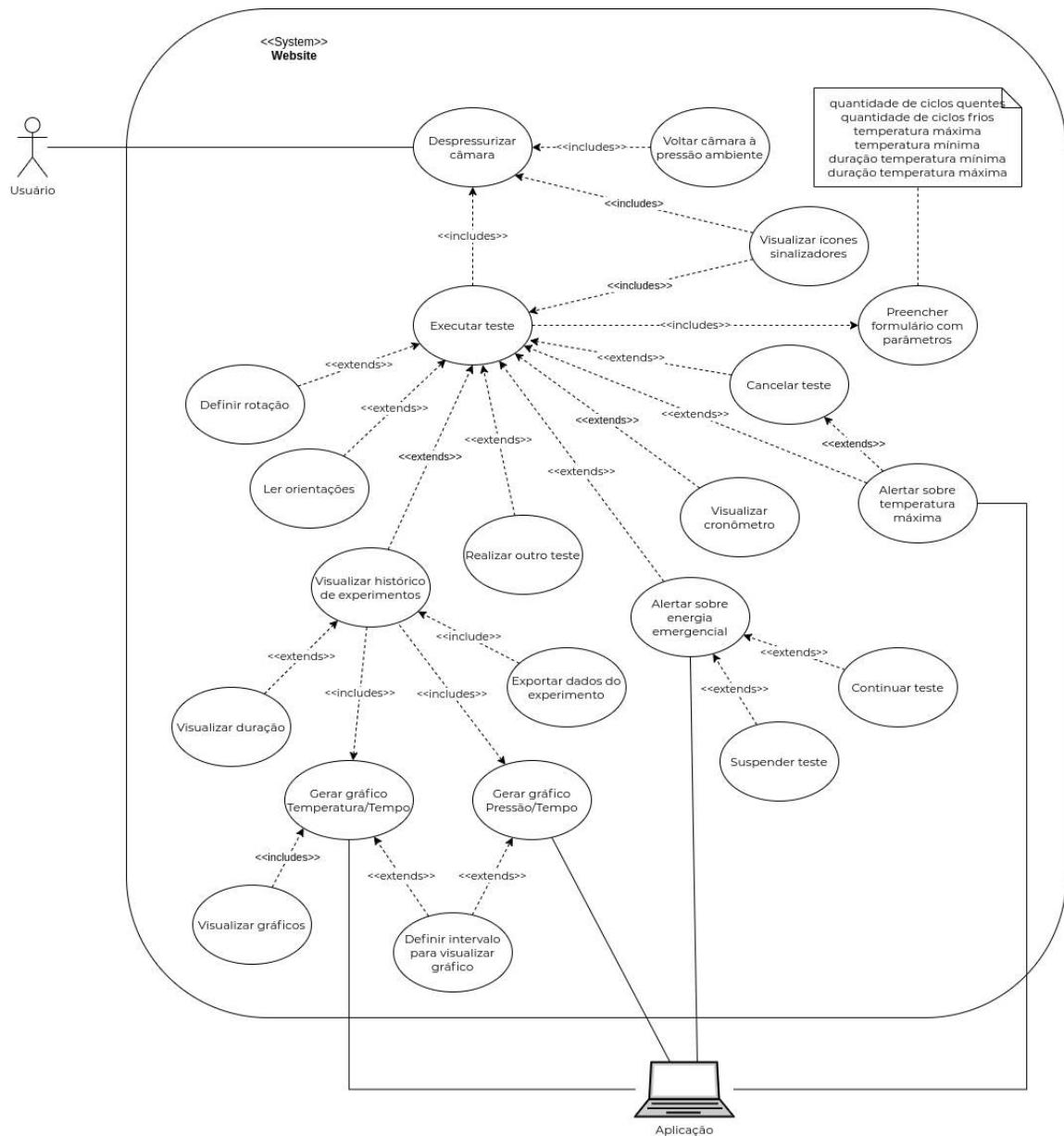


Figura 75 – Diagrama de casos de uso sobre as principais interações do usuário com a aplicação.

Fonte: Autoria Própria.

Além disso, os casos de uso ilustrados são baseados de acordo com a lista de requisitos criada junto aos *stakeholders*. Na Fig. 76, a segunda parte dos casos de uso são expostos.

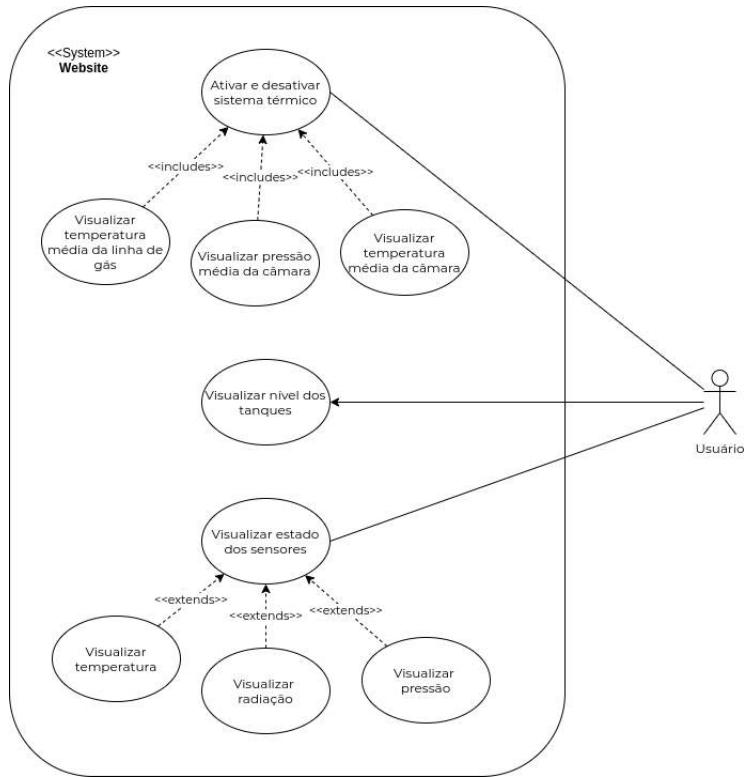


Figura 76 – Diagrama de casos de uso sobre a segunda parte das funcionalidades do usuário.

Fonte: Autoria Própria.

6.2.7.2 Diagrama de Sequência

O diagrama de sequência é uma forma dinâmica de modelagem em UML que busca detalhar processos, ações, objetos e mensagens trocadas entre eles para desempenhar uma função antes do término do processo demandado (CHART, 2020b). Logo, o diagrama de sequência, ilustrado na Fig. 77, busca relatar os principais processos e métodos demandados na aplicação.

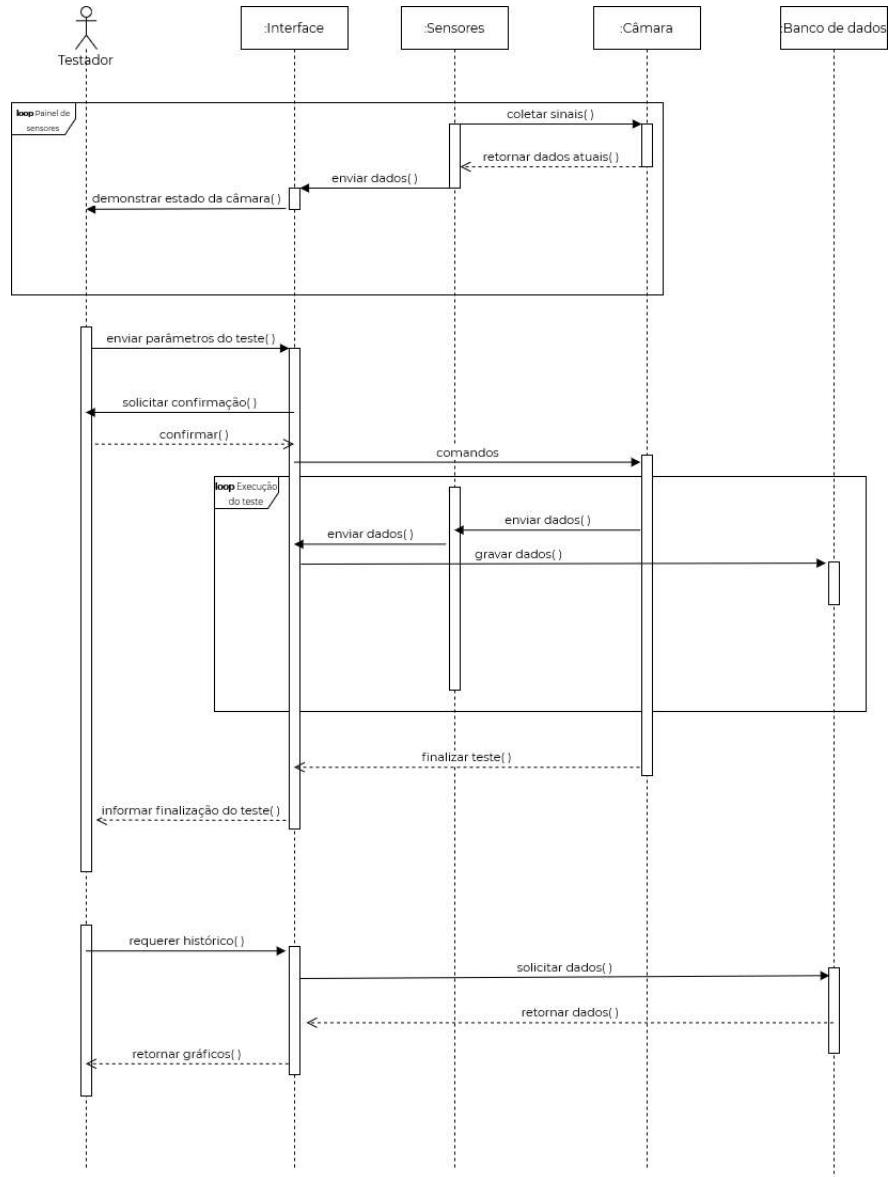


Figura 77 – Diagrama de sequência.

Fonte: Autoria Própria.

6.2.7.3 Diagramas de Pacote

Como parte da contextualização da arquitetura, diagramas de pacotes do *FrontEnd* e do *BackEnd* foram desenvolvidos abaixo para auxiliar no entendimento do funcionamento dos *frameworks* utilizados.

O diagrama de pacotes do *BackEnd*, ilustrado na Fig. 78, segue os padrões de desenvolvimento em NodeJS, em que os diretórios têm seus respectivos objetivos para organização da arquitetura.

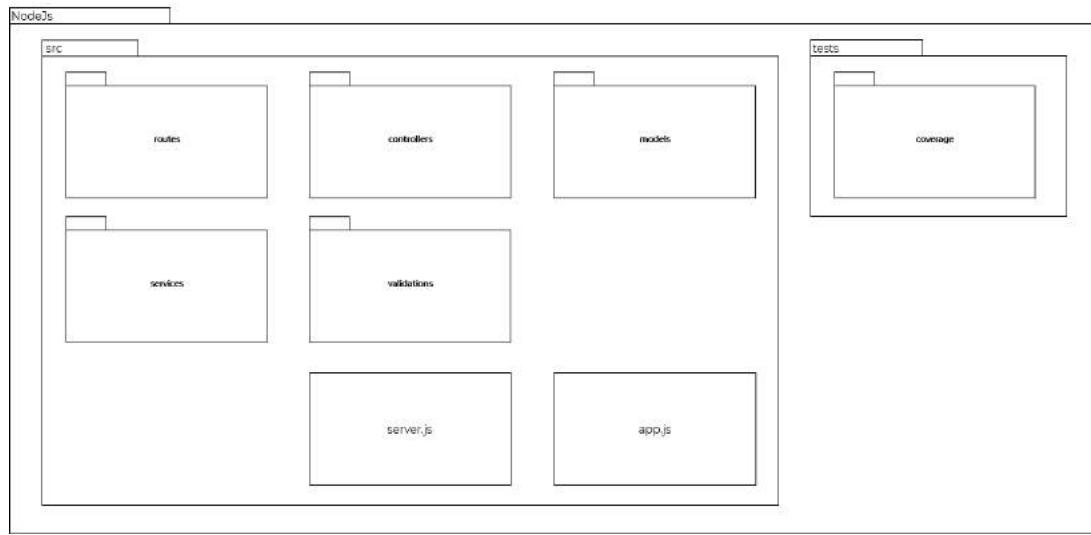


Figura 78 – Diagrama de pacotes referente ao Backend.

Fonte: Autoria Própria.

O pacote do BackEnd contém os seguintes diretórios e suas respectivas responsabilidades:

- `src`: Onde se encontram os arquivos relacionados ao desenvolvimento do projeto.
 - `routes`: Onde se encontram as rotas do projeto;
 - `controllers`: Onde se encontram as funções das rotas;
 - `models`: Onde se encontram os objetos do banco de dados;
 - `services`: Onde se encontram as funções atômicas do projeto;
 - `validations`: Onde se encontram as validações das rotas;
 - `app.js`: Arquivo inicializador do projeto;
 - `server.js`: Onde ficam as configurações do servidor para executar o projeto.
- `tests`: Onde se encontram os arquivos relacionados aos testes do projeto.
 - `coverage`: Onde se encontram os resultados dos testes.

Da mesma forma que o *Backend*, o diagrama de pacotes do *FrontEnd*, ilustrado na Fig. 79, segue os padrões de desenvolvimento em ReactJS.

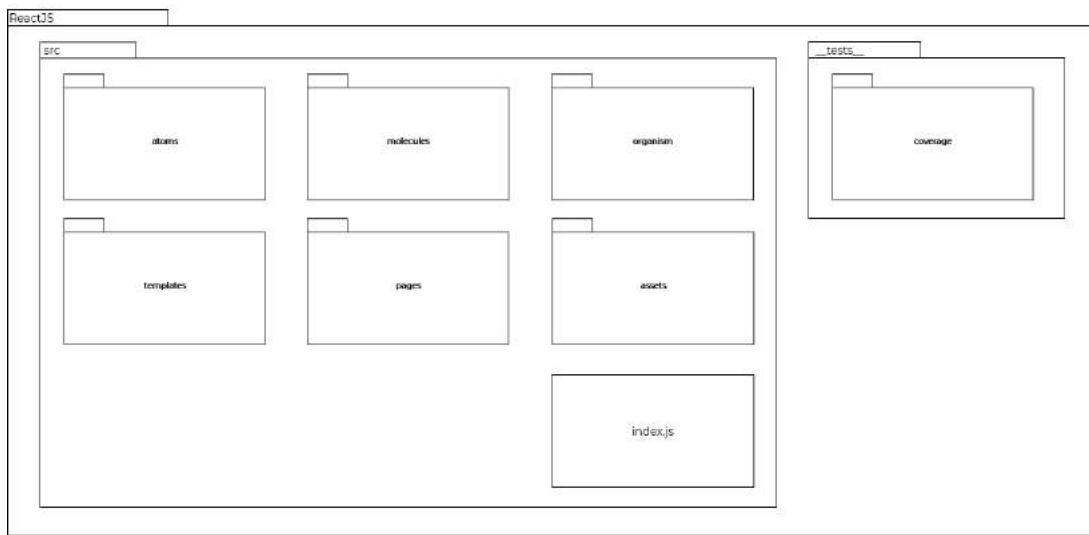


Figura 79 – Diagrama de pacotes referente ao FrontEnd.

Fonte: Autoria Própria.

O pacote do FrontEnd contém os seguintes diretórios e suas respectivas responsabilidades:

- src: Onde se encontram os arquivos relacionados ao desenvolvimento do projeto.
 - atoms: Onde se encontram os componentes menores do projeto;
 - molecules: Onde se encontram os conjuntos dos átomos;
 - organism: Onde se encontram os conjuntos de moléculas, já funcionais;
 - templates: Onde se encontram os layouts das páginas;
 - assets: Onde se encontram as mídias do projeto;
 - index: Arquivo inicializador do projeto.
- tests: Onde se encontram os arquivos relacionados aos testes do projeto.
 - coverage: Onde se encontram os resultados dos testes.

6.2.7.4 Diagrama de Classes

Uma das formas de documentar a arquitetura de um software, é por meio dos Diagramas de Classe. Eles mapeiam de forma clara a estrutura de um determinado sistema ao planejar suas classes, seus atributos, operações e relações entre objetos (CHART, 2020a). Com a sua criação prévia ao desenvolvimento, é possível manter o planejamento dos padrões de código e a organização entre os desenvolvedores.

A seguir é exposto então o diagrama de classes desenvolvido para o produto de software proposto.

- TypeSensor:
 - idTypeSensor
 - name
- Sensor:
 - ID (primary key)
 - typeSensor (foreign key)
 - data[]
 - * time (primary key)
 - * experiment (foreing key)
 - * value
- TypeExperiment:
 - idTypeExperiment
 - name
- Experiment
 - ID (primary key)
 - name
 - date
 - typeExperiment (foreign key)
 - parameters (temp min, temp max, ciclos, duração)

A Figura 80 ilustra a modelagem do banco de dados, além de que, de acordo com o contexto da visão de produto, aborda a relação dos sensores com os experimentos, que são essenciais para o cumprimento dos requisitos.

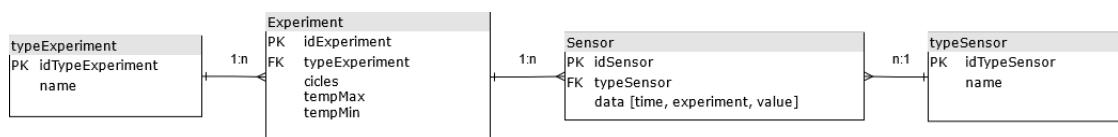


Figura 80 – Modelagem do banco de dados.
Fonte: Autoria Própria.

6.2.8 Tecnologias utilizadas na aplicação

A seguir, são expostas as tecnologias a serem utilizadas durante o projeto. Buscou-se também introduzir as tecnologias e seu respectivo uso.

6.2.8.1 ReactJS

O React é uma biblioteca da linguagem JavaScript, desenvolvida pelo Facebook, que atua na criação de aplicações web. Sua arquitetura orientada a componentes permite uma reutilização de elementos, aumentando a performance e diminuindo o retrabalho durante o desenvolvimento. Ele trabalha de forma declarativa, renderizando apenas os dados relevantes à situação demandada, de forma eficiente e flexível, possibilitando a criação de interações complexas ([REACT, 2020](#)).

No projeto, o React será usado para desenvolver a interface para comunicação com o usuário, por meio da aplicação a ser desenvolvida, recebendo requisições do *BackEnd* em Node, bem como sendo utilizado seu teor de HTML, CSS e JavaScript para servir de interface com o usuário. O React, por possuir uma curva de aprendizado menor, além de reduzir o escopo de subir um servidor, mantém a rede local a fim de manter a segurança ao acessar a aplicação. Além disso, por ser um *framework* para desenvolvimento *web*, vai ao encontro de aplicações semelhantes e ao consequente contexto do pesquisador, não havendo necessidade de se elaborar um aplicativo mobile para os fins do escopo.

6.2.8.2 Cypress

O Cypress.io é um *framework* de testes automatizados *end-to-end*, ou seja, é uma forma de realizar testes para verificar se o fluxo de uma aplicação está conforme o esperado, testando todos os conteúdos que são executados em um navegador, incluindo aplicações com estruturas modernas de Javascript ([BERÇAM, 2019](#)). Algumas de suas principais funcionalidades é capturar *screenshots* das telas enquanto os testes são executados, mantendo a rastreabilidade dos passos, além de possuir uma interface para corrigir possíveis erros e de atualizar a execução dos testes em tempo real, em caso de alterações ([CYPRESS, 2020](#)). No projeto, ele será utilizado como forma de melhorar a qualidade do software, por meio dos testes de usabilidade no *FrontEnd*.

6.2.8.3 Chart.JS

Chart.JS é uma biblioteca de código livre que auxilia na geração e visualização de dados por meio de gráficos funcionais e com design responsivo, utilizando Javascript ([MUNDOJS, 2021](#)). A biblioteca oferece uma variedade de tipos de gráfico, incluindo gráficos de barra, linhas, bolhas, entre outros ([BJERROME, 2021](#)). No projeto, a biblioteca será utilizada para a geração de gráficos para cumprir a funcionalidade de visualização dos gráficos mediante experimento selecionado.

6.2.8.4 NodeJS

O NodeJS é um *framework* do JavaScript que permite a criação de aplicativos escalonáveis, baseado em eventos assíncronos ([NODE, 2020a](#)). A principal característica

do NodeJS é que sua execução é *single-thread*, em que uma *thread* apenas executa o código Javascript. Isso permite uma melhor performance, visto que para cada requisição recebida não é criada uma nova *thread* para tratá-la, mas sim, uma espécie de fila de eventos, chamado de Event Loop, ou seja, será demandado menos recursos computacionais. A Figura 81 ilustra esse comportamento.

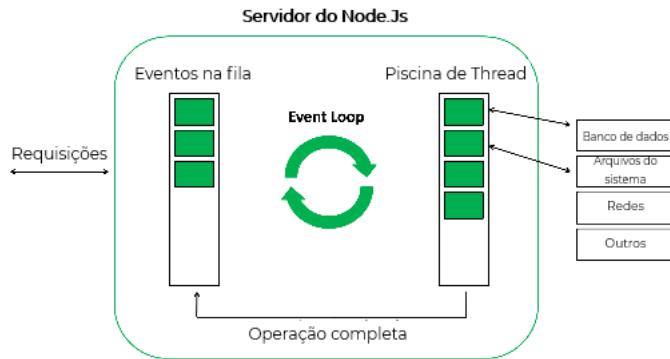


Figura 81 – Funcionamento da *Single Thread* do NodeJS.
Fonte: Autoria Própria.

No projeto, visto que serão demandadas diversas requisições para captação dos dados dos sensores da câmara e da linha de gás, o ato de *single-thread* poderá atuar de forma eficiente pelo contexto (NODE, 2020b).

6.2.8.4.1 Node Express

O Express é um *framework* para aplicativos *web* utilizando Node.js, que fornece um conjunto robusto de recursos para aplicativos (EXPRESS, 2020). Ele facilita o desenvolvimento de APIs, visto que oferece funções práticas e encaminhadas para esse fim, que é uma necessidade do projeto.

6.2.8.5 Jest

Jest é um *framework* de testes, utilizado amplamente de forma a facilitar uma melhora na qualidade do software. Ele permite uma fácil configuração, a criação de testes, execução paralela e geração de relatórios de cobertura. Em NodeJS tem-se a disponibilidade de usar também a suíte de testes Jest que possibilita a automação destes. Assim, é esperado que sejam realizados testes unitários para garantir a confiabilidade das funções atômicas (JEST, 2020).

6.2.8.6 Banco de Dados InfluxDB

O InfluxDB é uma plataforma especializada em séries temporais, ou seja, trabalha para lidar com uma série de observações feitas sequencialmente ao longo do tempo

(MIGON, 2020). Essa tecnologia contém, além do próprio banco de dados No-SQL, uma interface e disponibilização de gráficos, por meio da página *web* Chronograf (INFLUXDB, 2020). Além disso, ele possui a biblioteca node-influx para manipulação dos dados em NodeJS.

Logo, ele é muitas vezes designado para lidar com um alto volume de consultas e escritas por segundo sem causar muito impacto no sistema operacional (BITENCOURT, 2020; DATA, 2020). Assim, o InfluxDB foi escolhido para este fim, pois além de se tratar de um banco No-SQL voltado para séries temporais, buscará otimizar a análise dos dados, visto que terão vários registros para manter a análise em tempo real, como a temperatura, pressão e a radiação.

6.2.8.6.1 Node-influx

O node-influx é uma biblioteca NodeJS que servirá de interface entre a aplicação e o banco de dados. A biblioteca fornece uma interface que facilita o desenvolvimento, já que ela provê funções prontas para uso e permite que sejam realizadas ações com as *queries* do banco de dados (LIBRARY, 2020). No projeto, aliada ao *Backend* em Node, há a possibilidade de otimizar tanto o armazenamento quanto a utilização dos dados dos sensores em tempo real.

6.2.8.7 ESLint

Será utilizada a ferramenta do ESLint para análise estática do código, bem para manter um folha de estilo padrão de desenvolvimento em NodeJS e ReactJS. Dessa forma, é possível obter uma facilidade tanto no desenvolvimento quanto na manutenção do código, pois a ferramenta provê meios para encontrar e até consertar erros na escrita do código, sendo possível inclusive configurá-la à preferência do desenvolvedor, melhorando a confiabilidade e manutenibilidade do código e consequentemente do projeto (ESLINT, 2020).

6.2.9 Automação de entrega de Software

Para permitir o trabalho colaborativo e paralelo entre equipes, de trabalhar com automação, seja com o aumento da capacidade em liberar versões do sistema, ou com a ação de gerar *releases* ou entregas, com mais qualidade e executar o sistema em qualquer ambiente e de forma coerente, algumas tecnologias foram escolhidas e exploradas durante o projeto. Elas são expostas nas seções abaixo.

6.2.9.1 Github

O Github é uma plataforma de colaboração e controle de versão de materiais, sejam eles código fonte ou documentação. Com essa ferramenta é possível toda uma equipe desenvolver um projeto ao mesmo tempo sem afetar o trabalho das pessoas diretamente, possibilitando um melhor aproveitamento de tempo e centralização de conteúdo ([GITHUB, 2020](#)). No projeto, todos os códigos da aplicação serão armazenados e desenvolvidos no Github, bem como ocorrerá o gerenciamento de tarefas, rastreamento de funcionalidades e uso para a integração contínua utilizando a extensão do Github, o Github Actions ([ACTIONS, 2020](#)).

6.2.9.2 Docker

O Docker é uma ferramenta de orquestração de contêineres, que utilizam a virtualização para isolar dependências, conteúdos e arquivos de configuração. Ele permite a reutilização de materiais, possibilitando a facilidade para uma equipe utilizar um ambiente de desenvolvimento idêntico, a fim de evitar erros ou conflitos em dependências. No projeto, toda a equipe é familiarizada com a ferramenta e ele será utilizado para preparar o ambiente de desenvolvimento, bem como permitir que toda a equipe esteja integrada com o software e automatizar o processo de entrega do produto ([DOCKER, 2020](#)).

6.2.9.3 Integração contínua

A integração contínua é uma prática de desenvolvimento de software de DevOps ([AWS, 2020c](#)), em que os desenvolvedores, com frequência, reúnem suas alterações de código no repositório central. Depois disso, para controle de qualidade, são criados testes. Geralmente a integração contínua envolve a etapa do desenvolvimento chamada *Pull Request*, especificamente na plataforma Github. Isso ocorre para evitar que funcionalidades sejam submetidas ao repositório mais estável sem verificações ou trechos de códigos com *bugs* ou funcionalidades com comportamento não esperado, melhorando portanto, a qualidade do software ([AWS, 2020a](#)). O fluxo completo da cultura DevOps é ilustrado na Fig. 82, em que há a configuração de um ambiente padronizado entre a equipe; a realização de alterações e testá-las e por fim, assim que essas mudanças estiverem testadas e validadas uma entrega com uma versão do produto pode ser realizada.

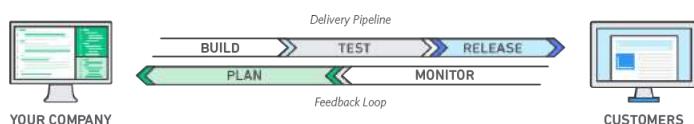


Figura 82 – Fluxo das práticas Devops.

Fonte: ([AWS, 2020c](#)).

6.3 Proposta de inovação

O projeto propõe sua solução de software com alguns pontos de inovação. Esses pontos são descritos nas seções abaixo.

6.3.1 Usabilidade

Além da própria proposta do projeto geral, e da automatização de várias etapas por parte da aplicação, é necessário pensar cuidadosamente sobre cada etapa dos experimentos, a fim de facilitar ao máximo o trabalho do usuário.

Por isso, as informações estão dispostas de forma a não poluir a tela e mostrar apenas os itens indispensáveis durante cada fase. Assim, na tela principal são dispostas apenas as médias das temperaturas e o status do andamento de cada fase dos testes, e em demais telas são dispostos os dados individuais de cada sensor e gráficos gerados em cada experimento. Dessa forma, o sistema se torna mais intuitivo e consequentemente, há uma melhoria na experiência do usuário.

6.3.2 InfluxDB

O banco de dados não relacional InfluxDB vem para suprir a necessidade de uma rapidez no processamento e recebimento de dados por tempo. Como a aplicação demanda dados recorrentes em um curto período de tempo, o banco de dados para séries temporais é uma necessidade para o projeto.

Além disso, uma outra característica do InfluxDB é o fato de compactar dados antigos para economizar espaço. Dessa forma, o banco de dados pode armazenar anos de estatística sem um consumo elevado ([BITENCOURT, 2020](#)).

O banco InfluxDB, foi cogitado a ser descartado por seu uso complexo e falta de experiência com o mesmo, o que gerou dúvidas técnicas em um intervalo de tempo de duas semanas. Porém, por ser uma tecnologia importante para o contexto, demandou uma maior persistência recompensada com os resultados esperados.

Assim, o banco que foi posto em outro contêiner é executado na porta 8086 no servidor da aplicação, contendo uma interface gráfica própria e independente que também dispõe de ferramentas como gráficos e filtros para a visualização dos dados. Na Fig. 83 e 84, é possível visualizar os dados armazenados no banco, apresentados pela sua ferramenta de gráficos.

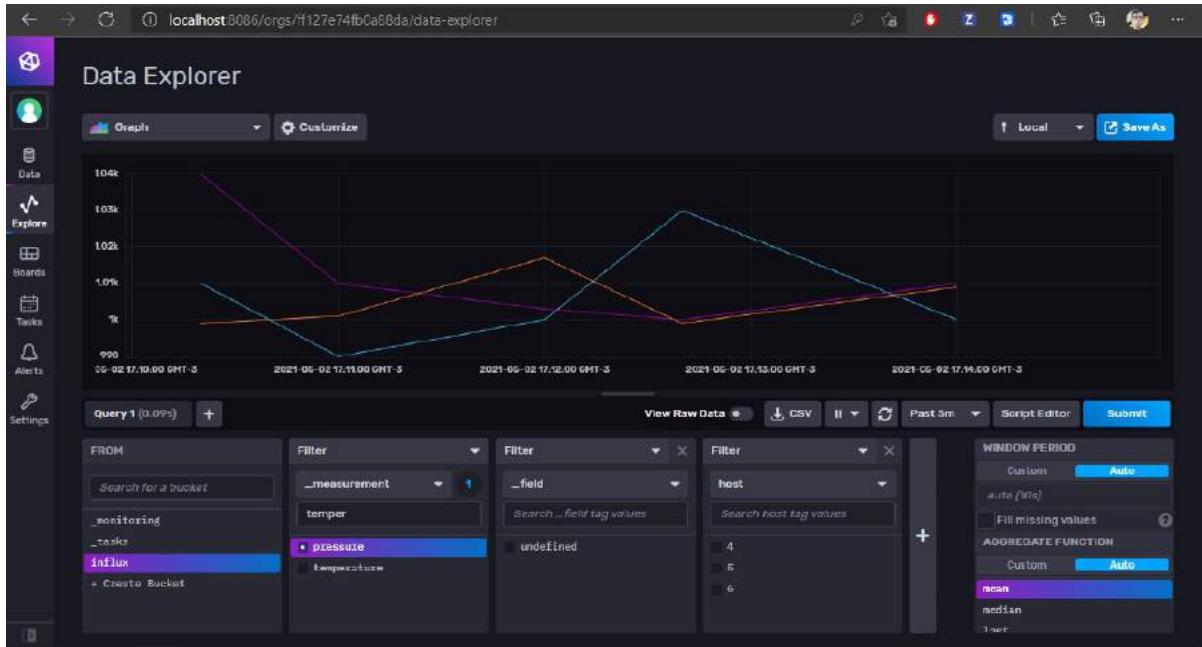


Figura 83 – Gráfico com dados das pressões obtidas.

Fonte: Autoria Própria.

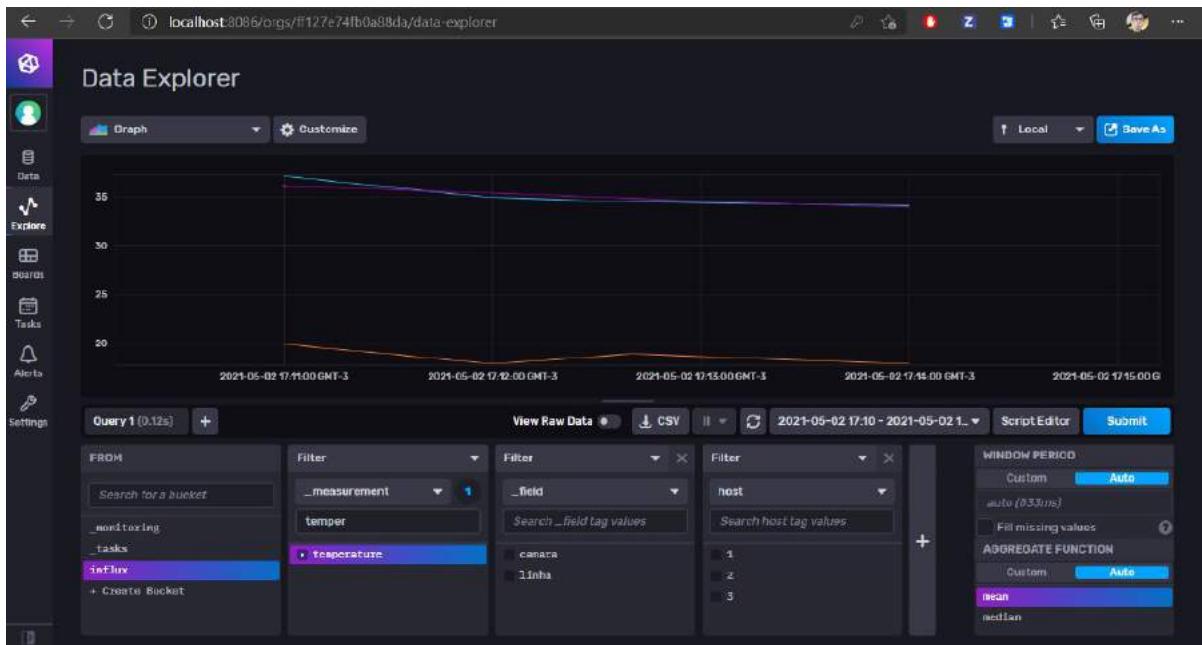


Figura 84 – Gráfico com dados das temperaturas obtidas.

Fonte: Autoria Própria.

Todos os dados dos sensores são armazenados no mesmo conjunto de dados temporais em série. Na Fig. 83, foi feita uma pesquisa dos dados de pressão, enquanto na Fig. 84 os de temperatura. Porém é possível identificar as particularidades do dado pelos seus outros atributos, o que simplificou a modelagem e facilitou o uso do banco, mantendo sua proposta.

6.3.3 Cultura DevOps

A cultura DevOps é a combinação de filosofias culturais, práticas e ferramentas que aumentam a capacidade de uma empresa de distribuir aplicativos e serviços em alta velocidade. Essa velocidade permite que as empresas atendam melhor aos seus clientes e consigam competir de modo mais eficaz no mercado ([AWS, 2020c](#)).

No projeto, as práticas se resumem à automatização de processos, que feitos de forma manual são lentos e passíveis de erros mais frequentes. Com a integração contínua, por exemplo, podemos aumentar a frequência de entregas de versão e aperfeiçoar e lançar o produto de forma rápida e confiável. Isso ocorre no projeto com a utilização de ferramentas, como o Docker, para a configuração do ambiente padrão, o Github para a união de código entre equipes e o Github Actions, para executar os testes de integração, como ilustra a Fig. 85, cuja interface permite a visualização das ações de testes em blocos.



Figura 85 – Captura de tela com demonstração da pipeline de integração contínua.
Fonte: Autoria própria.

6.4 Arquitetura da Informação - Prototipagem

Para validar as funcionalidades da aplicação, foi desenvolvido um protótipo de baixa fidelidade utilizando o Draw¹, e posteriormente o Paint, para validar um *design* inicial e as principais funcionalidades, além de auxiliar no entendimento da visão do produto. Em seguida, foi desenvolvido um protótipo de alta fidelidade utilizando o software Figma², em que foram elaboradas funcionalidades com mais estilização e pensando na experiência do usuário, bem como utilizando também uma paleta de cores, com um *design* baseado em softwares similares, como o OpenMCT - Open Source Mission Control Software ([NASA, 2021](#)).

Algumas telas principais serão apresentadas nesta seção e têm como objetivo ilustrar as principais funcionalidades. Para estilizar o protótipo, é proposta uma paleta de cores, ilustrada na Fig. 86.

¹ draw.io

² figma.com



Figura 86 – Paleta de cores para a aplicação.

Fonte: (ADOBE, 2021).

A Figura 87 ilustra o painel com as opções que o usuário pode realizar, como realizar o teste de ciclagem térmica, visualizar os sensores, o histórico de experimentos, bem como informar ao usuário que a câmara está com pressão ambiente, controlar a rotação, ligar a lâmpada solar e visualizar as temperaturas médias da câmara e da linha gás e a pressão média da câmara.

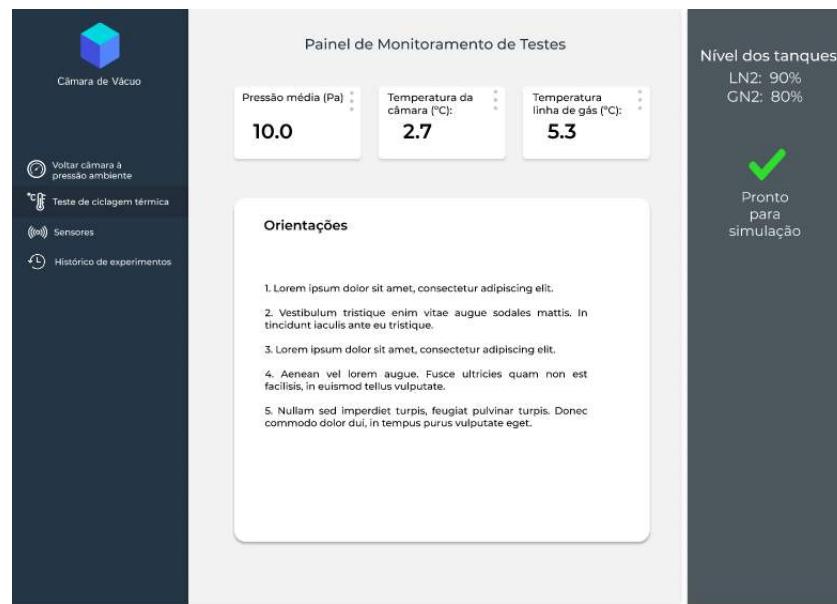


Figura 87 – Tela do Painel inicial.

Fonte: Autoria Própria.

A Figura 88 ilustra a tela em que o usuário define e insere os parâmetros a serem utilizados durante o teste.

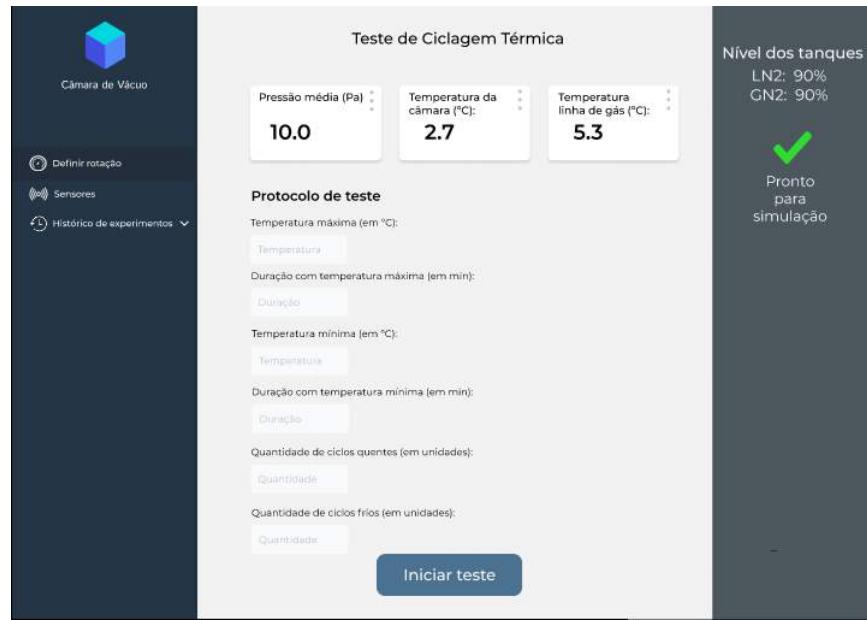


Figura 88 – Tela da definição dos parâmetros a serem realizados no teste.
Fonte: Autoria Própria.

A Figura 89 ilustra a tela em que é possível visualizar os dados e gráficos gerados durante um experimento, armazenando então dados como pressão, temperatura e duração, além de permitir a exportação desses dados para um arquivo externo.

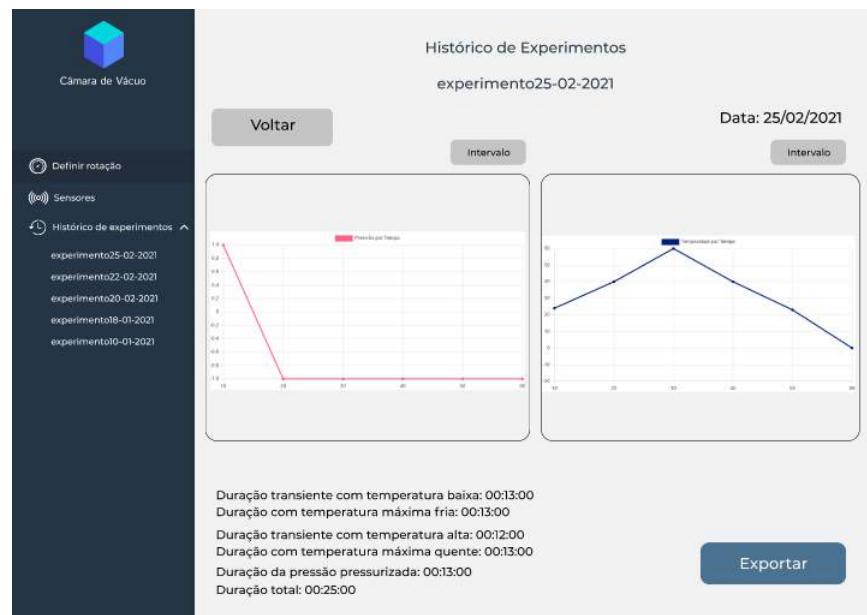


Figura 89 – Tela que disponibiliza o histórico dos experimentos realizados.
Fonte: Autoria Própria.

A Figura 90 ilustra a tela em que o usuário pode visualizar os sensores envolvidos, bem como conferir sua conexão e dados qualitativos, como pressão, temperatura ou radiação.

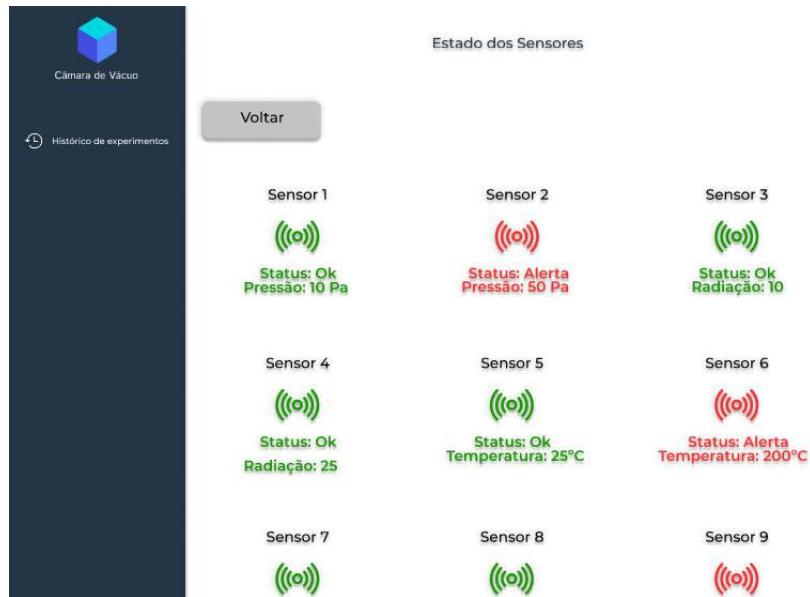


Figura 90 – Tela que apresenta os sensores da câmara.
Fonte: Autoria Própria.

A versão completa do protótipo de alta fidelidade para visualização e testes está disponível [clicando aqui](#).

7 Integração

7.1 Visão Geral

O diagrama de integração da solução proposta está apresentada no apêndice [G](#). Nesse diagrama é possível observar cinco interfaces de integração, sendo elas:

- Software e Eletrônica
- Software e Energia
- Eletrônica e Estruturas
- Eletrônica e Energia
- Estruturas e Energia

Cada uma dessas interfaces serão detalhadas nas seções a seguir.

7.2 Software e Eletrônica

Toda a instrumentação da câmara termo-vácuo ocorre por meio da eletrônica embarcada, logo é de extrema importância que todos os dados obtidos sejam disponibilizados ao usuário e também que o mesmo possua acesso ao controle da câmara de vácuo. Isso é possível por meio de uma interface desenvolvida com a integração dos sistemas eletrônicos junto a solução de software.

Para a integração entre o subsistema de eletrônica e software, é necessária a existência de uma rede sem fio que permita a conectividade entre o dispositivo do usuário e a Raspberry onde está sendo executada a aplicação. A rede pode ser implementada com o uso de um *Access Point*, do português Ponto de Acesso, configurando a Raspberry para se conectar a esta rede, e da mesma forma deve ocorrer com a aplicação que será utilizada pelo usuário.

A implementação da rede dessa forma, apresenta algumas desvantagens, pois é necessário a inclusão de um dispositivo externo aos sistemas da Câmara de Termo-Vácuo, não integrando a estrutura da câmara.

Diante disso a implementação da rede sem fio ocorreu por meio da utilização da Raspberry como um Ponto de Acesso, o que é possível configurando a Raspberry para funcionar como um *Host Access Point*. Dessa forma, é eliminada a necessidade de se

utilizar um Ponto de Acesso externo, assim a rede criada permite que o usuário conecte o seu dispositivo diretamente à Raspberry sem a necessidade de dispositivos externos. A arquitetura da rede sem fio utilizando o *Access Point* externo é apresentada na Fig. 91 e a arquitetura utilizada no projeto é apresentada na Fig. 92.

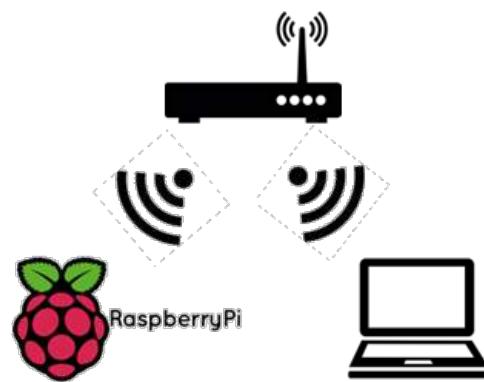


Figura 91 – Diagrama da rede sem fio utilizando um Access Point externo.
Fonte: Autoria Própria.

