



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-

130 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) . . . . .	16
Figura 2 – Câmara de Termo-Vácuo do LaSE-FGA. . . . .	17
Figura 3 – Escopo do produto nos subsistemas. . . . .	19
Figura 4 – Divisão das soluções por área de engenharia. . . . .	20
Figura 5 – Placa térmica com o suporte para o CubeSat integrado e suporte para a lâmpada. . . . .	28
Figura 6 – Vista isométrica da solução com dois graus de liberdade. . . . .	29
Figura 7 – Mecanismo do motor de rotação. . . . .	31
Figura 8 – Motor selecionado para a rotação do CubeSat. . . . .	33
Figura 9 – Esquema de fixação entre o conjunto motor-interface-CubeSat. . . . .	34
Figura 10 – Vista do motor mostrando o parafusamento previsto pelo modelo. . . . .	34
Figura 11 – Esquema de fixação entre o conjunto motor-Suporte U. . . . .	35
Figura 12 – Mecanismo genérico de rotação com braço de alavanca. . . . .	35
Figura 13 – Sistema do projeto. . . . .	36
Figura 14 – Motor selecionado para a rotação do conjunto suporte/CubeSat. . . . .	37
Figura 15 – Trilho para fixação de dispositivos na placa térmica. . . . .	38
Figura 16 – Envelope para o motor do suporte. . . . .	38
Figura 17 – Fixação do motor do suporte à placa térmica. . . . .	39
Figura 18 – Fixação do motor ao suporte. . . . .	39
Figura 19 – Gráfico da qualidade da malha do suporte . . . . .	40
Figura 20 – Condições de contorno aplicadas ao suporte . . . . .	40
Figura 21 – Tensões no Suporte . . . . .	41
Figura 22 – Fator de Segurança no Suporte . . . . .	41
Figura 23 – Tripé para o suporte da lâmpada. . . . .	42
Figura 24 – Caixa para fixação das lâmpadas. . . . .	42
Figura 25 – Suporte para as lâmpadas. . . . .	43
Figura 26 – Diagrama hidráulico . . . . .	45
Figura 27 – Diagrama hidráulico dentro da câmara de termo-vácuo . . . . .	46
Figura 28 – Válvula criogênicas Globo VAP 74 AL . . . . .	47
Figura 29 – Válvula de Retenção Stop Check . . . . .	47
Figura 30 – Fluxograma de operação do Sistema de Alimentação. . . . .	49
Figura 31 – CAD (do inglês, <i>Computer Aided Design</i> ) Simulador Solar. Fonte: (SIL-VEIRA, 2021) . . . . .	50
Figura 32 – Distribuição espectral dos diferentes tipos de lâmpadas. . . . .	51
Figura 33 – Diagrama Simulador Solar. Fonte: Autoria Própria. . . . .	53
Figura 34 – Diagrama Trocadores de Calor. Fonte: Autoria Própria. . . . .	55