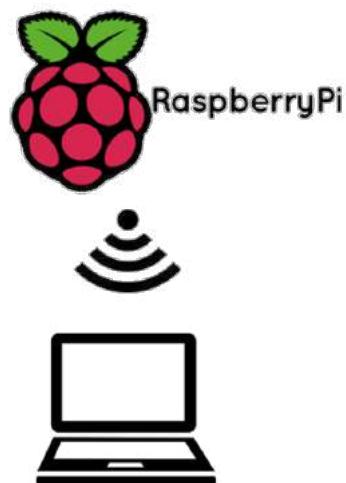


Figura 92 – Diagrama da rede sem fio utilizando a Raspberry como Access Point.
Fonte: Autoria Própria.

A rede será acessível ao usuário com o uso de uma senha predefinida e que será disponibilizada junto à câmara de vácuo. A conexão pode ser vista na Fig. 93



Figura 93 – Conexão com a rede da Câmara de Vácuo
Fonte: Autoria Própria.

Todos os dados do sensoriamento são recebidos pela Raspberry, onde localmente é executado um programa que armazena esses dados em uma mensagem no formato JSON, que é capaz de armazenar informações e transmitir entre sistemas.

Durante a operação da Câmara de Vácuo esta mensagem será atualizada constantemente com os dados lidos pelos sensores. Este arquivo é essencial para a transmissão dos dados ao usuário, já que o mesmo será responsável pela transmissão dos dados entre os subsistemas de eletrônica e software.

Foi implementado um servidor local na Raspberry utilizando NodeJS, que é um framework do JavaScript, descrito anteriormente na Seção 6.2.8.4. O servidor foi implementado de forma a disponibilizar via HTTP a mensagem contendo os dados dos sensores atualizados, utilizados pela API para apresentação das informações ao usuário. Este servidor está disponível para acesso local através do endereço `http://localhost:8001/sensor/newpoints`, onde a cada nova requisição é disponibilizado a mensagem no formato JSON mais atualizado, como visto na Fig. 94 e na Fig. 95.

```
pi@raspberrypi:~ $ curl http://localhost:8001/sensor/newpoints
{
  "datas": [
    {
      "id": 1,
      "type": "temperature",
      "field": "camara",
      "value": 22.1
    },
    {
      "id": 2,
      "type": "pressure",
      "field": "camara",
      "value": 1001
    },
    {
      "id": 3,
      "type": "temperature",
      "field": "linha",
      "value": 22.2
    },
    {
      "id": 4,
      "type": "temperature",
      "field": "camara",
      "value": 22.3
    },
    {
      "id": 5,
      "type": "pressure",
      "field": "linha",
      "value": 1015
    },
    {
      "id": 6,
      "type": "pressure",
      "field": "camara",
      "value": 2000
    }
  ]
}
pi@raspberrypi:~ $
```

Figura 94 – Requisição via terminal ao servidor
Fonte: Autoria Própria.



```
{
  "datas": [
    {
      "id": 1,
      "type": "temperature",
      "field": "camara",
      "value": 22.1
    },
    {
      "id": 2,
      "type": "pressure",
      "field": "camara",
      "value": 1001
    },
    {
      "id": 3,
      "type": "temperature",
      "field": "linha",
      "value": 22.2
    },
    {
      "id": 4,
      "type": "temperature",
      "field": "camara",
      "value": 22.3
    },
    {
      "id": 5,
      "type": "pressure",
      "field": "linha",
      "value": 1015
    },
    {
      "id": 6,
      "type": "pressure",
      "field": "camara",
      "value": 2000
    }
  ]
}
```

Figura 95 – Requisição via navegador ao servidor

Fonte: Autoria Própria.

Esse formato permite que sejam enviadas quantidades variadas de dados de sensores, pois não limita o número de dados. Além disso, com as informações enviadas é possível mapear os sensores na aplicação, não sendo necessário cadastro prévio.

Neste caso a mensagem JSON obtida está apresentando uma quantidade reduzida de sensores, tal atitude foi tomada com a intenção de permitir uma melhor janela de visualização, já que no momento em que a câmara estiver em operação este arquivo deve incluir a informação dos outros sensores de temperatura assim como os dados do sensor de radiação e pressão.

Existe também a necessidade da transmissão de dados vindos do usuário para o sistema de controle da câmara, como os comandos de início e fim de operação e os parâmetros que definem o protocolo de teste. De forma semelhante ao envio das informações dos sensores para o usuário, esses dados vindos do usuário também serão transmitidas via HTTP com mensagens no formato JSON, de forma que as mensagens e comandos componham mensagens separadas.

No caso dos parâmetros de testes vindos do usuário, estes serão disponibilizados pela API no endereço, <http://localhost:8002/target/newpoints>. De forma contínua, o software embarcado na Raspberry irá realizar requisições a esses endereços e armazenará essas informações localmente, onde será realizada a leitura e extração das informações para realizar o controle dos sistemas da câmara de vácuo.

7.3 Software e Energia

É importante para o pesquisador que está realizando uma simulação saber se a energia está vindo da rede elétrica da concessionária ou, em caso de falta de energia, estiver vindo do banco de baterias do *nobreak*. Essa informação é útil para que ele possa decidir se continua executando o experimento - com o risco do fornecimento acabar antes da sua finalização, podendo causar danos a equipamentos mais sensíveis - ou se ele finaliza o experimento para recomeçar em outro momento.

Para que essa informação seja visualizada na interface web de software, desenvolvida pelo grupo, é necessário que ela seja capaz de se comunicar com o *nobreak*.

Para realizar a integração entre as duas partes, é necessário seguir as instruções disponibilizadas no manual de uso do *Nobreak Trifásico Transformerless Innovation S1*. Em primeiro lugar, o *nobreak* deve estar conectado à internet, para que se execute ([LINEARES, 2021](#)):

1. Deve-se realizar o download do aplicativo VNC Viewer;
2. No aplicativo, é acessada a parte de identificação do menu principal, conforme a tela esquerda da Fig. 96;
3. Então, estará visível o número do Endereço IP do no-break conforme a tela da direita da Fig. 96.



Figura 96 – Interface do aplicativo VNC Viewer em duas telas.

Fonte: ([LINEARES, 2021](#)).

Com o endereço de IP obtido, o sistema de BackEnd desenvolvido pela equipe realiza requisições e extraí das informações obtidas o estado atual do aparelho. É importante atentar-se pois, por razões de segurança, somente um acesso por vez é permitido.

A leitura que será realizada é do estado do *nobreak*, em destaque roxo na Fig. 97. São quatro estados possíveis que podem ser retornados (LINEARES, 2021):

- **Operação Normal** - A rede elétrica de entrada está presente e o No-break ligado. Recebe a energia necessária da rede da concessionária.
- **Operação em Modo Bateria** - A rede elétrica da concessionária está ausente ou fora dos valores de tensão aceitáveis, então o No-break entra em operação no modo bateria.
- **Operação em Modo Bypass Estático** - Neste modo de operação o No-break alimentará a carga por meio da linha de Bypass sem nenhuma interrupção da tensão de saída para a carga.
- **Operação em Modo Bypass de Manutenção** - A carga é alimentada por meio de um conjunto alternativo que possibilita o desligamento completo da unidade sem que a carga seja desligada.

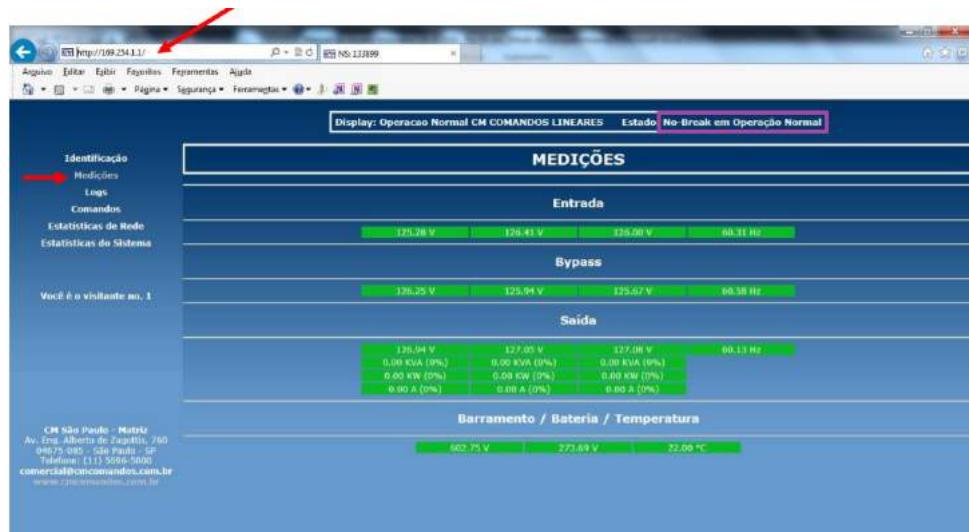


Figura 97 – Acesso pelo endereço IP do *nobreak* aos seus dados
Fonte: (LINEARES, 2021).

Caso o estado esteja em modo bateria, o usuário será avisado da utilização da bateria do *nobreak* e será sugerido que pare o experimento em segurança.

7.4 Eletrônica e Estruturas

Dentro do sistema eletrônico a atuação no controle de fluxos nas válvulas da linha de alimentação, o controle dos motores de rotação do CubeSat e o controle de temperatura são integrados ao sistema estrutural. Além disso, é preciso a integração desses dois sistemas para a montagem dos sensores dentro da câmara de vácuo e na linha de alimentação.

O controle de fluxos nas válvulas da linha de alimentação é feito com o uso de válvulas. Essas válvulas são controladas por atuadores elétricos, com comandos enviados do Sistema de Atuadores. Na escolha dos atuadores é considerado o tipo de válvula e a faixa de temperatura que essa válvula vai atuar.

A escolha dos motores para a rotação do CubeSat é feita com base em cálculos estruturais, com o objetivo de calcular a potência necessária de cada motor. Os motores usam drivers para serem controlados, esses drivers são escolhidos pelo sistema eletrônico, pois o controle será feito pelo Sistema de Atuadores, levando em consideração as especificações dos motores.

Para realizar o controle de temperatura informações como, vazão do fluido, perda de calor, precisão ser consideradas para que o controle seja feito de forma mais precisa possível. Além disso, a localização dos termopares podem influenciar nesse controle, devido ao gradiente de temperatura. Dessa forma, os sensores precisam estar localizados dentro da câmara de vácuo de forma que possa ser feito uma média de temperatura que corresponda o mais próximo com a temperatura da face do CubeSat.

A montagem dos sensores e dos motores dentro da placa térmica é a mais crítica, devido a rotação do suporte em U e do motor que faz a rotação do CubeSat em volta do seu próprio eixo, sendo necessário uma quantidade de cabo específico livres para que não sejam rompidos quando a estrutura realizar os movimentos previstos no projeto. Esses cabos devem ser fixados como especificado no Plano de Montagem. As Figuras abaixo mostram o local onde os componentes eletrônicos devem ficar na parte estrutural.

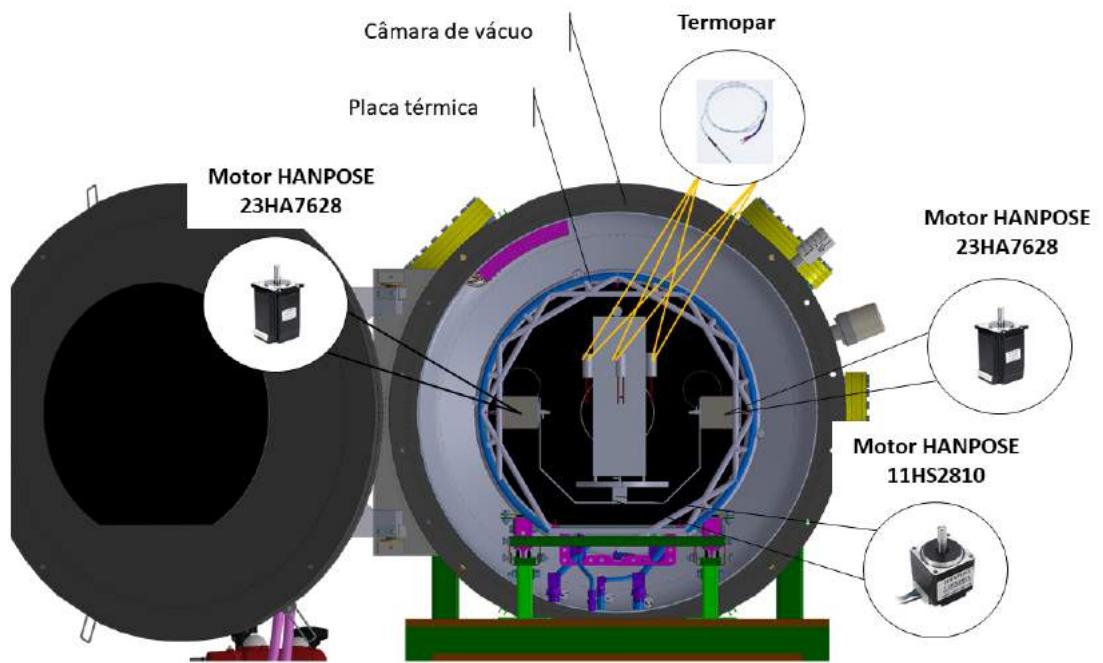


Figura 98 – Componentes eletrônicos dentro da placa térmica.

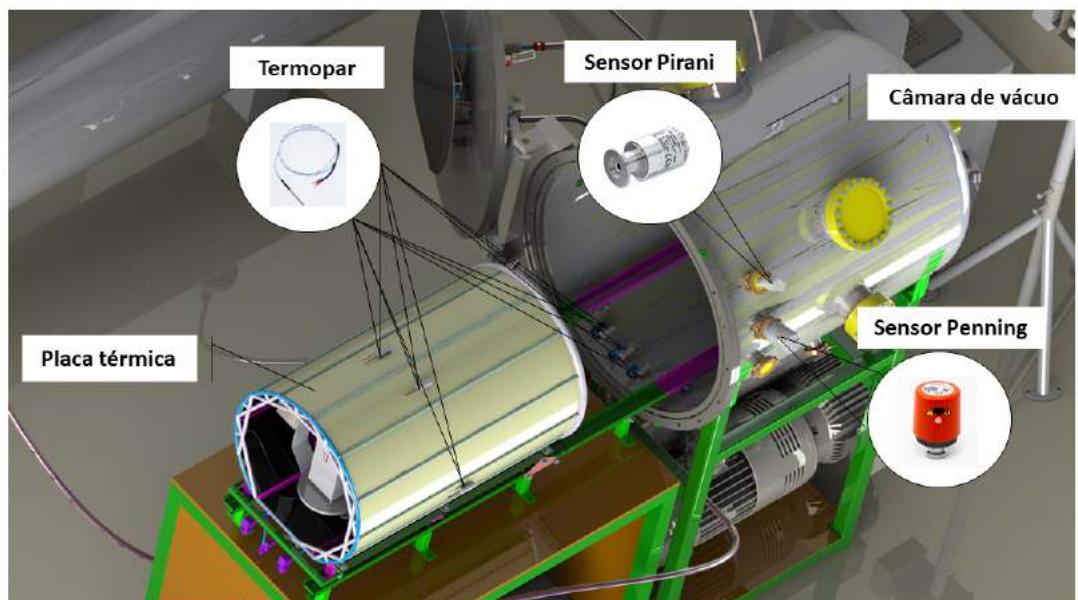


Figura 99 – Sensores na câmara de vácuo e na placa térmica.

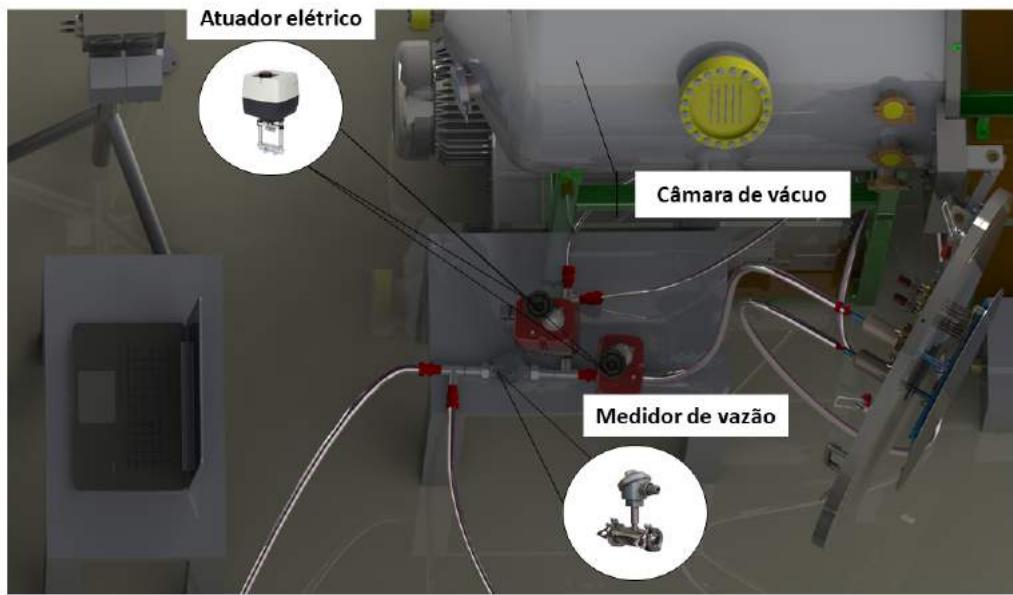


Figura 100 – Componentes eletrônicos na linha de alimentação.

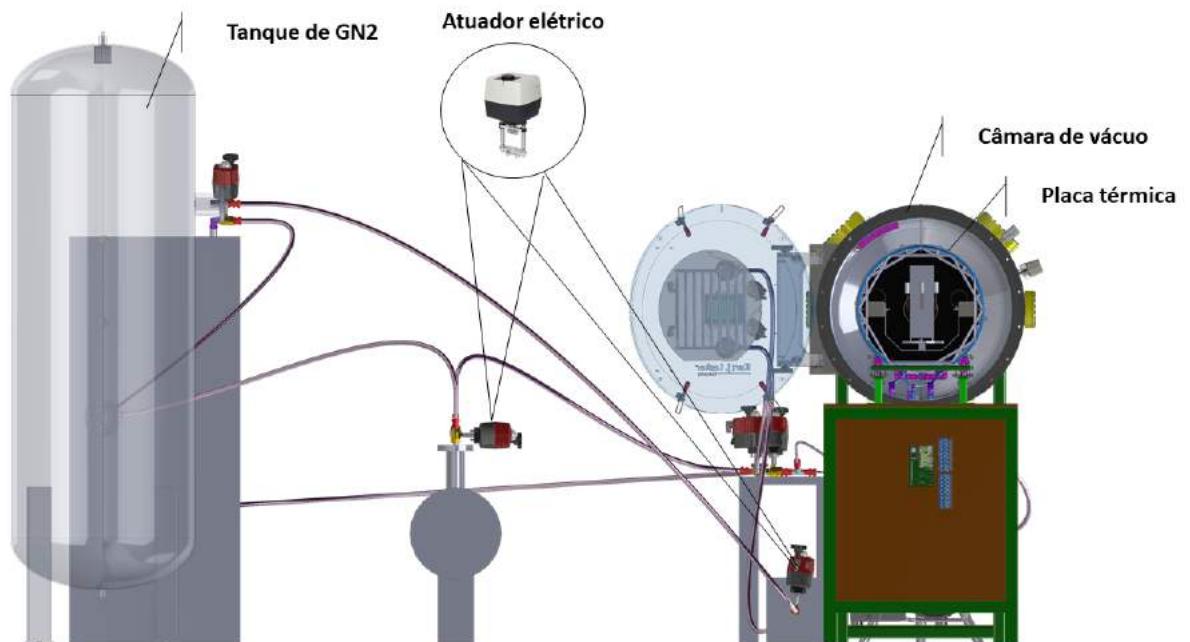


Figura 101 – Atuadores na linha de alimentação.

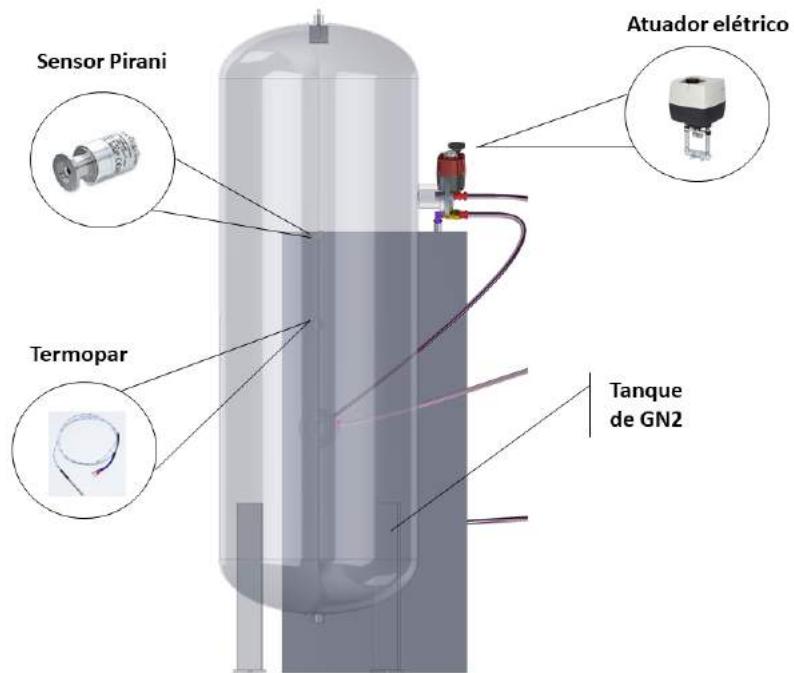


Figura 102 – Componentes eletrônicos na linha de alimentação e no tanque de GN2

7.5 Eletrônica e Energia

O circuito de alimentação das cargas do sistema foi dimensionado considerando os dispositivos eletrônicos e elétricos. Para esses equipamentos elétricos foram projetadas conexões com a rede elétrica, seja de modo direto (simulador solar) ou através do *nobreak* para as cargas mais sensíveis (aquecedor, condensador e fontes de alimentação), como pode ser visto no diagrama [B.2](#).

No mesmo sentido, para a alimentação dos dispositivos eletrônicos foram consideradas duas fontes de alimentação principais: chaveada e *creality* 3D. A fonte chaveada possui saída de alimentação em 3,3V/5V/12V/-12VDC e correntes de saída de 15A/16A/12A/0,3A, respectivamente. Foi considerada essa fonte para alimentação da Placa de Circuito Impresso (PCB) que fornecerá energia a ESP-32 e a Raspberry Pi.

A fonte Creality 3D possui tensão de saída de 24V e corrente de 16A, sendo essa para fornecimento de energia dos seguintes componentes: medidor de vazão, sensor de pressão, motores de passo e atuadores. A Figura [103](#) mostra o diagrama de alimentação dos componentes eletrônicos.

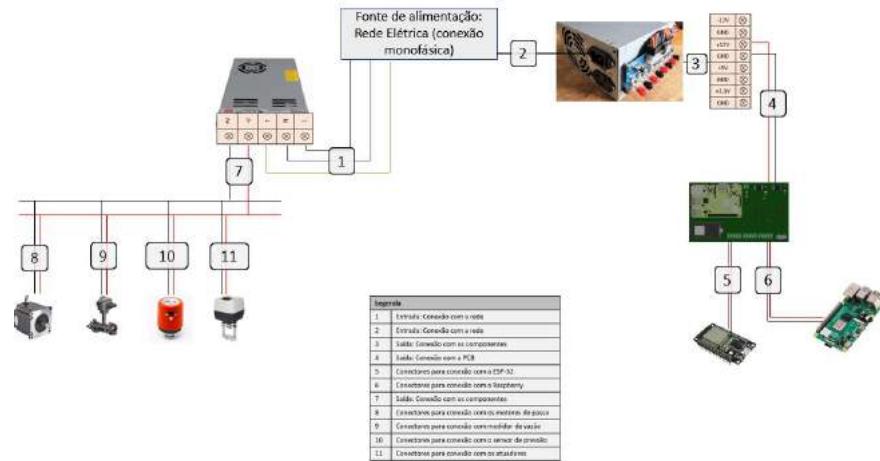


Figura 103 – Diagrama de alimentação dos componentes eletrônicos.

Fonte: Autoria própria

7.6 Estruturas e Energia

A integração entre as áreas de estruturas e energia ocorreu através de dois sistemas principais: simulador solar e linha de alimentação de nitrogênio.

- **Simulador Solar**

Para a realização do teste de simulação do fluxo de radiação solar foi necessário projetar uma fonte de carga pontual que fosse acoplada a um dispositivo estrutural, e através desse ocorresse a incidência direta de luz que se assemelhasse às grandezas solares. Deste modo, foi dimensionado um tripé com uma caixa retangular para acoplamento das lâmpadas, de forma que o fluxo de radiação foque em apenas um ponto.

Essa caixa foi dimensionada a partir da necessidade de um conjunto de 4 lâmpadas de vapor metálico de 70W com as conexões para o reator de descarga externa AFP. Além disso, foram colocados bocais para a conexão dos condutores com os reatores, como pode ser visto abaixo. Sendo a conexão entre as lâmpadas e os reatores, apresentada na Fig. 104.

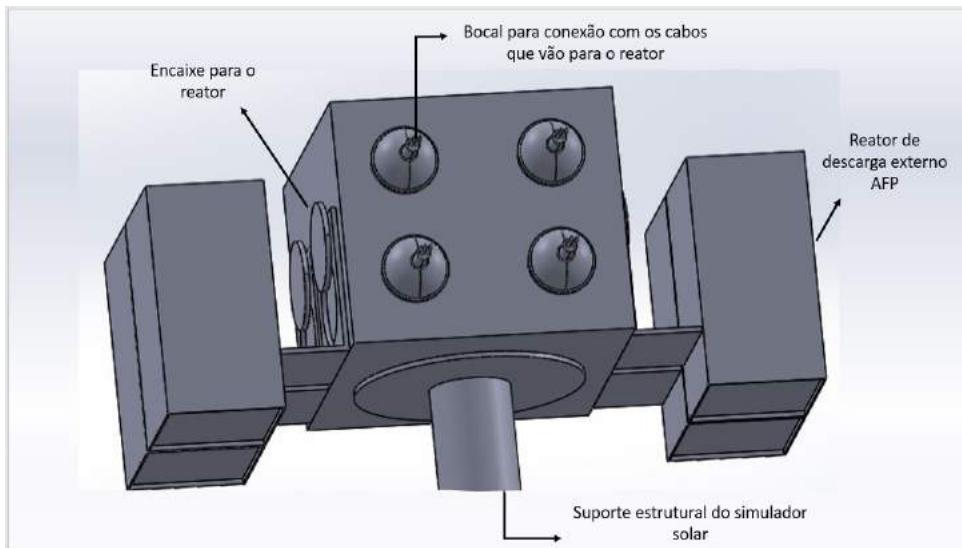


Figura 104 – Integração energia e estruturas: Simulador Solar.

Fonte: Autoria própria.

Como o teste de simulação solar não ocorrerá durante todo o tempo do teste do CubeSat, foi colocado um interruptor para que o dispositivo só fosse ligado quando necessário. Além disso, como é obrigatória a movimentação do simulador solar até a parte da frente da câmara de vácuo, quando da inicialização do teste, foi projetado que os condutores de energia tivessem folga de até 4 metros para melhor locomoção. Aconselha-se que quando não houver a necessidade do uso do simulador, esse seja deixado ao lado do *nobreak*, com uma distância de no mínimo 80 centímetros.

- **Linha de alimentação de nitrogênio**

Para o teste de ciclagem térmica foi necessário dimensionar duas linhas principais de abastecimento de nitrogênio para a câmara de vácuo: resfriamento e aquecimento. Para a linha de resfriamento de nitrogênio líquido foi selecionado um condensador que suportasse as especificações técnicas requeridas, conforme seção , e que tivesse um *dewar* para manter esse nitrogênio líquido na temperatura de teste (-195°C), a Fig. 105 apresenta o condensador escolhido. Assim, foi selecionado o modelo M50-H que possui uma capacidade de produção de 20 litros/dia, possuindo um tanque de armazenamento de 40 litros.

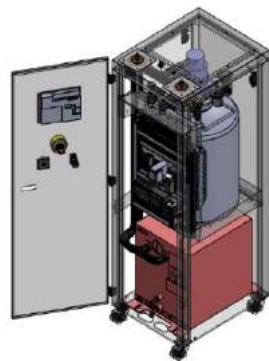


Figura 105 – Integração energia e estruturas: Condensador de nitrogênio.

Fonte: ([CORPORATION, 2021](#))

Para a linha de aquecimento também foram consideradas as especificações técnicas já mencionadas na seção , sendo necessário um dispositivo que aquecesse nitrogênio gasoso até 200°C, a uma pressão de até 200 bar. Para isso, foi selecionado o aquecedor de passagem de nitrogênio de 10 kW.

8 Plano de testes

8.1 Visão geral

O plano de testes foi estruturado pelos subsistemas da solução, sendo esses:

- Central energética - Corresponde a parte elétrica da solução formada pelo *nobreak*, condutores e quadro de distribuição, apresentado no Capítulo 4;
- Simulador solar - Dispositivo que fornecerá a radiação necessária para os testes, onde a parte estrutural está presente no Capítulo 3 e a parte elétrica no Capítulo 4;
- Sistema de alimentação de nitrogênio - Responsável por fornecer a temperatura desejada pelo usuário e é formado pelos trocadores de calor, presente no Capítulo 4, e pela linha de alimentação, bomba e atuadores, apresentados no Capítulo 3.
- Suporte para o CubeSat - Dispositivo que permite a rotação do CubeSat em dois eixos dentro da Câmara de Termo-Vácuo, Capítulo 3, tendo esse dispositivo motores controlados pelo sistema de atuadores, Capítulo 5.
- Central de controle - Fornece o controle do sistema de alimentação de nitrogênio, apresentado no Capítulo 5.
- Central de sensoriamento - Fornece o sensoriamento do sistema de alimentação de nitrogênio, placa térmica e CubeSat, apresentado no Capítulo 5.
- Software - Interação com o usuário, apresentado no Capítulo 6.

Assim, para cada subsistema deverão ser mensurados os parâmetros de operação afim de analisar se os componentes estão de acordo com suas especificações e requisitos e todos os sensores, estruturas, centrais, o Sistema de Atuadores e o envio dos dados para a API serão validados.

8.2 Teste da central energética

8.2.1 Instalação elétrica

Nessa subseção, serão considerados os testes mínimos necessários para a instalação elétrica como um todo, conforme a Norma ABNT NBR ISO 5410/2004. Assim, para verificação da conexão e funcionamento dos componentes da instalação elétrica é importante

fazer os seguintes ensaios: continuidade, resistência de isolamento da instalação, ensaio de tensão aplicada e ensaio de funcionamento.

8.2.1.1 Continuidade

Esse teste tem como objetivo verificar se os cabos estão conectados corretamente, ou seja, verificar a continuidade entre os fios elétricos. Sendo importante que ao longo do ensaio, os equipamentos estejam desligados e o circuito do condutor desenergizado.

Será utilizado um multímetro digital, na escala de continuidade, sendo colocadas as pontas de prova no circuito avaliado. Durante o procedimento, verifica-se primeiro se quando as ponteiras estão separadas o multímetro indica "OL" ou "infinito", essa conotação indica que o circuito está aberto.

Após isso, conecta-se as ponteiras ao circuito a ser analisado e, caso esteja correta a conexão, deverá ser indicado o valor zero e emitido um aviso sonoro, isso aponta que o circuito possui continuidade.

8.2.1.2 Resistência de isolamento da instalação

O ensaio de resistência de isolamento serve para verificar se os condutores possuem condições seguras para uso. Assim, é utilizado o equipamento megômetro para a realização desse teste.

Primeiramente, é necessário desligar a alimentação principal dos condutores a serem testados, após isso conecta-se um dos bornes do equipamento ao quadro elétrico ou ao condutor terra e o outro borne deve ser conectado a extremidade do cabo que não possui revestimento.

Por fim, liga-se o megômetro e verifica se a resistência indicada está acima de 0,5 megaohms, conforme indicado na norma. Caso o valor dê inferior a esse, existe alguma falha nos condutores analisados.

8.2.1.3 Tensão aplicada

O teste de tensão aplicada utiliza o equipamento HIPOT, que indica a qualidade do isolamento elétrico através da submissão do equipamento a uma alta tensão, sendo necessário realizá-lo assim que os circuitos forem montados ou quando ocorrer modificações no laboratório.

Assim, para esse ensaio, é necessário fazer a ligação entre a parte do equipamento a ser testado (tomada, condutor) e o isolante do componente a ser analisado (carcaça do nobreak e quadro de distribuição, e a luminária do sistema do simulador solar). Após isso, liga-se o HIPOT e aplica a tensão, conforme estipulada na norma (([ABNT, 2004](#))) para monitoramento da corrente, verificando se há ou não o isolamento adequado.

8.2.1.4 Funcionamento

Neste caso, será analisado a montagem dos equipamentos de proteção e do quadro elétrico, para verificar se estão instalados e ajustados corretamente.

Para o dispositivo de proteção contra surtos (DPS) é indicado a submetê-lo a uma situação de sobrecarga, sendo colocado papel ao seu redor. Caso o DPS esteja funcionando corretamente, o papel não deve sofrer nenhum tipo de dano.

8.2.2 Nobreak

Para esse teste será verificado o funcionamento do equipamento, de modo a analisar a interface do equipamento e se a sua segurança está de acordo com as especificações técnicas do equipamento.

8.2.2.1 Sem carga

Como primeiro passo dessa avaliação, é necessário que o usuário desligue o disjuntor de saída do *nobreak*, conforme já ilustramos em diagrama específico (anexo B.2). Assim, será necessário a utilização de um multímetro para a medição da tensão e verificar se a ligação fase-neutro está com uma tensão de 220V.

8.2.2.2 Plena carga

A segunda etapa da avaliação, consiste em verificar se o *nobreak* fornecerá energia suficiente e de forma contínua para todos os equipamentos. Para isso é necessário que o disjuntor de saída seja ligado e as cargas conectadas ao *nobreak* também sejam ligadas.

Assim, é necessário mensurar na saída do *nobreak*, através de um multímetro, se a tensão e corrente de saída estão fornecendo energia de forma constante, com uma margem de segurança de 5%.

8.2.2.3 Teste das baterias

Para este caso, utilizaremos um testador de bateria digital para analisar o estado da bateria, capacidade de armazenamento, sistema de carga e tempo de descarga. Deste modo, na primeira etapa é necessário utilizar a bateria já carregada completamente para verificar se a tensão está dentro do esperado (segundo escala do testador). Após isso, com o equipamento é necessário dar um pico de carga para verificar se a bateria ainda apresentará a mesma performance, ou seja, manterá os valores desejáveis conforme a escala do aparelho (verde, amarelo ou vermelho). Caso na escala, seja apresentada a cor verde, isso significa que a bateria está com um bom funcionamento, já a escala amarela indica que é necessário recarregar a bateria, e a escala vermelha indica que a bateria está com mal funcionamento, dessa forma necessitando a sua troca.

Por fim, o último teste consiste em conectar uma carga constante na bateria, pode ser usado um testador multifuncional, para que ela seja conectada até ser completamente descarregada. Sendo que esse tempo não deve ser menor que 30 minutos (tempo necessário de autonomia para o sistema).

8.2.2.4 Teste do sistema de carregamento

Neste teste, é necessário a conexão de uma bateria completamente descarregada (pode ser utilizada a mesma bateria do teste anterior) para verificação da quantidade de tempo necessária para carregar este componente. Neste caso, saberemos que a bateria foi carregada quando o fluxo de corrente tender a zero, sendo que o tempo aconselhável para seu carregamento sejam de 8 horas, conforme manual do fabricante.

8.3 Teste do simulador solar

8.3.1 Parte estrutural

Sobre uma superfície plana, e com o uso de um nível, o teste visa averiguar se a estrutura está nivelada e que está estável. Também será verificado se a regulagem de altura mantém a estrutura estável na altura desejada e se estão devidamente fixadas ou se possui alguma folga para não causar nenhum problema durante os testes. Em seguida, será verificado se as lâmpadas são fixadas corretamente na estrutura.

8.3.2 Parte elétrica

Como o sistema da fonte de luz necessita de reator para sua conexão, é necessário mensurar as tensões de entrada e saída do reator (220V com uma margem de 5%). Essa verificação é importante para verificar se há algum problema no reator e se ele realmente está passando a tensão necessária para o ligamento da lâmpada de vapor metálico.

Após a etapa anterior, conecta-se a lâmpada ao reator para averiguar se a conexão foi feita da maneira correta e se ocorreu o fornecimento de energia para a mesma.

8.4 Teste do sistema de alimentação de nitrogênio

8.4.1 Aquecedor

O teste do aquecedor consiste em verificar se a conexão com o *nobreak* foi feita de forma correta e se o equipamento está operante. Após isso, é necessário ligar o bombeamento do nitrogênio gasoso para verificar se o aquecedor está realizando o aquecimento do fluido na vazão solicitada, se a temperatura de saída está chegando a 200°C e o tempo

que o equipamento gasta para aquecer esse fluido, sendo esses testes realizados com o auxílio dos sensores de vazão e temperatura (termopar), respectivamente.

8.4.2 Condensador

O teste do condensador consiste em verificar se a conexão com o *nobreak* foi feita de forma correta e se o equipamento está operante. Após isso, é necessário ligar o bombeamento do nitrogênio líquido para verificar se o condensador está realizando o resfriamento do fluido na vazão solicitada, se a temperatura de saída está chegando a -195°C e o tempo que o equipamento gasta para resfriar esse fluido, sendo esses testes realizados com o auxílio dos sensores de vazão e temperatura (termopar), respectivamente.

8.4.3 Linha de alimentação

O teste consiste em verificar se não há vazamento na linha de alimentação, para isso, quando o sistema estiver montado, será ativado o sistema para permitir a passagem do nitrogênio em temperatura ambiente pela linha de gás e será verificado visualmente se existe algum vazamento de gás entre as conexões da linha de alimentação.

8.5 Teste dos motores

Os motores são testados, primeiramente, antes de serem integrados aos demais subsistemas da câmara de termovácuo. Os motores de passo podem ser submetidos a quatro tipos de testes para verificar a continuidade dos enrolamentos, a determinação do consumo, a velocidade (RPM) e o torque (BRAGA, 2012). No teste de continuidade dos enrolamentos, deve-se desligar os terminais do motor do circuito em que ele se encontra, regular o multímetro para uma escala de baixas resistências e utilizar o instrumento denominado provador de continuidade para indicar a continuidade. Sabe-se que o motor deve apresentar uma baixa continuidade, caso o valor encontrado exceda 10 $k\Omega$ o teste indica que o enrolamento está interrompido e o motor deve ser substituído. Ainda com o multímetro, pode-se verificar os níveis de tensão de alimentação, que devem ser de 24 V.

Para o teste de determinação de consumo, parte-se do princípio de que a corrente drenada por um motor depende de sua velocidade, a qual depende da carga acionada. Dessa forma, deve-se medir a corrente com um multímetro na escala de correntes, ou um amperímetro, ligado em série com o motor e logo após deve-se alimentar o motor com a tensão nominal e carregá-lo de modo que ele exerça força na direção normal à aplicação. Feito isso, a intensidade da corrente é obtida por meio do instrumento de medição.

No caso do teste da velocidade, pode-se determinar a velocidade a partir da medida da frequência dos sinais aplicados e do número de passos (200 passos) com um frequen-

címetro, ajustando dois ímãs num disco que será fixado no eixo do motor. Dois pulsos serão gerados em um dispositivo *reed switch* (interruptor elétrico operado por um campo magnético) a cada volta do eixo do motor, sendo possível aplicar o sinal gerado à entrada do frequencímetro para se obter a velocidade de rotação do motor.

No teste de torque, deve-se utilizar o instrumento de medição denominado dinamômetro para medir o torque do motor em função da tensão e corrente aplicadas, utilizando um sistema com uma polia para suspender um peso variável e assim testar o torque do motor que deve estar fixado.

Caso algum problema persista mesmo após efetuados os testes, o problema deve ser advindo dos *drivers*, que devem ser trocados. Após o teste individual dos motores, será observado o funcionamento quando integrados aos demais componentes e dispositivos da câmara, de modo a avaliar se há obstáculos durante a rotação. Caso haja falha durante a operação, é preciso verificar quais são os obstáculos estruturais que impedem a rotação do motor.

8.6 Teste da central de controle

8.6.1 Teste de abertura e fechamento das válvulas

Para testar a abertura de válvulas vão ser realizados dois testes, o primeiro consiste em verificar se a automação para a abertura funciona e o segundo verifica se o atuador tem força suficiente para abrir a válvula em baixas temperaturas (-20 °C). Os dois testes serão feitos para todas as 5 válvulas.

O primeiro teste é feito com a válvula independente do sistema de alimentação, para que possa observar a abertura e o fechamento da válvula. O sistema de atuadores mandará comandos para que a válvula seja fechada ou aberta, o envio desses comandos tem que ter pelo menos 10 segundos de diferença para que possa ser observado a mudança da válvula.

Para realizar o segundo teste, os termopares e o medidor de vazão precisam estar testados, pois o termopar irá verificar se a temperatura do nitrogênio é a temperatura máxima projetada e o medidor de vazão irá verificar se há ou não a passagem do fluido após a válvula .

No segundo teste a válvula precisa estar integrada ao sistema de alimentação e com o nitrogênio na temperatura máxima de operação passando pela válvula, os mesmos comandos utilizados no teste anterior serão enviados. Caso a válvula abra, o medidor de vazão apresentará um valor, caso a válvula feche, o medidor de vazão não apresentará valor. Se, após o comando de abertura for enviado, o medidor de vazão fazer a aquisição dos dados de vazão, o sistema de abertura das válvulas está funcionando corretamente.

Para testar o fechamento da válvula, são feitos os mesmos testes. No entanto, após o envio do comando de fechamento, o medidor de vazão precisa mostrar o dados de vazão igual a zero para que o fechamento esteja funcionando de forma correta.

8.6.2 Teste do controle de temperatura

Para validar o sistema de controle de temperatura, será aplicado uma entrada degrau no sistema PID para verificar os parâmetros de saída. Caso os parâmetros de saída tenham uma divergência discrepante do esperado, os valores da planta PID serão ajustados para compensar o erro e o teste será refeito até que tenha a esperada.

Após o sistema PID ter sido validado, o controle será submetido a um teste no sistema de alimentação de nitrogênio em que os atuadores deverão ser controlados de modo a se obter a temperatura desejada. Se houver uma discrepância maior que 10 % da temperatura desejada na face do CubeSat e da obtida por meio dos termopares, então o sistema PID deve ser reajustado.

8.7 Teste da Central de Sensoriamento

O teste do módulo de medição inicia com a checagem individual de cada sensor, para que seja avaliado se a aquisição dos dados está funcionando corretamente. Em seguida, é verificado se os dados adquiridos pela central de controle e sensoriamento estão calibrados e de acordo com os requisitos do projeto. A verificação é feita em cada sensor individualmente com o uso de um monitor/computador conectado a Raspberry. O último teste realizado nesta etapa indica se a API recebe os dados da Raspberry de forma correta.

8.7.1 Sensor de temperatura: termopar tipo T

Para testar os termopares, estes precisam estar conectados à Raspberry como apresentando na Fig. 157. No monitor/computador, conectado à Raspberry, será apresentado os dados de temperatura de cada termopar com um ID correspondente.

Teste 1: Na primeira etapa o termopar não é conectado ao sistema da câmara de vácuo. Assim, as temperaturas adquiridas precisam ser próximas à temperatura ambiente. Caso o valor medido seja divergente ou não seja apresentado um valor, há duas possibilidades de falha: falha nos conectores ou o mau funcionamento do termopar. Para resolver esse problema, verifica-se a possibilidade da falha nos conectores, conectando o termopar em outro pino, caso o problema persista, é preciso fazer a troca do termopar.

Teste 2: O segundo teste consiste em verificar os valores adquiridos em um ambiente controlado, podendo ser a própria câmara de vácuo, que varia de -25 °C a 65 °C, pois são as temperaturas máximas que o termopar precisará medir durante o uso da câmara

de vácuo. É recomendado o uso de um sensor de temperatura calibrado para realizar as medições de temperatura para que possa ser comparado com as medidas feitas pelos termopares que estão sendo calibrados.

A checagem, também, pode ocorrer durante a aquisição dos dados através da leitura do registrador Fault, no módulo MAX31856, que pode apresentar até 9 tipos de falhas, sendo elas:

1. Alcance da temperatura na junção fria;
2. Alcance da temperatura do termopar;
3. Falha na leitura do sensor termopar;
4. Tensão acima dos limites permitidos;
5. Tensão abaixo dos limites permitidos;
6. Temperatura presente no termopar é muito alta;
7. Temperatura presente no termopar é muito baixa;
8. Temperatura presente na junção fria é muito baixa;
9. Temperatura presente na junção fria é muito alta;

Teste 3: O terceiro teste, faz o envio dos dados para a API. A validação é feita com a comparação dos dados apresentando na interface do usuário com os dados adquiridos pela a Raspberry. Os dados dos 13 termopares são enviados juntos, sempre com o ID correspondente.

8.7.2 Sensor pressão: pirani APG100 e penning PEG100

Os sensores de pressão vêm com a garantia de teste de fábrica e calibrados. Dessa forma, não há a necessidade de realizar a rotina de teste para verificar se eles estão funcionando e calibrados, os testes iniciarão no Teste 2. Os testes feitos com os sensores de pressão validarão a aquisição dos dados pela Raspberry e o envio destes dados para a API.

Teste 2: Feita a montagem do sensor à câmara de vácuo e ao dispositivo PGC201, o PGC201 é conectado a Raspberry. As bombas e os sensores pirani são ligadas para gerar o vácuo na câmara e fazer a aquisição dos dados de pressão, respectivamente. Verifica-se se no monitor/computador são apresentando os valores de pressão, além disso, pode ser feito a verificação desses dados com o PGC201. O sensor penning será ligado apenas quando a pressão medida pelo sensor pirani for 10^{-3} mbar, devido a sua faixa de operação.

A verificação desse sensor é feita da mesma forma do sensor pirani. Também, há um tratamento dos dados de pressão, que são recebidos em um buffer de caracteres e de forma serial pelo dispositivo.

Teste 3: O teste de integração com a API segue os mesmos procedimentos do Teste 3 dos testes dos sensores de temperatura. Os dados dos adquiridos pela Raspberry serão enviados para a API e depois eles serão comparados.