Figura 35 – Diagrama Parte Elétrica. . . . .	56
Figura 36 – Seção condutor nobreak. . . . .	60
Figura 37 – Conexão entre a Raspberry PI e a Esp-32. . . . .	62
Figura 38 – Teste de Comunicação na Raspberry Pi. . . . .	63
Figura 39 – Teste de Comunicação na Esp32. . . . .	64
Figura 40 – Dispositivo Medidor de Pressão em Vácuo (PGC201). . . . .	67
Figura 41 – Teste em Loopback. . . . .	68
Figura 42 – Conexão Raspberry para Usb. . . . .	69
Figura 43 – Arquitetura da eletrônica . . . . .	71
Figura 44 – Plano de integração entre subsistemas . . . . .	72
Figura 45 – Arquitetura de software da eletrônica . . . . .	74
Figura 46 – Diagrama de uso sobre as principais interações do usuário com a aplicação. . . . .	78
Figura 47 – Arquitetura da aplicação com os módulos macro de FrontEnd e BackEnd. . . . .	82
Figura 48 – Diagrama da arquitetura geral com as tecnologias a serem utilizadas. . . . .	82
Figura 49 – Diagrama de sequência. . . . .	84
Figura 50 – Diagrama de pacotes referente ao Backend. . . . .	85
Figura 51 – Diagrama de pacotes referente ao FrontEnd. . . . .	86
Figura 52 – Modelagem do banco de dados. . . . .	87
Figura 53 – Funcionamento da <i>Single Thread</i> do NodeJS. . . . .	88
Figura 54 – Fluxo das práticas de Devops. . . . .	91
Figura 55 – Paleta de cores para a aplicação. . . . .	92
Figura 56 – Tela do Painel inicial. . . . .	93
Figura 57 – Tela da definição dos parâmetros a serem realizados no teste. . . . .	93
Figura 58 – Tela que disponibiliza o histórico dos experimentos realizados. . . . .	94
Figura 59 – Tela que apresenta os sensores da câmera. . . . .	94
Figura 60 – Envelope do motor. . . . .	106
Figura 61 – Interface entre o motor e o Cubesat. . . . .	107
Figura 62 – Suporte em U. . . . .	108
Figura 63 – Tripé. . . . .	109
Figura 64 – Caixa para as lâmpadas. . . . .	110
Figura 65 – Diagrama do sistema de alimentação durante a obtenção de vácuo . . . . .	111
Figura 66 – Diagrama do sistema de alimentação durante a obtenção de alto vácuo	112
Figura 67 – Diagrama do sistema de alimentação durante a obtenção de nitrogênio líquido . . . . .	112
Figura 68 – Diagrama do sistema de alimentação durante o fornecimento de nitrogênio líquido . . . . .	113
Figura 69 – Diagrama do sistema de alimentação dentro da câmara de termo-vácuo durante o fornecimento de nitrogênio líquido . . . . .	113

Figura 70 – Diagrama do sistema de alimentação durante a obtenção de nitrogênio gasoso . . . . .	114
Figura 71 – Diagrama do sistema de alimentação durante o fornecimento de nitrogênio gasoso . . . . .	114
Figura 72 – Diagrama do sistema de alimentação dentro da câmara de termo-vácuo durante o fornecimento de nitrogênio gasoso . . . . .	115
Figura 73 – Esquemático do sistema eletrônico . . . . .	116
Figura 74 – Vista frontal da placa térmica da câmara de termo-vácuo (dimensões em milímetros). . . . .	125
Figura 75 – Vista lateral da placa térmica da câmara de termo-vácuo (dimensões em milímetros). . . . .	125
Figura 76 – Dimensões do motor para rotação do CubeSat. . . . .	126
Figura 77 – Dimensões do motor para rotação do Suporte em U. . . . .	126
Figura 78 – Catálogo da lâmpada de vapor metálico da fabricante Lukma. . . . .	127
Figura 79 – Catálogo do reator utilizado para a lâmpada de vapor metálico de 70W. .	128
Figura 80 – Especificações técnicas do nobreak. . . . .	128
Figura 81 – Fonte: Autoria Própria. . . . .	129
Figura 82 – Variação da massa específica com a temperatura para uma pressão de 10 bar. . . . .	130
Figura 83 – Variação do calor específico a pressão constante com a temperatura para uma pressão de 10 bar. . . . .	130
Figura 84 – Variação do calor específico a volume constante com a temperatura para uma pressão de 10 bar. . . . .	130