8.7.3 Radiômetro: SI1146-M01-GMR

A verificação do funcionamento do sensor (Teste 1) e a validação dos dados adquiridos pelo Raspberry (Teste 2) serão feitos em uma única etapa. Pois para verificar se o sensor está funcionando é preciso visualizar os dados por um microcontrolador. Essa observação, também, é valida para o teste do medidos de vazão.

Teste 1 e Teste 2: O teste do radiômetro é realizado com ele conectado à central de controle e sensoriamento. Uma fonte de radiação conhecida, podendo ser as próprias lâmpadas escolhidas para o sistema, é posicionada para que a radiação seja focada no radiômetro, é auxiliado o uso uma proteção externa, para que não haja uma perda significativa de calor. Verifique no monitor se os valores adquiridos pelo radiômetro estão de acordo com a radiação esperada, com um erro máximo de $\pm 10\%$ do valor esperado.

Existem duas possibilidades, caso o valor adquirido não esteja dentro do limite de 10%, o sensor está descalibrado e o mau funcionamento do sensor. A calibração é feita nesse mesmo sistema de teste. Se, após tentar calibrar o sensor, o valor ainda divergir do esperado, troque o sensor.

Teste 3: O teste de integração com software funciona da mesma forma que os Testes 3 citados acima. Os dados dos adquiridos pela Raspberry serão enviados para a API e depois eles serão comparados.

8.7.4 Medidor de vazão: tipo turbina STV - L/G

Teste 1 e Teste 2: Para testar o medidor de vazão é preciso montar um sistema a parte que escorra um fluído com vazão conhecida, para isso indica-se uma torneira com a vazão conhecida. Com o medidor de vazão conectado a Raspberry com um monitor, verifique se os dados adquiridos coincidem com a vazão do sistema montado, com um erro máximo de $\pm 10\%$ do valor esperado.

Os próximos procedimentos são semelhantes aos citados para os sensores acima. Caso os valores sejam discrepantes, é preciso fazer a calibração, caso a calibração não funcione troque de medidor de vazão.

Teste 3: A integração com software é feita comparando os valores recebidos pela API com os valores mostrados no monitor da Raspberry.

8.8 Testes Software

8.8.1 Introdução

De acordo com Myers et al. (2004), testes são criados com objetivo de encontrar erros em programas. Assim, a partir da realização de testes pode-se aumentar a confiabilidade do sistema. Este plano de testes visa documentar os testes do projeto "Sistemas para Testes de CubeSat em Câmara de Termo-Vácuo".

8.8.2 Objetivo

A finalidade deste roteiro de teste é realizar a verificação do sistema de acordo com os requisitos do sistema encontrado [neste link](#). O roteiro de testes tem o foco para as seguintes funcionalidades:

1. (SOF05) Eu, como pesquisador, gostaria de receber alertas sobre possíveis obstáculos do sistema térmico para poder responder aos possíveis obstáculos.
2. (SOF06) Eu, como aplicação, gostaria de coletar em tempo real os índices de temperatura mediante sensor para poder registrá-los no histórico de experimentos.
3. (SOF07) Eu, como aplicação, gostaria de coletar em tempo real os índices de pressão mediante sensor para poder registrá-los no histórico de experimentos.
4. (SOF09) Eu, como pesquisador, gostaria de visualizar o histórico com os dados de cada experimento para poder monitorar os experimentos realizados.
5. (SOF12) Eu, como pesquisador, gostaria de realizar testes mediante parâmetros para poder fazer experimentos para simulação em ambiente espacial.
6. (SOF13) Eu, como pesquisador, gostaria de exportar os dados do experimento para poder manter os dados em um arquivo externo à aplicação.
7. (SOF15) Eu, como pesquisador, gostaria de controlar a rotação do suporte em U para poder simular os índices de radiação.

8.8.3 Roteiros de testes

Para o plano de testes, foi desenvolvido um roteiro de testes para tornar o processo de verificação mais padronizado, organizado e sucinto. O modelo abaixo, exposto e descrito

na Tab. 22 busca coletar as informações das funcionalidades em questão e é portanto utilizado no projeto.

Tabela 22 – Modelo do roteiro de testes de software.

TC00: Nome do teste experimentos	
Objetivo	O que o teste se propõe a testar
Requisitos	Caso de uso, especificação suplementar ou história de usuário
Foco de qualidade	Funcional, Desempenho, Amigabilidade, entre outros
Nível ou Fase de Teste	Unitário, Integração, Funcional (sistema)
Técnica	Caixa branca, caixa preta, entre outros
Ambiente	Desenvolvimento, Homologação, Produção
Atores	Usuário, ferramenta, entre outros
Pré condições	As pré-condições requeridas para a execução dos testes
Entradas	As entradas requeridas para a execução dos testes
Saídas	As saídas esperadas dos testes
Status	OK ou FAIL
Defeito	Caso de FAIL: descrição do defeito

A seguir, são expostos os roteiros, por meio das tabelas, com as funcionalidades definidas no escopo de testes e suas características fundamentais para a realização deste processo.

A Tabela 23, consiste no caso de teste em que há o preenchimento de todos os campos do formulário, para que seja iniciado o experimento desejado.

Tabela 23 – Roteiro de testes para preenchimento do formulário prévio ao experimento.

TC01: Testar o início dos testes com o preenchimento de todos os campos do formulário para o início de experimentos	
Objetivo	Este teste tem como objetivo averiguar a resposta de sucesso dada ao usuário ao tentar iniciar testes com dados válidos.
Requisitos	SOF12
Foco de qualidade	Funcional
Nível	Funcional (sistema)
Técnica	Caixa preta
Ambiente	Desenvolvimento
Atores	Usuário
Pré condições	O usuário ainda não realizou experimentos <ul style="list-style-type: none"> • Temperatura máxima (em °C): 60 • Duração com temperatura máxima (em min): 120 • Temperatura mínima (em °C): -20 • Duração com temperatura mínima (em min): 120 • Quantidade de ciclos quentes (em unidades): 2 • Quantidade de ciclos frios (em unidades): 2
Entradas	Início dos testes com os parâmetros conforme os parâmetros inseridos
Saídas	OK
Defeito	N/A

A Tabela 24, consiste no caso de teste em que o usuário não preenche nenhum campo do formulário, para que seja então iniciado o experimento com os dados padrão da aplicação.

Tabela 24 – Roteiro de testes para preenchimento do formulário prévio ao experimento sem a inserção de valores nos campos.

TC02: Testar o início dos testes com o preenchimento de nenhum campo do formulário para o início de experimentos

Objetivo	Este teste tem como objetivo averiguar a resposta de sucesso dada ao usuário ao tentar iniciar testes sem a inserção dos campos do formulário.
Requisitos	SOF12
Foco de qualidade	Funcional
Nível	Funcional (sistema)
Técnica	Caixa preta
Ambiente	Desenvolvimento
Atores	Usuário
Pré condições	O usuário ainda não realizou experimentos
Entradas	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura máxima (em °C): - • Duração com temperatura máxima (em min): - • Temperatura mínima (em °C): - • Duração com temperatura mínima (em min): - • Quantidade de ciclos quentes (em unidades): - • Quantidade de ciclos frios (em unidades): -
Saídas	Início do teste padrão
Status	OK
Defeito	N/A

A Tabela 25 consiste no caso de teste em que o usuário insere um valor que não seja um número no campo do formulário referente à temperatura máxima.

Tabela 25 – Roteiro de testes para preenchimento do formulário prévio ao experimento com a inserção de um valor de temperatura máxima que não seja um número.

TC03: Testar o início dos testes com o preenchimento do campo de temperatura máxima com um caractere que não seja um número

Objetivo	Este teste tem como objetivo averiguar a resposta de erro dada ao usuário ao tentar iniciar testes inserindo um valor que não seja um número.
Requisitos	SOF12
Foco de qualidade	Funcional
Nível	Funcional (sistema)
Técnica	Caixa preta
Ambiente	Desenvolvimento
Atores	Usuário
Pré condições	O usuário ainda não realizou experimentos
Entradas	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura máxima (em °C): asdas • Duração com temperatura máxima (em min): 120 • Temperatura mínima (em °C): -20 • Duração com temperatura mínima (em min): 120 • Quantidade de ciclos quentes (em unidades): 2 • Quantidade de ciclos frios (em unidades): 2
Saídas	Mensagem de erro visual ao redor do campo que significa que o valor inserido não é válido.
Status	OK
Defeito	N/A

A Tabela 26 consiste no caso de teste em que o usuário insere um valor que não seja um número no campo do formulário referente à duração com temperatura máxima.

Tabela 26 – Roteiro de testes para preenchimento do formulário prévio ao experimento com a inserção de um valor de duração com temperatura máxima que não seja um número.

TC04: Testar o início dos testes com o preenchimento do campo de duração com duração com temperatura máxima com um caractere que não seja um número	
Objetivo	Este teste tem como objetivo averiguar a resposta de erro dada ao usuário ao tentar iniciar testes inserindo um valor que não seja um número.
Requisitos	SOF12
Foco de qualidade	Funcional
Nível	Funcional (sistema)
Técnica	Caixa preta
Ambiente	Desenvolvimento
Atores	Usuário
Pré condições	O usuário ainda não realizou experimentos
Entradas	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura máxima (em °C):60 • Duração com temperatura máxima (em min): asdas • Temperatura mínima (em °C): -20 • Duração com temperatura mínima (em min): 120 • Quantidade de ciclos quentes (em unidades): 2 • Quantidade de ciclos frios (em unidades): 2
Saídas	Mensagem de erro visual ao redor do campo que significa que o valor inserido não é válido.
Status	OK
Defeito	N/A

A Tabela 27 consiste no caso de teste em que o usuário insere um valor que não seja um número no campo do formulário referente à temperatura mínima.

Tabela 27 – Roteiro de testes para preenchimento do formulário prévio ao experimento com a inserção de um valor de temperatura mínima que não seja um número.

TC05: Testar o início dos testes com o preenchimento do campo de temperatura mínima com um caractere que não seja um número

Objetivo	Este teste tem como objetivo averiguar a resposta de erro dada ao usuário ao tentar iniciar testes inserindo um valor que não seja um número.
Requisitos	SOF12
Foco de qualidade	Funcional
Nível	Funcional (sistema)
Técnica	Caixa preta
Ambiente	Desenvolvimento
Atores	Usuário
Pré condições	O usuário ainda não realizou experimentos
Entradas	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura máxima (em °C): 60 • Duração com temperatura máxima (em min): 120 • Temperatura mínima (em °C): asds • Duração com temperatura mínima (em min): 120 • Quantidade de ciclos quentes (em unidades): 2 • Quantidade de ciclos frios (em unidades): 2
Saídas	Mensagem de erro visual ao redor do campo que significa que o valor inserido não é válido.
Status	OK
Defeito	N/A

A Tabela 28 consiste no caso de teste em que o usuário insere um valor que não seja um número no campo do formulário referente à duração com temperatura mínima.

Tabela 28 – Roteiro de testes para preenchimento do formulário prévio ao experimento com a inserção de um valor de duração com temperatura mínima que não seja um número.

TC06: Testar o início dos testes com o preenchimento do campo de duração com temperatura mínima com um caractere que não seja um número	
Objetivo	Este teste tem como objetivo averiguar a resposta de erro dada ao usuário ao tentar iniciar testes inserindo um valor que não seja um número.
Requisitos	SOF12
Foco de qualidade	Funcional
Nível	Funcional (sistema)
Técnica	Caixa preta
Ambiente	Desenvolvimento
Atores	Usuário
Pré condições	O usuário ainda não realizou experimentos
Entradas	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura máxima (em °C):60 • Duração com temperatura máxima (em min): 120 • Temperatura mínima (em °C): -20 • Duração com temperatura mínima (em min): asds • Quantidade de ciclos quentes (em unidades): 2 • Quantidade de ciclos frios (em unidades): 2
Saídas	Mensagem de erro visual ao redor do campo que significa que o valor inserido não é válido.
Status	OK
Defeito	N/A

A Tabela 29 consiste no caso de teste em que o usuário insere um valor que não seja um número no campo do formulário referente à quantidade de ciclos quentes.

Tabela 29 – Roteiro de testes para preenchimento do formulário prévio ao experimento com a inserção de um valor de quantidade de ciclos quentes que não seja um número.

TC07: Testar o início dos testes com o preenchimento do campo de quantidade de ciclos quentes com um caractere que não seja um número

Objetivo	Este teste tem como objetivo averiguar a resposta de erro dada ao usuário ao tentar iniciar testes inserindo um valor que não seja um número.
Requisitos	SOF12
Foco de qualidade	Funcional
Nível	Funcional (sistema)
Técnica	Caixa preta
Ambiente	Desenvolvimento
Atores	Usuário
Pré condições	O usuário ainda não realizou experimentos
Entradas	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura máxima (em °C):60 • Duração com temperatura máxima (em min): 120 • Temperatura mínima (em °C): -20 • Duração com temperatura mínima (em min): 120 • Quantidade de ciclos quentes (em unidades): asds • Quantidade de ciclos frios (em unidades): 2
Saídas	Mensagem de erro visual ao redor do campo que significa que o valor inserido não é válido.
Status	OK
Defeito	N/A

A Tabela 30 consiste no caso de teste em que o usuário insere um valor que não seja um número no campo do formulário referente à quantidade de ciclos frios.

Tabela 30 – Roteiro de testes para preenchimento do formulário prévio ao experimento com a inserção de um valor de quantidade de ciclos frios que não seja um número.

TC08: Testar o início dos testes com o preenchimento do campo de quantidade de ciclos frios com um caractere que não seja um número

Objetivo	Este teste tem como objetivo averiguar a resposta de erro dada ao usuário ao tentar iniciar testes inserindo um valor que não seja um número.
Requisitos	SOF12
Foco de qualidade	Funcional
Nível	Funcional (sistema)
Técnica	Caixa preta
Ambiente	Desenvolvimento
Atores	Usuário
Pré condições	O usuário ainda não realizou experimentos
Entradas	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura máxima (em °C):60 • Duração com temperatura máxima (em min): 120 • Temperatura mínima (em °C): -20 • Duração com temperatura mínima (em min): 120 • Quantidade de ciclos quentes (em unidades): 2 • Quantidade de ciclos frios (em unidades): asds
Saídas	Mensagem de erro visual ao redor do campo que significa que o valor inserido não é válido.
Status	OK
Defeito	N/A

A Tabela 31 consiste no caso de teste em que o usuário insere um valor excedente de temperatura.

Tabela 31 – Roteiro de testes para preenchimento do formulário prévio ao experimento com a inserção de um valor de temperatura máxima acima do valor permitido.

TC09: Testar o início dos testes com o preenchimento do campo de temperatura excedente

Objetivo	Este teste tem como objetivo averiguar a resposta de erro dada ao usuário ao tentar iniciar testes com um valor de temperatura maior que o permitido.
Requisitos	SOF12
Foco de qualidade	Funcional
Nível	Funcional (sistema)
Técnica	Caixa preta
Ambiente	Desenvolvimento
Atores	Usuário
Pré condições	O usuário ainda não realizou experimentos
Entradas	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura máxima (em °C): 120 • Duração com temperatura máxima (em min): 2 • Temperatura mínima (em °C): - • Duração com temperatura mínima (em min): - • Quantidade de ciclos quentes (em unidades): - • Quantidade de ciclos frios (em unidades): -
Saídas	Mensagem de erro no campo em questão, informando que a temperatura inserida não é permitida.
Status	OK
Defeito	N/A

A Tabela 32 consiste no caso de teste em que uma emissão de alerta deverá ser ativada por meio de um ícone no caso em que a temperatura máxima for atingida durante um experimento.

Tabela 32 – Roteiro de testes para verificar a emissão de um alerta por ícone em caso de temperatura máxima atingida.

TC10: Testar a emissão de alertas sobre os valores de saída dos sensores quando a temperatura máxima for atingida

Objetivo	Este teste tem como objetivo averiguar a emissão de alertas ao usuário ao se deparar com a situação de temperatura máxima permitida.
Requisitos	SOF05
Foco de qualidade	Funcional
Nível	Funcional (sistema)
Técnica	Caixa preta
Ambiente	Desenvolvimento
Atores	Usuário, Aplicação
Pré condições	<ul style="list-style-type: none"> • A conexão entre sensores e a aplicação foi estabelecida • A temperatura mínima ou máxima foi atingida
Entradas	Temperatura acima ou abaixo do permitido
Saídas	Alerta visual através de ícone informando que a temperatura máxima foi atingida
Status	OK
Defeito	N/A

A Tabela 33 consiste no caso de teste em que uma emissão de alerta deverá ser ativada por meio de um ícone no caso de perda de comunicação dos sensores com a aplicação.

Tabela 33 – Roteiro de testes para verificar a emissão de um alerta por ícone em caso de perda na comunicação com os sensores.

TC11: Testar a emissão de alertas sobre os valores de saída dos sensores quando houver perda da conexão

Objetivo	Este teste tem como objetivo averiguar a resposta dada ao usuário quando os sensores perderem a conexão com a aplicação
Requisitos	SOF05
Foco de qualidade	Funcional
Nível	Funcional (sistema)
Técnica	Caixa preta
Ambiente	Desenvolvimento
Atores	Usuário
Pré condições	<ul style="list-style-type: none"> • A conexão entre sensores e a aplicação foi estabelecida • Houve perda da conexão com os sensores
Entradas	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura máxima (em °C): 60 • Duração com temperatura máxima (em min): 120 • Temperatura mínima (em °C): -20 • Duração com temperatura mínima (em min): 120 • Quantidade de ciclos quentes (em unidades): 2 • Quantidade de ciclos frios (em unidades): 2
Saídas	Alerta visual através de ícone informando que há problemas com os sensores
Status	OK
Defeito	N/A

A Tabela 34 consiste no caso de teste em que uma emissão de alerta deverá ser ativada por meio de um ícone no caso dos sensores não enviarem as respostas demandadas para a aplicação.

Tabela 34 – Roteiro de testes para verificar a emissão de um alerta por ícone no caso dos sensores não enviarem as respostas demandadas.

TC12: Testar a emissão de alertas sobre os valores de saída dos sensores quando houver falta de resposta dos sensores

Objetivo	Este teste tem como objetivo averiguar a resposta dada ao usuário quando os sensores não enviam dados para a aplicação
Requisitos	SOF05
Foco de qualidade	Funcional
Nível	Funcional (sistema)
Técnica	Caixa preta
Ambiente	Desenvolvimento
Atores	Usuário
Pré condições	O sistema foi inicializado
Entradas	Requisição para obter os dados dos sensores
Saídas	Alerta visual através de ícone informando que há problemas com os sensores
Status	OK
Defeito	N/A

A Tabela 35 consiste no caso de teste em que uma emissão de alerta deverá ser ativada por meio de um ícone no caso dos sensores estarem apresentando valores discrepantes de pressão, temperatura ou radiação, em comparação com sua maioria.

Tabela 35 – Roteiro de testes para verificar a emissão de um alerta por ícone no caso dos sensores apresentarem valores discrepantes.

TC13: Testar a emissão de alertas sobre os valores de saída dos sensores quando houver valores discrepantes entre eles

Objetivo	Este teste tem como objetivo averiguar a resposta dada ao usuário quando os sensores apresentarem valores discrepantes
Requisitos	SOF05
Foco de qualidade	Funcional
Nível	Funcional (sistema)
Técnica	Caixa preta
Ambiente	Desenvolvimento
Atores	Usuário
Pré condições	<ul style="list-style-type: none"> • A conexão entre sensores e a aplicação foi estabelecida • Houve resposta dos sensores às requisições
Entradas	Verificação do estado dos sensores
Saídas	Alerta visual através de ícone informando que há problemas com os sensores
Status	OK
Defeito	N/A

A Tabela 36, consiste no caso de teste em que há o preenchimento de apenas dois

campos do formulário, para que seja realizada a simulação de uma limpeza térmica.

Tabela 36 – Roteiro de testes para preenchimento parcial do formulário prévio ao experimento.

TC14: Testar o início dos testes com o preenchimento dos campos de temperatura máxima e duração com temperatura máxima

Objetivo	Este teste tem como objetivo averiguar a resposta de sucesso dada ao usuário ao tentar iniciar testes com dados válidos, com o objetivo específico de realizar a limpeza térmica.
Requisitos	SOF12
Foco de qualidade	Funcional
Nível	Funcional (sistema)
Técnica	Caixa preta
Ambiente	Desenvolvimento
Atores	Usuário
Pré condições	Não há nenhum experimento em andamento <ul style="list-style-type: none"> • Temperatura máxima (em °C): 60 • Duração com temperatura máxima (em min): 120 • Quantidade de ciclos quentes (em unidades): 2
Entradas	Limpeza térmica com os parâmetros inseridos
Saídas	OK
Defeito	N/A

A Tabela 37, descreve o caso de teste com a funcionalidade de exportar dados de um experimento que foi selecionado pelo pesquisador.

Tabela 37 – Roteiro de testes para exportação dos dados do experimento selecionado.

TC15: Testar a exportação do arquivo csv. com os dados do experimento selecionado	
Objetivo	Este teste tem como objetivo averiguar a resposta de sucesso dada ao usuário ao tentar exportar os dados de um experimento.
Requisitos	SOF13
Foco de qualidade	Funcional
Nível	Funcional (sistema)
Técnica	Caixa preta
Ambiente	Desenvolvimento
Atores	Usuário
Pré condições	<ul style="list-style-type: none"> • O usuário realizou pelo menos um experimento • O usuário selecionou um experimento
Entradas	<ul style="list-style-type: none"> • ID do experimento selecionado • Dados quantitativos do experimento
Saídas	<p>Arquivo para download contendo dados quantitativos do experimento com</p> <ul style="list-style-type: none"> • o ID correspondente • Nome do experimento • Data e Horário • Duração das fases • Linha do tempo com dados da pressão e temperatura
Status	OK
Defeito	N/A

A Tabela 38, consiste no caso de teste com a funcionalidade de exportar dados de um experimento com um ID diferente do selecionado. Este é um teste para verificar se os dados estão coerentes com a escolha do usuário.

Tabela 38 – Roteiro de testes para exportação dos dados do experimento com um ID diferente.

TC16: Testar a exportação do arquivo csv. com os dados de um experimento com ID diferente

Objetivo	Este teste tem como objetivo averiguar a coerência do ID de cada experimento a ser exportado
Requisitos	SOF13
Foco de qualidade	Funcional
Nível	Funcional (sistema)
Técnica	Caixa preta
Ambiente	Desenvolvimento
Atores	Usuário
Pré condições	<ul style="list-style-type: none"> • O usuário realizou pelo menos um experimento • O usuário selecionou um experimento
Entradas	<ul style="list-style-type: none"> • ID diferente do experimento selecionado • Dados quantitativos do experimento
Saídas	Mensagem de erro
Status	OK
Defeito	N/A

A Tabela 39, descreve o caso de teste de coleta de informações de pressão e temperatura de forma correta e sua posterior apresentação ao usuário com suas médias, na linha de gás e na câmara em si.

Tabela 39 – Roteiro de testes para coleta dos índices de temperatura e pressão com valor médio.

TC17: Testar a coleta dos índices de temperatura e pressão e seus valores médio

Objetivo	Este teste tem como objetivo averiguar a resposta dada ao usuário ao tentar monitorar a temperatura e pressão do sistema.
Requisitos	SOF06 e SOF07
Foco de qualidade	Funcional
Nível	Unitário e Funcional (sistema)
Técnica	Caixa preta
Ambiente	Desenvolvimento
Atores	Usuário, Aplicação
Pré condições	A conexão entre sensores e aplicação foi estabelecida
Entradas	<ul style="list-style-type: none"> • Valor de cada sensor de temperatura da linha de gás • Valor de cada sensor de temperatura da câmara • Valor de cada sensor de pressão da câmara
Saídas	<ul style="list-style-type: none"> • Valor médio de temperatura na linha de gás • Valor médio de temperatura na câmara • Valor médio da pressão na câmara
Status	OK
Defeito	N/A

A Tabela 40, descreve o caso de teste que busca verificar se há a correta atualização com os valores que o usuário inserir para rotacionar o suporte em U.

Tabela 40 – Roteiro de testes para atualização dos valores de rotação do suporte em U.

TC18: Testar a atualização dos valores de rotação do suporte em U	
Objetivo	Este teste tem como objetivo averiguar a atualização de valores referentes à rotação que o usuário pode inserir.
Requisitos	SOF15
Foco de qualidade	Funcional
Nível	Funcional (sistema)
Técnica	Caixa preta
Ambiente	Desenvolvimento
Atores	Usuário, Aplicação
Pré condições	A câmara foi despressurizada
Entradas	<ul style="list-style-type: none"> • Valor de rotação no eixo X (em graus): 180 • Valor de rotação no eixo Y (em graus): 0
Saídas	Atualização do valor de rotação e movimentação do suporte em U <ul style="list-style-type: none"> • Eixo X (em graus): 180 • Eixo Y (em graus): 0
Status	OK
Defeito	N/A

9 Manual de Montagem

9.1 Visão Geral

O plano de montagem apresentará o passo-a-passo por sistema da solução. A visão geral dos componentes que formam a solução podem ser observados na Tab. 41 e a disposição deles dentro de um laboratório pode ser observada na Fig. 106.

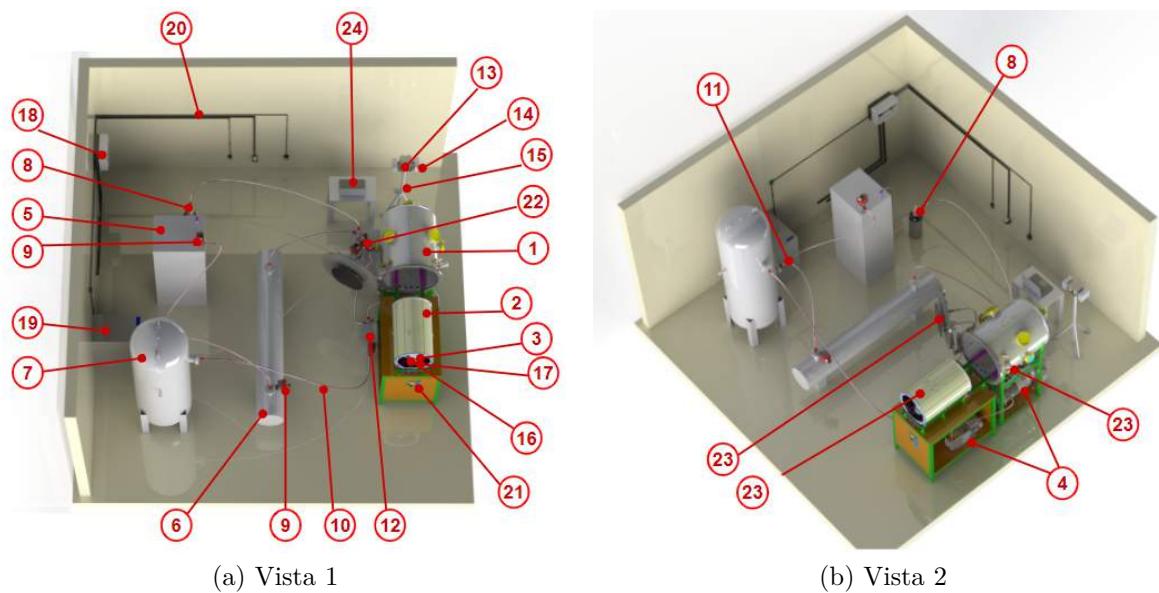


Figura 106 – Vistas da montagem no laboratório.

Tabela 41 – Identificação dos componentes da solução montada em laboratório.

N	Sistema	Componente
1	Fora do escopo	Câmara de vácuo
2	Fora do escopo	Placa térmica
3	Fora do escopo	Cubesat
4	Fora do escopo	Bombas de vácuo
5	Sistema de alimentação N2	Condensador (trocador de calor)
6	Sistema de alimentação N2	Aquecedor (trocador de calor)
7	Sistema de alimentação N2	Tanque reserva
8	Sistema de alimentação N2	Dewar
9	Sistema de alimentação N2	Atuadores
10	Sistema de alimentação N2	Linha de alimentação
11	Sistema de alimentação N2	Filtro

12	Sistema de alimentação N2	Bomba
13	Simulador solar	Lâmpadas
14	Simulador solar	Reator
15	Simulador solar	Estrutura do simulador solar
16	Suporte do CubeSat	Estrutura "U"
17	Suporte do CubeSat	Motores
18	Central energética	Quadro de distribuição
19	Central energética	Nobreak
20	Central energética	Fonte de alimentação energética
21	Central de controle e sensoriamento	PCB
22	Central de controle e sensoriamento	Medidor de vazão
23	Central de controle e sensoriamento	Sensores de pressão e temperatura
24	Interface com o usuário	Notebook

9.2 Suporte do CubeSat

Tabela 42 – Componentes para montagem do Suporte do CubeSat.

Descrição	Modelo	Quantidade
Parafusos Allen	M2.5x30mm	4
Parafusos Allen	M6x25mm	6
Parafusos Allen sem cabeça	M3x4mm	6
Porcas	M6	6
Motor 1	Hanpose - 11HS2810	1
Motores 2	Hanpose - 23HS7628	2
Suporte em U	-	1
Disco de interface	-	1
Envelopes dos motores 2	-	2

- Fixação do motor do CubeSat:** Primeiramente deve ser feita a fixação do motor para rotação do CubeSat ao suporte em U, por parafusos Allen M2,5x30 mm, como mostra a Fig. 107:

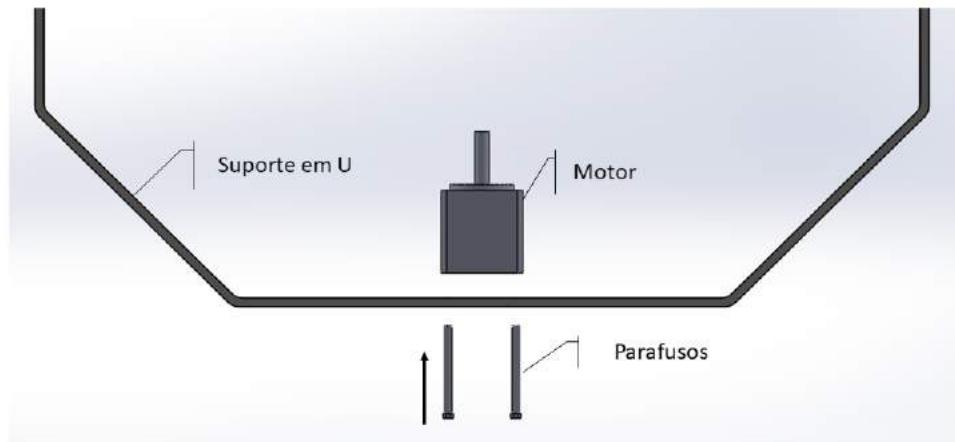


Figura 107 – Fixação do motor 1 no suporte em U.
Fonte: Autoria Própria.

2. **Encaixe da interface:** Em seguida, deve ser feita o encaixe do disco de interface onde o CubeSat será acoplado, de acordo com a Fig. 108:

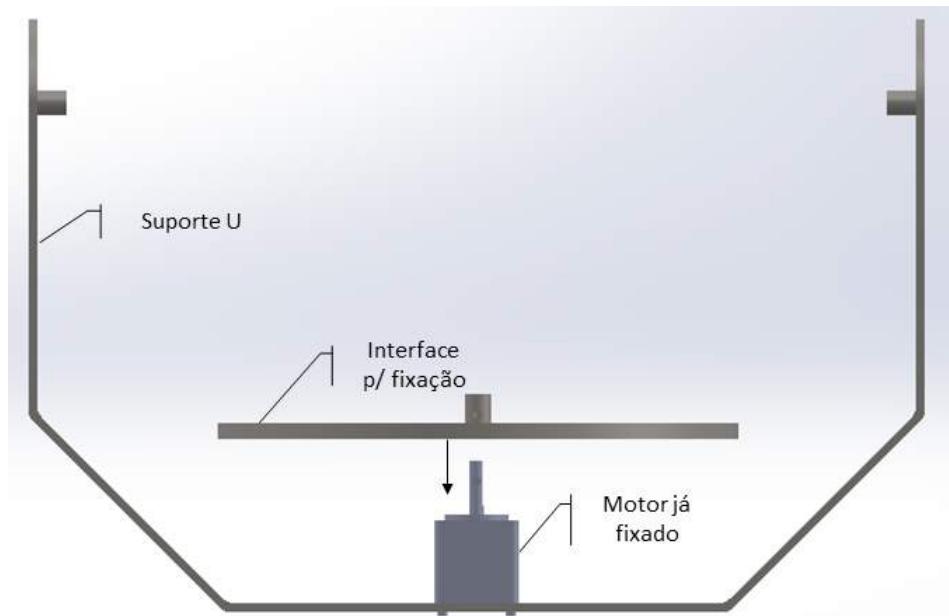


Figura 108 – Encaixe entre o disco de acoplamento e o motor 1.
Fonte: Autoria Própria.

3. **Fixação do eixo do motor na interface:** Dois parafusos Allen M3x4mm são inseridos, perpendicularmente, na conexão entre o eixo do motor e o disco, de acordo com a Fig. 109:

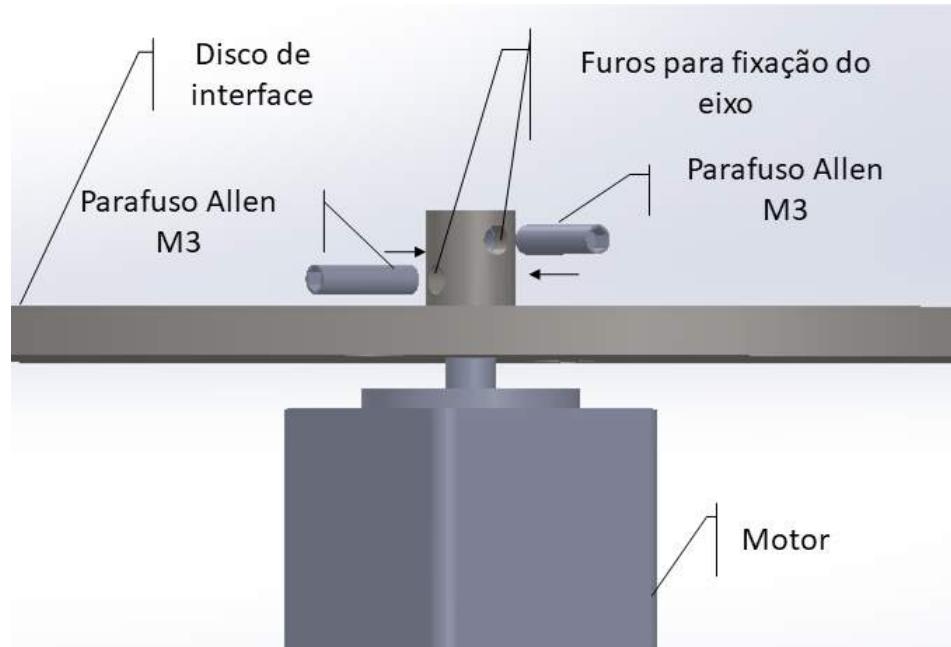


Figura 109 – Fixação do eixo do motor 1 no disco de acoplamento.
Fonte: Autoria Própria.

4. Fixação dos motores laterais: A fixação dos motores laterais é feita de forma semelhante à do motor do CubeSat, a fixação no Suporte em U é feita com 2 parafusos Allen M3x4mm, de acordo com a Fig. 110:

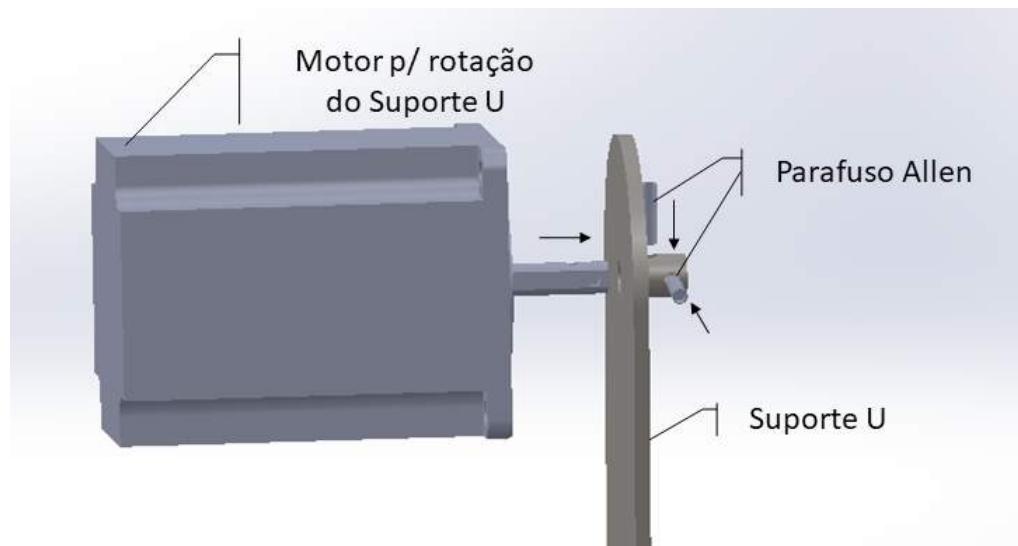


Figura 110 – Fixação dos motores laterais no suporte em U.
Fonte: Autoria Própria.

5. Finalização da montagem do suporte: Em seguida, os envelopes dos motores são encaixados, de acordo com a Fig. 111:

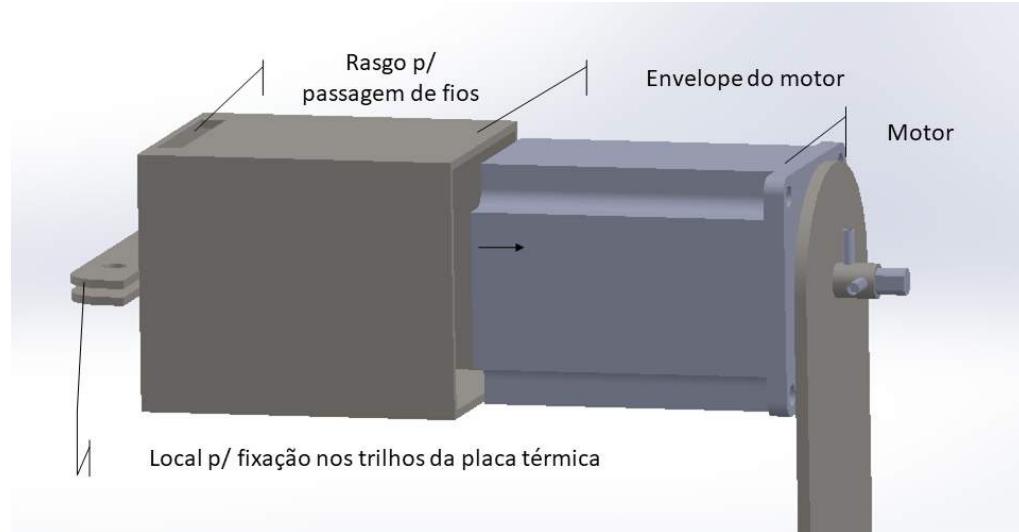


Figura 111 – Encaixe dos envelopes dos motores laterais para fixação nos trilhos da placa térmica.

Fonte: Autoria Própria.

6. Suporte em U: O suporte para o CubeSat fica montado de acordo com a Fig. 112:

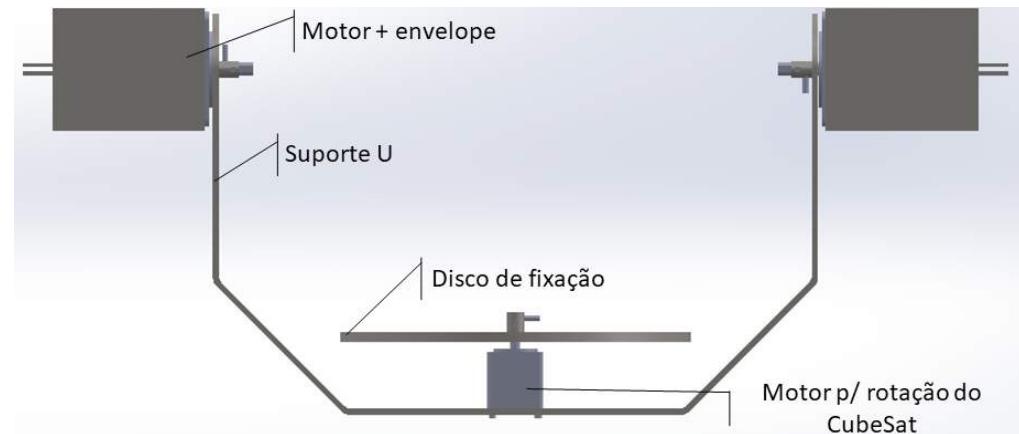


Figura 112 – Suporte do CubeSat montado.

Fonte: Autoria Própria.

7. Integração do suporte em U na placa térmica: Por conta da existência de uma estrutura treliçada na entrada da placa térmica, como na Fig. 113, que fica na frente dos trilhos para fixação, o suporte deve ser inserido na placa térmica de acordo com a Fig. 114. Após o suporte estar dentro da placa térmica, o mesmo é rotacionado e alinhado com os trilhos, com nas Figs. 115 e 116, respectivamente:

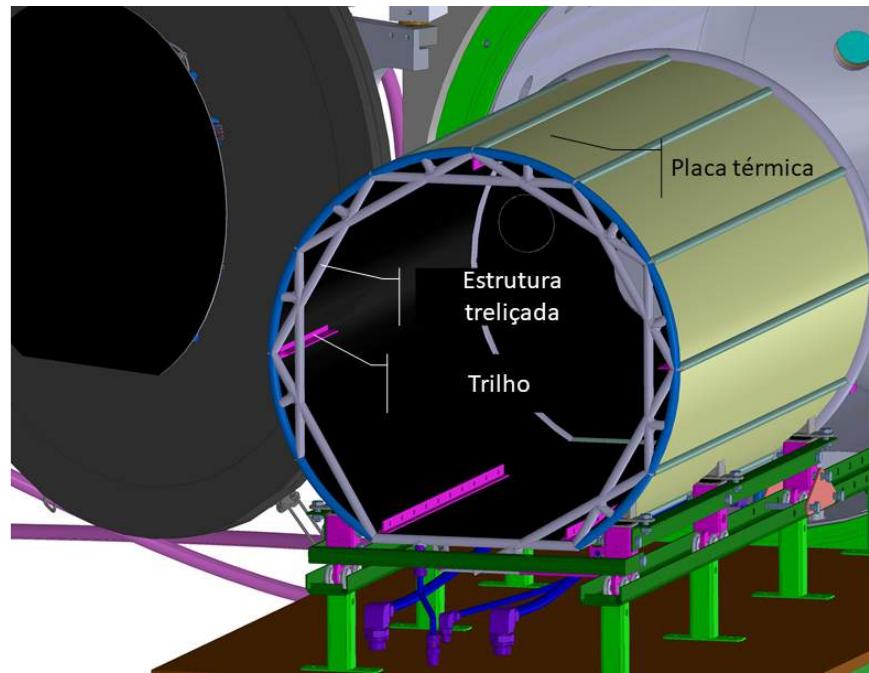


Figura 113 – Estrutura treliçada da placa térmica que fica na frente dos trilhos de fixação.
Fonte: Autoria Própria.

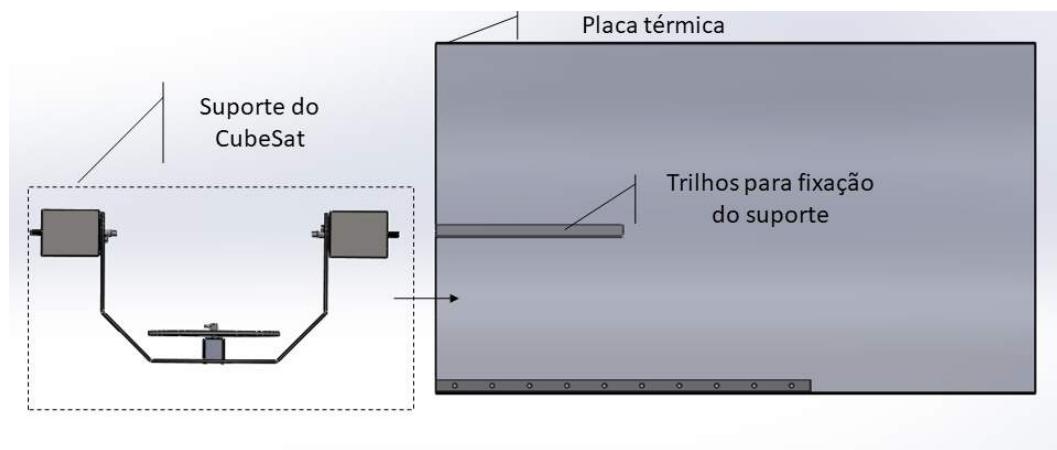


Figura 114 – Colocação do suporte da placa térmica.
Fonte: Autoria Própria.

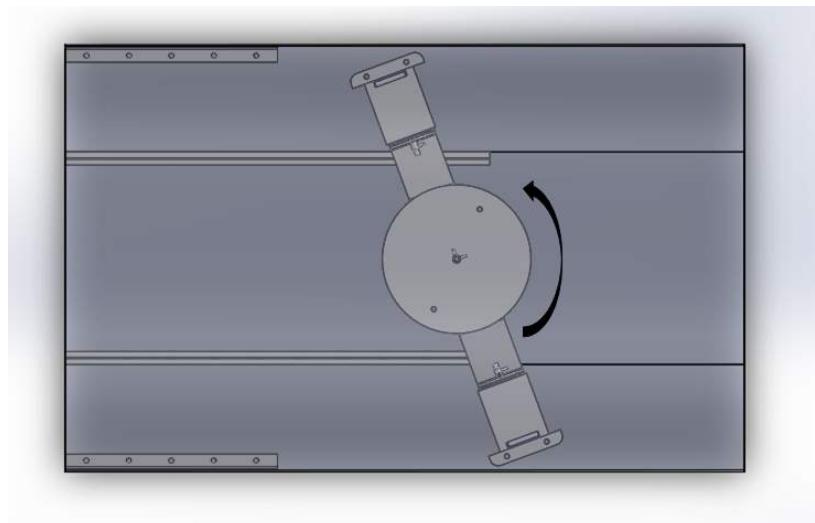


Figura 115 – Alinhamento do suporte com os trilhos.
Fonte: Autoria Própria.

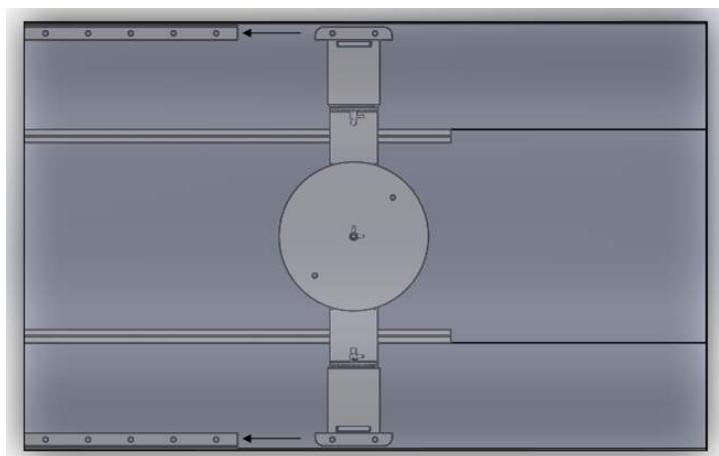


Figura 116 – Encaixe do suporte nos trilhos da placa térmica.
Fonte: Autoria Própria.

8. Fixação do suporte nos trilhos: A fixação do suporte em U nos trilhos da placa térmica é feita após o alinhamento do suporte em relação aos trilhos e com a escolha do posicionamento do CubeSat em relação a fonte luminosa. Com o posicionamento definido, a fixação é feita com dois parafusos Allen M6x25mm e duas porcas sextavadas M6 de cada lado, de acordo com a Fig. 117:

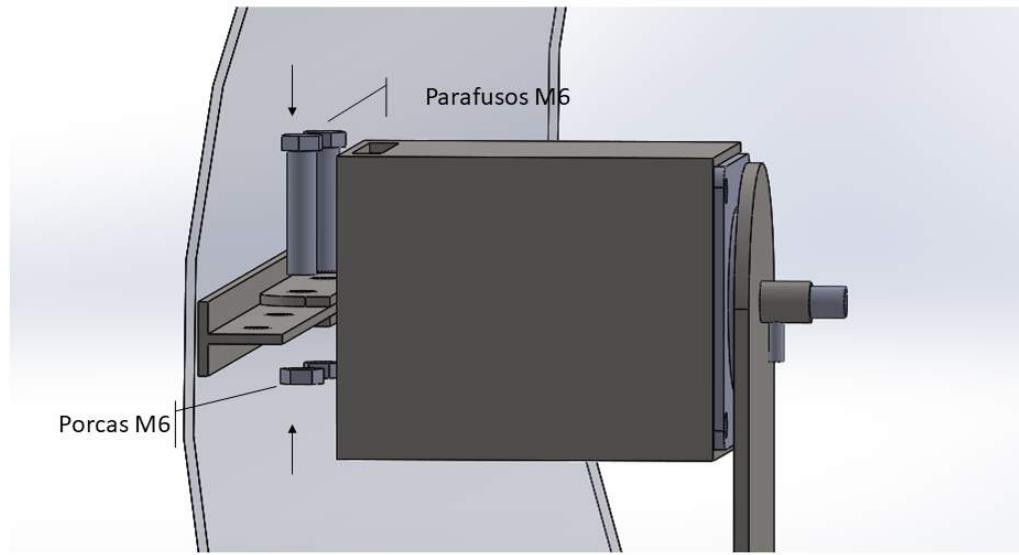


Figura 117 – Fixação do suporte em U nos trilhos da placa térmica através do envelope do motor.

Fonte: Autoria Própria.

9. Fixação do CubeSat: Com o suporte fixado na placa térmica, só resta fixar o CubeSat no suporte, de acordo com a Fig. 118. Essa fixação é feita com dois parafusos Allen M6x25mm que passam pelo disco já fixado ao motor de rotação e são rosqueados nas colunas do CubeSat. Nesses parafusos são aplicados travas rosca Loctite para garantir a fixação através do rosqueamento:

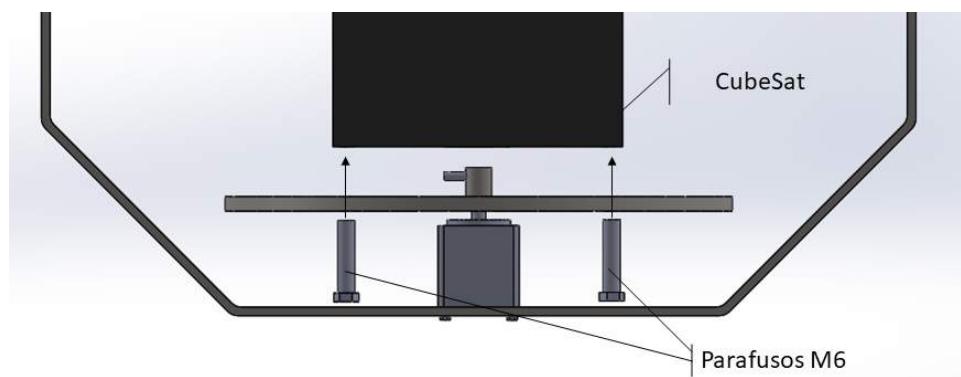


Figura 118 – Fixação do suporte em U nos trilhos da placa térmica através do envelope do motor.

Fonte: Autoria Própria.

9.3 Simulador Solar

9.3.1 Parte estrutural

Tabela 43 – Componentes para montagem do Simulador Solar.

Descrição	Modelo	Quantidade
Tripé	-	1
Caixa	-	1
Parafusos Allen	M10x10mm	2
Parafusos sextavado	M10x45mm	2
Porcas	M10	2

1. **Fixação da caixa no tripé:** Primeiramente deve ser feita a fixação da caixa no tripé, por parafusos Allen M10x25 mm, como mostra a Fig. 119:

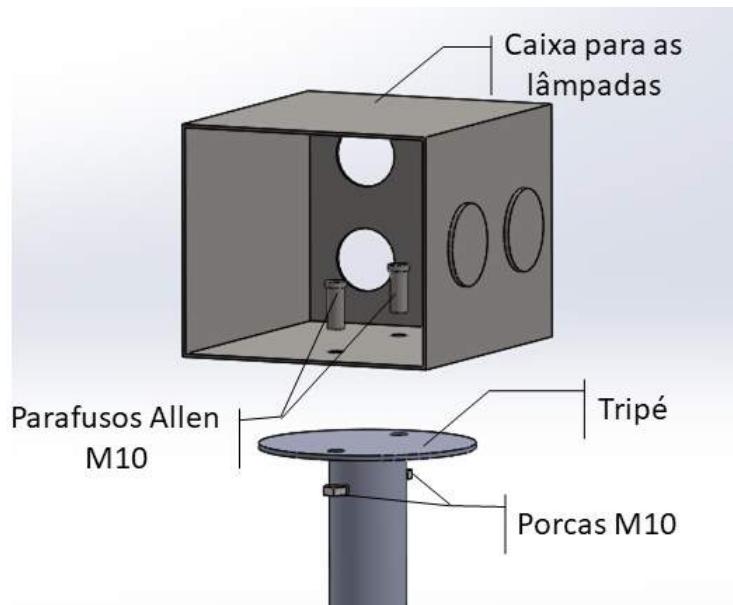


Figura 119 – Fixação da caixa no tripé.

Fonte: Autoria Própria.

2. **Fixação dos reatores para as lâmpadas:** Em seguida, deve ser feita o encaixe dos 4 reatores para as 4 lâmpadas na caixa, na Fig. 120 é mostrado o encaixe, como exemplo para um reator:

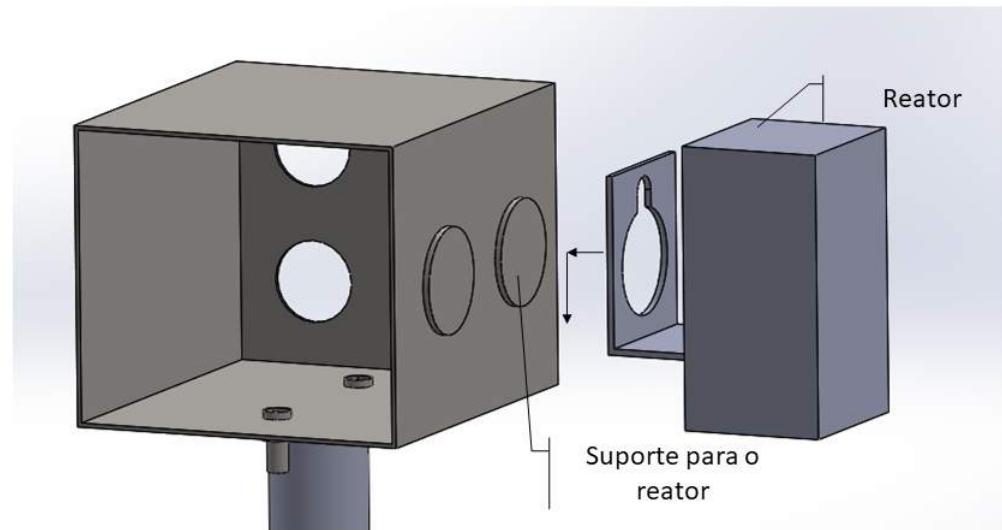


Figura 120 – Fixação dos reatores para as lâmpadas.
Fonte: Autoria Própria.

3. **Encaixe dos bocais para as lâmpadas:** Os bocas são encaixados nos locais específicos na caixa, de acordo com a Fig. 121:

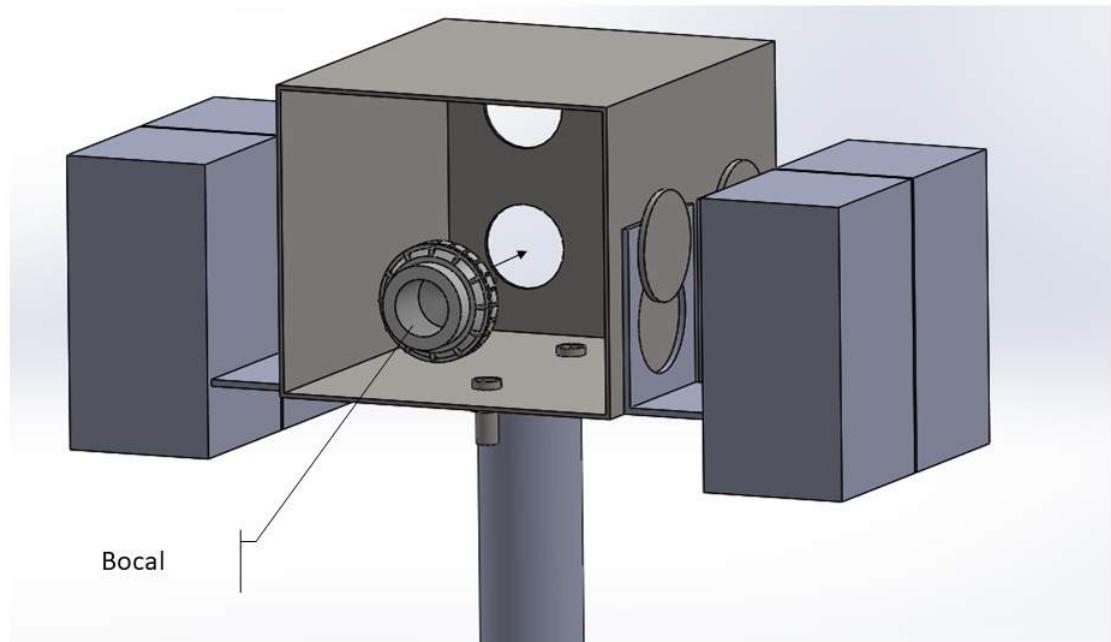


Figura 121 – Encaixe dos bocais.
Fonte: Autoria Própria.

4. **Colocação das lâmpadas:** com o suporte montado, as lâmpadas de vapor metálico são colocadas nos bocais, de acordo com a Fig. 122:

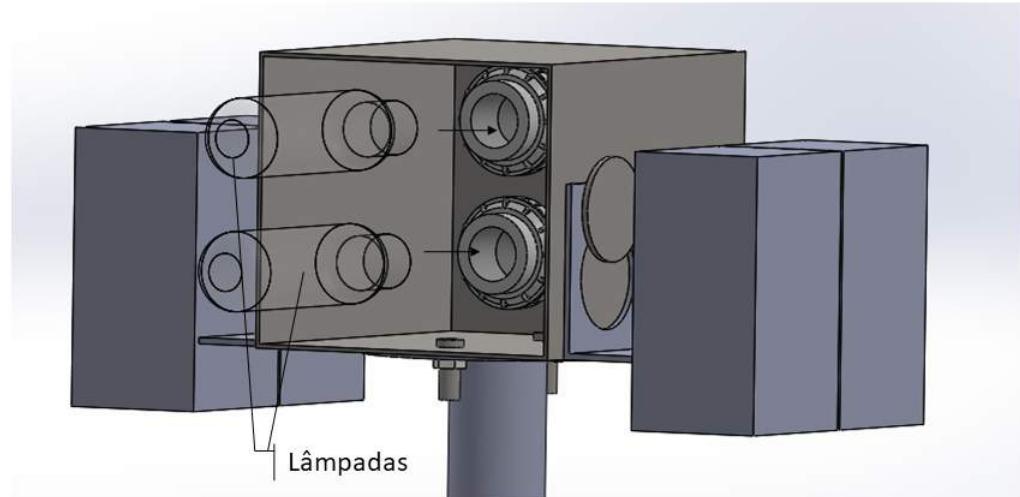


Figura 122 – Colocação das lâmpadas.
Fonte: Autoria Própria.

9.3.2 Parte elétrica

A montagem do simulador solar deve ser executada por um profissional capacitado, além disso este deve estar com equipamento de proteção individual (EPI), nos moldes da Norma Regulamentadora (NR) de número 10. Outro ponto importante, durante a montagem desse sistema o quadro de distribuição deve estar desligado.

Os componentes utilizados para a montagem do simulador estão dispostos abaixo:

Tabela 44 – Componentes para montagem do simulador solar.

Descrição	Modelo	Quantidade
Lâmpada vapor metálico	Tubular 70W 220V - Lukma	4
Reator para lâmpada	Externo AFP 70W - Serwal	4
Bocal	E27 - Decorlux	4
Módulo de interruptor	Paralelo Siena Alumbra	1
Caixa Sobrepor Interruptor	10A 250V - Tramontina	1
Condutor Fase 1,5 mm ²	Preto com 10 metros - Lexman	1
Condutor Terra 1,5 mm ²	Verde com 10 metros - Lexman	1
Condutor Neutro 1,5 mm ²	Azul com 10 metros - Lexman	1
Canaleta 13x7mm com Adesivo	2 metros - Dexson Schneider	2
Abraçadeira Rapstrap	10x300mm/24 unidades - Schneider	1

Fonte: Autoria própria.

Os passos a serem seguidos para a instalação da parte elétrica do simulador solar são:

1. Fixar as canaletas (13x7mm) do circuito do simulador solar, assim como na Fig. 129, sendo importante que ocorra o acoplamento do eletroduto com o interruptor a 1,4 metros do piso e com distância do quadro de distribuição de 1,9 metros;
2. Os condutores que irão no suporte do simulador devem ser conectados com as abraçadeiras "Rapstrap" para melhor organização, além disso os cabos devem ter uma folga de até 4 metros para permitir maior locomoção da estrutura do simulador para os testes, visto que este deve ser posicionado na frente da câmara de vácuo;
3. A conexão das lâmpadas e reatores presentes na parte superior da estrutura do simulador devem seguir o diagrama abaixo. Além disso, é aconselhável que os condutores em paralelo (neutro e fase) estejam agrupados em eletrodutos específicos, por exemplo: utilização de mangueira para organização de cabos elétricos;

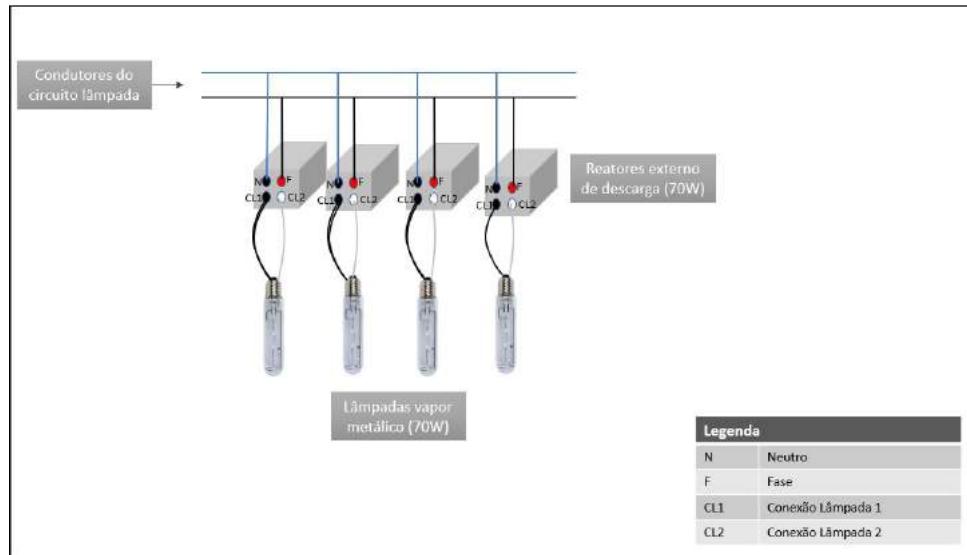


Figura 123 – Montagem parte elétrica.

Fonte: Autoria própria.

4. A fixação das lâmpadas nos bocais deve seguir o mesmo passo apresentado na Fig. 122.

9.4 Sistema de alimentação

Tabela 45 – Componentes para montagem do sistema de alimentação.

Descrição	Modelo	Quantidade
Aquecedor de nitrogênio	10kW	1
Condensador de nitrogênio	M50-H	1
Caixa Sobrepor Sleek	2 postos - MarGirius	1
Tomada Sleek	20A 250V - MarGirius	1
Tomada blindada sobrepor	63A 250V - MarGirius	1
Condutor Fase 2,5 mm ²	Preto com 25 metros - Lexman	1
Condutor Neutro 2,5 mm ²	Azul com 25 metros - Lexman	1
Condutor Fase 10 mm ²	Preto com 25 metros - Lexman	1
Condutor Neutro 10 mm ²	Azul com 25 metros - Lexman	1
Canaleta 13x7mm com Adesivo	2 metros - Dexson Schneider	2
Canaleta 20x20mm com Adesivo	2 metros - Dexson Schneider	2
Abraçadeira Rapstrap	10x300mm/24 unidades - Schneider	1
Filtro de linha	New Filter	1
Medidor de vazão	-	1
Bomba de N ₂	NB-45	1
Tanque de GN ₂	-	1
Dewar	-	1
Conexão Cruzeta	SS-1210-4	1
Conexões T	Swagelok	4
Conexões dupla anilha	SS-200-1-4RT	25
Válvulas criogênicas	Globo VAP 74AL	6
Válvulas anti-retorno	<i>Stop Check</i>	4
Fio de índio	-	1 rolo

Fonte: Autoria própria.

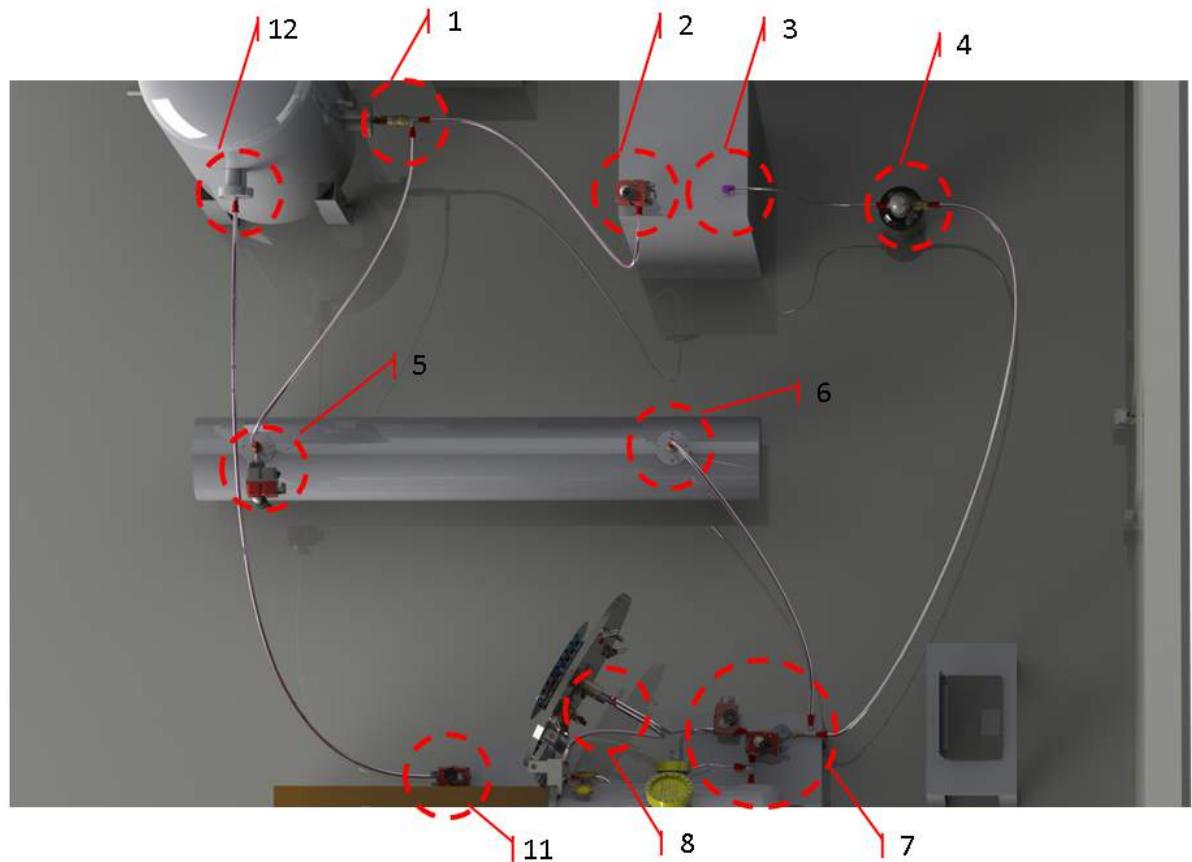


Figura 124 – Passos da montagem do sistema de alimentação - Parte 1.
Fonte: Autoria Própria.

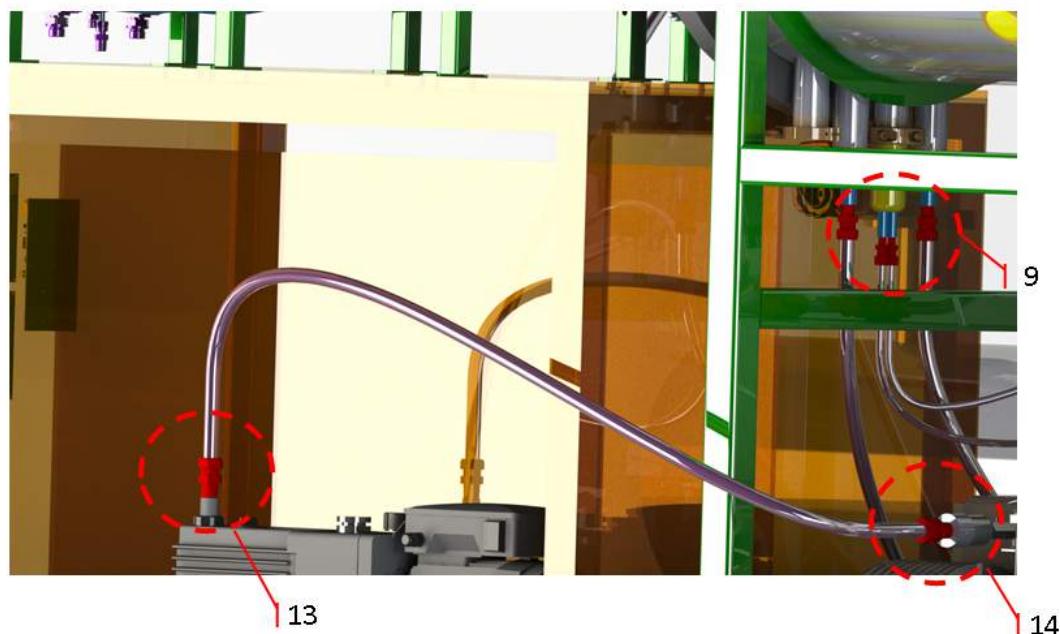


Figura 125 – Passos da montagem do sistema de alimentação - Parte 2.
Fonte: Autoria Própria.

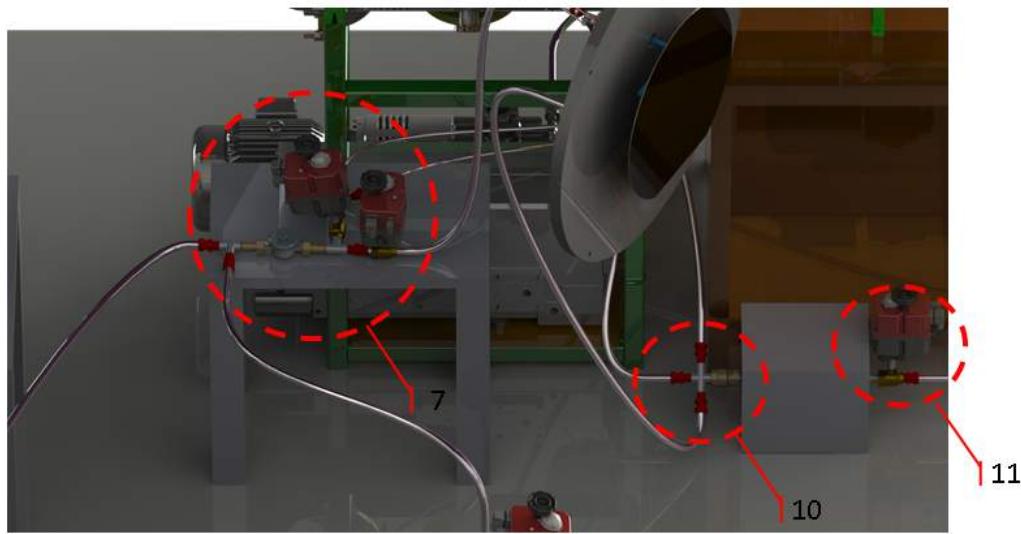


Figura 126 – Passos da montagem do sistema de alimentação - Parte 3.
Fonte: Autoria Própria.

Nas Figuras 124, 125 e 126 estão identificadas as regiões de conexão do sistema de alimentação. Em cada região será detalhado o esquema de conexão dos componentes do sistema de alimentação. Os passos a serem seguidos para montagem são:

1. Fixar flange do tanque de GN_2 , com parafusos M19 e fio de índio. Conectar válvula manual à flange do tanque de GN_2 , com fio de índio. Conectar filtro de linha, com fio de índio. Conectar válvula de retenção, com fio de índio. Conectar tubos rígidos às conexões dupla anilha e conecta-las à conexão T.
2. Conectar cotovelo, com fio de índio, ao condensador. Conectar válvula globo ao cotovelo, com fio de índio. Conectar tubo rígido à conexão dupla anilha e conecta-la à válvula globo com fio de índio. Acoplar atuador à válvula globo.
3. Conectar cotovelo, com fio de índio, ao condensador. Conectar tubo rígido à conexão dupla anilha e conecta-la ao cotovelo.
4. Conectar tubo rígido à conexão dupla anilha e conecta-la ao *Dewar*. Conectar a válvula de retenção, com fio de índio, ao *Dewar*. Conectar tubo rígido à conexão dupla anilha e conecta-la a válvula de retenção.
5. Fixar flange, com parafusos M19 e fio de índio, ao aquecedor. Conectar válvula globo à flange do aquecedor com fio de índio. Conectar tubo rígido à conexão dupla anilha e conecta-la à válvula globo com fio de índio. Acoplar atuador à válvula globo.
6. Fixar flange, com parafusos M19 e fio de índio, ao aquecedor. Conectar de retenção à flange do aquecedor com fio de índio. Conectar tubo rígido à conexão dupla anilha e conecta-la à válvula globo com fio de índio.

7. Conectar tubos às conexões dupla anilha e conecta-las à conexão T, com fio de índio. Conectar medidor de vazão ao T, com fio de índio. Conectar T ao medidor de vazão, com fio de índio. Conectar válvulas globo às extremidades livres do T, com fios de índio. Conectar T à válvula globo que está conectada a saída perpendicular do T, com fio de índio. Conectar tubos rígidos às conexões dupla anilha e conecta-las às saídas livres do T e da válvula globo.
8. Conectar tubos rígidos às conexões dupla anilha e conecta-las à porta da Câmara de Termo-Vácuo.
9. Conectar tubos rígidos às conexões dupla anilha e conecta-las à Câmara de Termo-Vácuo.
10. Conectar tubos rígidos às conexões dupla anilha e conecta-las à três saídas livres da cruzeta. Conectar válvula de retenção, com fio de índio, à última saída livre da cruzeta. Conectar válvula de retenção à bomba de nitrogênio, com fio de índio.
11. Conectar válvula globo à bomba de nitrogênio, com fio de índio. Conectar atuador à válvula globo. Conectar tubo rígido à conexão dupla anilha e conecta-la à válvula globo.
12. Fixar flange do tanque de GN₂, com parafusos M19 e fio de índio. Conectar tubo rígido à conexão dupla anilha e conecta-la à flange.
13. Conectar tubo rígido à conexão dupla anilha e conecta-la à bomba de vácuo mecânica.
14. Conectar tubo rígido à conexão dupla anilha e conecta-la à bomba turbo-molecular.

9.4.1 Trocadores de Calor

A montagem dos circuitos dos trocadores de calor devem ser executadas por um profissional capacitado, sendo necessário o desligamento do quadro de distribuição.

Os componentes utilizados para a montagem do simulador estão dispostos abaixo:

Os passos a serem seguidos para montagem são:

1. Fixar as canaletas (13x7mm e 20x20mm, respectivamente) dos circuitos dos trocadores de calor a 1,40 metros do piso, respeitando uma distância de 30 centímetros entre as canaletas, assim como na Fig. 129;
2. Fixada a canaleta do circuito do condensador, é necessário que sejam passados os condutores fase e neutro, seção de 2,5mm². Após esse passo, é necessário a conexão da tomada (20A/250V) logo após a canaleta a uma distância de 30cm do piso e com uma distância de no mínimo 30 centímetros de outras tomadas;

3. O último passo deverá ser repetido para o aquecedor de nitrogênio, com o diferencial que a seção dos condutores é de 10mm² e a tomada utilizada é de modelo industrial (63A/250V).
4. Por fim, após a montagem de todo o circuito, já é possível realizar a conexão dos equipamentos às suas respectivas tomadas.

9.5 Quadro de distribuição

A montagem do quadro de distribuição deve ser executada por um profissional capacitado, além disso este deve estar com equipamento de proteção individual (EPI), nos moldes da Norma Regulamentadora (NR) de número 10. Outro ponto importante, durante a montagem o quadro de energia principal (o qual distribuirá para o quadro do laboratório) deverá estar desligado.

Os componentes utilizados para a montagem do quadro estão dispostos abaixo, sendo que não foi considerado os parafusos (pois esses já vêm com os equipamentos):

Tabela 46 – Componentes para montagem do quadro de distribuição.

Descrição	Modelo	Quantidade
Quadro de distribuição	18 Módulos – Schneider Electric	1
Disjuntor Geral	EZ9F33370	1
Disjuntor DPS	CLAMPER VCL SLIM - 20kA/275V	3
Disjuntor Lâmpada	EZ9F33104	1
Disjuntor Entrada Nobreak	EZ9F56363	1
Disjuntor Saída Nobreak	EZ9F56363	1
Condutor Fase 16 mm ²	Preto com 10m - Megatron	1
Condutor Terra 16 mm ²	Verde com 10m - Megatron	1
Condutor Neutro 16 mm ²	Azul com 10m - Megatron	1
Condutor Fase 1,5 mm ²	Preto com 10m - Lexman	1
Condutor Neutro 1,5 mm ²	Azul com 10m - Lexmanz	1
Condutor Fase 2,5 mm ²	Preto com 25m - Lexman	1
Condutor Neutro 2,5 mm ²	Azul com 25m - Lexman	1
Condutor Fase 10 mm ²	Preto com 10m - Lexman	1
Condutor Neutro 10 mm ²	Azul com 10m - Lexman	1

Fonte: Autoria própria.

A figura abaixo mostra uma visão geral da montagem do quadro de distribuição, sendo possível visualizar o diagrama elétrico detalhado no anexo B.2. Além disso, os números colocados abaixo significam apenas uma forma de denominar os circuitos a serem seguidos em cada eletroduto conforme CAD que será apresentado mais à frente.

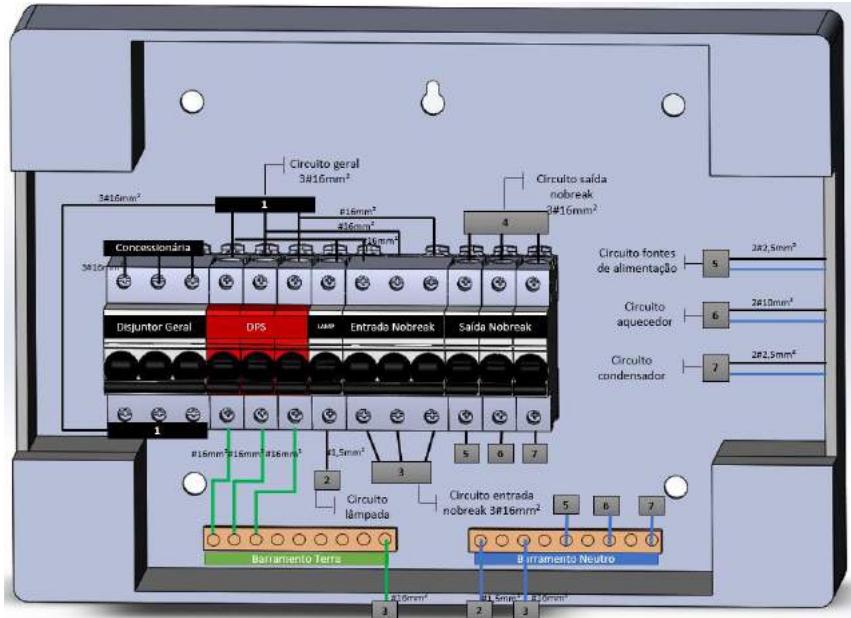


Figura 127 – Montagem quadro de distribuição.

Posto isto, os passos para montagem do quadro são:

1. O quadro deverá ser fixado na parede a uma altura de 1,5 metros do piso e 40 centímetros da parede lateral. Além disso, deverá ser feita a conexão das fases de entrada do disjuntor geral com os cabos advindos da concessionária. Os barramentos terra e neutro também deverão ser energizados com os condutores da concessionária;
2. Após a conexão principal de alimentação, as saídas das fases do disjuntor geral (circuito 1) deverão ser conectadas a um único disjuntor DPS. Depois desse passo, é importante que o circuito do simulador solar (2) e o circuito de entrada do *nobreak* (3) sejam conectados após a conexão do DPS;
3. Para o circuito 2, deverá ter uma canaleta específica, conforme indicado na Fig. 129, para a passagem dos condutores de fase e neutro com seção de 1,5mm². Indica-se que os cabos utilizados passem pela parte de baixo do quadro;
4. Para o circuito 3, também deverá ter um eletroduto específico, sendo as conexões no *nobreak* conforme Fig. 128, entretanto os condutores que passarão por esse eletroduto serão o de fase, terra e neutro com seção de 16 mm². Indica-se que os cabos utilizados passem pela parte de baixo do quadro;
5. No circuito 4, deverão ser conectados os cabos provindos da saída do *nobreak*, conforme indicado na Fig. 128, sendo indicado o uso de um eletroduto específico e que também venha por baixo do quadro;
6. Após a conexão das fases do circuito 4, é necessário fazer 3 circuitos na saída do disjuntor de saída do *nobreak* para as conexões com os circuitos de carga, assim como

foi indicado no diagrama multifilar (anexo B.2). Cada circuito (5, 6 e 7) deverá ter um eletroduto específico com os condutores de fase e neutro para serem colocados em uma tomada do laboratório. Sendo o circuito 5 para distribuição de energia para as fontes de alimentação, o circuito 6 para o aquecedor e o circuito 7 para o condensador;

7. Aconselha-se a utilização de abraçadeiras “Rapstrap” para melhor organização dos cabos;
8. Finalizada as conexões do quadro de distribuição, aconselha-se que o seu ligamento seja efetuado após a montagem de todos os equipamentos (considerando tanto os circuitos de energia, quanto os estruturais e eletrônicos).

9.6 Nobreak

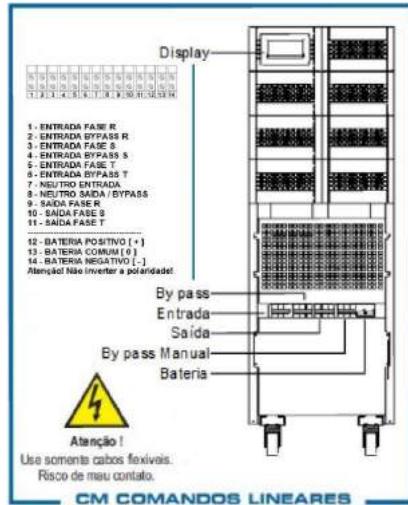
A montagem do *nobreak* deve ser executada por um profissional capacitado, além disso este deve estar com equipamento de proteção individual (EPI), nos moldes da Norma Regulamentadora (NR) de número 10. Outro ponto importante, durante a montagem do equipamento, o quadro de distribuição deverá estar desligado. Os componentes utilizados para a montagem do quadro estão dispostos abaixo:

Tabela 47 – Componentes para montagem do *nobreak*.

Descrição	Modelo	Quantidade
Nobreak S1 Innovation	20kVA, 380V trifásico	1
Condutor Fase 16mm ²	Preto c/ 10m - Megatron	1
Condutor Neutro 16mm ²	Azul c/ 10m - Megatron	1
Condutor Terra 16mm ²	Verde c/ 10m - Megatron	1
Canaleta 25x25 c/ Adesivo	2m - Dexson Schneider	1

Fonte: Autoria própria.

A Figura 128 mostra uma visão geral da montagem do *nobreak* conforme instrução do manual do fornecedor.

Figura 128 – Montagem *nobreak*.

Fonte: Autoria própria.

1. O *nobreak* deve ser posicionado ao lado do quadro de distribuição a 1 metro de distância, para que se tenha espaço para eventuais manutenções tanto no quadro de distribuição quanto no *nobreak*. Ademais, é importante que o *nobreak* esteja a no mínimo 50 centímetros de distância da parede para que não ocorra obstrução do fluxo de ar, conforme apresentado na Fig. 129;
2. É importante que seja deixado um espaço mínimo de 80 centímetros nas laterais do *nobreak* e na parte da frente, para eventuais manutenções. Além disso, o laboratório deve ser mantido a uma temperatura entre 20 °C e 25 °C;
3. Aconselha-se que seja utilizada as canaletas (25x25mm), conforme indicado na montagem do quadro de distribuição, para melhor organizar os condutores, assim como poder ser visto na imagem abaixo. Sendo importante ter uma separação entre as canaletas de entrada e saída do nobreak de cerca de 15 centímetros;

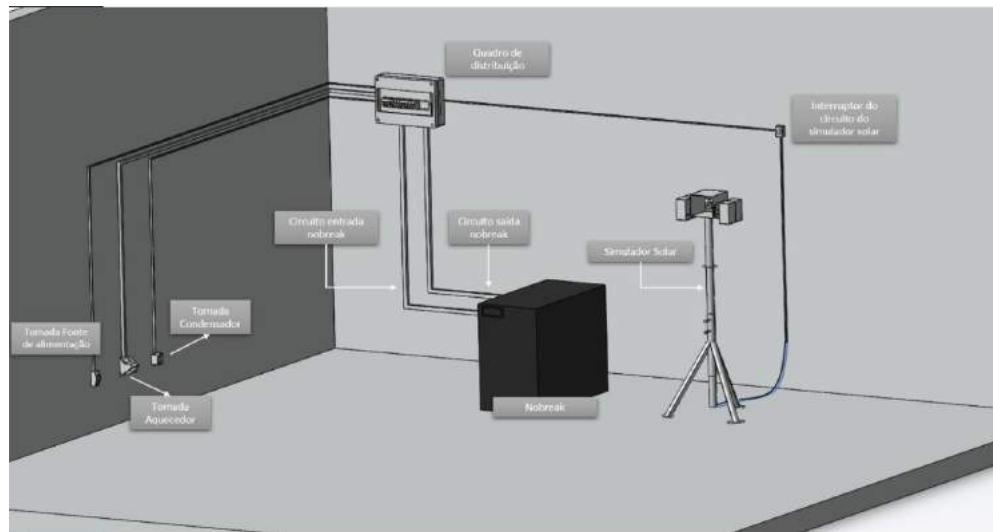


Figura 129 – Montagem parte elétrica.

Fonte: Autoria própria.

4. A conexão da entrada do *nobreak* (Fig. 128) deverá ser feito pelos condutores do circuito 3, conforme apresentado no quadro de distribuição;
5. A conexão de saída do *nobreak* deverá ser conectada ao circuito 4 do disjuntor apresentado no quadro de distribuição (Fig. 128);
6. Por fim, as conexões da bateria e by-pass devem seguir o manual do fornecedor para o modelo de 20kVA, 380V trifásico (<https://www.cmcmandos.com.br/wp-content/uploads/2018/11/manual-do-usuario-innovation-s1-15-a-30-kva.pdf>), sendo utilizado os cabos que já vêm com o equipamento.

9.7 Fontes de alimentação

A montagem dos circuitos das fontes de alimentação devem ser executadas por um profissional capacitado, sendo necessário o desligamento do quadro de distribuição.

Os componentes utilizados para a montagem do simulador estão dispostos abaixo:

Tabela 48 – Componentes para montagem das fontes de alimentação.

Descrição	Modelo	Quantidade
Fonte chaveada	3,3v/5/12/-12VDC	1
Fonte Creality 3D	LRS-350-24	1
Cabo de força	1	
Caixa Sobrepor Sleek	2 postos - MarGirius	1
Tomada Sleek	20A 250V - MarGirius	2
Condutor Fase 2,5 mm ²	Preto com 25 metros - Lexman	1
Condutor Neutro 2,5 mm ²	Azul com 25 metros - Lexman	1
Canaleta 13x7mm com Adesivo	2 metros - Dexson Schneider	2
Abraçadeira Rapstrap	10x300mm/24 unidades - Schneider	1

Fonte: Autoria própria.

Os passos a serem seguidos para montagem são:

1. Fixar as canaletas (13x7mm) do circuito das fontes de alimentação a 1,60 metros do piso, respeitando uma distância de 30 centímetros entre as canaletas, assim como na Fig. 129;
2. Após a fixação das canaletas, é importante que sejam passados os condutores fase e neutro do circuito das fontes de alimentação, seção de 2,5mm², sendo necessária a instalação de uma tomada dupla para que cada fonte possa ser conectada a um módulo. Além disso, a caixa das tomadas devem estar a 30 centímetros do piso e com uma distância de no mínimo 30 centímetros de outras tomadas;
3. Para a conexão da fonte chaveada é necessário a utilização de um cabo de força para inserção em tomada específica, conforme demonstrado anteriormente. Além disso, o equipamento possui terminal de saída para acoplamento dos componentes eletrônicos, entretanto as conexões eletrônicas não são partes dessa seção, sendo possível acessá-las através da Fig. 132;

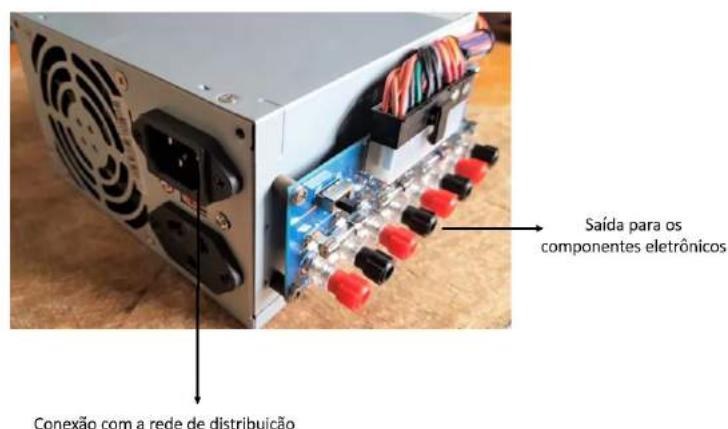


Figura 130 – Montagem fonte chaveada.

Fonte: Autoria própria.

4. Já a conexão da fonte creality com a tomada deve ser feita através do terminal apropriado do equipamento, como demonstrado na figura abaixo. O mesmo vale para a conexão com os dispositivos eletrônicos, sendo esses tratados em esquemático específico (132);



Figura 131 – Montagem fonte creality 3D.
Fonte: Autoria própria.

9.8 Central de Controle e Sensoriamento

A Tabela 49 mostra a lista de componentes eletrônicos necessários para a montagem do sistema eletrônico.

Tabela 49 – Componentes para montagem do Sistema Eletrônico.

Descrição	Marca/Modelo	Quantidade
Microcontrolador	Raspberry Pi 3B+	1
Microcontrolador	ESp32	1
Sensor de temperatura	Termopar do tipo T	13
Sensor de pressão	Pirani APG 100	2
Sensor de pressão	Penning PEG 100	1
Medidor de vazão	Tipo turbina série SVT - L/G	1
Módulo relé 8 canais	MDLRL24V	2
Amplificador de sinal	MAX31856	1
Conector USB fêmea	USB01B	2
Módulo conversor USS TTL serial	CH330	2

As conexões entre os componentes desse projeto foram feitas utilizando cabos de 2,5 mm² de área, fios simples e cabos adaptadores USB RS232. Para as conexões feitas com fios simples é recomendado que sejam feitas através de solda, para que não haja o risco de mal conexão.

Todas as conexões necessárias entre componentes, sensores e microcontroladores necessárias para a montagem do sistema eletrônico são mostradas no esquemático da Fig. 132.

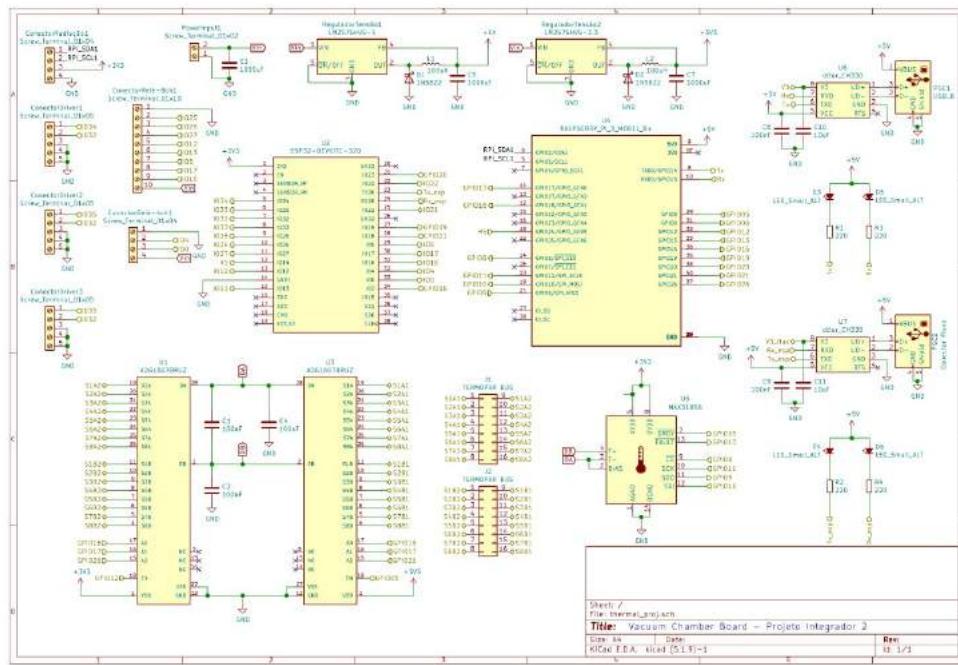


Figura 132 – Esquemático eletrônico.

Fonte: Autoria Própria.

9.8.1 Termopar

Os termopares são conectados à Raspberry por conectores usando o cabo de 2,5 mm² de área. Os conectores encontram-se todos na PCB, cada conector conecta até 8 termopares à Raspberry. Para facilitar a identificação dos dados pela API, as conexões são padronizadas de acordo com a Tabela 50. Para que essas conexões sejam alteradas é preciso alterar o ID no algoritmo. Nas Figuras 133 e 134 mostram a localização dos termopares na câmara de vácuo e no tanque de N₂ com os respectivos ID.

Tabela 50 – Componentes para montagem do Sistema Eletrônico.

Conecotor na PCB	ID do termopar	Descrição
J1-1e9	T01	CubeSat topo
J1-2e10	T02	CubeSat frente
J1-3e11	T03	CubeSat trás
J1-4e12	T04	CubeSat direita
J1-5e13	T05	CubeSat esquerda
J1-6e14	T06	Câmara lateral direita
J1-7e15	T07	Câmara em cima direita
J1-8e16	T08	Câmara em cima esquerda
J2-1e9	T09	Câmara lateral esquerda
J2-1e9	T10	Linha de entrada da
J2-2e10	T11	Linha de entrada da
J2-3e11	T12	Linha de saída
J2-4e12	T13	Tanque de N ₂

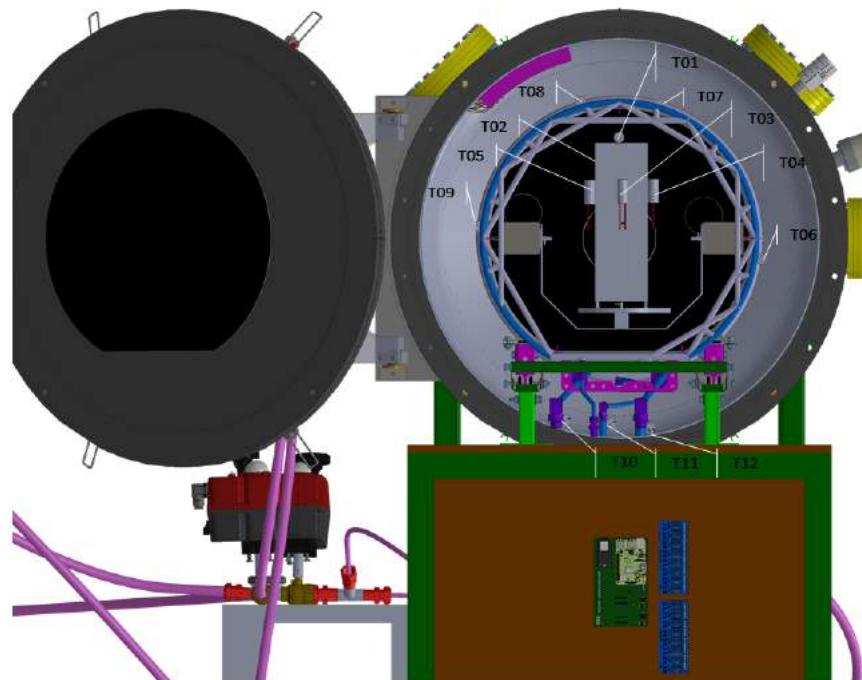


Figura 133 – Termopares integrados a câmara de vácuo.

Fonte: Autoria Própria.

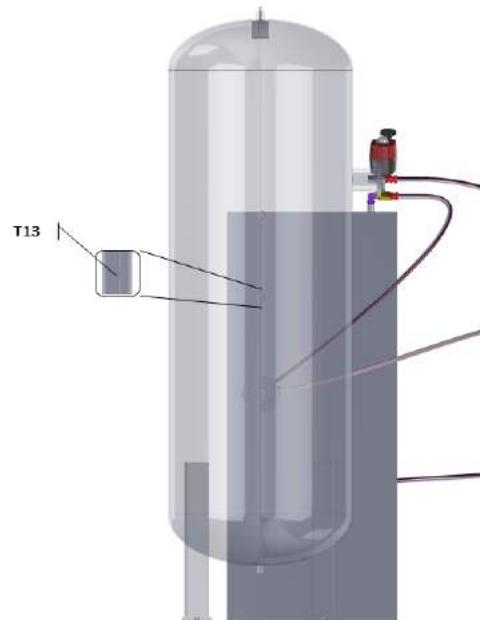


Figura 134 – Termopar integrado ao tanque de N².
Fonte: Autoria Própria.

9.8.2 Sensor de pressão

Os sensores de pressão são conectados ao dispositivo PGC201 (Fig. 135 usando os fios que vêm com o dispositivo. O sensor penning conecta-se a entrada CPG, o sensor pirani da câmara de vácuo conecta-se à entrada PRG1 e o sensor pirani do tanque PGR2. O dispositivo PGC201 conecta-se a PCB com o cabo adaptador USB RS232. A Figura 136 mostra a localização de cada sensor de pressão na estrutura da câmara de vácuo e no tanque de N₂.

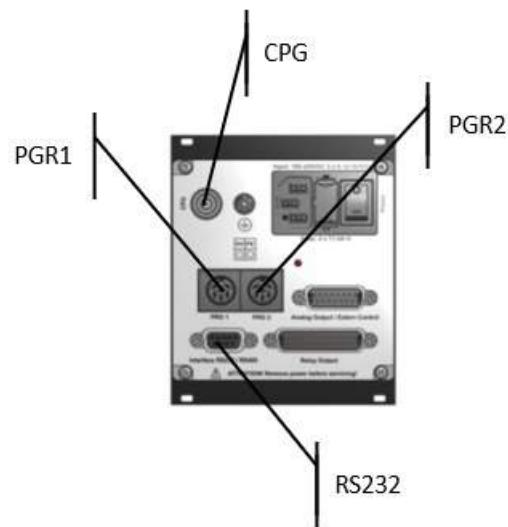


Figura 135 – PGC201.
Fonte: Autoria Própria.

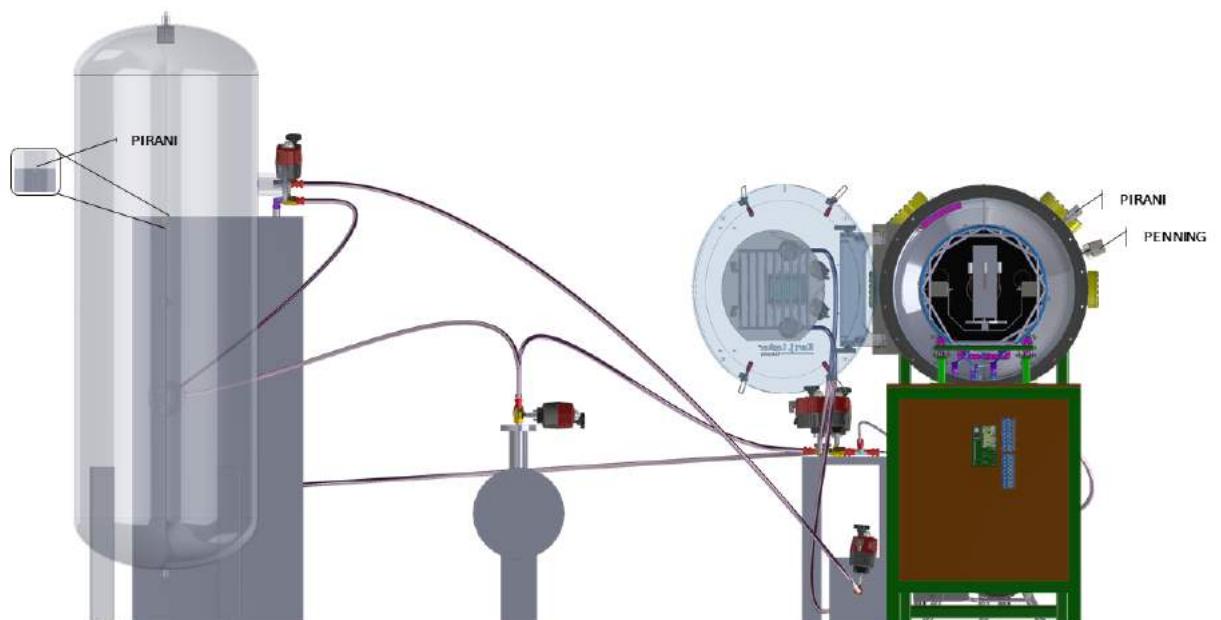


Figura 136 – Sensores de pressão integrado a estrutura.
Fonte: Autoria Própria.

9.8.3 Sensor de radiação

O sensor de radiação é conectado diretamente na Raspberry, por um cabo de $2,5 \text{ mm}^2$ de área. Para realizar essa conexão é necessário apenas seguir o esquemático elétrico (Fig. 132).

9.8.4 Medidor de vazão

O medidor de vazão é conectado ao amplificador para pick-up magnético e o amplificador para pick-up magnético é conectado ao dispositivo de leitura CTH-2265. A conexão do CTH-2265 com a Raspberry é feita com o cabo adaptador USB RS232.

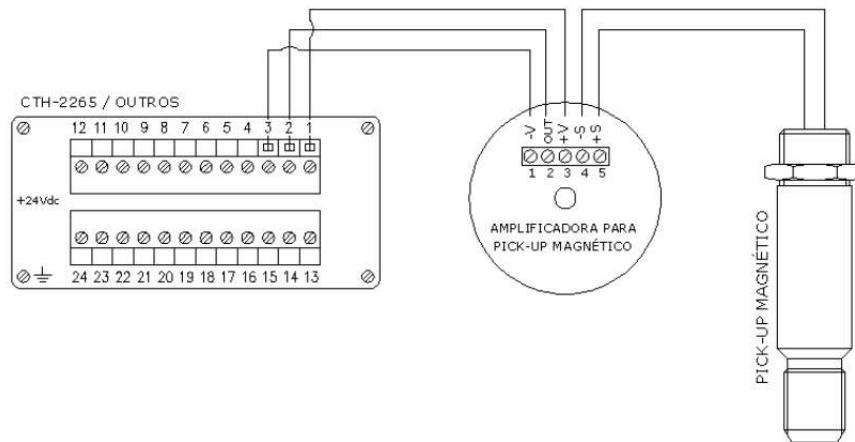


Figura 137 – Conexão do medidor de vazão ao dispositivo CTH-2265.

Fonte: Autoria Própria.

9.8.5 PCB

A placa de circuito impresso deve ser alimentada com uma tensão entre 7 V a 40 V. As conexões necessárias para os sensores e relés estão todos contidos na placa, Fig. 138.

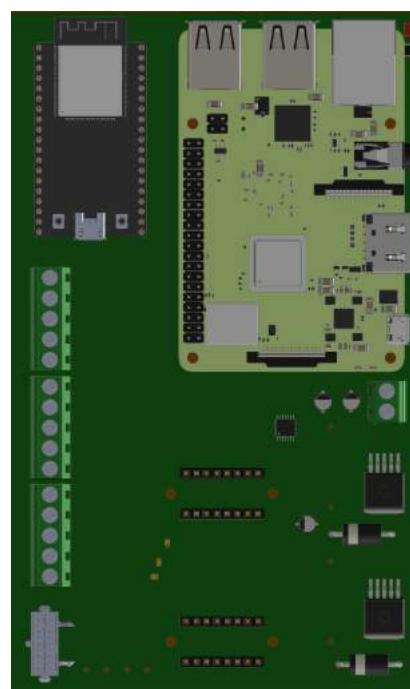


Figura 138 – Placa de Circuito Impresso.

Fonte: Autoria Própria.

9.9 Posicionamento dos cabos dentro da câmara de vácuo

O cabo que conecta o motor que faz a rotação do CubeSat em volta do seu próprio eixo com a Central de Atuadores ficará rente ao suporte em U, como apresentando em vermelho na Fig. 139. No fim do suporte em U, o cabo é preso a parede da câmara de vácuo, sendo levado até o final da placa térmica para que possa passar pela câmara de vácuo, onde tem uma saída para os fios. Devido à rotação do suporte em U em 180°, é preciso que esse cabo tenha — cm entre o suporte em U e a parede da placa térmica, para que o fio não quebre durante a rotação.

Os cabos dos motores que fazem a rotação do suporte em U, também, são presos a parede da placa térmica. Esses cabos são levados até o final da placa térmica para que possa passar pela câmara de vácuo, onde tem uma saída para os fios.

Os cabos dos termopares são conectados ao suporte em U, de forma semelhante, aos cabos do motor responsável pela rotação do CubeSat em volta do seu próprio eixo. Esses cabos precisam ter 50 cm entre a conexão do termopar e o ponto de fixação no suporte U. Deste modo, garante-se que não haja danos ao conjunto de cabeamento durante a operação do motor.

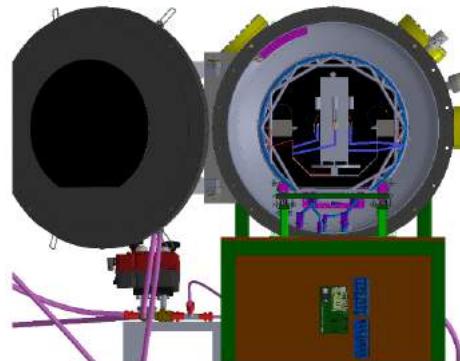


Figura 139 – Posicionamento dos cabos na câmara de vácuo.

Fonte: Autoria Própria.

9.10 Software

Esta seção busca descrever o plano de montagem de software, ou seja, seu guia de instalação diante da forma de código livre e utilizando as ferramentas de conteinerização.

9.10.1 Módulo do FrontEnd (Interface)

O FrontEnd é o módulo responsável pelas interações com o usuário, permitindo utilizar as funcionalidades integradas também com o BackEnd.

9.10.1.1 Guia de instalação e execução

Essa aplicação tem seu ambiente configurado através de contêineres Docker e está armazenado no Github, portanto, tem como pré-requisitos a instalação do Docker, Docker-compose e Git.

1. Instale o [Docker](#)
2. Instale o [Docker-Compose](#)
3. Instale o [Git](#)

Com o Git instalado, é possível clonar o repositório. Clonar neste contexto significa fazer o *download* de uma versão do repositório que está na nuvem. Esta cópia permitirá uma replicação exata da aplicação.

Para isso, clone o repositório digitando o seguinte comando no terminal do seu dispositivo:

```
1 git clone https://github.com/PI2-Vacuum-Chamber/frontend.git
```

Em seguida, execute o contêiner:

```
1 sudo docker-compose up
```

Se você receber uma mensagem de erro informando que ainda não foi criada uma rede (network), digite a seguinte linha no terminal para criá-la:

```
1 sudo docker network create api-backend
```

Após esses passos a aplicação deverá estar acessível no endereço abaixo, basta acessá-la pelo navegador do seu dispositivo:

```
1 localhost:3000
```

9.10.2 Módulo do BackEnd (Ponte de integração dos módulos de FrontEnd e Eletrônica)

O BackEnd possui mais configurações do que o módulo de FrontEnd, por ser a ponte de integração e banco de dados. É no BackEnd que são realizadas as requisições para as funcionalidades da aplicação. Por fim, esta seção busca detalhar o passo a passo do processo para completa execução.

9.10.2.1 Guia de instalação e execução

Essa aplicação também tem seu ambiente configurado através de contêineres Docker e está armazenado no Github, logo, se houve a instalação das tecnologias descritas na seção anterior, não é necessário instalar novamente o Docker, o Docker-Compose e o Git.

Com o Git instalado, clone o repositório. Esta cópia permitirá uma replicação exata da aplicação.

Para isso, clone o repositório digitando o seguinte comando no terminal do seu dispositivo:

```
1 git clone https://github.com/PI2-Vacuum-Chamber/api-backend.  
      git
```

Em seguida, execute o contêiner:

```
1 sudo docker-compose up
```

Ao terminar de usar os serviços, use o seguinte comando para pará-los ou digite Ctrl C.

```
1 sudo docker-compose down
```

9.10.2.2 Configuração do InfluxDB

Agora, para configuração rápida do banco de dados, acesse o InfluxDB pelo seu navegador através da porta 8086 do seu navegador:

```
1 localhost:8086
```

Em seguida, realize a seguinte configuração:

1. Informe os dados cadastrais, deixando o nome da organização e *bucket* como "**influx**" e depois clique em "**configure later**".
2. Vá para a aba "**Data**" no canto esquerdo;
3. Clique em JavaScript/Node.js
4. Copie o *token* informado como na imagem abaixo:
5. Crie um arquivo na raíz do projeto com o nome **.env** com port = 8001 e token = o *token* copiado anteriormente. O arquivo ficará dessa forma:

```
1 port = 8001  
2 token = digiteAquiOTokenRecebido
```

6. Com isso, você já pode utilizar as rotas da API após interromper e subir novamente o contêiner com o comando "sudo docker-compose up".

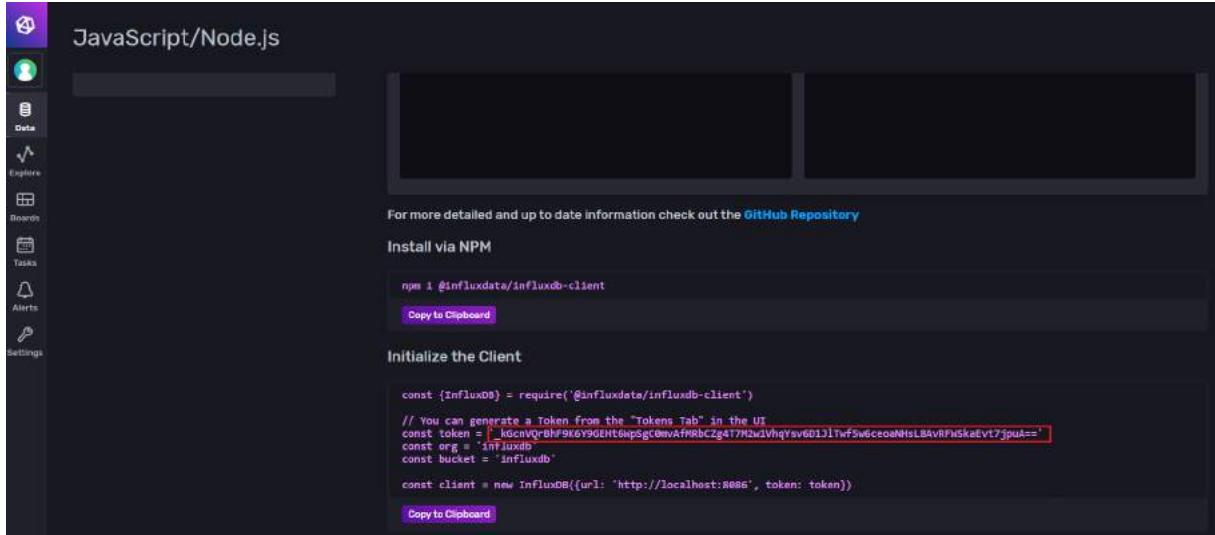


Figura 140 – Interface de configuração do banco de dados InfluxDB.

Fonte: Autoria Própria.

9.10.2.3 Rotas da API

A seguir são descritas as rotas GET:

- `http://localhost:8001/sensor/index` : Retorna uma lista contendo o último dado de cada sensor
- `http://localhost:8001/sensor/getmeans` : retorna a média obtida pelos sensores se-paradas por local
- `http://localhost:8001/sensor/:id` : retorna o dado mais novo de determinado sensor informado pelo id na rota

Todos os dados retornados estão ilustrados conforme formato da Fig. 141, no qual:

- host: corresponde ao id do sensor
- __time: é a hora em que foi medido
- __field: é o local onde foi medido
- __measurement: é o tipo do sensor(o que ele mede)
- __value: é o valor obtido pelo sensor

E os demais não são dados relevantes, são parâmetros criados automaticamente pelo banco.

A seguir são descritas as rotas POST:

```

    "msg": "Todos os dados mais novos retornados",
    "data": [
        {
            "result": "_result",
            "table": 0,
            "_start": "2021-04-28T21:29:49.2852964Z",
            "_stop": "2021-04-28T22:29:49.2852964Z",
            "_time": "2021-04-28T22:28:41.5083976Z",
            "_value": 1001,
            "_field": "camara",
            "_measurement": "pressure",
            "host": "2"
        },
        {
            "result": "_result",
            "table": 1,
            "_start": "2021-04-28T21:29:49.2852964Z",
            "_stop": "2021-04-28T22:29:49.2852964Z",
            "_time": "2021-04-28T22:28:41.5088425Z",
            "_value": 1015,
            "_field": "linha",
            "_measurement": "pressure",
            "host": "5"
        }
    ]
}

```

Figura 141 – Rotas das requisições na API.

Fonte: Autoria Própria.

- <http://localhost:8001/sensor/newpoints> : cadastra novos dados de sensores. Ela requer um JSON no seguinte formato, podendo receber dados adquiridos de um ou mais sensores:

```

1   {
2     "datas": [
3       {
4         "id": 1,
5         "type": "temperature",
6             "field": "camara",
7             "value": 22.1
8       },
9       {
10         "id": 2,
11         "type": "pressure",
12             "field": "camara",
13             "value": 1001
14       }
15     ]
16   }

```

- <http://localhost:8001/control/start> : Inicia o teste de ciclagem térmica. Ela requer

um JSON no seguinte formato:

```
1   {
2     "tempMax": 60,
3     "timeTempMax": 60,
4     "tempMin": -20,
5     "timeTempMin": 60,
6     "qtdeCiclesMax": 3,
7     "qtdeCiclesMin": 3
8 }
```

- <http://localhost:8001/control/finish> : Finaliza o teste em andamento.
- <http://localhost:8001/control/abort> : Força uma parada de emergência do teste em andamento.

As informações atualizadas se encontram também no próprio [Github](#) da aplicação.

10 Manual de uso

O Manual de uso da solução pode ser acessado no apêndice [J](#). Esse manual é aplicado quando todos os procedimentos de montagem, presentes no Capítulo [9](#), foram realizados.

11 Plano de manutenção periódica

O plano de manutenção periódica apresenta quais componentes precisam ser reparados ou trocados a cada período ("Periodic.") e qual a ação prevista. Na tabela 51 é possível observar as ações preventivas e corretivas para cada equipamento da solução energética.

Tabela 51 – Plano de manutenção da solução de energia.

Equipamento	Tipo manutenção	Ação	Periodic.
Lâmpada de vapor metálico	Corretiva	Troca do equipamento quando ocorrer a queima do mesmo	Não se aplica
Reator	Corretiva	Troca do equipamento quando ocorrer a queima do mesmo	Não se aplica
Nobreak	Preventiva	É importante efetuar a limpeza ao redor do nobreak, assim como verificar o funcionamento dos ventiladores internos do equipamento	6 meses
Nobreak	Preventiva	Revisão interna do equipamento através de profissional capacitado	12 meses
Nobreak	Preventiva	Fazer uma manutenção preventiva visual a fim de verificar se as conexões estão corretas (condutores) e se o nobreak possui alguma parte danificada visualmente.	Mensal
Banco de baterias do nobreak	Preventiva	Com o auxílio de um testador de bateria digital, verificar qual a escala de tensão apresentada pela bateria, de modo a determinar se a bateria está carregada com bom funcionamento, fraca, descarregada ou ruim. Caso a escala mostre que ela está ruim, deverá ser feita a troca do equipamento.	6 meses

Banco de baterias do nobreak	Preventiva	<p>Na periodicidade determinada ao lado, fazer uma manutenção preventiva visual da bateria, de forma a verificar se os conectores estão dispostos de forma correta, se a corrente está acima do especificado, se possuem recipientes danificados ou as tampas abertas.</p> <p>Caso ocorra essas situações, deverá ser feita a troca do equipamento.</p>	Mensal
Quadro de distribuição	Preventiva	Realizar a limpeza do quadro de distribuição para evitar o acúmulo de poeira e danificar os disjuntores. Bem como verificar a temperatura do quadro, mensurar as grandezas elétricas e inspecionar as conexões. Sendo importante o desligamento do disjuntor geral para a limpeza.	3 meses
Fontes de alimentação	Preventiva	Limpeza da fonte para garantir que não ocorra obstrução do processo de resfriamento.	3 meses
Fontes de alimentação	Preventiva	Verificação visual e auditiva para caso ocorra algum tipo de danificação do material ou barulhos advindos da fonte. Caso isso ocorra, deverá ser levada a um profissional capacitado para conserto ou troca da fonte	Mensal
Aquecedor	Preventiva	Inspeção das conexões do aquecedor e verificação de danificações visuais, como: corrosões. Para o primeiro caso, averiguar a necessidade de ajuste das mesmas e para o segundo, a troca do equipamento ou manutenção por profissional capacitado	Mensal
Aquecedor	Preventiva	Limpeza do aquecedor para que não ocorra a danificação do equipamento por resíduos sólidos	6 meses

Aquecedor	Preventiva	Mensurar através de um multímetro a tensão e corrente do compressor para verificar se ele ainda está dentro das especificações técnicas	3 meses
Condensador	Preventiva	Limpeza do condensador para que não ocorra a danificação do equipamento por resíduos sólidos	6 meses
Condensador	Preventiva	Inspeção das conexões do condensador e verificação de danificações visuais, como: corrosões. Para o primeiro caso, averiguar a necessidade de ajuste das mesmas e para o segundo, a troca do equipamento ou manutenção por profissional capacitado	Mensal
Condensador	Preventiva	Troca do óleo lubrificante do compressor	12 meses ou após 300 horas de uso
Condensador	Preventiva	Inspeção interna do condensador, por profissional capacitado, para troca de peças ou outras necessidades.	12 meses
Condensador	Preventiva	Verificar o ventilador do condensador, bem como o nível de ruído e vibrações do equipamento	6 meses
Condensador	Preventiva	Verificar se há vazamento do fluido.	Mensal
Condensador	Preventiva	Mensurar através de um multímetro a tensão e corrente do compressor para verificar se ele ainda está dentro das especificações técnicas.	3 meses
Condutores	Preventiva	Verificação da conexão dos condutores em cada sistema, caso ocorra algum problema, pedir a um profissional capacitado sua adequação.	Mensal

Na tabela 52 é possível observar as ações preventivas e corretivas para cada equipamento e componente da solução de eletrônica.

Tabela 52 – Plano de manutenção da solução de eletrônica.

Equipamento	Tipo manutenção	Ação	Periodic.
Termopares	Preventiva	Calibração dos sensores quando os dados de temperatura tiverem um erro maior que 10% da temperatura real	Não se aplica
Termopares	Corretiva	Troca dos sensores caso ele pare de funcionar	Não se aplica
Sensor de pressão Penning	Preventiva	Calibração do sensor quando os dados de pressão tiverem um erro maior que 10% da temperatura real	Não se aplica
Sensor de pressão Penning	Corretiva	Troca do sensor caso ele pare de funcionar	Não se aplica
Sensores de pressão Penning	Preventiva	Limpeza do sensor para que não ocorra danificação por resíduos sólidos	6 meses
Sensores de pressão Pirani	Preventiva	Calibração dos sensores quando os dados de pressão tiverem um erro maior que 10% da temperatura real	Não se aplica
Sensores de pressão Pirani	Corretiva	Troca dos sensores caso ele pare de funcionar	Não se aplica
Sensores de pressão Pirani	Preventiva	Limpeza do sensor para que não ocorra danificação por resíduos sólidos	6 meses
Dispositivo PGC201	Corretiva	Troca do dispositivo caso ele pare de funcionar	Não se aplica
Dispositivo PGC201	Preventiva	Limpeza do dispositivo para que não ocorra danificação por resíduos sólidos	6 meses
Medidor de Vazão	Preventiva	Calibração do medidor quando os dados de vazão tiverem um erro maior que 10% da temperatura real	Não se aplica

Medidor de Vazão	Corretiva	Troca do medidor caso ele pare de funcionar	Não se aplica
Medidor de Vazão	Preventiva	Limpeza do medidor para que não ocorra danificação por resíduos sólidos	6 meses
Dispositivo CTH-2265	Preventiva	Limpeza do dispositivo para que não ocorra danificação por resíduos sólidos	6 meses
Radiômetro	Preventiva	Calibração do sensor quando os dados de radiação tiverem um erro maior que 10% da temperatura real	Não se aplica
Radiômetro	Corretiva	Troca do sensor caso ele pare de funcionar	Não se aplica
Cabos	Preventiva	Verificação das conexões entre os equipamentos	A cada teste
Cabos	Corretiva	Troca dos cabos caso não haja passagem de corrente ou haja curto circuito	Não se aplica
PCB	Corretiva	Troca da placa caso haja o mal funcionamento de algum componente	Não se aplica

Na tabela 53 é possível observar as ações preventivas e corretivas para cada equipamento da solução de estruturas.

Tabela 53 – Plano de manutenção da solução de estruturas.

Equipamento	Tipo manutenção	Ação	Periodicidade
Linhas de Alimentação	Preventiva	Verificar se há vazamento de fluido	Mensal
Linhas de Alimentação	Preventiva	Manutenção visual para checar possíveis fraturas e/ou corrosão nas linhas	Mensal
Válvulas	Preventiva	Verificar se há vazamento de fluido	Mensal
Válvulas	Preventiva	Manutenção para calibração, limpeza e reparos feitas por profissional capacitado	4 meses

Válvulas	Corretiva	Troca da válvula em caso de mal funcionamento, feita por um profissional capacitado	Não se aplica
Tanque de Armazenamento	Preventiva	Inspeção da integridade estrutural e de válvulas de entrada e saída realizadas por um profissional disponibilizado pela empresa fornecedora do tanque	12 meses
Dewar	Preventiva	Verificar se há vazamento de fluido	Mensal
Dewar	Preventiva	Inspeção interna, realizada por profissional capacitado, para verificar a integridade do recipiente	12 meses
Suporte do CubeSat	Preventiva	Inspeção visual para verificar possíveis trincas nas áreas de fixação dos motores	6 meses
Suporte do CubeSat	Preventiva	Com a utilização de niveladores, verificar possível deformação do suporte na área do apoio do CubeSat	12 meses
Motores	Corretiva	Troca do equipamento caso ocorra a queima do mesmo por profissional capacitado	Não se aplica
Filtros	Preventiva	Manutenção para higienização	3 meses
Transdutores	Preventiva	Manutenção para limpeza e verificar as conexões	6 meses
Transdutores	Corretiva	Troca do equipamento em caso de mal funcionamento por profissional capacitado	Não se aplica

12 Custos

As Tabelas 54, 55, 56 e 57 apresentam o orçamento dos componentes para cada solução. Os componentes que estão sinalizados por um asterisco estão aguardando a resposta dos fornecedores. O valor total do orçamento foi de R\$ 239.711,96, mas, considerando uma margem de segurança de 20% para casos de fretes ou complicações, o valor total é de R\$ 287.654,35.

Tabela 54 – Custos da solução eletrônica.

ID	Componente	Modelo	Fornecedor	Quant.	Valor
EL1	Microcontrolador	Raspberry Pi 3B+	FelipeFlop	1	R\$ 419,90
EL2	Microcontrolador	Esp32	Eletrogate	1	R\$ 79,90
EL3	Sensor de temperatura	Termopar tipo T	Alatal	13	5.395,00
EL4	Sensor de pressão	Pirani APG 100	Edwards	2	4.244,00
EL5	Sensor de pressão	Penning PEG 100	Edwards	1	2.100,00
EL6	Módulo relé 8 canais 24 V	MDLRL24V	Americanas	2	R\$ 209,96
EL7	Amplificador de sinal	MAX31856	Eelectrimaker	1	R\$ 97,23
EL8	Conector USB fêmea	USB01B	Baú da Eletrônica	2	R\$ 2,40
EL9	Módulo conversor USS TTL serial	CH330	Eletrogate	2	R\$ 31,80
EL10	Medidor de vazão tipo turbina série SVT – L/G	Medidor de vazão tipo turbina série SVT – L/G	Contech	1	R\$ 325,79
Total					R\$ 12,716,98

Tabela 55 – Custos da solução de estrutura.

ID	Componente	Modelo	Fornecedor	Quant.	Valor
ES1	Motor para o cubesat	HANPOSE 11HS2810	Banggood	1	R\$ 52,38
ES2	Barra de aço Inox Aisi 304	Tarugo	Mercado livre	1	R\$ 40,00

ES3	Flange de conexão	24200001	Agro Bull Peças	1	R\$ 350,00
ES4	Conexões T	-	-	4	-
ES5	Tubos Aço Inox 304	3 metros redondo e polido	Aperam Serviço	1	R\$ 420,00
ES6	Válvulas Criogênica Globo	VAP 74 AL	Grofe	6	-
ES7	Válvulas de Retenção	RCHS37 RCHR38	Grofe	4	*
ES8	Motor para o suporte	HANPOSE 23HS7628	Banggood	2	R\$ 344,68
ES9	Bomba de N2	NB-45	Aero Specialties Inc	1	R\$ 25.112,90
ES10	Trava rosca	LOCTITE	Loja do Mecânico	1	R\$ 51,80
ES11	Chapa	Aço Inox	Dimetal	1	R\$ 120,00
ES12	Tarugo	Aço Inox	Dimetal	1	R\$ 185,00
ES13	Conexões dupla anilha	SS-200-1-4RT	Indupropil	25	R\$ 1.750,00
ES14	Conexão Cruzeta	SS-1210-4	Indupropil	1	R\$ 15,00
Total					R\$ 28.389,38

Tabela 56 – Custos da solução de Energia.

ID	Componente	Modelo	Fornecedor	Quant.	Valor
EN1	Lâmpada vapor metálico	Tubular 70W 220V - Lukma	Lukma	4	R\$ 55,20
EN2	Reator para lâmpada de vapor metálico	Externo AFP 70W - Serwal	Eletroastro	4	R\$ 221,12
EN3	Sensor radiômetro	SI1146-M01 -GMR	Digikey	1	R\$ 22,40
EN4	Cabo Flexível Azul	750V 1,50mm 10M Lexman	Leroy Merlin	1	R\$ 24,90
EN5	Cabo Flexível Vermelho	750V 1,50mm 10M Vermelho Lexman	Leroy Merlin	1	R\$ 24,90

EN6	Módulo de interruptor	Paralelo Siena Alumbra	Leroy Merlin	1	R\$ 8,90
EN7	Bocal E27	PORCELANA DECORLUX	Eletroastro	1	R\$ 5,78
EN8	Nobreak Online	20kVA trifásico, 220V	CMCo-mandos	1	R\$ 51.250,00
EN9	Fonte de alimentação LRS-350-24	Creality 3D® 24V Ultra-fino - Mean Well	Banggod	1	R\$ 279,61
EN10	Fonte de alimentação	Fonte Alimentação Chaveada 3,3v/5/12/-12vdc 450w	Mercado Livre	1	R\$144,80
EN11	Driver Para Motor de Passo	3A TB6560	Baú da Eletrônica	3	R\$216,33
EN12	Aquecedor Elétrico	10kW 220V	Higher	1	R\$ 11.988,00
EN13	Condensador de Nitrogênio	M50-H	LabSolutions	1	R\$ 84.500,00
EN14	Quadro de distribuição	18 Disjuntores Schneider	Leroy Merlin	1	R\$ 130,5
EN15	Disjuntor circuito Lâmpada	EZ9F33104 - Schneider Electric	Loja Elétrica	1	R\$ 56,69
EN16	Disjuntores Nobreak 3 Pólos	EZ9F56363 - Schneider Electric	Multifast	2	R\$ 335,66
EN17	Disjuntor geral 3 Pólos	EZ9F33370- Schneider Electric	Melhor Industria	1	R\$ 167,01
EN18	Disjuntor de Proteção de Surto	CLAMPER VCL SLIM - 20kA - 275V / 20kA	Clamper	3	R\$ 119,7
EN19	Fio cabo flexível 16 mm ²	Preto com 10m - Megatron	Leroy Merlin	1	R\$ 229,00
EN20	Fio cabo flexível 16 mm ²	Verde com 10m - Megatron	Leroy Merlin	1	R\$ 229,00
EN21	Fio cabo flexível 16 mm ²	Azul com 10m - Megatron	Leroy Merlin	1	R\$ 229,00
EN22	Fio cabo flexível 2,5 mm ²	Preto com 25 metros - Lexman	Leroy Merlin	1	R\$ 69,90

EN23	Fio cabo flexível 2,5 mm ²	Azul com 25 metros - Lexman	Leroy Merlin	1	R\$ 69,90
EN24	Fio cabo flexível 2,5 mm ²	Verde com 25 metros - Lexman	Leroy Merlin	1	R\$ 69,90
EN25	Cabo Flexível 10mm ²	Preto com 10 metros - Lexman	Leroy Merlin	1	R\$ 129,90
EN26	Cabo Flexível 10mm ²	Azul com 10 metros - Lexman	Leroy Merlin	1	R\$ 129,90
EN27	Barramento EASY9 Neutro/Terra	EZ9E33B08	Schneider Electric	2	R\$ 39,20
EN28	Caixa Sobrepor Sleek	2 postos MarGirius	Estoque Parado	1	R\$ 6,35
EN29	Tomada Sleek	20A/250V MarGirius	Estoque Parado	3	R\$ 13,77
EN30	Tomada blindada Sobrepor	63A/250V MarGirius	Eletroastro	1	R\$ 215,49
EN31	Caixa sobrepor Sleek	1 posto - MarGirius	Estoque Parado	1	R\$ 5,83
EN32	Cabo de Força	10A	Mercado Livre	1	R\$ 15,90
EN33	Abraçadeira Rapstrap	10x300 mm - Schneider Electric	Leroy Merlin	1	R\$ 34,99
EN34	Canaleta 25x25 c/Adesivo	2 metros - Dexson	Leroy Merlin	2	R\$ 55,80
EN35	Canaleta 20x20 c/Adesivo	2 metros - Dexson	Leroy Merlin	3	R\$ 101,70
EN36	Canaleta 13x7 c/Adesivo	2 metros - Dexson	Leroy Merlin	6	R\$ 53,94
EN37	Caixa sobrepor Interruptor	10A 250V - Tramontina	Mercado Livre	1	R\$ 17,9
Total					R\$ 150.837,84

Tabela 57 – Custos da solução de Software e mão de obra.

ID	Componente	Modelo	Fornecedor	Quant.	Valor
SO1	Custo de rede	Digital Ocean	Digital Ocean	-	R\$ 113,80
MO1	Custo de mão de obra	Engenheiros	-	11	R\$ 60.000,00
Total					R\$ 60.113,80

13 Considerações Finais

Esse relatório apresenta a concepção final da arquitetura dos sistemas de teste para uma Câmara de Termo-Vácuo. Sendo este uma concepção da matéria de Projeto Integrador 2 da Faculdade do Gama, Universidade de Brasília.

Nesse terceiro Ponto de controle foi abordado a integração das versões finais das soluções para o projeto, bem como os manuais de montagem, uso e manutenção do sistema. Além disso, os custos apresentados nesse trabalho já compõe os valores finais, sendo que aqueles componentes que não o possuem foi em ocorrência ao atraso de resposta do orçamento com os fabricantes.

Ademais, espera-se que com esse projeto sejam desenvolvidos trabalhos futuros que permitam testes de simulação espacial para microssatélites de forma mais rápida e mais barata com o que temos hoje, através do INPE.

Por fim, devido as restrições desse semestre em função da pandemia pelo COVID-19, o trabalho só projetará as estruturas necessárias para realização dos testes de simulação espacial em uma câmara de termovácuo, mas não construirá nenhuma de suas soluções. A autoavaliação de todos os integrantes do projeto está disponível no Apêndice I.

Referências

- ABNT, A. B. D. N. T. Nbr 11879: Dispositivos fotovoltaicos - simulador solar - requisitos de desempenho. Rio de Janeiro, p.3, 1991. Citado na página 77.
- ABNT, A. B. D. N. T. Nbr 5410: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, p. 208, 2004. Citado na página 148.
- ABNT, A. B. D. N. T. Nbr 5410: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, p. 102, 2005. Citado na página 79.
- ABNT, A. B. D. N. T. Nbr 14305: Reator e ignitor para lâmpada a vapor metálico (halogenetos) - requisitos e ensaios. Rio de Janeiro, p. 40, 2015. Citado na página 78.
- ACTIONS, G. *Automate your workflow from idea to production*. 2020. <<https://github.com/features/actions>>. Acesso em: 24 mar. 2021. Citado na página 127.
- ADOBE. *Adobe Color*. 2021. <<https://color.adobe.com/pt/create/color-wheel>>. Acesso em: 26 fev. 2021. Citado na página 131.
- AGUIRRE, L. *Introdução à identificação de sistemas-Técnicas lineares e não-lineares aplicadas a sistemas reais*. [S.l.]: Editora UFMG, 2013. Citado 2 vezes nas páginas 96 e 97.
- ALMEIDA, J.; PANISSI, D.; SANTOS, M. Thermal-vacuum tests of the amazonia-1 satellite tm performed at inpe with success. 67th International Astronautical Congress. Guadalajara, Mexico, 2016. Citado na página 25.
- ANSYS. *Theory Reference*. [S.l.]: Ansys, 1994. 1286 p. Citado 2 vezes nas páginas 49 e 50.
- ANSYS. *Ansys's Meshing User's Guide*. [S.l.]: Ansys, 2010. 350 p. Citado 2 vezes nas páginas 49 e 58.
- ASKELAND D. R.; WRIGHT, W. J. *Ciência e engenharia dos materiais*. [S.l.]: Cengage Learning, 2019. 550 p. Citado 2 vezes nas páginas 40 e 41.
- AWS, A. *O que significa integração contínua?* 2020. <<https://aws.amazon.com/pt/devops/continuous-integration/>>. Acesso em: 24 mar. 2021. Citado na página 127.
- AWS, A. *O que é NoSQL?* 2020. <<https://aws.amazon.com/pt/nosql/>>. Acesso em: 24 mar. 2021. Citado na página 115.
- AWS, A. *O que é o DevOps?* 2020. <<https://aws.amazon.com/pt/devops/what-is-devops/>>. Acesso em: 24 mar. 2021. Citado 2 vezes nas páginas 127 e 130.
- BASTOS, A. M. *Modelo Cliente-Servidor*. 2012. <<https://stack.desenvolvedor.expert/comecando/mindset.html>>. Acesso em: 24 mar. 2021. Citado na página 114.

- BERÇAM, R. *Um Overview sobre Cypress.io — Framework de Automação de Testes end-to-end.* 2019. <<https://medium.com/@faelbercam/um-overview-sobre-cypress-io-framework-de-automa%C3%A7%C3%A3o-de-testes-end-to-end-dc438b9ee7a1>>. Acesso em: 19 abril 2021. Citado na página 124.
- BITENCOURT, J. P. *InfluxDB: Opção de banco de dados para um alto volume de consultas e escritas.* 2020. <<https://serverdo.in/influxdb/>>. Acesso em: 24 mar. 2021. Citado 3 vezes nas páginas 126, 128 e 251.
- BJERROME, T. A. *Data visualization with Chart.js: An introduction.* 2021. <<https://tobiasahlin.com/blog/introduction-to-chartjs/>>. Acesso em: 30 abril 2021. Citado na página 124.
- BRAGA, N. C. *Como testar componentes.* [S.l.]: Editora NCB, 2012. 58-80 p. Citado na página 151.
- CHART, L. *O que é um diagrama de classe UML?* 2020. <<https://www.lucidchart.com/pages/pt/o-que-e-diagrama-de-classe-uml>>. Acesso em: 24 mar. 2021. Citado na página 122.
- CHART, L. *O que é um diagrama de sequência UML?* 2020. <<https://www.lucidchart.com/pages/pt/o-que-e-diagrama-de-sequencia-uml>>. Acesso em: 24 mar. 2021. Citado na página 119.
- CHISABAS, R. et al. Development of a thermal-vacuum chamber for testing in small satellites. 47th International Conference on Environmental Systems, 2017. Citado 3 vezes nas páginas 24, 25 e 73.
- COMANDOS, C. Manual do usuário nobreak innovation s1. 2021. Disponível em: <<https://www.cmcomandos.com.br/wp-content/uploads/2018/11/manual-do-usuario-innovation-s1-15-a-30-kva.pdf>>. Citado na página 86.
- CORPORATION, I. I. B. M. *Documento de Visão.* 2017. <<https://www.ibm.com/docs/pt-br/elm/6.0.5?topic=requirements-vision-document>>. Acesso em: 24 mar. 2021. Citado na página 113.
- CORPORATION, K. I. Manual do usuário condensadora de nitrogênio m50-h. 2021. Disponível em: <<https://www.kelvinic.com/wp-content/uploads/2018/08/M50-LN2-Condenser-August-14-2018.pdf>>. Citado na página 146.
- CYPRESS. *Fast, easy and reliable testing for anything that runs in a browser.* 2020. <<https://www.cypress.io/>>. Acesso em: 19 abril 2021. Citado na página 124.
- CÂNDIDO, D. F. R. e M. V. I. Análise de desempenho de banco de dados nosql em um sistema que utiliza um banco de dados relacional e não relacional para armazenamento de dados. Centro Universitário de Anápolis UniEvangélica, 2017. Citado na página 115.
- DATA, I. *InfluxDB contains everything you need in a time series data platform in a single binary.* 2020. <<https://www.influxdata.com/products/influxdb/>>. Acesso em: 24 mar. 2021. Citado 2 vezes nas páginas 126 e 251.
- DOCKER. *Accelerate how you build, share and run modern applications.* 2020. <<https://www.docker.com/>>. Acesso em: 24 mar. 2021. Citado na página 127.

- DURÃO, O.; SHUCH, N. Nanosatc-br1 e 2. INPE/CRS, 2016. Citado na página 24.
- EDWARDS LIMITED. *PGC201 PASSIVE GAUGE CONTROLLER INSTRUCTION MANUAL*. [S.l.], 2017. Disponível em: <<https://www.manualslib.com/products/Edwards-Pgc201-10982735.html>>. Citado 3 vezes nas páginas 91, 92 e 242.
- ELECTRONJS. *Electron JS - Build cross-plataform desktop apps with Javascript, HTML and CSS*. 2020. <<https://www.electronjs.org/>>. Acesso em: 24 mar. 2021. Citado na página 251.
- ESLINT. *ESLint - Find and fix problems in your JavaScript code*. 2020. <<https://eslint.org/>>. Acesso em: 24 mar. 2021. Citado na página 126.
- EXPRESS, N. *Express - Framework web rápido, flexível e minimalista para Node.js*. 2020. <<https://expressjs.com/pt-br/>>. Acesso em: 24 mar. 2021. Citado na página 125.
- FERNANDES, G. et al. Thermal tests for cubesat in brazil: lessons learned and the challenges for the future. 67th International Astronautical Congress(IAC), 2016. Citado na página 26.
- GITHUB. *GitHub: Where the world builds software*. 2020. <<https://github.com/>>. Acesso em: 24 mar. 2021. Citado na página 127.
- GNU. *GNU Affero General Public License*. 2007. <<https://www.gnu.org/licenses/agpl-3.0.pt-br.html>>. Acesso em: 24 mar. 2021. Citado na página 246.
- HANPOSE. *Hanpose*. 2021. <<https://hanpose.en.made-in-china.com/>>. Acesso em: 10 abr. 2021. Citado 2 vezes nas páginas 43 e 46.
- INFLUXDB. *Chronograf is the complete interface for the InfluxDB 1.x Platform*. 2020. <<https://www.influxdata.com/time-series-platform/chronograf/>>. Acesso em: 24 mar. 2021. Citado na página 126.
- JEST. *Jest*. 2020. <<https://jestjs.io/pt-BR/>>. Acesso em: 24 mar. 2021. Citado na página 125.
- JUNIOR, L.; WINCK, A.; KRENZINGER, A. Determinação da variação espectral da irradiação na substituição das lâmpadas de um simulador solar. VIII Congresso Brasileiro de Energia Solar - Gramado, RS, 2020. Citado na página 78.
- KIECKHAFER, A. W.; WALKER, M. L. R. Recirculating liquid nitrogen system for operation of cryogenic pumps. 32nd International Electric Propulsion Conference, 2011. Citado na página 62.
- LIBRARY, N. *influx. Node-influx - An InfluxDB client dor Javascript*. 2020. <<https://node-influx.github.io/>>. Acesso em: 24 mar. 2021. Citado na página 126.
- LINEARES, C. C. *Manual do Usuário NO BREAK INNOVATION S1*. 2021. <<https://www.cmcomandos.com.br/wp-content/uploads/2018/11/manual-do-usuario-innovation-s1-15-a-30-kva.pdf>>. Acesso em: 01 maio 2021. Citado 2 vezes nas páginas 138 e 139.
- MEDIA, D. *Introdução ao Padrão MVC: Primeiros passos na Arquitetura MVC*. 2013. <<https://www.devmedia.com.br/introducao-ao-padroao-mvc/29308>>. Acesso em: 24 mar. 2021. Citado na página 115.

- MEDIDOR de Vazão tipo TURBINA SÉRIA STV - L/G. [S.l.]. Citado na página 93.
- MEGSON, T. H. G. *Aircraft Structures for Engineering Students*, 6ed. [S.l.]: Butterworth-Heinemann, 2016. 910 p. Citado na página 59.
- MIGON, H. *Análise de Séries Temporais*. 2020. <<http://www.dme.ufrj.br/dani/pdf/slidespartefrequentista.pdf>>. Acesso em: 24 mar. 2021. Citado na página 126.
- MUNDOJS. *Gráficos Dinâmicos com Eventos – Chart.js*. 2021. <<https://www.mundojs.com.br/2018/07/12/graficos-dinamicos-com-eventos-chart-js/>>. Acesso em: 30 abril 2021. Citado na página 124.
- MYERS, G. J. et al. *The art of software testing*. [S.l.]: Wiley Online Library, 2004. v. 2. Citado na página 156.
- NASA. *Systems Engineering Handbook*. [S.l.]: Headquarters Washington, D.C., 2007. Citado na página 24.
- NASA. *Open MCT - Open Source Mission Control Software*. 2021. <<https://nasa.github.io/openmct/>>. Acesso em: 24 fev. 2021. Citado 3 vezes nas páginas 130, 245 e 251.
- NIST. *Propriedades Nitrogênio*. 2021. <<https://webbook.nist.gov/cgi/fluid.cgi?ID=C7727379&Action=Page>>. Acesso em: 3 abril. 2021. Citado 3 vezes nas páginas 66, 279 e 280.
- NODE. *About NodeJS*. 2020. <<https://nodejs.org/en/about/>>. Acesso em: 24 mar. 2021. Citado na página 124.
- NODE. *Don't Block the Event Loop (or the Worker Pool)*. 2020. <<https://nodejs.org/en/docs/guides/dont-block-the-event-loop/>>. Acesso em: 24 mar. 2021. Citado na página 125.
- NORTON, R. L. *Cinemática e Dinâmica dos Mecanismos*. [S.l.]: Bookman, 2010. 531-684 p. Citado na página 42.
- PEDROW, B. *Making a Cryogenic-compatible O-ring seal*. 2021. <<https://hydrogen.wsu.edu/2016/02/09/making-a-cryogenics-compatible-o-ring-seal/>>. Acesso em: 10 abr. 2021. Citado na página 65.
- PROXIMITY/UV/AMBIENT Light Sensor Module with I²C Interface. [S.l.]. Citado na página 93.
- RASPBERRY, F. *What is a Raspberry Pi?* 2020. <https://www.raspberrypi.org/documentation/faqs/?page_id=8#introduction>. Acesso em: 24 mar. 2021. Citado na página 114.
- REACT. *React - Uma biblioteca Javascript para criar interfaces de usuário*. 2020. <<https://pt-br.reactjs.org/>>. Acesso em: 24 mar. 2021. Citado na página 124.
- RODRIGUES, J. Projeto e construção de um simulador solar concentrador. Dissertação (Mestrado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica, São Paulo. 98p., 2016. Citado na página 77.

- ROSA, G.; CASTRO, L. Análise comparativa de viabilidade de sistemas de iluminação pública em vapor de sódio, vapor metálico e led. Universidade do Extremo Sul Catarinense, Santa Catarina. Acesso em 9 abr. 2021, 2017. Disponível em: <<http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/5900/1/GustavoGabrielDaRosa.pdf>>. Citado na página 77.
- SCHMITZ, M. *O que são Microsserviços? Saiba quando utilizar em seus projetos.* 2021. <<https://king.host/blog/2021/04/microsservicos-quando-utilizar-este-metodo/>>. Acesso em: 24 mar. 2021. Citado na página 250.
- SILVA, H.; PERONDI, L. Testes ambientais e verificação de requisitos em projetos da Área espacial. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2011. Citado na página 25.
- SILVEIRA, M. Projeto estrutural de uma câmara de simulação espacial. Monografia - Universidade de Brasília, DF, 2021. Citado 4 vezes nas páginas 25, 27, 66 e 76.
- TIMOSHENKO, S. P.; GERE, J. M. *Theory of Elastic Stability*, 2ed. [S.l.]: Dover Publications, 2009. 541 p. Citado na página 59.
- TOORIAN, A. Cubesat design specification. ITAR, 2004. Citado na página 23.
- TWIGGS, R. *Small satellite: past, present and future*. [S.l.]: El Segundo, CA: The Aerospace Press, 2008. 151-173 p. Citado na página 23.
- UBL, M.; KITAMURA, E. Apresentando WebSockets: trazendo soquetes para a web. 2010. <<https://www.html5rocks.com/pt/tutorials/websockets/basics/>>. Acesso em: 10 abril 2021. Citado na página 114.
- UFSC, R. de C. *Arquitetura Cliente X Servidor*. 2012. <<http://www.inf.ufsc.br/~jbarreto/cca/internet/redesde.htm>>. Acesso em: 24 mar. 2021. Citado 2 vezes nas páginas 114 e 250.
- VILELA, T.; BRANDÃO, A.; LEONARDI, R. Cubesats e oportunidades para o setor espacial brasileiro. Contribuições do CGEE ao SNCTI, 2016. Citado na página 23.
- VILELA, T. et al. Towards the thousandth cubesat: A statistical overview. International Journal of Aerospace Engineering, 2019. Citado na página 26.
- VILLACA, L.; JR, A. F. P.; AZEVEDO, L. G. Construindo aplicações distribuídas com microsserviços. *Tópicos em Sistemas de Informação: Minicursos XV Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação. SBC*, 2018. Citado na página 250.
- WHITMORE, S.; CHANDLER, S. Engineering model for self-pressurizing saturated n2o propellant feed systems. 2010. Citado na página 66.
- Z., R. Automatic control for hvac system. UNIVERSITY MALAYA KUALA LUMPUR, 2009. Citado 2 vezes nas páginas 4 e 97.

Apêndices

APÊNDICE A – Desenhos Técnicos

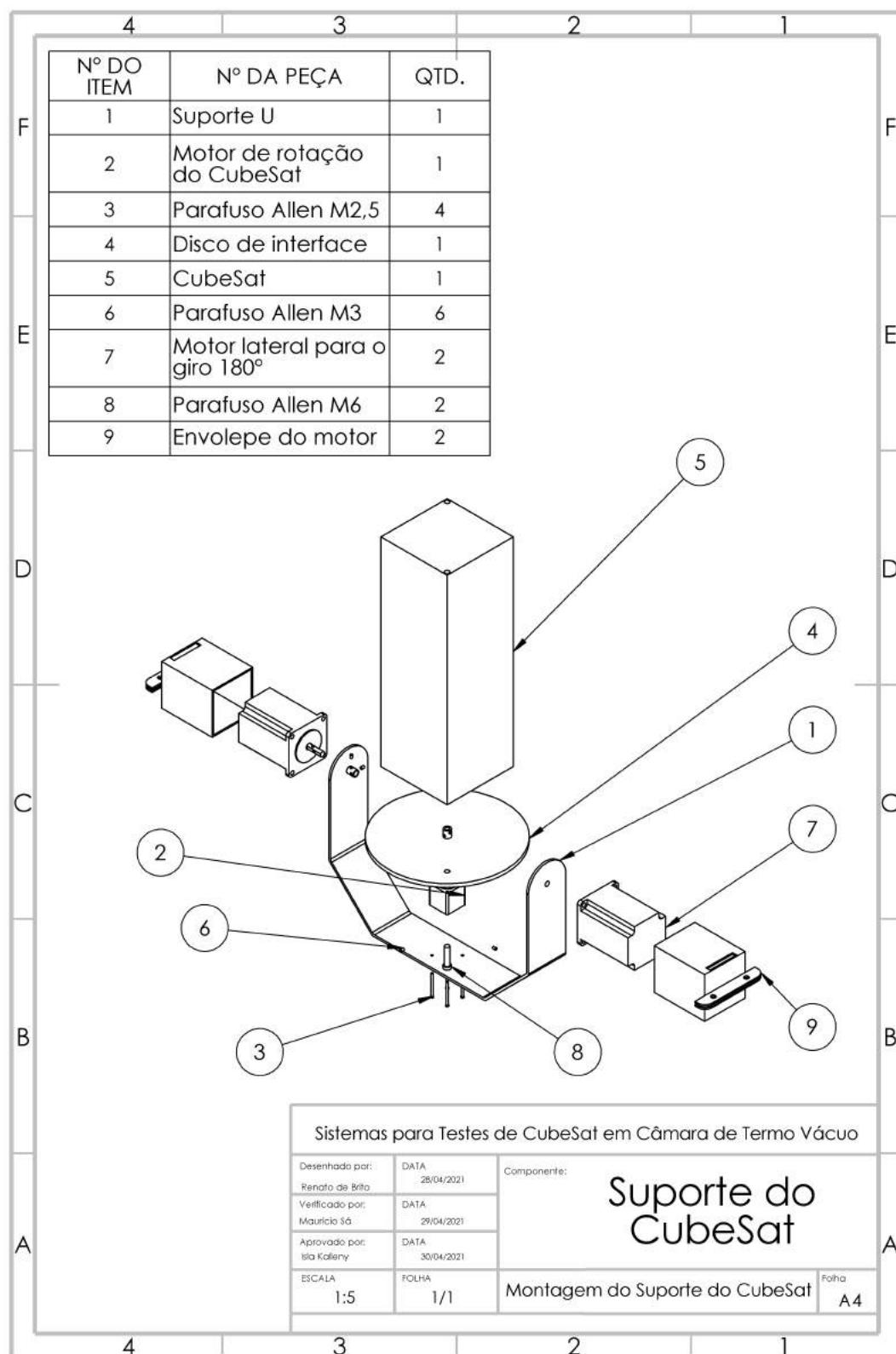


Figura 142 – Montagem do suporte do CubeSat.

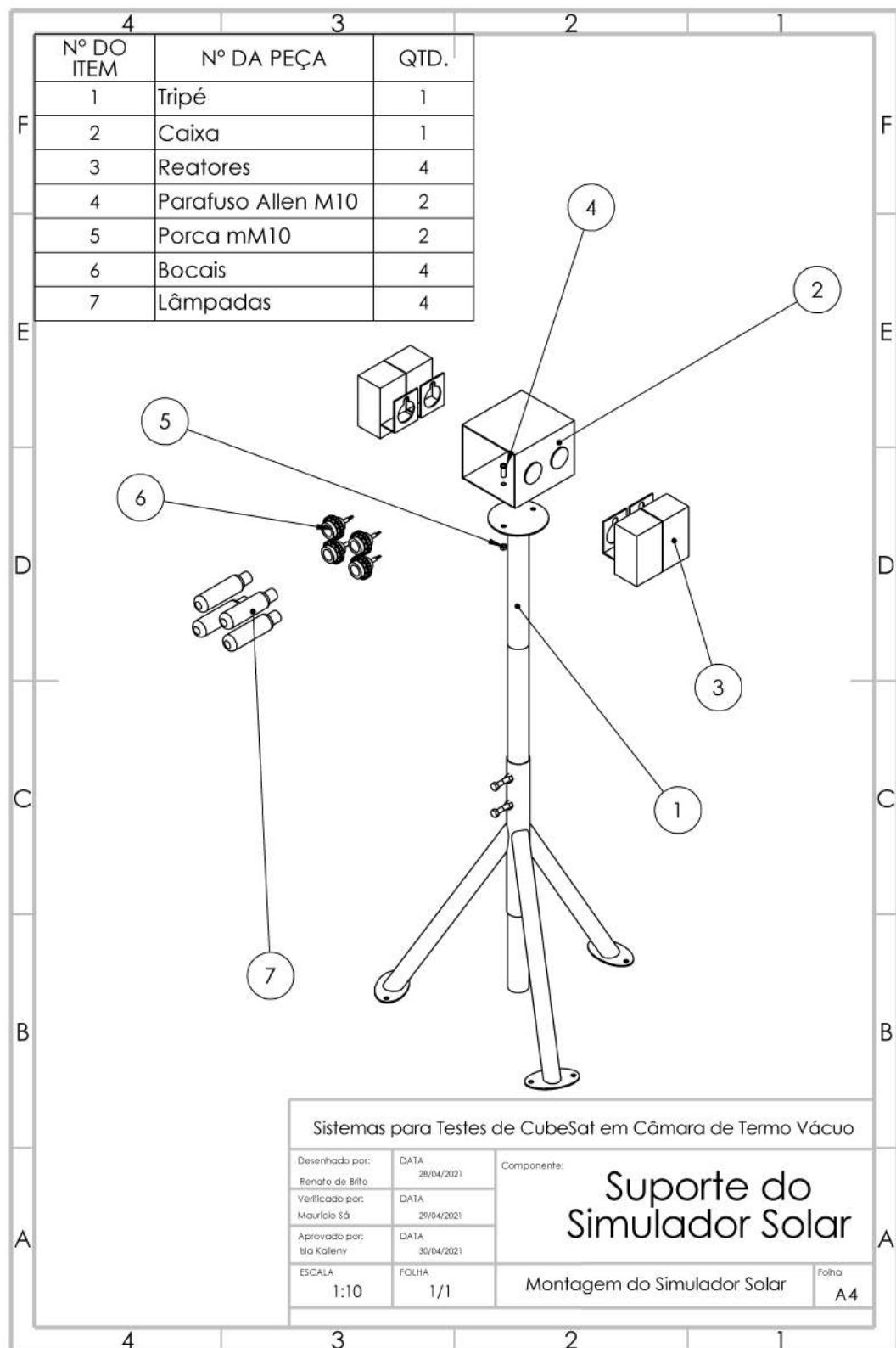


Figura 143 – Montagem do suporte do Simulador Solar.

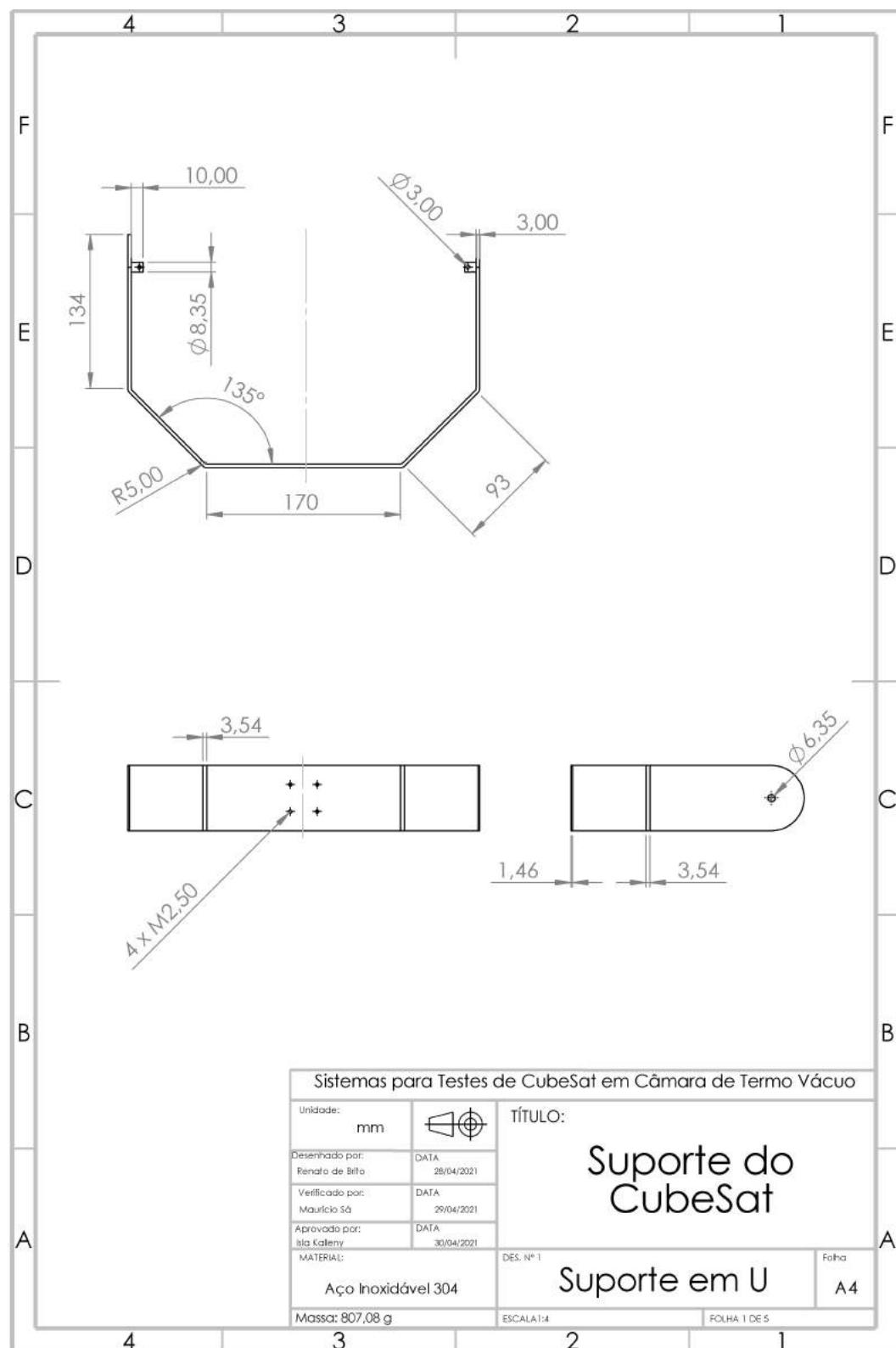


Figura 144 – Suporte em U.

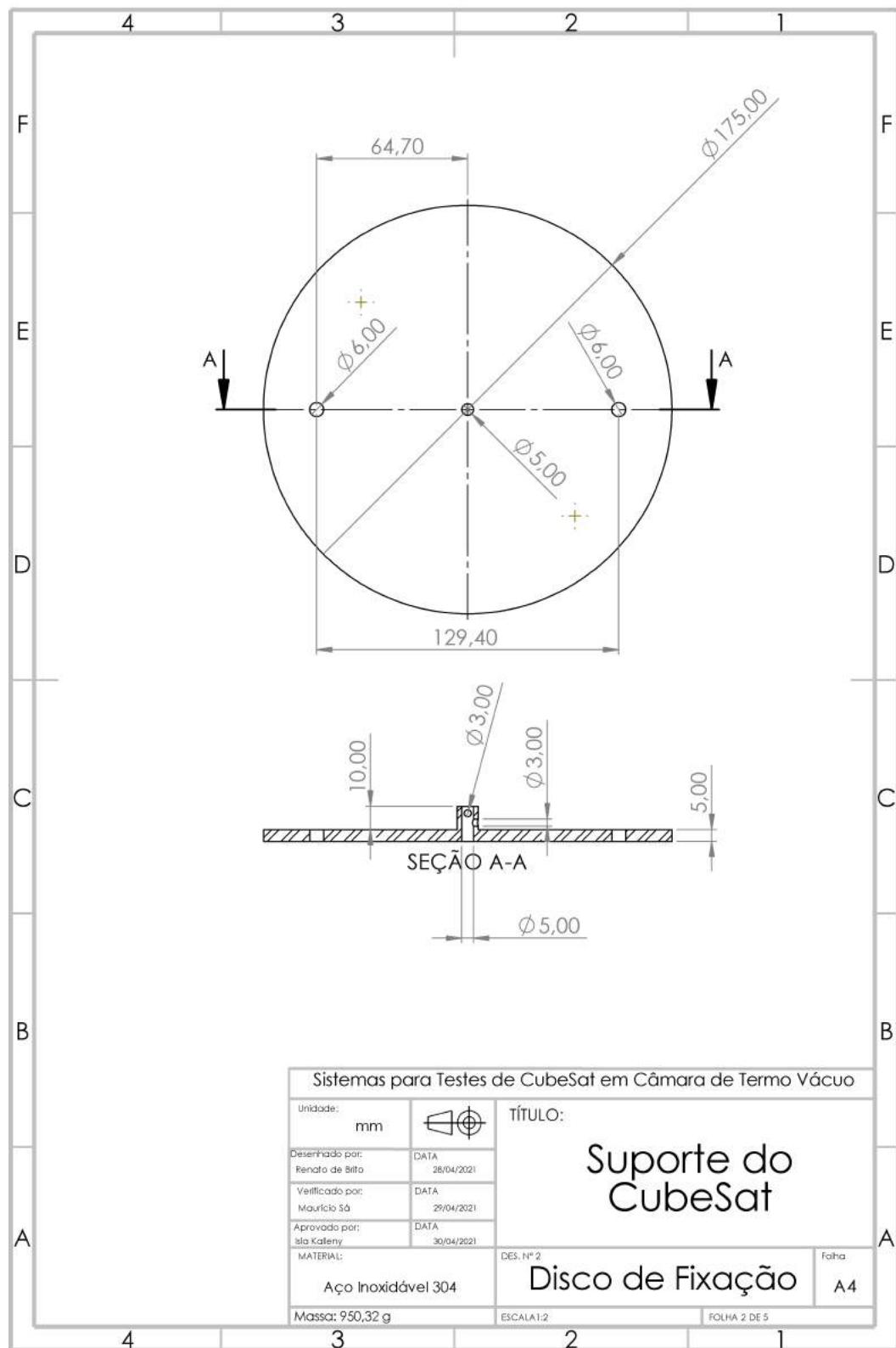


Figura 145 – Interface entre o motor e o Cubesat.

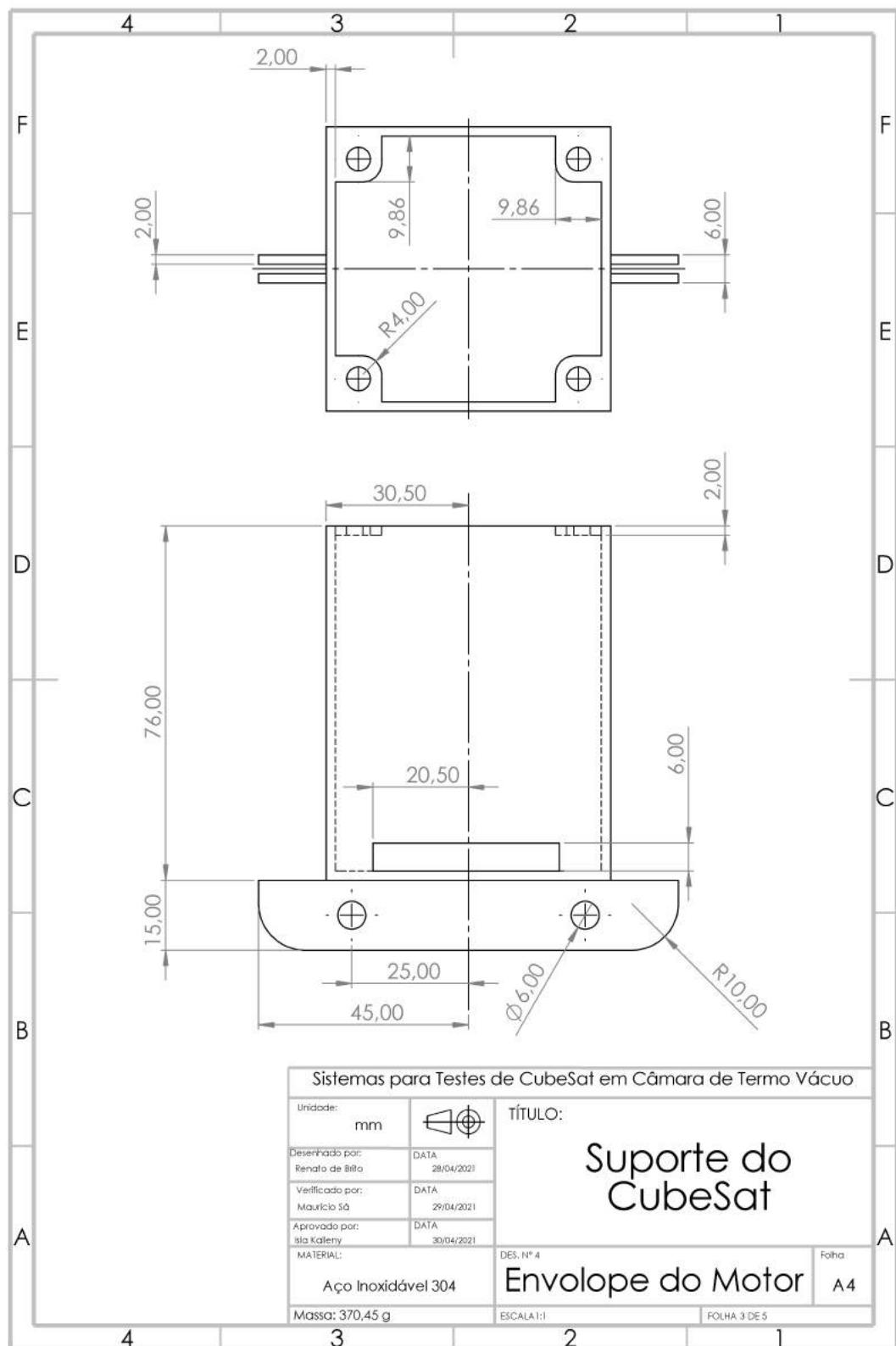


Figura 146 – Envelope do motor.

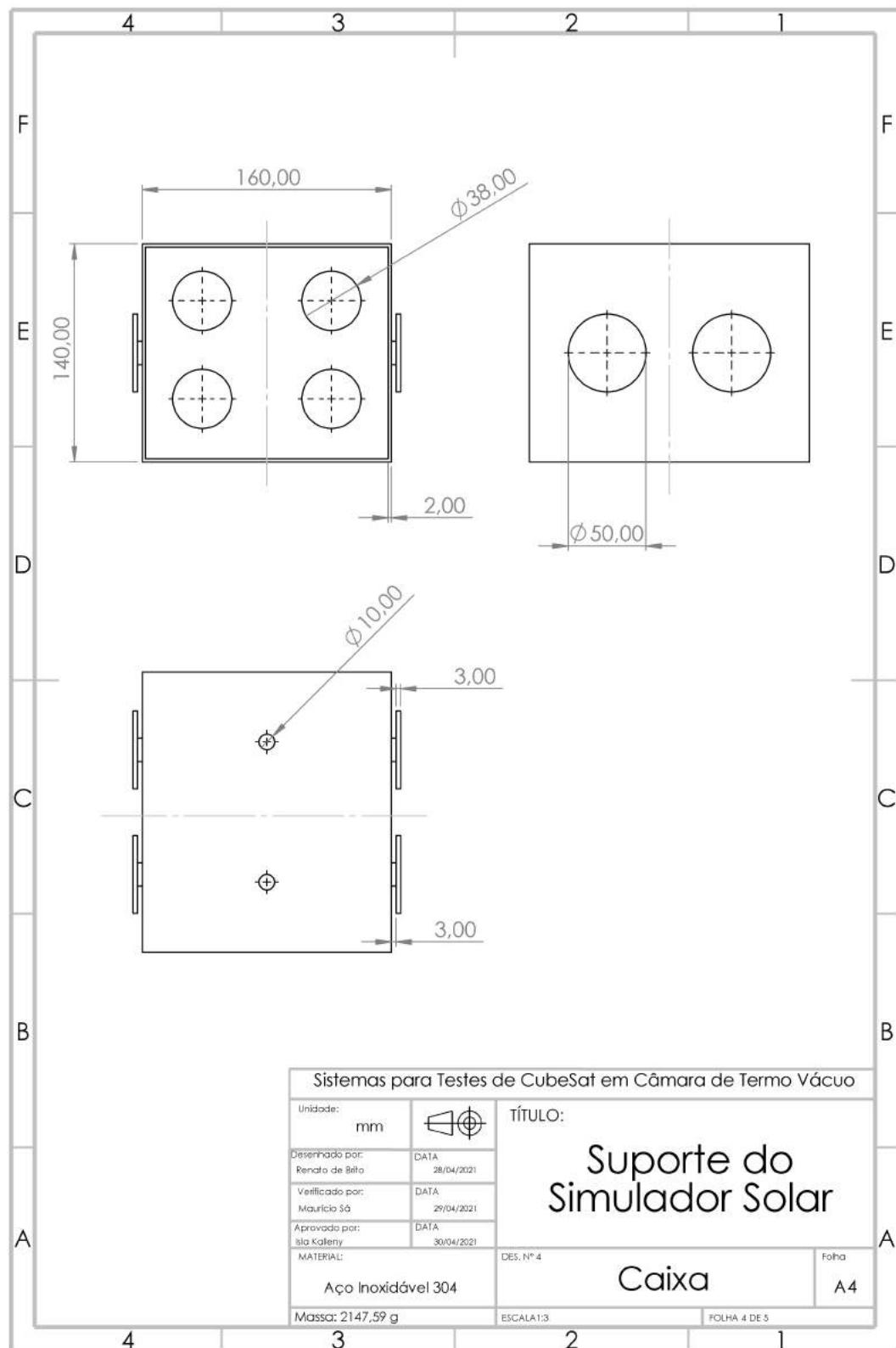


Figura 147 – Caixa para as lâmpadas.

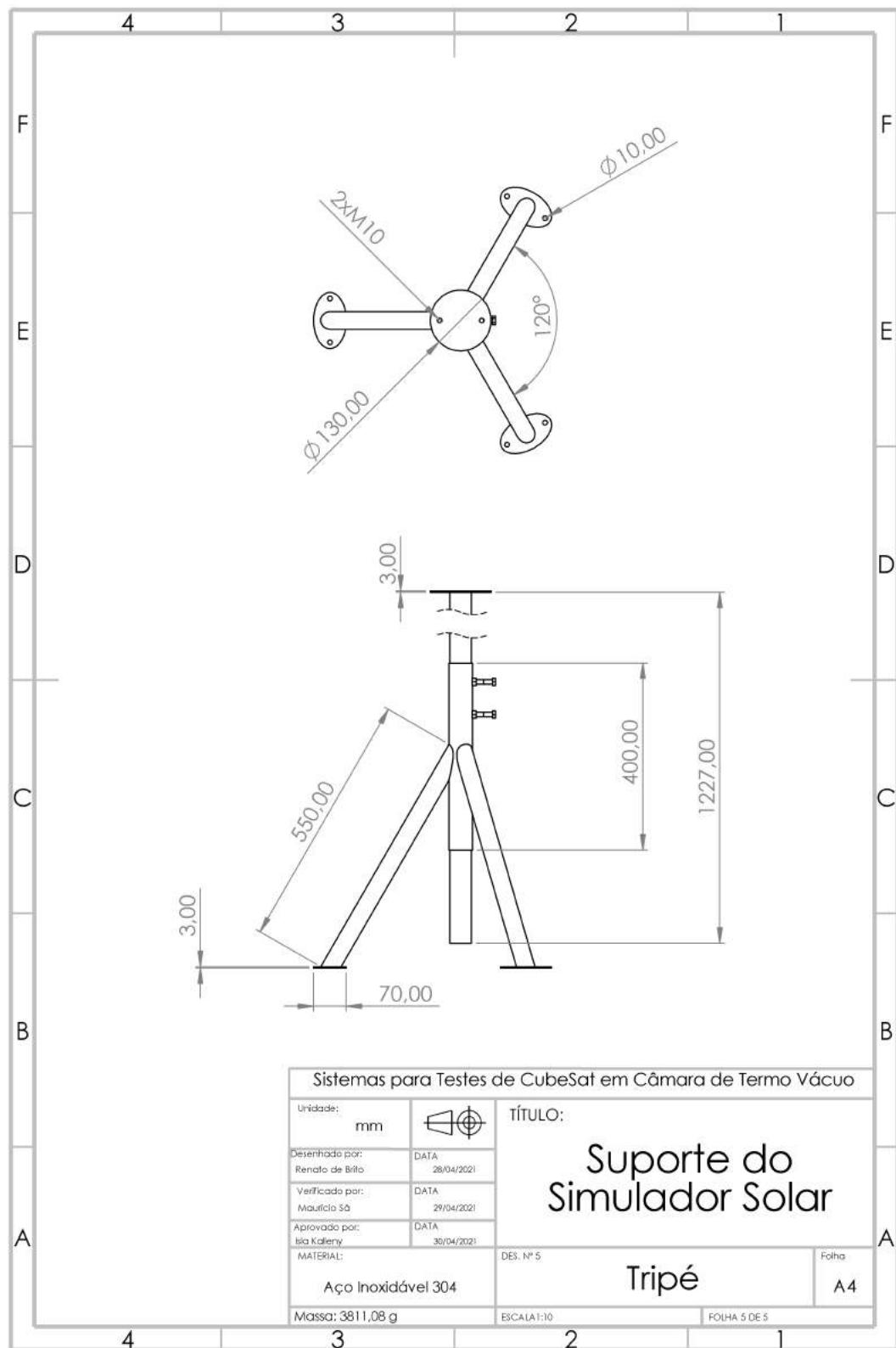


Figura 148 – Tripé.

APÊNDICE B – Diagramas dos Modos de Funcionamento

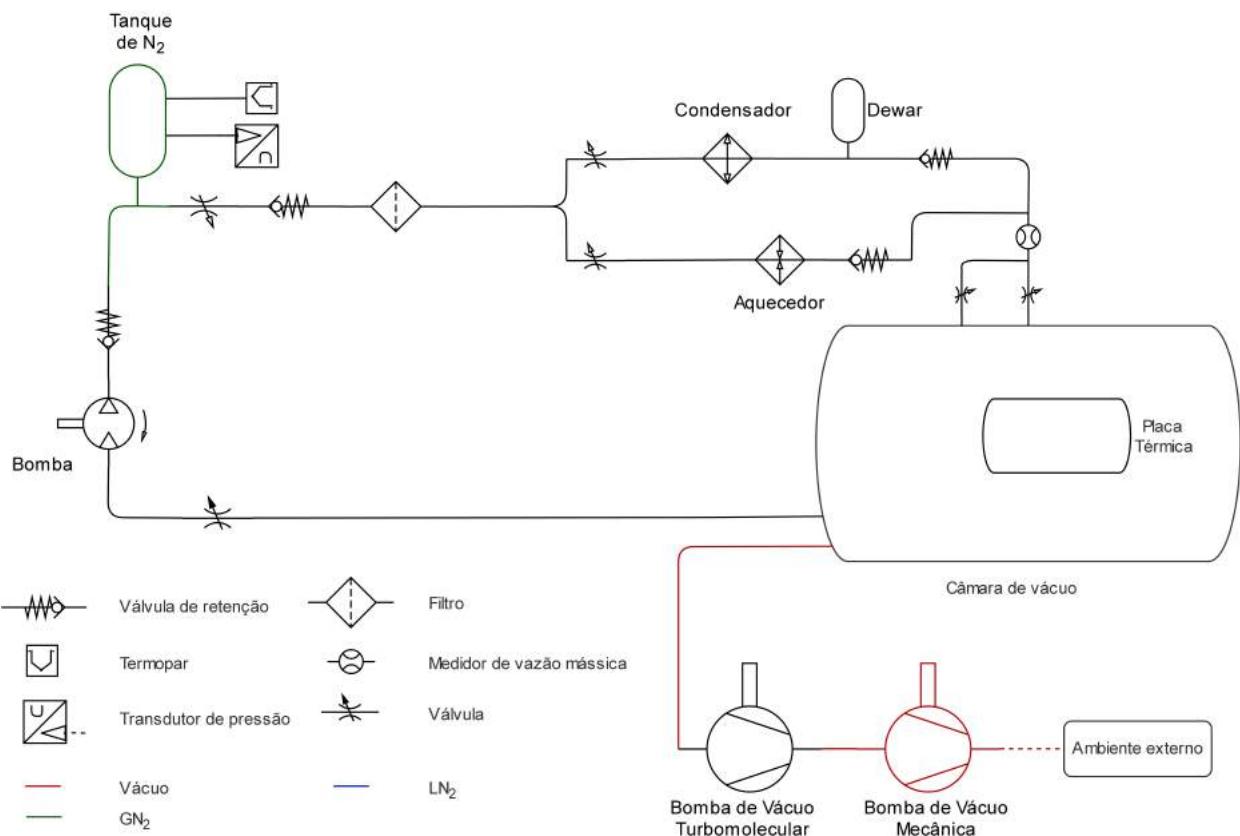


Figura 149 – Diagrama do sistema de alimentação durante a obtenção de vácuo

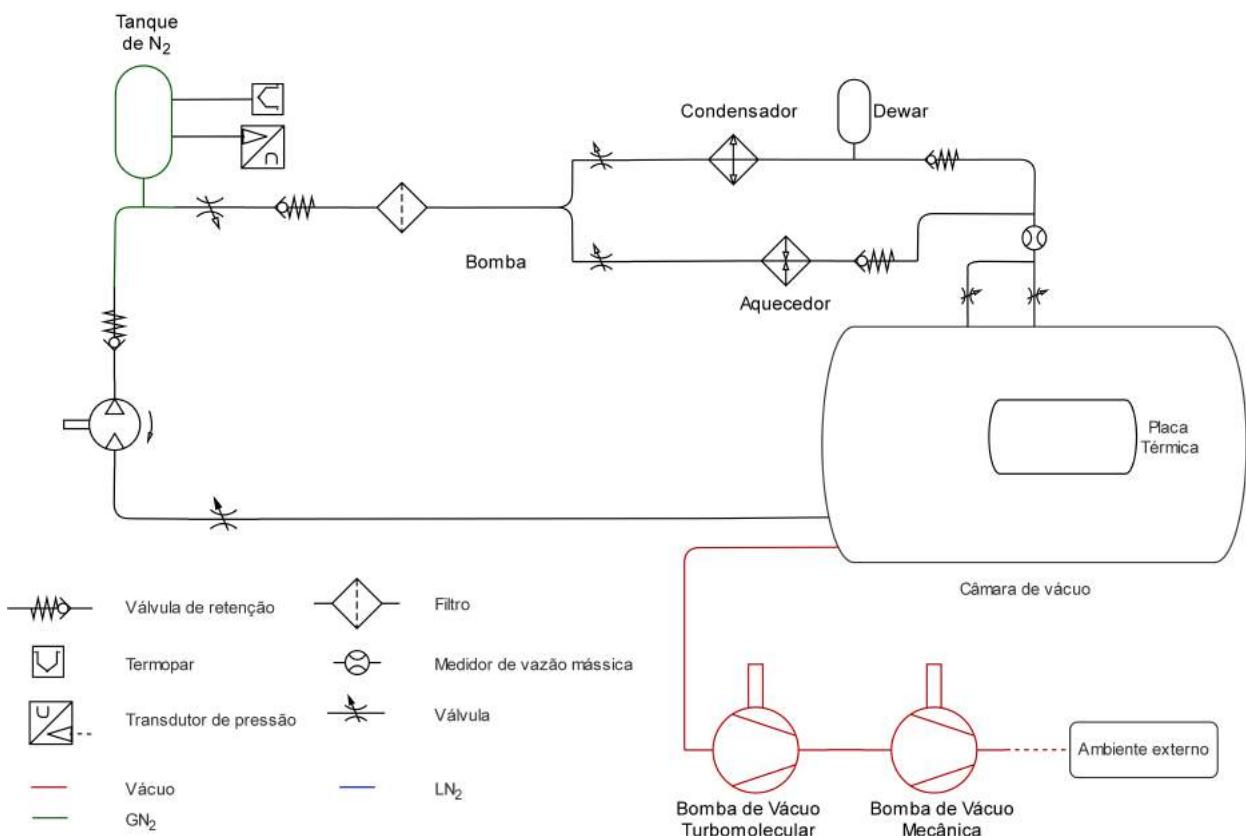


Figura 150 – Diagrama do sistema de alimentação durante a obtenção de alto vácuo

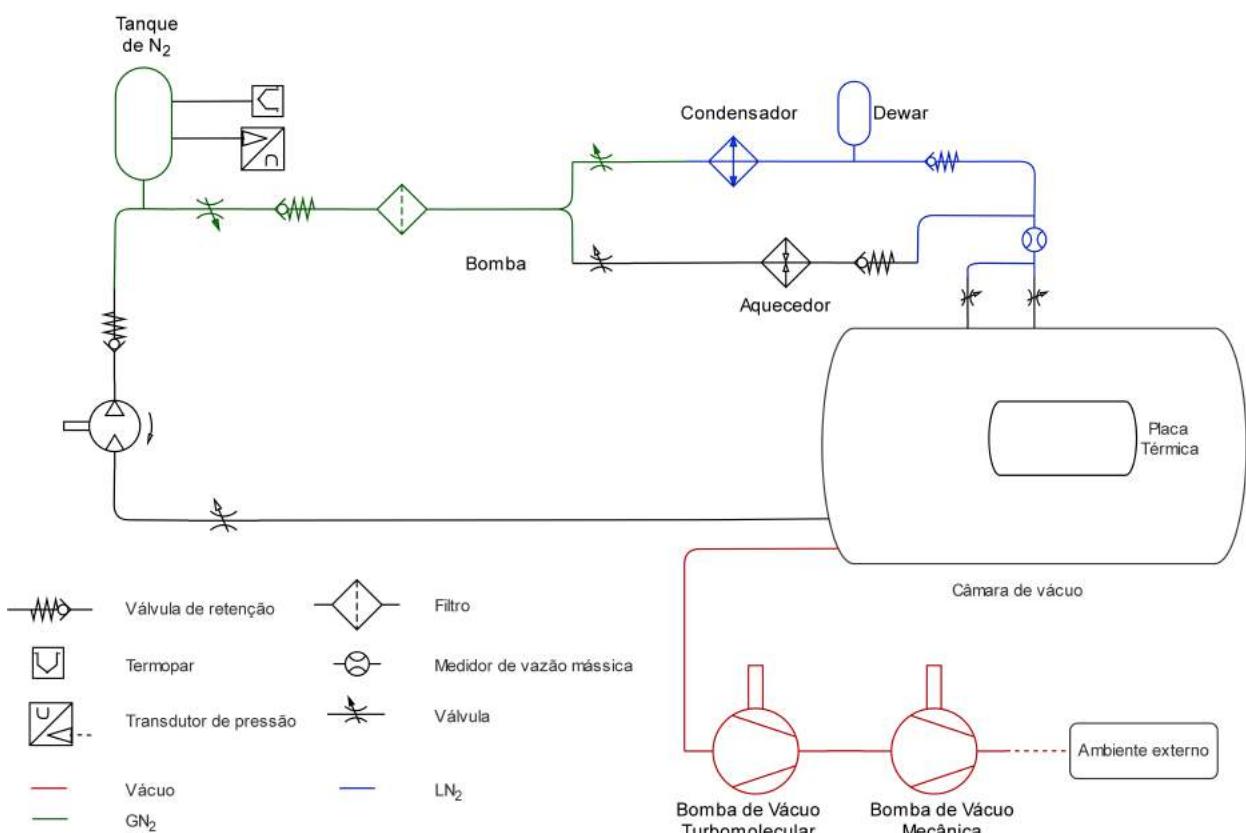


Figura 151 – Diagrama do sistema de alimentação durante a obtenção de nitrogênio líquido

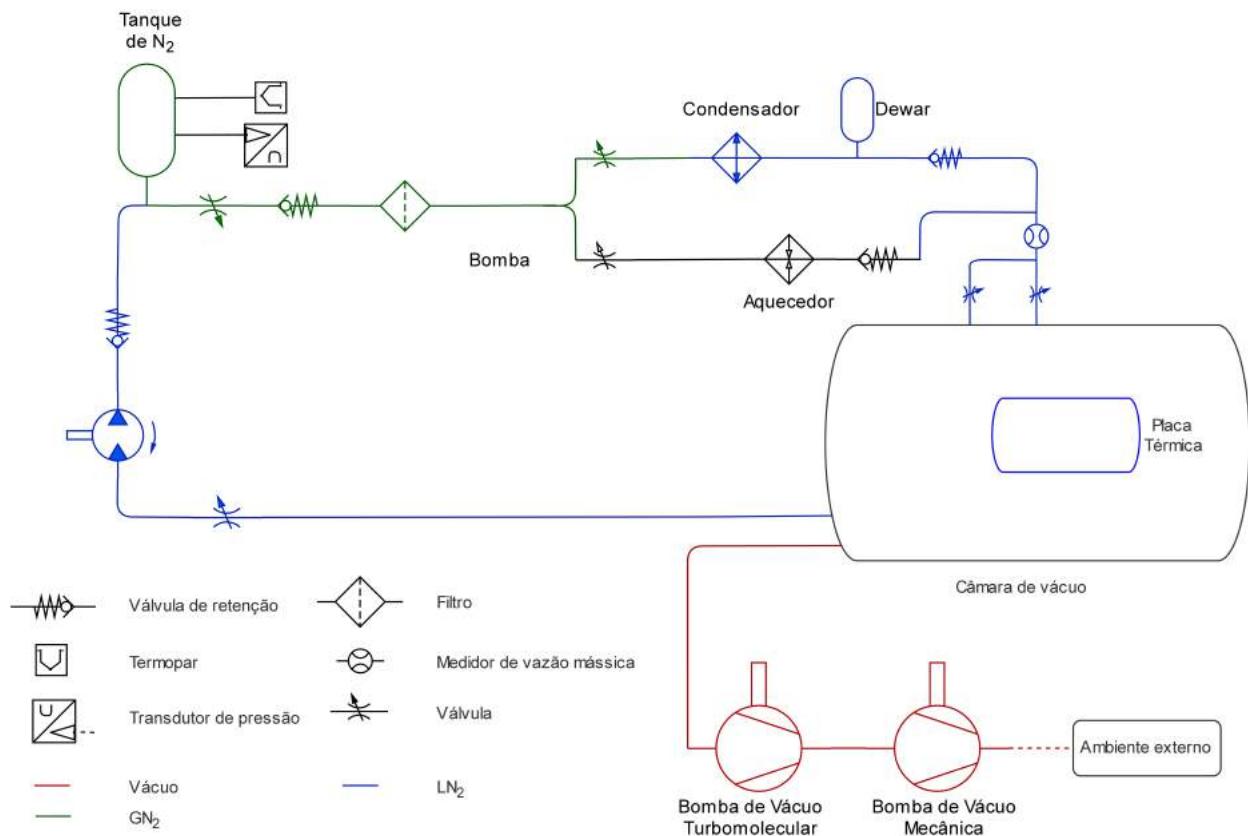


Figura 152 – Diagrama do sistema de alimentação durante o fornecimento de nitrogênio líquido

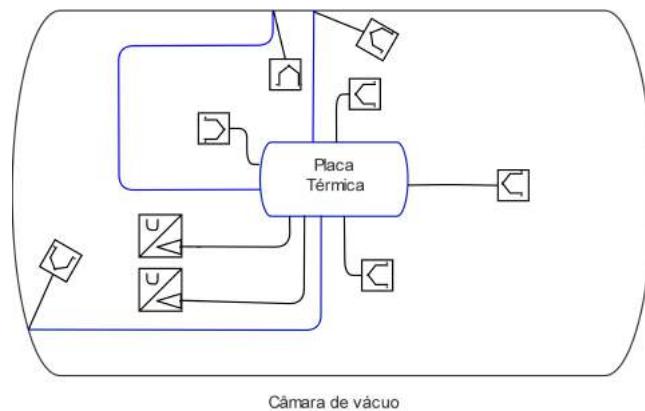


Figura 153 – Diagrama do sistema de alimentação dentro da câmara de termo-vácuo durante o fornecimento de nitrogênio líquido

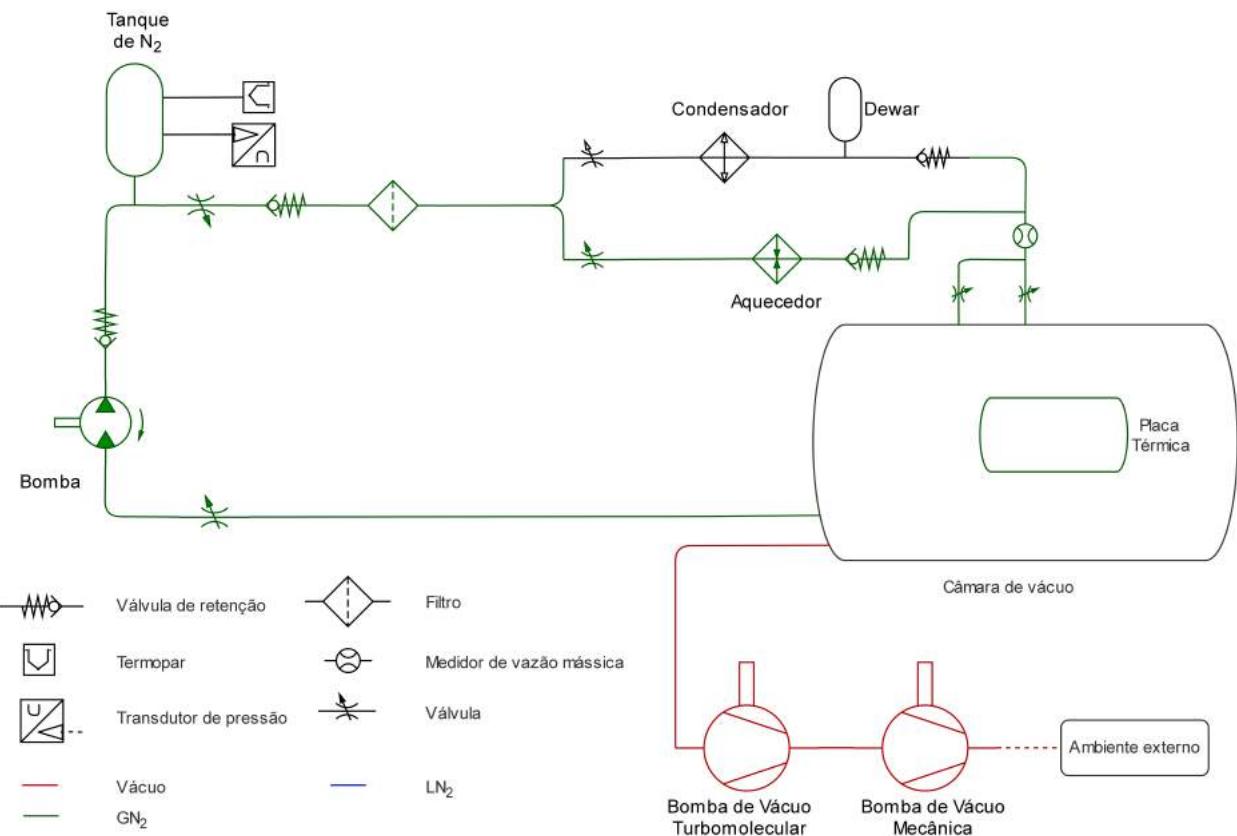


Figura 154 – Diagrama do sistema de alimentação durante a obtenção de nitrogênio gássoso

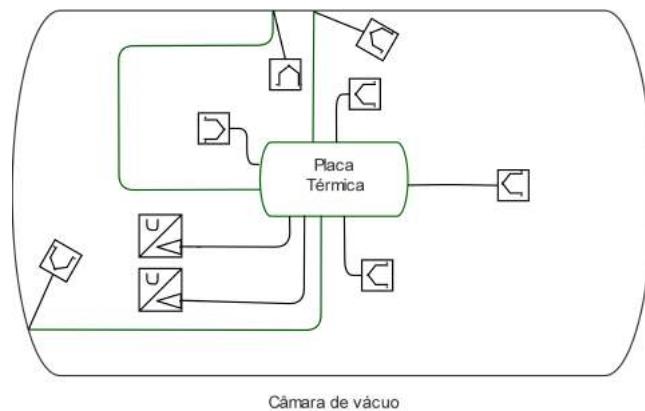


Figura 155 – Diagrama do sistema de alimentação durante o fornecimento de nitrogênio gasoso

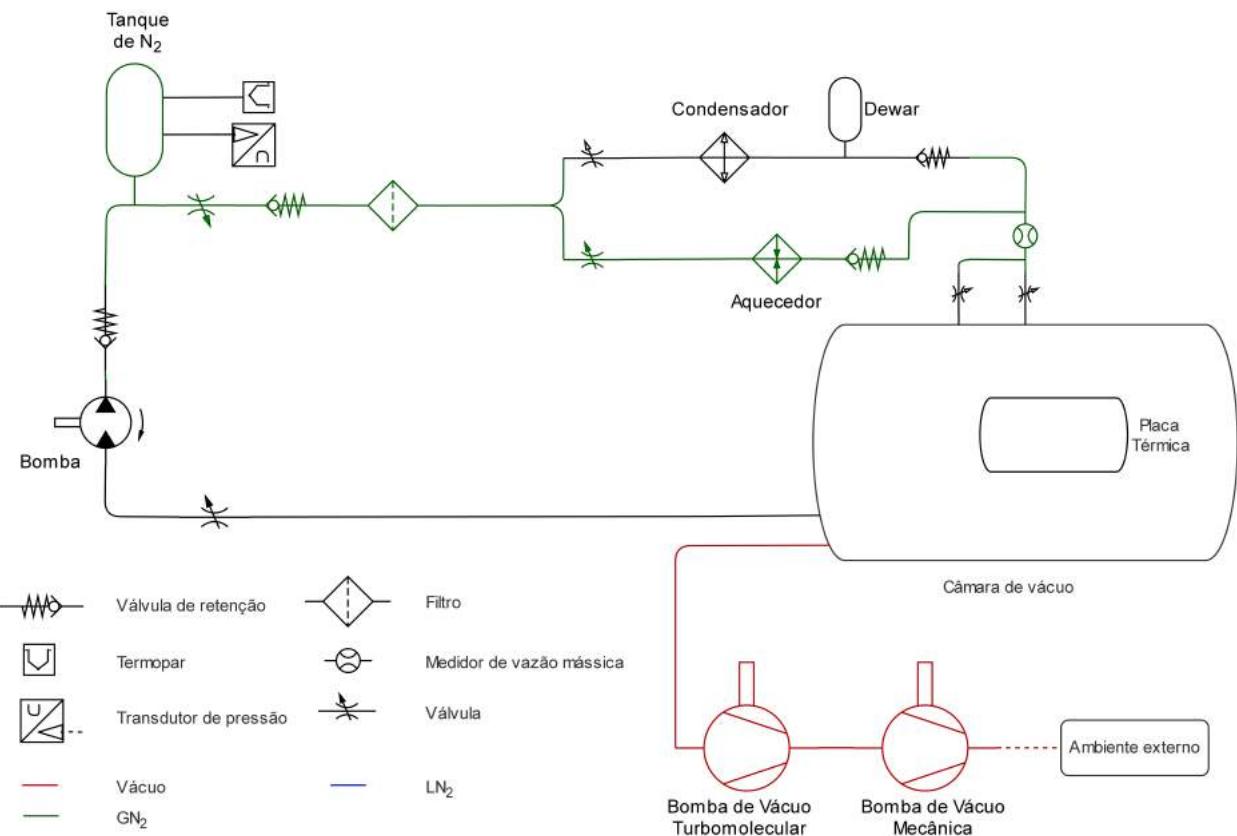


Figura 156 – Diagrama do sistema de alimentação dentro da câmara de termo-vácuo durante o fornecimento de nitrogênio gasoso

APÊNDICE C – Esquemático do Sistema Eletrônico

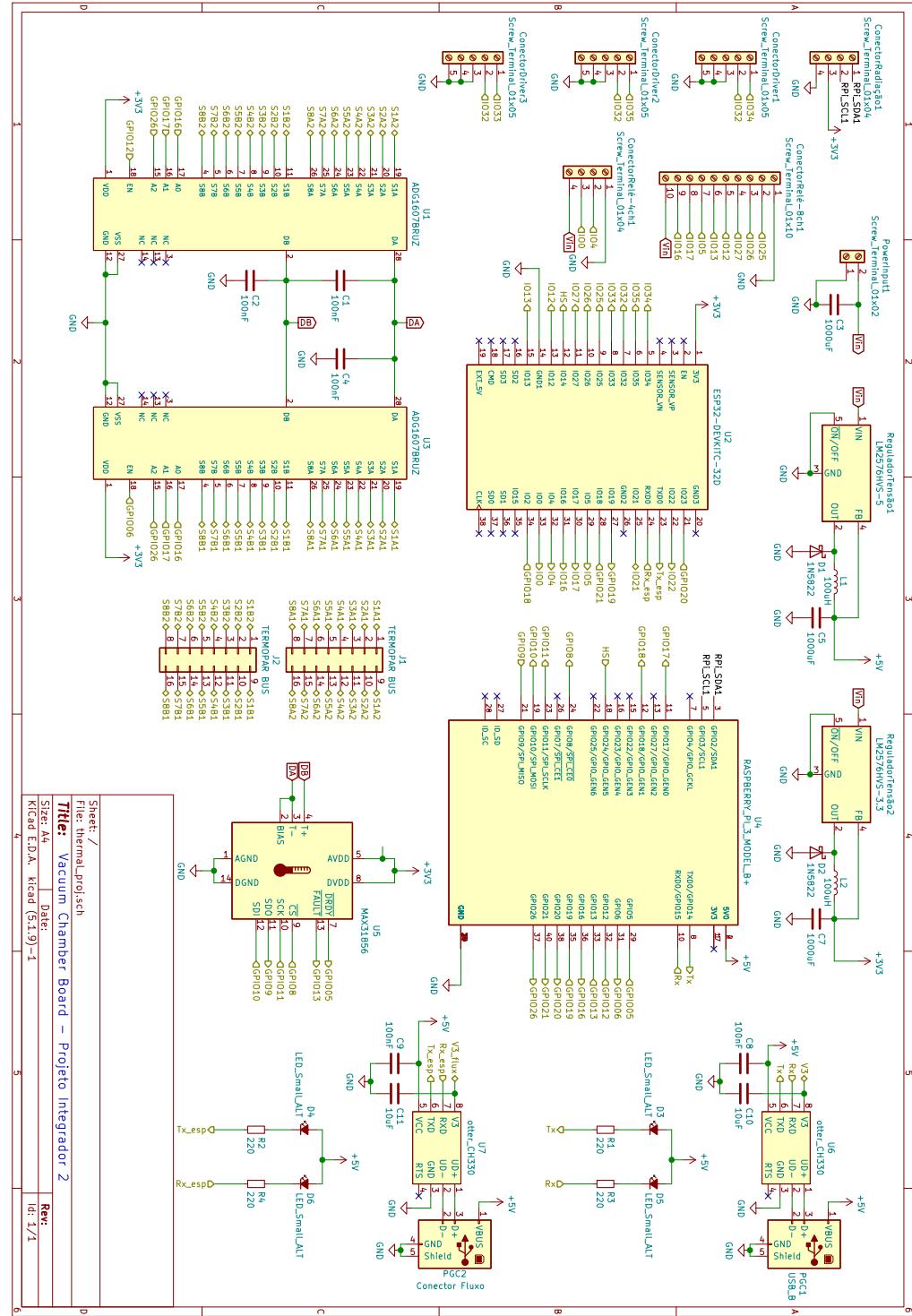


Figura 157 – Esquemático do sistema eletrônico

APÊNDICE D – Comandos do dispositivo PGC201

Tabela 58 – Comandos para obter dados de pressão do PGC201.

Categoría	Parâmetro	Descrição
Comando RPV	a	1 (Canal 1 PRG1) 2 (Canal 2 PRG2) 3 (Canal 3 CPG)
Resposta	b	0 = Valor medido OK 1 = Valor medido < Alcance de Medição 2 = Valor medido > Alcance de Medição 3 = Valor medido « Alcance de medição = (Err Lo) 4 = Valor medido » Alcance de medição = (Err Hi) 5 = Sensor desligado (S off) 6 = Alta tensão (Hv on) 7 = Erro no sensor (Err S) 9 = Sem sensor (no Sen) 10 = Sem threshold para ligar ou desligar (Notrig) 12 = Erro no Piranni (Err Pi)
Valor	$x.xxxxE \pm xx$	Valor de pressão no canal selecionado

Fonte: Adaptado ([EDWARDS LIMITED, 2017](#)).

APÊNDICE E – Documento de Visão

Como forma de complementar a visão do produto proposto, foi desenvolvido um documento de visão capaz de descrever características e expor os requisitos principais da demanda dos *stakeholders* do projeto.

E.1 Introdução

Nesta introdução serão abordados tópicos referentes a uma visão geral do produto, definindo seu propósito, escopo, definições, acrônimos, abreviações e referências.

E.1.1 Finalidade

Esse documento visa especificar todo o escopo de funcionamento da aplicação, deixando claro seu objetivo, a razão de sua necessidade e a forma como busca solucionar os problemas aos quais se propõe, deixando claro possíveis restrições. Dessa forma, sua principal utilidade é também, esclarecer o que é o sistema para os desenvolvedores, clientes e usuários, estabelecendo entre os mesmos um alinhamento de ideias.

E.1.2 Escopo

O Sistema Térmico para Testes de CubeSats em Câmara de Termo-Vácuo é uma aplicação que visa facilitar a execução e o monitoramento dos testes aplicados ao CubeSat, contido em uma câmara termo-vácuo. O sistema de controle deve permitir a verificação em tempo real da situação do interior da câmara de termo-vácuo (temperatura, pressão e radiação), bem como a comunicação com o satélite, obtendo os dados emitidos por ele, monitorando a situação desses parâmetros, além de armazená-los para posterior visualização e análise.

E.1.3 Visão Geral

Neste documento, alguns pontos principais acerca da descrição do problema em si, do público-alvo, e de visão de produto poderão ser encontrados nos tópicos seguintes.

E.2 Posicionamento

Para resumir o problema que este projeto busca resolver, são respondidas algumas informações, conforme seções abaixo.

E.2.1 Descrição do problema

A Tab. 59 descreve o problema que o produto de software busca solucionar, por meio de algumas palavras chave.

Tabela 59 – Tabela sobre a descrição do problema.

O problema de	gerenciar e orquestrar os testes do CubeSat em uma câmara de termo-vácuo
afeta	pesquisadores
tendo o impacto de	otimização na análise de testes
Para este, uma boa solução seria	Uma plataforma que consiga se comunicar com a câmara termo-vácuo e obter dados e feedbacks em tempo real, buscando otimizar o tempo e ações no momento da execução dos testes e análises futuras

E.2.2 Sentença de Posição do Produto

A Tab. 60 descreve a intenção do produto em resolver uma carência, bem como mostrar sua importância e diferencial para as partes interessadas.

Tabela 60 – Tabela sobre a posição do produto.

Público alvo	Pesquisadores
Carência	Algo que concentre os interesses e as ações principais na execução do teste de CubeSat
Solução	Uma aplicação web que permite ao usuário pesquisador, acompanhar de forma mais precisa o andamento e a análise dos testes do CubeSat na câmara de termo-vácuo
Descrição da solução	Um profissional pode, através da aplicação, visualizar o estado da câmara para o início dos testes; apresentar ao usuário os indicadores da câmara termo-vácuo, dentre eles a temperatura, pressão, nível do tanque, etc; Ser informado sobre a saúde e aspectos de cada sensor contido na câmara; gerar histórico e relatórios de testes.
Diferenciais	Robusto sistema de preparação, execução e controle da câmara termo-vácuo

E.3 Perfis de usuários

Para entender o perfil do usuário e como ele pode atuar na aplicação, desenvolve-se sua descrição, bem como possíveis situações no seu contexto. Essas informações são descritas nas seções a seguir.

E.3.1 Pesquisador

Pesquisador no contexto do projeto pode ser descrito de acordo com a Tab. 62.

Tabela 61 – Tabela sobre o perfil dos usuários.

Representante	Pesquisador
Descrição	Pessoas inseridas no ambiente de pesquisa, focados em simulação de missões espaciais
Tipo	Usuário final de qualquer grau de conhecimento técnico
Responsabilidades	Iniciar os testes, inserir parâmetros para o teste e controlar ações na câmara
Critérios de sucesso	Concluir a simulação da missão com sucesso e visualizar os dados analíticos

E.3.2 Ambiente do usuário

A aplicação tem como alvo dispositivos *web*, cujo sistema operacional possua um *browser* previamente instalado.

E.3.3 Alternativas e Concorrência

A ferramenta OpenMCT ([NASA, 2021](#)), desenvolvida pela NASA, propõe um painel de monitoramento de missões espaciais, exibindo dados e gráficos pertinentes. Com ela foi possível colher informações do que pode ser relevante para um pesquisador durante um experimento, como a parte visual.

E.4 Visão geral do produto

Esta seção descreve características do produto, para que haja uma visualização da perspectiva geral da solução.

E.4.1 Perspectiva do Produto

A visão geral sobre a perspectiva do produto pode ser descrita na forma do Diagrama de Casos de Uso, detalhado e ilustrado na Fig. 75.

E.4.2 Resumo das Capacidades

Esta seção resume os principais benefícios e recursos que o produto fornecerá.

Tabela 62 – Tabela sobre o resumo das capacidades.

Benefício para o Usuário	Recursos de suporte
Facilidade em inserir parâmetros para testes	A aplicação disponibiliza uma interface minimalista e de fácil entendimento, permitindo que a experiência do pesquisador inicie de forma prática
Facilidade para visualizar os gráficos resultantes dos experimentos	A partir dos experimentos realizados, o pesquisador poderá visualizar os dados quantitativos e de forma visual, por meio dos gráficos gerados, como os de temperatura e pressão pelo tempo
Facilidade em visualizar o estado dos sensores	A aplicação irá permitir que o pesquisador visualize o estado dos sensores, bem como se eles estão devidamente conectados, se emitem dados similares ao redor de toda a câmara ou se necessitam de ajustes manuais

E.4.3 Suposições e Dependências

Esta seção lista alguns dos principais fatores ou suposições que podem afetar os recursos que o produto possui.

- O usuário possui um computador com acesso à internet para acessar a aplicação;
- O usuário deverá acessar a aplicação no seu dispositivo;
- A aplicação será utilizada por profissionais que desejam simular missões espaciais mediante projetos independentes ou dependentes de empresas financiadoras;
- A aplicação irá facilitar o monitoramento e análise de dados durante todo o experimento.

E.4.4 Custos e Precificação

Os custos referentes ao projeto no escopo de Software, são descritos na Tab. 57.

E.4.5 Licenciamento e Instalação

O produto de software será desenvolvido sob a forma de código livre, diante da plataforma Github ¹ e terá como licença a AGPL-3.0 License (GNU, 2007).

¹ <https://github.com/>

E.5 Visão Geral dos Recursos do Produto

As seções a seguir descrevem as funcionalidades essenciais para solucionar o problema proposto.

E.5.1 Informar ao usuário sobre o estado da câmara para o início dos testes

No sistema, o pesquisador tem a possibilidade de preparar a câmara de vácuo para o início dos testes, inserindo os parâmetros base com os detalhes da simulação da missão, definindo também regras para a conclusão do teste.

E.5.2 Apresentar ao usuário os indicadores da câmara termo-vácuo

No sistema, o pesquisador tem a possibilidade de acompanhar em tempo real os indicadores relacionados à câmara de termo-vácuo, sendo possível visualizar os níveis de pressão da câmara, temperatura da linha de gás e da câmara, radiação e nível do tanque.

E.5.3 Informar saúde e aspectos de cada sensor

O pesquisador tem a opção de visualizar informações referentes aos sensores, sendo possível acompanhar a saúde e analisar prováveis problemas.

E.5.4 Gerar histórico

O pesquisador tem a possibilidade de visualizar e analisar os relatórios de cada teste realizado, independente da data da realização do teste, contendo as métricas adquiridas no momento da simulação da missão.

E.6 Restrições

Nesta seção busca-se levantar as possíveis restrições do produto.

E.6.1 Restrições externas

Dentre as restrições externas, a que pode mais influenciar o desenvolvimento do produto é o curto prazo para implementação de uma solução estável, coerente com os requisitos levantados e que ofereça valor aos *stakeholders*.

E.6.2 Restrições de design

A interação do pesquisador com a aplicação deve ocorrer de forma simples e prática, de forma que não comprometa a realização de um experimento. As funcionalidades devem ser claras e explicativas e devem também seguir um fluxo coerente.

E.7 Outros Requisitos do Produto

A lista de requisitos do produto de software pode ser visualizada na Tab. 5.

APÊNDICE F – Decisões Arquiteturais de Software

Este documento tem como finalidade fornecer detalhes sobre as decisões tomadas pela equipe, a fim de permitir a rastreabilidade e entendimento do processo lógico que levou às escolhas tomadas pela equipe incluindo arquitetura, tecnologias, metodologias e todas as informações relevantes para o desenvolvimento da aplicação.

F.1 Arquitetura da Informação

Para o desenvolvimento da Arquitetura da informação, analisou-se inicialmente duas ferramentas: o Figma e o Quant-UX, ambas com o mesmo propósito de prototipagem.

Mesmo tendo o mesmo propósito, alguns pontos se sobressaem entre as duas. O maior benefício de usar o Quant-UX é por sua facilidade de uso. Ele dispõe de objetos prontos a serem utilizados em uma tela, além de que é possível realizar testes de usabilidade com usuários através da ferramenta. Já o ponto de melhoria é que ele não permite muita customização no *design* das telas, limitando seu uso.

O Figma por sua vez, tem como ponto forte uma alta customização, porém seu uso é mais complexo e ele não possui a funcionalidade de testagem com usuários.

Analizando esses critérios, decidiu-se o uso pelo Figma, por sua alta customização e por seu simulador de interação ser o suficiente para que o protótipo e os requisitos elicitados fossem validados pelo restante da equipe, podendo colher *feedbacks* constantes. Seu complexo uso não foi um impeditivo, visto que ele possui muita documentação para auxiliar em dúvidas.

F.2 Arquitetura do Software

Anterior a delimitação do escopo do projeto, foi realizado um estudo conceitual sobre duas arquiteturas: Cliente-Servidor e Microsserviços. Depois da condução desse estudo e verificada a viabilidade, prazo e tamanho do projeto, a arquitetura definida foi o modelo Cliente-Servidor. Nessa seção são expostos conceitos das arquiteturas - de forma resumida - para que entenda-se essa decisão.

F.2.1 Microsserviços

A arquitetura de microsserviços é baseada em serviços independentes, podendo então serem desenvolvidos e implantados separadamente (VILLAÇA; JR; AZEVEDO, 2018). Dessa forma eles são serviços isolados, capazes de comunicar-se entre si, normalmente por protocolos, como HTTP. Os microsserviços são utilizados amplamente para sistemas distribuídos e também por grandes empresas, que lidam com grandes cargas e muitos acessos as suas plataformas (VILLAÇA; JR; AZEVEDO, 2018).

F.2.2 Cliente-Servidor

Nesta arquitetura, o servidor centraliza todas as funcionalidades, e o cliente é responsável por fazer envios de requisições, solicitando serviços do servidor. Existe então um protocolo de comunicação entre o Cliente e Servidor para que haja o envio de requisições e respostas entre eles (UFSC, 2012).

F.2.3 Conclusão

Ambas arquiteturas possuem vantagens e desvantagens e deve-se considerar que são desenvolvidas para diferentes contextos. No escopo do projeto há a comunicação com sensores e controle dos sistemas em uma Raspberry e o BackEnd possui poucas funcionalidades e não há a necessidade de várias instanciações dele, pois também é parte do sistema executar tarefas de forma sequencial, embora a comunicação seja constante por ser em tempo real, para que não seja sobrecarregado o sistema eletrônico.

As funcionalidades previstas pela aplicação requerem certo acoplamento e também dividi-las em microsserviços poderia ser uma complexidade acrescida ao projeto, aumentando seu risco, sem agregar melhorias para o produto, podendo até diminuir o tempo de resposta para o usuário, já que haveria camadas intermediárias de comunicação entre esses serviços.

Além disso, os microsserviços possuem um desenvolvimento mais custoso de infraestrutura e gerenciamento de instâncias, além do projeto possuir uma base consolidada de escopo, com pouca complexidade, não necessitando de uma arquitetura tão complexa. Caso contrário, ela poderia causar em um impacto negativo na produtividade e atrasar o desenvolvimento (SCHMITZ, 2021).

Dito isso, a divisão em cliente-servidor permite desacoplar a Interface de Usuário do sistema eletrônico (sensores) e do servidor, permitindo seu desenvolvimento autônomo e paralelizado, podendo simular dados e criar, se necessário, *stubs* e *mocks* de código. Dessa forma, as preocupações de desenvolvimento são divididas entre a Interação do Usuário com o sistema e sua usabilidade, e a sua capacidade de coletar dados e comunicar-se com os sensores, bem como as duas partes entre si (cliente e servidor).

F.2.4 Escolha das tecnologias utilizadas no projeto

Após o conhecimento sobre a ideia inicial do escopo do projeto, foi pesquisado softwares semelhantes ao tema, ou seja, sistemas que permitissem o monitoramento e controle de missões espaciais. A NASA, por exemplo, possui um painel *web* desenvolvido na forma de código livre chamado OpenMCT ([NASA, 2021](#)). Pelo contexto dos pesquisadores, notou-se que o uso de computadores é comum para realizar experimentos, logo a interface mais adequada e acessível para este fim é a *web*.

A partir disso, foi feita uma coleta de informações sobre as tecnologias *web* dominadas pelos membros da equipe. Em seguida, foi analisado as tecnologias em comum para avaliar as potenciais a serem utilizadas no projeto. Para isso, foram levantados critérios que buscaram averiguar a viabilidade em usar as tecnologias previamente selecionadas.

Após a prévia seleção a escolha consistiu na avaliação dos seguintes tópicos:

- Qual é o nível da curva de aprendizado?
- Qual é a familiaridade da equipe de desenvolvimento com as tecnologias?
- Qual é a relação entre o prazo final de entrega do produto com a curva de aprendizado?

Responder essas perguntas levou a decisão por ReactJS para o FrontEnd e NodeJS para o BackEnd.

Além disso, após o Ponto de Controle 1, discussões foram realizadas sobre performance. Foi pensada e estudada a possibilidade de desenvolvermos uma aplicação *desktop*, que se assemelha a uma interface *web*, pela acessibilidade. Esse estudo nos levou a conhecer o ElectronJS ([ELECTRONJS, 2020](#)), que é um *framework* que permite a criação de aplicativos *desktop* e multiplataforma, ou seja, compilando aplicativos em Linux, Mac ou Windows, usando tecnologias *web*, como JavaScript, HTML e CSS e se integrando ao ReactJS e ao NodeJS. No entanto, levando em conta novamente os critérios acima levantados, não há membros da equipe familiarizados, bem como a curva de aprendizado não seria coerente com o prazo de desenvolvimento do produto, logo a ideia foi descartada para seguir o modelo de MPV (Mínimo Produto Viável).

Para o banco de dados, foi realizada uma busca por bancos de dados não relacionais que permitissem um rápido processamento de dados, que é o que o projeto pede: um constante acompanhamento e controle de dados quantitativos que podem ser alterados a qualquer momento. O InfluxDB ([BITENCOURT, 2020; DATA, 2020](#)) tem como objetivo cumprir este tipo de demanda.

A ideia quase foi descartada por causar grande dificuldade no desenvolvimento, acarretando dívidas técnicas e indo contra o MPV. Porém, por ser uma demanda do

projeto com um teor impactante na performance, a equipe continuou as tentativas de conexão com o banco de dados. Alternativa a esse banco de dados é o MongoDB, que performa bem com o módulo em NodeJS, mas que não é a prioridade de tecnologia.

APÊNDICE G – Diagrama de Integração

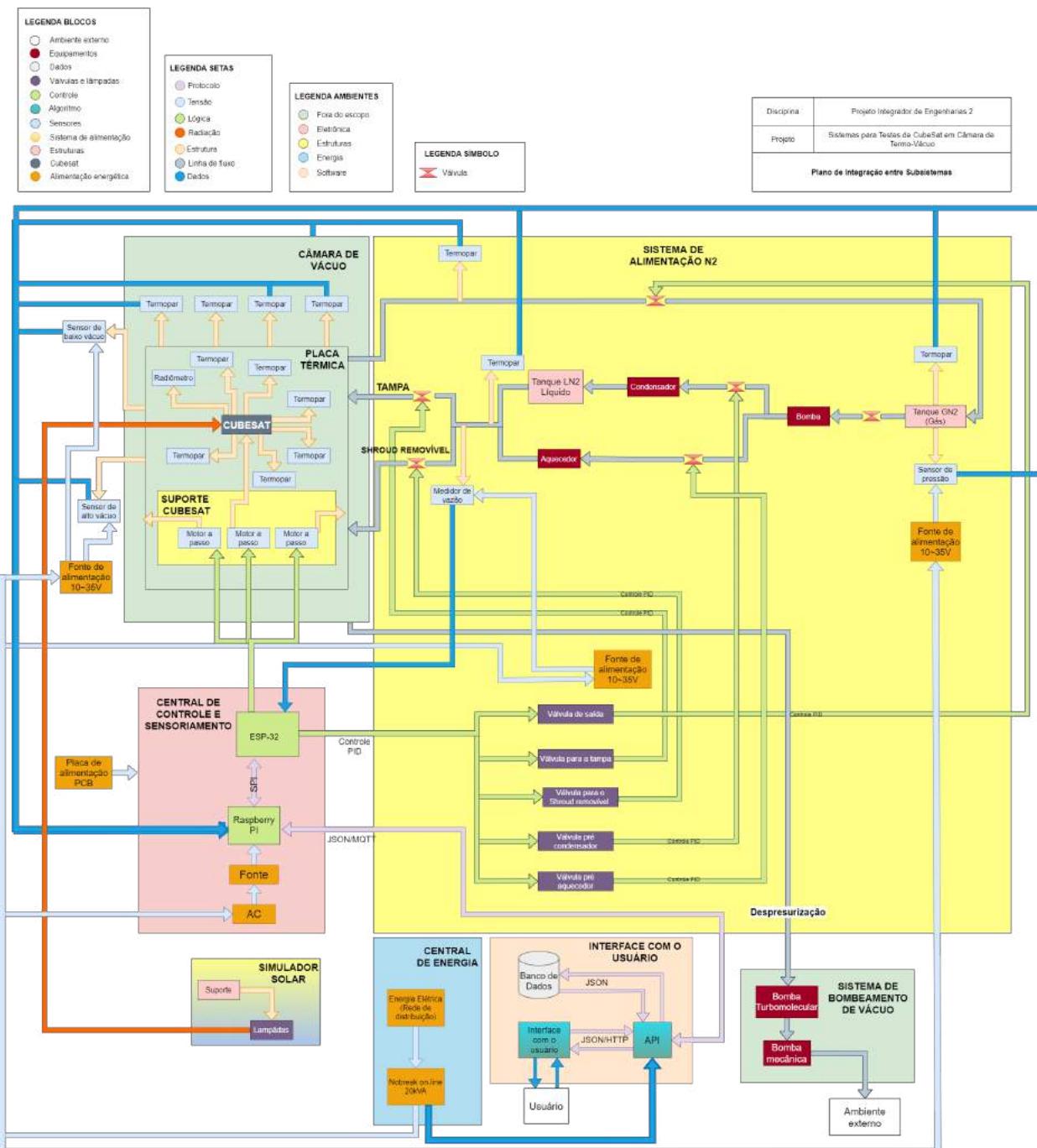


Figura 158 – Diagrama de integração da solução.
Fonte: Autoria Própria.

APÊNDICE H – Links de Acesso Para os Repositórios com Códigos Fonte

Neste apêndice estão contidos os links de acesso aos diretórios de compartilhamento do código fonte referentes ao módulo do BackEnd, FrontEnd e Eletrônico, bem como a centralização destes em um time no Github ¹

Acesso ao repositório do módulo de FrontEnd.

Acesso ao repositório do módulo de BackEnd.

Acesso ao repositório do módulo eletrônico.

Acesso ao time geral.

¹ github.com

APÊNDICE I – AUTOAVALIAÇÃO DOS INTEGRANTES

Tabela 63 – Autoavaliação dos integrantes

Estruturas		
Nome	Matrícula	Descrição da contribuição
André Aquino Braga	140090045	Simulação estrutural e modal do suporte do Cubesat; Simulação estrutural do eixo do motor; Auxílio na escrita do plano de manutenção e plano de testes.
Gustavo de Barros Borges	140142584	Escolha das válvulas para o sistema de alimentação; Auxílio na escrita e correções do relatório de acordo com instrução do PC2; Considerações sobre os desenhos técnicos; Auxílio na escrita do Plano de Testes, Plano de Manutenções e Manual de Montagem.
Isla Kalleny Marques Brandão	170059308	Correção dos erros no PC; Escrita da visão geral da solução; Escrita do manual de usuário; Mediação das integrações entre as interfaces; Resolução de problemas; Escrita parcial do relatório.
Maurício Sá Gontijo	140155791	Elaboração do relatório, realização de simulações numéricas, cálculos analíticos, confecção do CAD, renderização, orçamentos.
Rana Mayeli Piégas Taborda	170163938	Revisão dos cálculos realizados no PC2; Dimensionamento dos motores; Pesquisa de mercado dos mesmos; Plano de testes dos motores; Atualização da planilha de custos de estruturas
Renato de Brito do Nascimento Filho	160143551	Elaboração do relatório, realização de simulações numéricas, cálculos analíticos; Confecção do CAD, renderização, orçamentos.

Energia		
Nome	Matrícula	Descrição da contribuição
Daniel Moreira Carreira	150122438	Listagem de problemas do PC2; Pesquisa sobre o funcionamento dos trocadores de calor; Auxílio no manual de montagem; Participação ativa de reuniões de equipe; Revisão do relatório da parte de energia.
Débora da Silva Dantas	150123060	Correção de problemas do PC2; Desenvolvimento do diagrama multifilar; Pesquisa de mercado e orçamento dos componentes de cada sistema; Elaboração dos CADs da parte elétrica; Elaboração do manual de montagem; Elaboração do plano de testes; Auxílio no manual de uso; Escrita da integração com estruturas e eletrônica; Elaboração da lista de materiais; Escrita no relatório; Revisão dos custos e relatório.
Eletrônica		
Nome	Matrícula	Descrição da contribuição
Ciro Barbosa Costa	150121873	Correção problemas PC2; Modificações no circuito; Projeto da placa de circuito impresso e alimentação dos circuitos na placa; Auxílio desenvolvimento algoritmo de sintonia do controle; Auxílio na escrita do relatório; Auxílio no plano de testes; Auxílio na integração com estruturas.

Marcos Breno da Silva Aguiar	150016883	Correção de problemas do PC2; Implementação da integração entre Eletrônica e Software; Ajustes no sistema de controle dos motores; Auxílio na escrita do relatório; Configuração do ambiente da Raspberry para funcionar como ponto de acesso.
Priscila Yukie Yamada	160141974	Integração com energia e estruturas/ Auxílio na integração com software; Escrita parcial da solução de eletrônica; Escrita do plano de montagem; Escrita do plano de manutenção; Auxílio no desenvolvimento do controle térmico.
Software		
Nome	Matrícula	Descrição da contribuição
João Pedro Mota Jardim	160031982	Implementação da API e banco de dados; Integração Software e Eletrônica; Auxílio na integração Backend e Frontend; Escrita do manual de montagem (Módulo Backend); Revisão do relatório.
Matheus Rodrigues do Nascimento	160015294	Implementação da aplicação; Integração Backend e Frontend; Decisões arquiteturais para integração.
Paulo Victor de Menezes Lopes	160016428	Implementação da API BackEnd e banco de dados; Integração Software e Eletrônica, decisões arquiteturais para integração.

Shayane Marques Alcântara	160144949	Correção de problemas do PC2; Implementação da aplicação; Atualização do escopo; Integração Backend e Frontend; Escrita da Integração Software e Energia; Planejamento das tarefas; Desenvolvimento do plano de montagem; Auxílio no manual de uso; Desenvolvimento do plano de testes; Criação da integração contínua; Escrita e Revisão do relatório.
------------------------------	-----------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

J MANUAL DE USUÁRIO

O manual de usuário para operar o sistema de controle da câmara de termo-vácuo pode ser conferido a seguir.

Projeto Integrador 2

Câmara de Termo-Vácuo

Manual do Usuário



Sumário

- 1** Preparando o ambiente
- 2** Iniciando o procedimento
- 3** Escolhendo o modo de operação
- 6** Ativando o suporte do CubeSat
- 7** Acessando os dados e sensores
- 8** Finalizando o procedimento
- 9** Casos críticos
- 10** Arquivando os dados



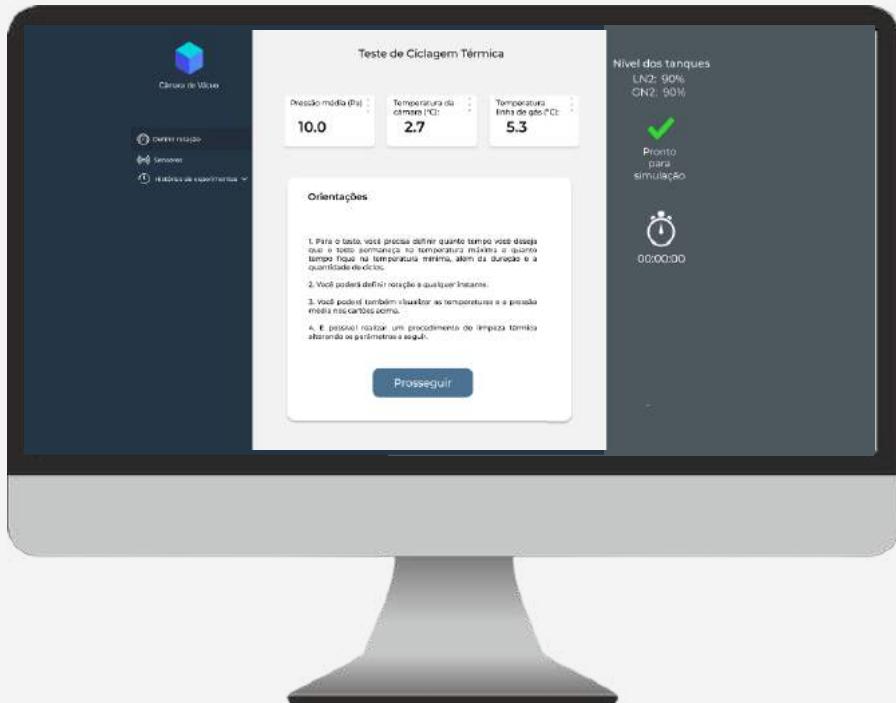
Preparando o ambiente

1

Antes de qualquer operação, é necessário certificar que todos os componentes e sensores estão funcionando corretamente e que os usuários da câmara de termo-vácuo estejam equipados com luvas e jalecos para evitar que o ambiente seja contaminado (verificar manual de montagem). Após a verificação, pode ser iniciado o procedimento de preparação do ambiente. Esse procedimento segue os seguintes passos:

- Passo 1 - Ligar o quadro de distribuição para energização dos circuitos;
- Passo 2 - Inicializar o nobreak, configurando a interface do dispositivo para verificar se todos seus componentes foram ativados;
- Passo 3 - Verificar se todos os equipamentos a serem utilizados nos testes estão conectados as suas respectivas tomadas;
- Passo 4 - Montar o CubeSat a ser estudado no suporte conforme o manual de montagem;
- Passo 5 - Fechar a porta e vedar a câmara de vácuo;
- Passo 6 - Ligar o computador conectado a câmara de vácuo;
- Passo 7 - Verificar se todos os cabos estão conectados corretamente;
- Passo 8 – Verificar se o quadro de distribuição está energizado;
- Passo 9 – Verificar se os cabos estão conectados corretamente e se a tensão de entrada está correta (380V trifásico), através de um multímetro;
- Passo 10 – Ligar os disjuntores de Entrada, Bypass e saída presentes na parte de trás do nobreak;
- Passo 11 – Aguardar indicação no display do nobreak se a operação está normal, e após isso ligar o disjuntor do banco de baterias;
- Passo 12 – Verificar as tensões de saída e consumo no painel do Nobreak, estando tudo correto, já pode ser ligada as cargas no sistema elétrico.
- Passo 13 – Abrir a válvula do tanque de nitrogênio reserva;
- Passo 14 – Ligar a bomba de nitrogênio;
- Passo 15 – Ligar os trocadores de calor;

Iniciando o procedimento



O procedimento é iniciado com a ativação do sistema de bombeamento, que é formado por uma bomba mecânica em série com uma bomba turbomolecular.

Os passos para executar esse procedimento são:

Passo 1 - Ligar o sistema de resfriamento por água da bomba mecânica;

Passo 2 - Ativar a captura de dados de pressão no software da solução, apertando "Prosseguir" na tela principal;

Passo 3 - Ativar a bomba mecânica;

Passo 4 - Verificar a pressão dentro da câmara de vácuo pelo display no software;

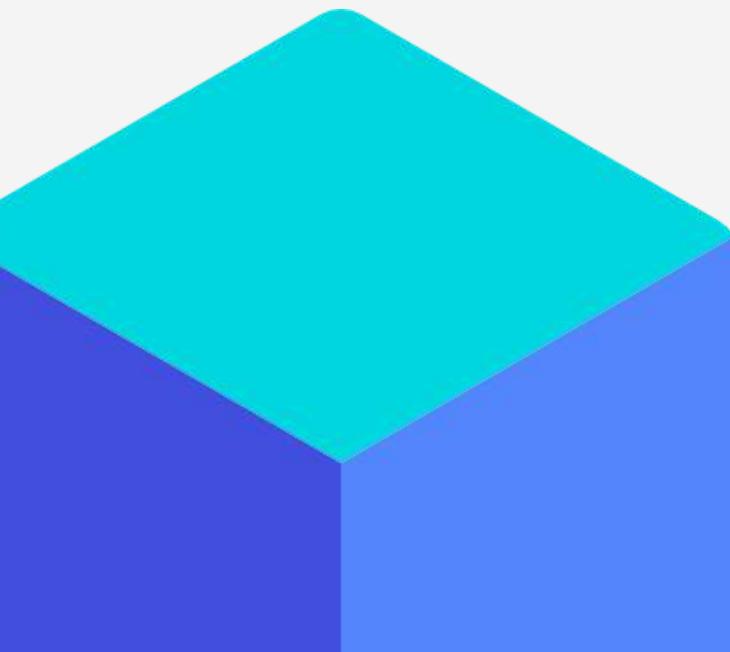
Passo 5 - Quando a pressão chegar em 10^{-2} mbar, ativar a bomba turbomolecular;

Passo 6 - Quando a pressão chegar em 10^{-6} mbar, os testes podem ser iniciados;

Escolhendo o modo de operação

Os subsistemas da câmara de termo-vácuo foram projetados para possibilitar que o usuário escolha qualquer temperatura de operação dentro do intervalo permitido (-20°C até 60°C) por um período de até 90 minutos. Dentre as possíveis combinações, foram definidos cinco padrões onde o usuário pode operar a câmara de acordo, sendo eles: Vácuo simples, vácuo frio, vácuo quente, ciclagem térmica e simulador espacial.

Modo de operação	Vácuo	N2 Frio	N2 Quente	Simulador Solar
Vácuo simples	○	✗	✗	✗
Vácuo Frio	○	○	✗	✗
Vácuo quente	○	✗	○	✗
Ciclagem térmica	○	○	○	✗
Simulação espacial	○	○	○	○

- 
- Ativado
 - ✗ Desativado
 - N2** Nitrogênio

Escolhendo o modo de operação

01

Vácuo simples

Para executar o modo vácuo simples, apenas é necessário deixar o CubeSat exposto ao vácuo durante o período desejado.

03

Vácuo quente

Passos para expor o CubeSat apenas a temperaturas máximas:

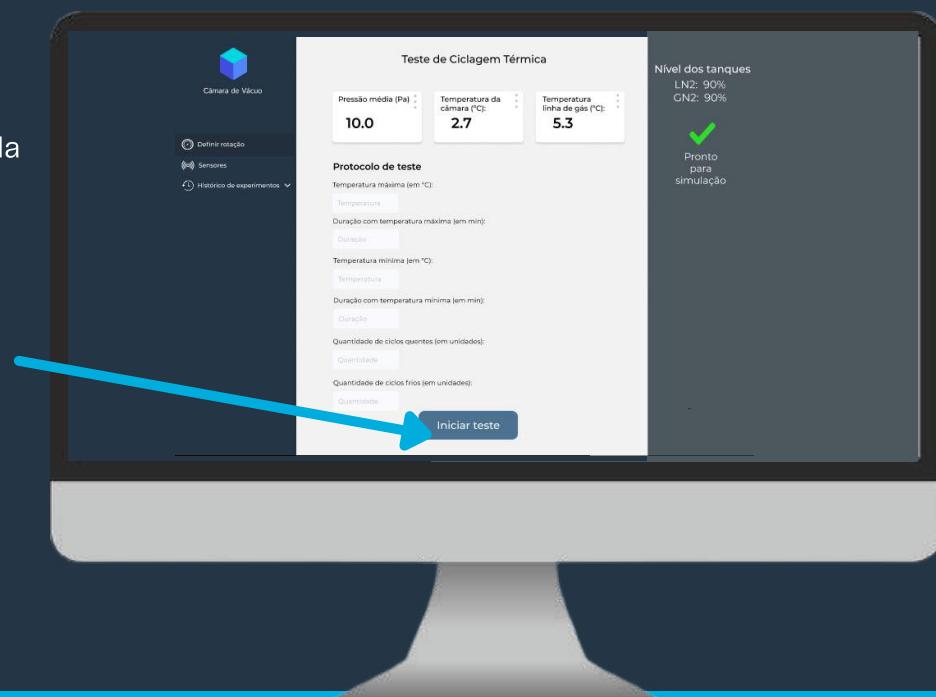
Passo 1 – Apertar o item "iniciar teste de ciclagem térmica";
 Passo 2 – Colocar "0" nos campos: Temperatura mínima, Duração com temperatura mínima e ciclos frios;
 Passo 3 – Colocar a temperatura máxima desejada em "temperatura máxima";
 Passo 4 – Colocar a duração desejada em "Duração com temperatura máxima";
 Passo 5 – Colocar "1" em quantidade de ciclos quentes;
 Passo 6 – Apertar em "Iniciar teste";

02

Vácuo frio

Passos para expor o CubeSat apenas a temperaturas mínimas:

Passo 1 – Apertar o item "iniciar teste de ciclagem térmica";
 Passo 2 – Colocar "0" nos campos: Temperatura máxima, Duração com temperatura máxima e ciclos quentes;
 Passo 3 – Colocar a temperatura mínima desejada em "temperatura mínima";
 Passo 4 – Colocar a duração desejada em "Duração com temperatura mínima";
 Passo 5 – Colocar "1" em quantidade de ciclos frios;
 Passo 6 – Apertar em "Iniciar teste";



Escolhendo o modo de operação

5

04

Ciclagem térmica

Passos para expor o CubeSat a um ciclo térmico:

- Passo 1 – Apertar o item "iniciar teste de ciclagem térmica";
- Passo 2 – Colocar a temperatura máxima e mínima desejada;
- Passo 3 – Colocar a duração desejada para o máximo e mínimo (até 90 minutos em cada);
- Passo 4 – Colocar a quantidade de ciclos frios;*
- Passo 5 – Colocar a quantidade de ciclos quentes;*
- Passo 6 – Apertar em "Iniciar teste";

05

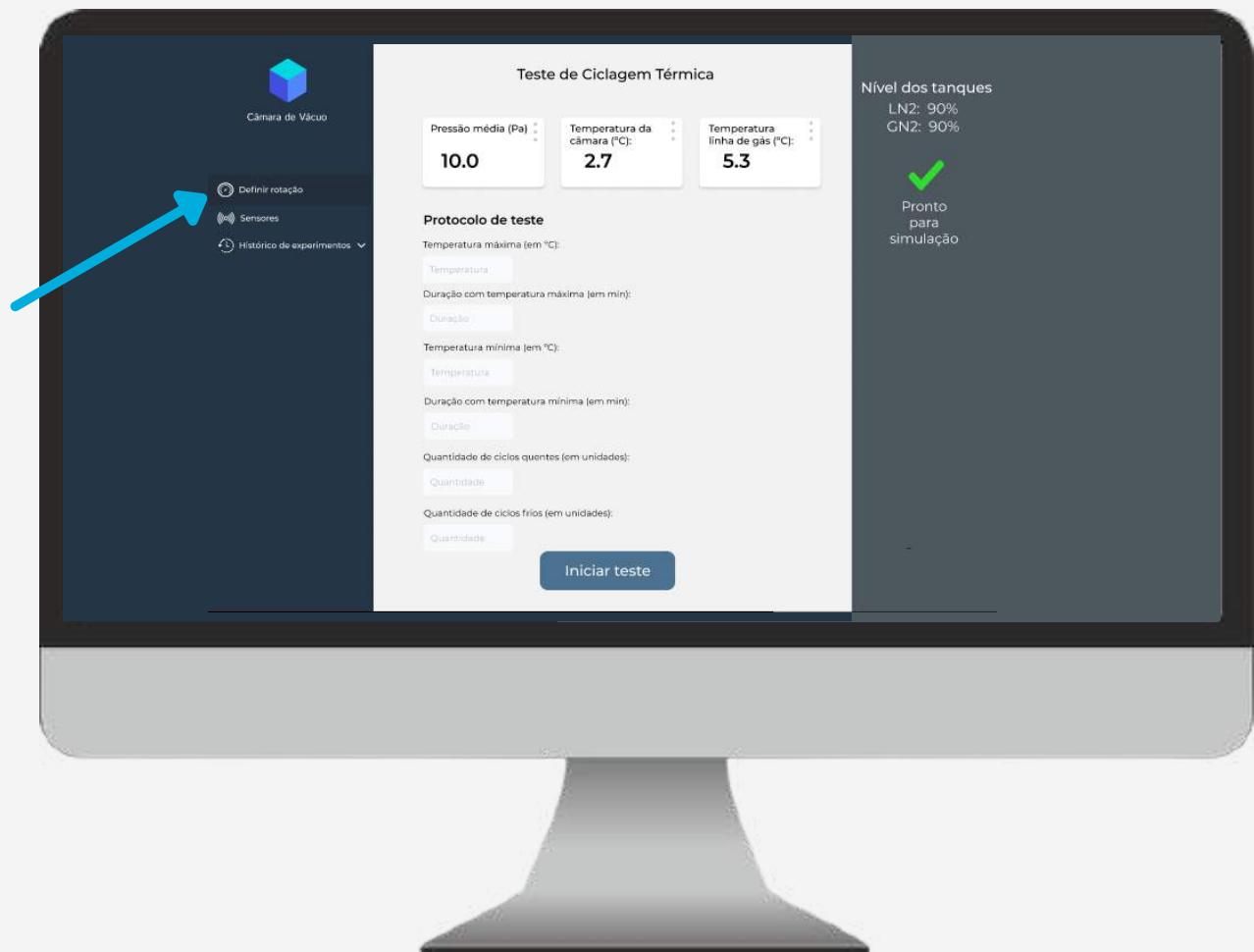
Simulação espacial

Passos para expor o CubeSat a simulação espacial

- Passo 1 – Apertar o item "iniciar teste de ciclagem térmica";
- Passo 2 – Colocar a temperatura máxima e mínima desejada;
- Passo 3 – Colocar a duração desejada para o máximo e mínimo igual a 90 minutos;
- Passo 4 – Colocar a quantidade de ciclos frios igual a 1;
- Passo 5 – Colocar a quantidade de ciclos quentes igual a 1;
- Passo 6 – Apertar em "Iniciar teste";
- Passo 7 – Quando o teste iniciar o o modo de nitrogênio quente, ligue o simulador solar pelo interruptor;

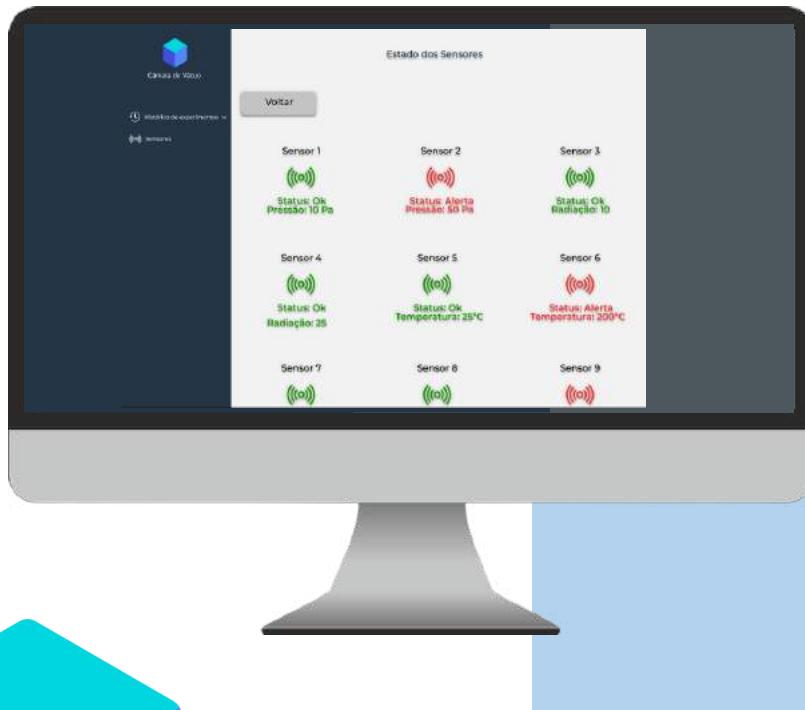
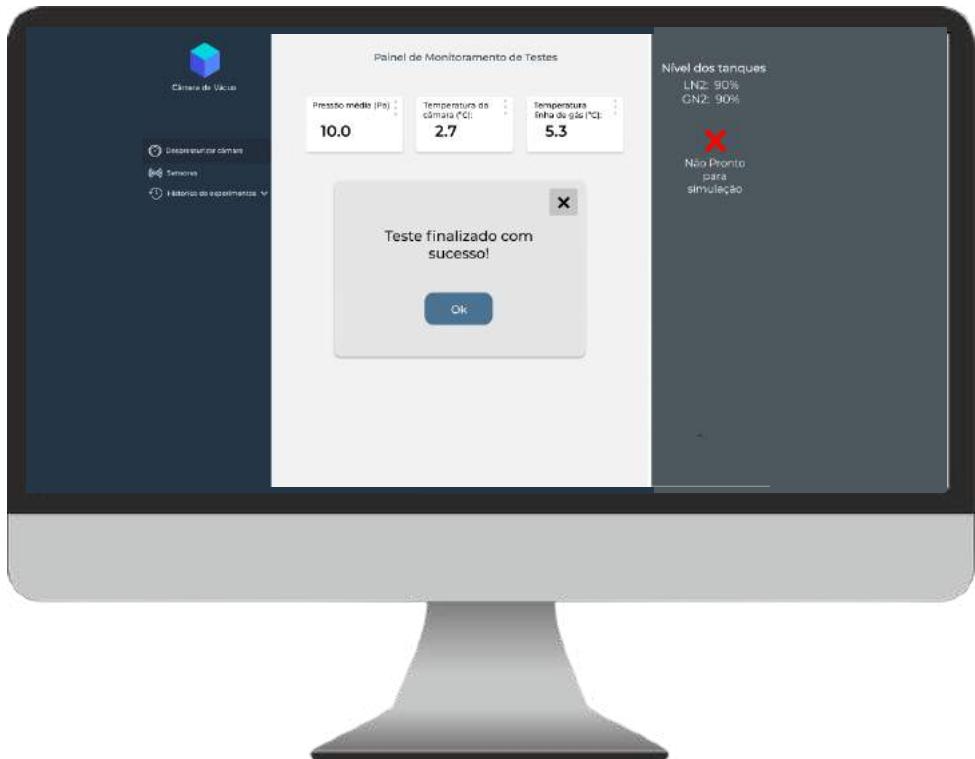
Ativando o suporte do CubeSat

Para ativar o suporte do CubeSat, aperte em "Definir rotação" e escreva no campo o ângulo de rotação do CubeSat para cada eixo. Esse procedimento pode ser realizado em qualquer momento do teste.



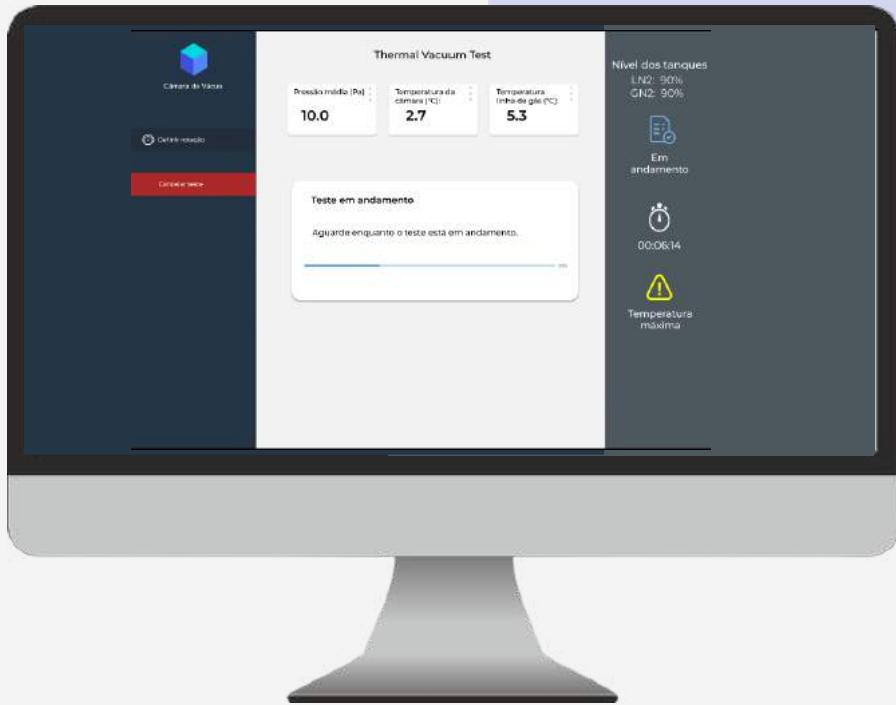
Acessando os dados e sensores

É possível conferir o status de cada sensor presente na câmara e no sistema de alimentação apertando em "Sensores".



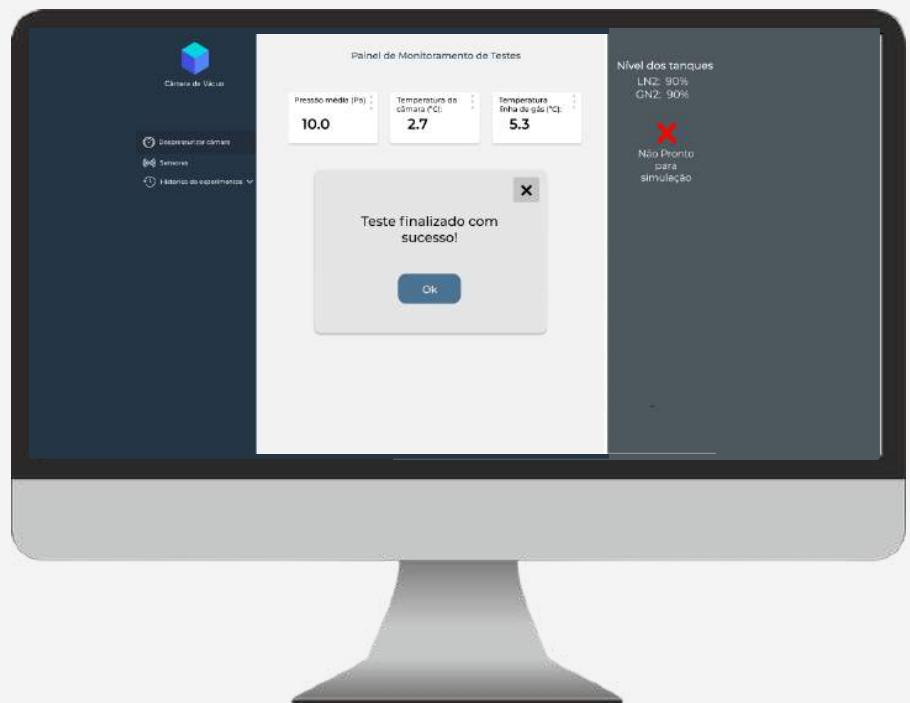
Os sensores podem ser avaliados individualmente e identificados em caso de mau funcionamento.

Finalizando o procedimento



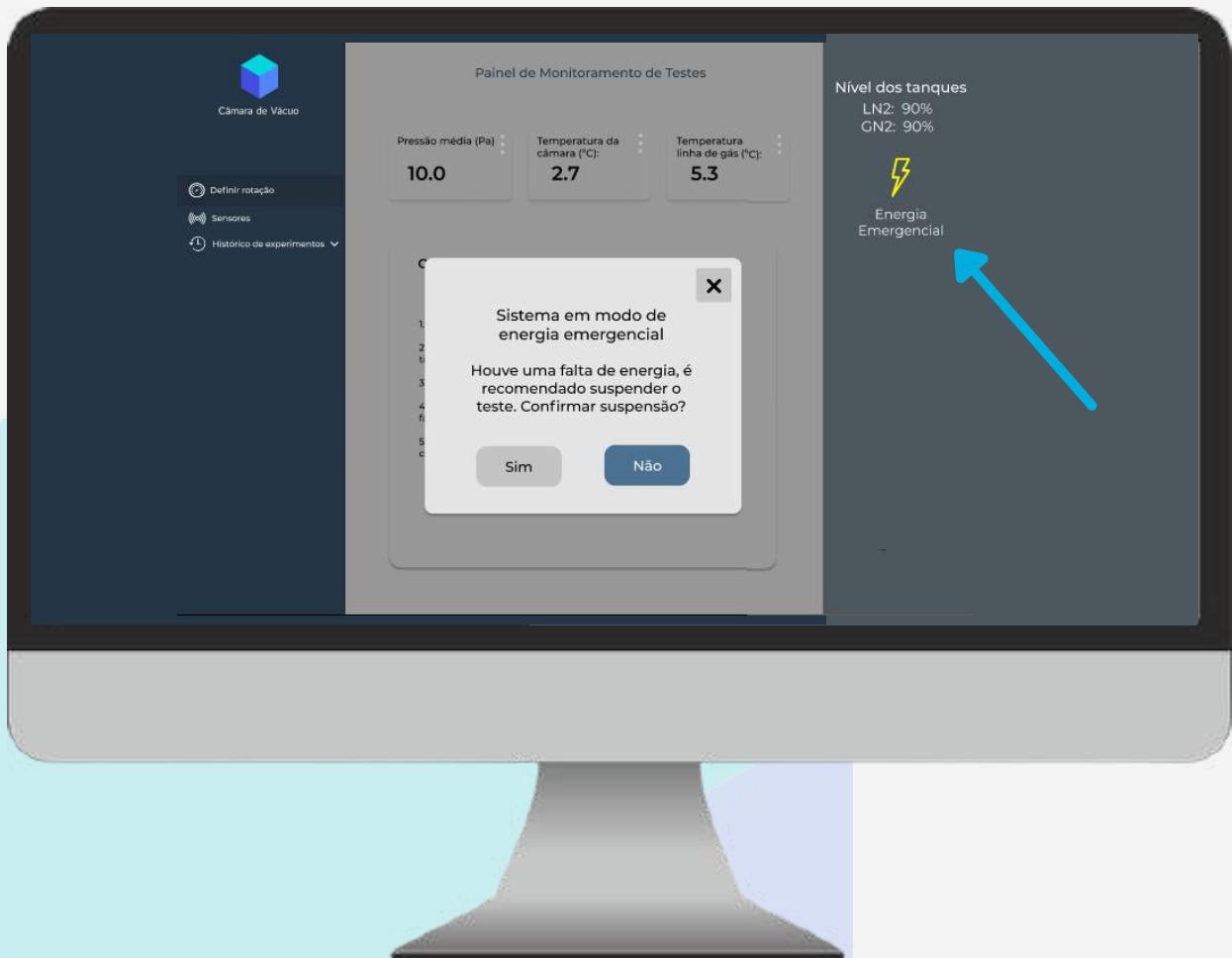
Enquanto o teste estiver em andamento, o monitor mostrará o status do progresso do teste. As outras telas podem ser acessadas sem que o teste seja interrompido.

Quando o teste for concluído, aparecerá uma mensagem de teste finalizado. Mas o teste pode ser interrompido a qualquer momento pelo menu lateral direito.



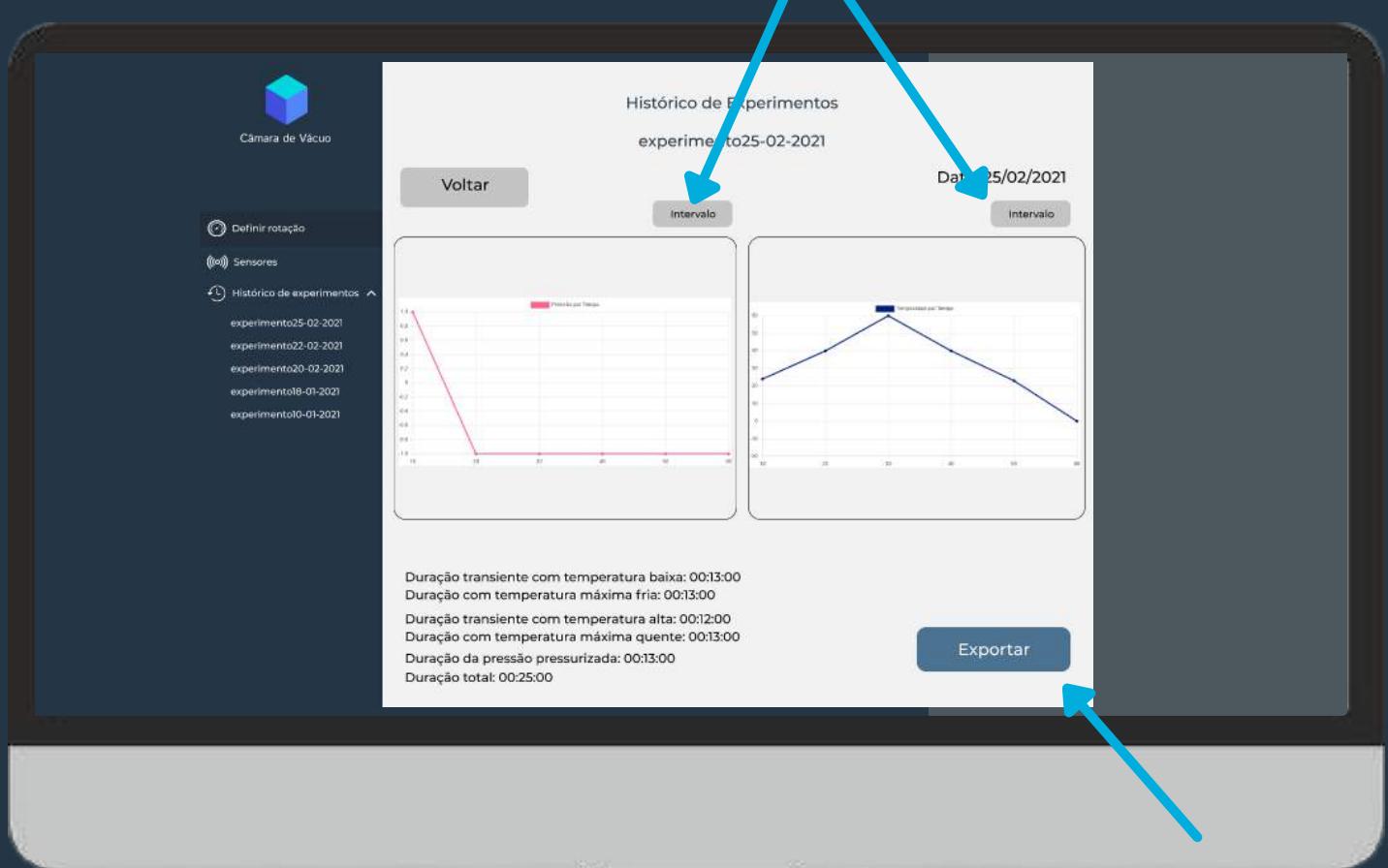
Casos críticos

Em caso de queda de energia, o modo emergencial será ativado e o teste será suspenso. Os trocadores de calor, o sistema de interface com o usuário e as bombas serão alimentados pelo sistema energético emergencial e é necessário iniciar o procedimento de desligamento de todos os equipamentos para evitar danificação por parada bruta.



Arquivando os dados

Os dados de temperatura e pressão pelo tempo, assim como a curva, podem ser acessados no histórico de experimentos. Nessa janela, é possível verificar todos os experimentos realizados e exportar o arquivo com todos os dados. Também é possível alterar o intervalo em que os dados são capturados nessa janela.





Anexos

ANEXO A – Desenhos Técnicos - Partes e componentes da solução estrutural

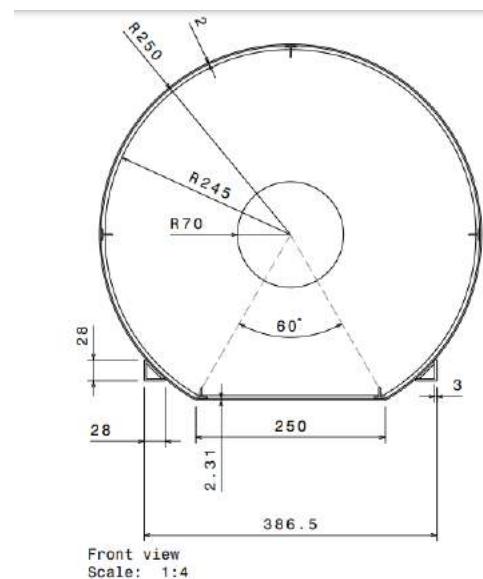


Figura 159 – Vista frontal da placa térmica da câmara de termo-vácuo (dimensões em milímetros).

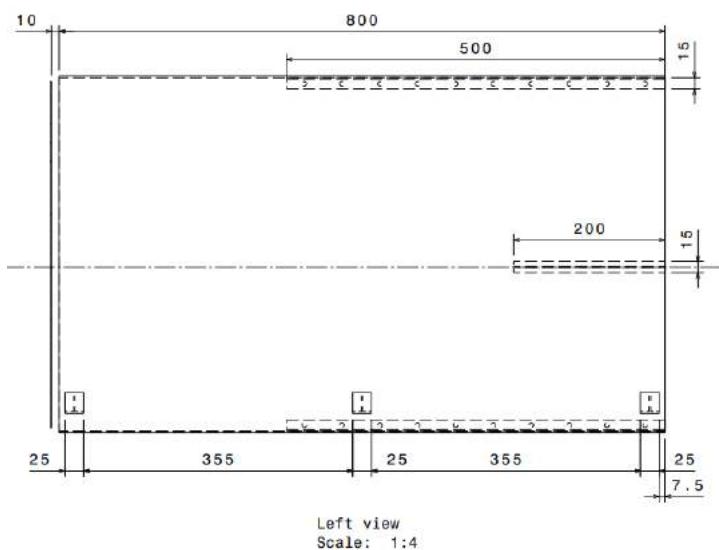


Figura 160 – Vista lateral da placa térmica da câmara de termo-vácuo (dimensões em milímetros).

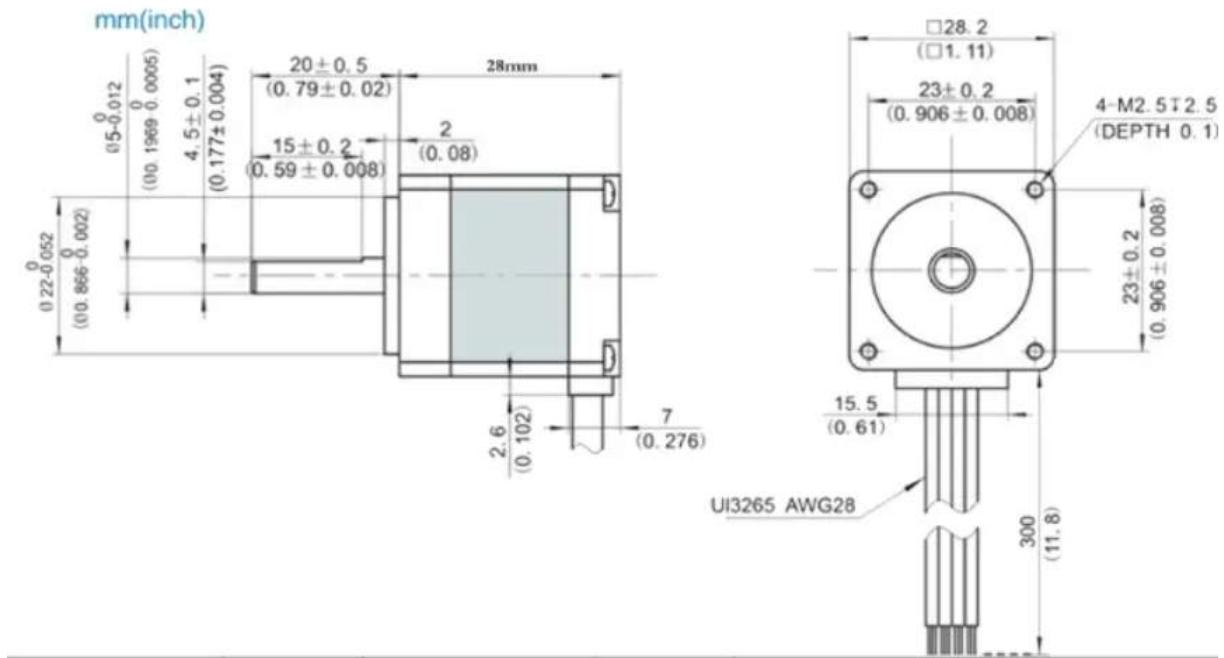


Figura 161 – Dimensões do motor para rotação do CubeSat.

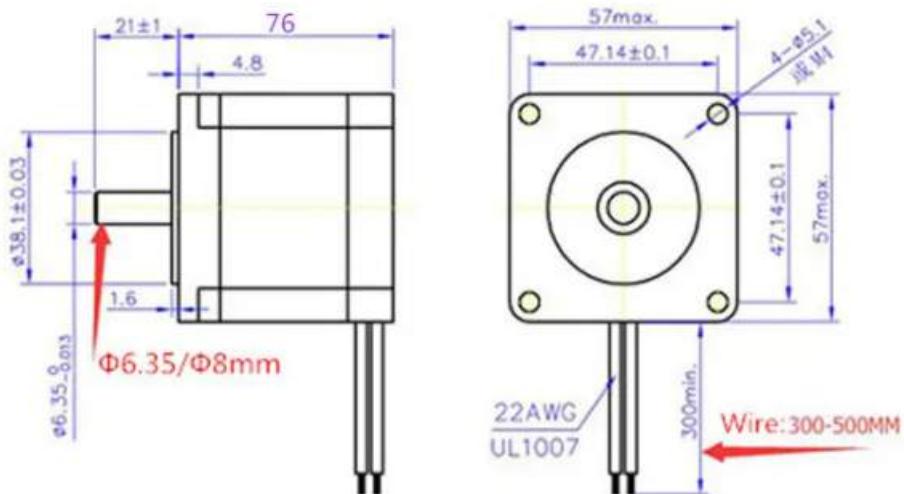


Figura 162 – Dimensões do motor para rotação do Suporte em U.

ANEXO B – Anexos das Soluções Energéticas

B.1 Catálogos dos componentes energéticos

LÂMPADA VAPOR METÁLICO

As lâmpadas de vapor metálico são muito eficientes para projetos de iluminação em grandes áreas, como estádios de futebol, ginásios e praças. Essa lâmpada possui uma luz branca que transforma os ambientes, é muito durável, gera menos calor do que as incandescentes comuns e apresenta um resultado mais potente em brilho e intensidade do que a lâmpada fluorescente.

INFORMAÇÕES GERAIS

Lâmpada	47003	47005	47006	47009	47010	47011
Base	E40	E40	E40	E27	E40	E27
Tipo	Tubular	Tubular	Tubular	Tubular	Tubular	Tubular
Potência	250W	400W	1000W	150W	350W	70W
Frequência	60 Hz					
Tensão	220V	220V	220V	220V	220V	220V
Corrente da Lâmpada	2.15A	3.25A	8.25A	1.8A	1.8A	0.98A
Fluxo Luminoso	20.500	32.000	110.000	11.250	11.250	5.600
Eficiência Luminosa	82 lm/W	80 lm/W	110 lm/W	75 lm/W	75 lm/W	80 lm/W
Temperatura da cor	6.400K	6.400K	4.200K	6.000K	6.000K	6.000K
Vida Médiana	18.000 Horas					

DIMENSÕES (MM)

47003: Length 220mm, Width 46mm
 47005: Length 275mm, Width 46mm
 47006: Length 385mm, Width 64mm
 47009: Length 150mm, Width 38mm
 47010: Length 200mm, Width 46mm
 47011: Length 150mm, Width 38mm

As informações contidas podem sofrer alterações que não afetarão o desempenho e função do produto.
Imagens ilustrativas. Relevo: 10/2019 | LUKMA ELECTRIC - +55 17 2136-8080. E-mail: sac@lukma.com | www.lukma.com

Figura 163 – Catálogo da lâmpada de vapor metálico da fabricante Lukma.

Fonte: *Lukma*¹

CÓDIGO	LÂMPADA		USO	CARACTERÍSTICA DA REDE		UTILIZAR CAPACITOR (μF)	UTILIZAR MONITOR	PERDAS MÁX. (W)	DIAGRAMA DE LIGAÇÃO	DIMENSÕES (MM) (FIGURA)	DIMENSÕES (MM)			PESO APROX.	
	POTÊNCIA (W)	CÓDIGO COMERCIAL		TENSÃO (V)	CORRENTE (A)						A	B	C		
8EV0026A	35	QUALQUER MARCA (*)	INTERNO	220V (60HZ)	0.22	ALTO	6	SM55R	10	2	1	120	57	68	1,250
8EV0026A	35	MARCA (*)	EXTERNO	220V (60HZ)	0.22	ALTO	INCORP.	INCORP.	10	5	2	132	70	60	1,810
8EV025A	70	QUALQUER	INTERNO	220V (60HZ)	0.41	ALTO	10	SM70N	14	2	1	120	61	72	1,280
8EV025A	70	MARCA (*)	EXTERNO	220V (60HZ)	0.41	ALTO	INCORP.	INCORP.	14	5	2	132	76	67	1,890
8EV125A	150	QUALQUER MARCA (*)	INTERNO	220V (60HZ)	1.85	ALTO	18	SM18N	22	2	1	150	61	72	1,910
8EV125A	150	MARCA (*)	EXTERNO	220V (60HZ)	0.85	ALTO	INCORP.	INCORP.	22	5	2	172	76	67	2,460
8EV225A1	250	PADRÃO	INTERNO	220V (60HZ)	1.30	ALTO	18	SM18N	23	2	1	150	70	83	2,580
8EV225A1	250	PHILIPS	EXTERNO	220V (60HZ)	1.30	ALTO	INCORP.	INCORP.	23	5	2	172	78	67	2,480
8EV225A2	250	PADRÃO OSRAM (*)	INTERNO	220V (60HZ)	1.30	ALTO	32	SM18N	10	2	1	150	70	83	3,450
8EV225A2	250	OSRAM (*)	EXTERNO	220V (60HZ)	1.30	ALTO	INCORP.	INCORP.	30	5	2	177	75	85	3,330
8EV425A3	400	PADRÃO PHILIPS	INTERNO	220V (60HZ)	2.10	ALTO	30	SM18N	29	2	1	150	77	91	3,440
8EV425A3	400	PHILIPS	EXTERNO	220V (60HZ)	2.10	ALTO	INCORP.	INCORP.	29	5	2	177	75	85	3,570
8EV425A4	400	PADRÃO OSRAM (*)	INTERNO	220V (60HZ)	2.10	ALTO	35	SM18N	38	2	1	150	77	91	4,120
8EV425A4	400	OSRAM (*)	EXTERNO	220V (60HZ)	2.10	ALTO	INCORP.	INCORP.	38	5	2	177	75	85	3,780
8EV8285	1000		INTERNO		8.25	BAIXO		SM61	50	2	1	176	104	125	7,870
8EV8285	1000	PADRÃO	INTERNO	220V (60HZ)	5.10	ALTO	60	SM61	50	2	1	176	104	125	7,990
8EV8285	1000	PHILIPS	EXTERNO	220V (60HZ)	8.25	BAIXO	-	INCORP.	50	5	2	222	106	125	9,250
8EV8285	1000		EXTERNO		5.10	ALTO	INCORP.	INCORP.	50	5	2	222	106	125	9,400
8EV8286	1000		INTERNO		9.50	BAIXO	-	SM18N	70	2	1	176	104	125	8,920
8EV8286	1000		EXTERNO		9.50	BAIXO	-	INCORP.	70	5	2	222	106	125	10,800
8EV8286	1000	PADRÃO	INTERNO	220V (60HZ)	5.10	ALTO	100	SM18N	70	3	1	176	104	125	9,220
8EV8286	1000	OSRAM (*)	EXTERNO	220V (60HZ)	9.50	BAIXO	-	INCORP.	70	5	2	222	106	125	10,800
8EV8286	1000		EXTERNO		5.10	ALTO	INCORP.	INCORP.	70	5	2	222	106	125	11,100
8EV926A7	2000	HPI - 1.000W 10.50W INPUT	INTERNO	220V (60HZ)	10.50	ALTO	INCORP.	INCORP.	100	5	2	352	120	145	19,200
8EV926A8	2000	HPI 1.000W 10.50W INPUT	EXTERNO	220V (60HZ)	10.50	ALTO	INCORP.	INCORP.	80	5	2	352	165	150	32,300
8EV926A8	2000	HPI 1.000W 10.50W INPUT	EXTERNO	380V (60HZ)	6.00	ALTO	INCORP.	INCORP.	80	5	2	252	165	150	18,500
8EV926A9	2000	HPI 1.000W 10.50W INPUT	EXTERNO	220V (60HZ)	10.50	ALTO	INCORP.	Não USA	80	5	2	352	165	150	32,200
8EV926A9	2000	HPI 1.000W 10.50W INPUT	EXTERNO	380V (60HZ)	6.00	ALTO	INCORP.	Não USA	80	5	2	252	165	150	18,400

Figura 164 – Catálogo do reator utilizado para a lâmpada de vapor metálico de 70W.

Fonte: *Fiolux*¹

Modelo	Innovation	10.000	15.000	20.000	30.000	40.000
Potência	kVA	10,0	15,0	20,0	30,0	40,0
	Tensão *	220 ou 380 VAC			380 VAC	
	Configuração	Trifásica (3 F + N + Terra)				
Entrada	Nº Fases de Entrada	3				
	Variância tensão admissível	± 15%				
	Frequência**	50** / 60 Hz				
	Variância freqüência admissível	± 8%				
	Operação Grupo- Gerador	100% compatível com todos os modelos				
	Fator de Potência	0,99				
	Tensão *	220 ou 380 VAC				
Saída	Requisição estática	± 1%				
	Configuração	Trifásica (3 F + N + Terra)				
	Frequência**	50** / 60 Hz				
	Precisão Freqüência	± 0,05 % em modo bateria				
	Forma da Onda	Sincronizada				
	Distorção Harmônica	< 1%				
	Fator de Potência	0,8				
	Tipo	Seladas ou estacionárias - inseridas no manutenção				
	Modelos com Tensão de entrada 220 VAC e saída 220VAC					
Bateria	Tensão VDC	240 (+ 120 / - 120) VDC				
	Tensão Flutuação VDC	270 (- 135,5 / + 135) VDC				
	Tensão Pré-alarme VDC	220 (+ 110 / - 110) VDC				
	Tensão Mínima (var. tensão)	210 (+ 105 / - 105) VDC				
	Temperatura operação	20°C a 25°C recomendado para a máxima vida útil das baterias				
	Temperatura máxima	50°C sob pena de vida útil das baterias				
	Tempo de recarga	8 a 10 horas para 90% da carga				
	Cor do Gabinete	Grafite				

Figura 165 – Especificações técnicas do nobreak.

Fonte: *NobreakInnovationS1*

B.2 Diagrama multifilar do sistema de energia

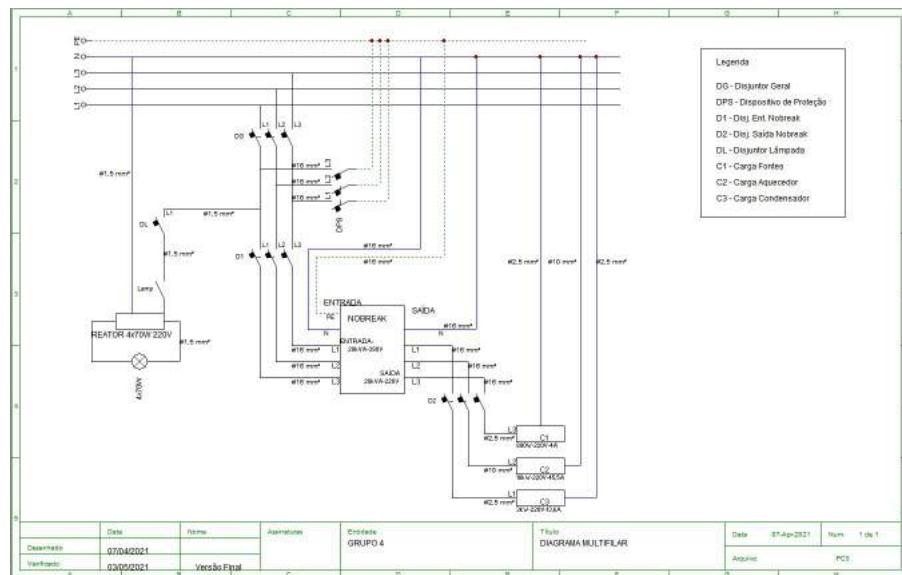


Figura 166 – Diagrama multifilar do sistema de energia. Fonte: Autoria Própria.

ANEXO C – Propriedades do Nitrogênio

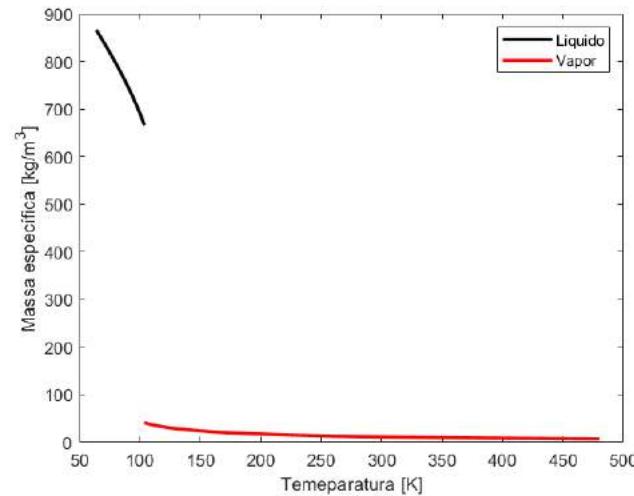


Figura 167 – Variação da massa específica com a temperatura para uma pressão de 10 bar.

Fonte: Adaptado de ([NIST, 2021](#)).

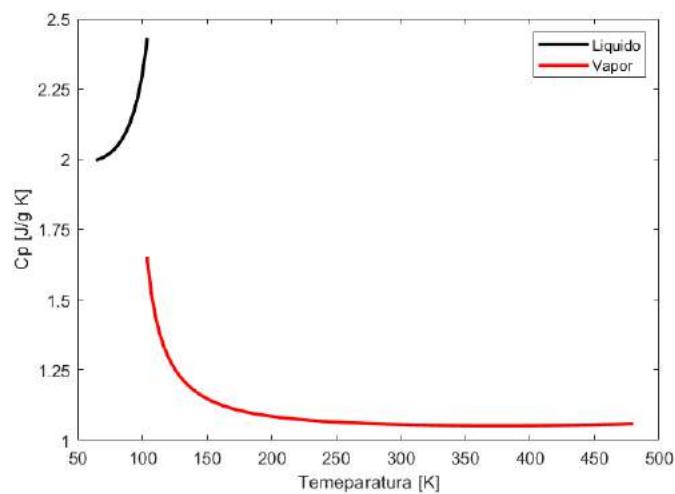


Figura 168 – Variação do calor específico a pressão constante com a temperatura para uma pressão de 10 bar.

Fonte: Adaptado de ([NIST, 2021](#)).

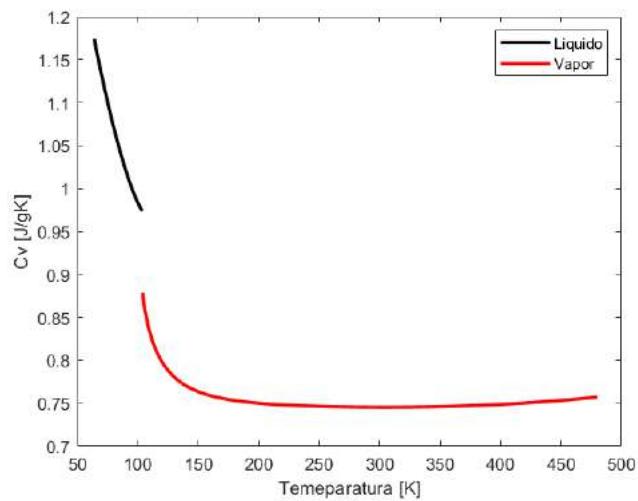


Figura 169 – Variação do calor específico a volume constante com a temperatura para uma pressão de 10 bar.

Fonte: Adaptado de ([NIST, 2021](#)).

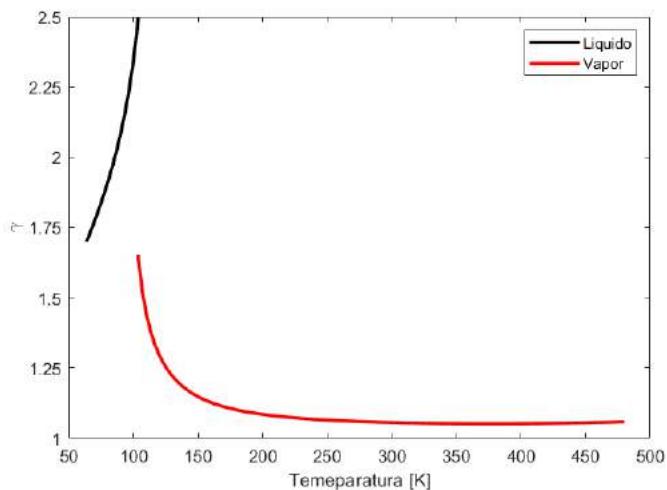


Figura 170 – Variação da razão dos calores específicos com a temperatura para uma pressão de 10 bar.

Fonte: Adaptado de ([NIST, 2021](#)).