# **Lista de tabelas**

Tabela 1 – Modos de operação da Câmara.	18
Tabela 2 – Requisitos da missão	21
Tabela 3 – Requisitos da solução estrutural.	22
Tabela 4 – Requisitos da solução eletrônica.	24
Tabela 5 – Requisitos da solução de software.	25
Tabela 6 – Requisitos da solução energética	27
Tabela 7 – Propriedades mecânicas dos Aços	29
Tabela 8 – Dimensões e grandezas relevantes para o cálculo do torque requerido para o motor do CubeSat.	31
Tabela 9 – Especificações técnicas do motor para a rotação do CubeSat de acordo com o fabricante	32
Tabela 10 – Propriedades do trava rosca.	34
Tabela 11 – Dimensões e grandezas relevantes para o cálculo do torque requerido para os motores do suporte.	36
Tabela 12 – Especificações técnicas do motor selecionado para a rotação do conjunto suporte/CubeSat.	37
Tabela 13 – Vazões mássicas de nitrogênio	44
Tabela 14 – Parâmetros do Nitrogênio	45
Tabela 15 – Análise comparativa entre as tecnologias.	52
Tabela 16 – Componentes para o simulador solar.	54
Tabela 17 – Potência aparente do sistema.	58
Tabela 18 – Seção mínima para os condutores.	59
Tabela 19 – Seção mínima para os condutores.	60
Tabela 20 – Comandos para obter dados de pressão do PGC201.	67
Tabela 21 – Software de Controle	73
Tabela 22 – Software de Interface (API)	73
Tabela 23 – Tabela sobre a descrição do problema.	76
Tabela 24 – Tabela sobre a posição do produto.	77
Tabela 25 – Tabela sobre o perfil dos usuários.	77
Tabela 26 – Tabela sobre o resumo das capacidades.	79
Tabela 27 – Custos da solução eletrônica.	95
Tabela 28 – Custos da solução de estrutura.	95
Tabela 29 – Custos da solução de Energia.	96
Tabela 30 – Custos da solução de Software e mão de obra.	98
Tabela 31 – Autoavaliação dos integrantes	121

# 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
$I^2C$	<i>Inter-Integrated Circuit</i>
ISO	Organização Internacional de Normalização
LED	Diodo Emissor de Luz
LIT	Laboratório de Integração e Testes
MPV	Mínimo Produto Viável
$LN_2$	Nitrogênio Líquido
$N_2$	Nitrogênio
NBR	Norma Brasileira
OpenMCT	<i>Open Source Mission Control Software</i>
PID	Proporcional Integral Derivativo
PMBOK	Project Management Body of Knowledge
SPI	<i>Serial Peripheral Interface</i>
TAP	Termo de Abertura do Projeto

TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
TCP	Transmission Control Protocol
TCU	<i>Thermal Control Unity</i>
UART	<i>Universal Asynchronous Receiver/Transmitter</i>
V	Tensão

# 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
$\rho$	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
$\mu$	Coeficiente de atrito
$\eta$	Eficiência do motor
$V_1$	Velocidade de rotação do motor do CubeSat
$t_1$	Tempo de aceleração do motor
SF	Coeficiente de segurança
$C_d$	Coeficiente de descarga
$\rho_l$	Massa específica de líquido
$\rho_g$	Massa específica de gás
$\Delta P$	Queda de pressão
$p_t$	Pressão de saída do tanque de $N_2$
$p_s$	Pressão de saída da câmara de termo-vácuo

$\gamma$	Razão dos calores específicos
$\gamma_l$	Razão dos calores específicos para o líquido
$\gamma_g$	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

# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>15</b>
<b>1.1</b>	<b>Contextualização da problemática</b>	<b>15</b>
<b>1.2</b>	<b>Problemática</b>	<b>16</b>
<b>1.3</b>	<b>Solução</b>	<b>18</b>
<b>2</b>	<b>ESCOPO DO PRODUTO</b>	<b>19</b>
<b>2.1</b>	<b>Delimitação do escopo</b>	<b>19</b>
<b>2.2</b>	<b>Visão geral das soluções</b>	<b>20</b>
<b>2.3</b>	<b>Requisitos</b>	<b>20</b>
2.3.1	Requisitos de missão	21
2.3.2	Requisitos da solução estrutural	22
2.3.3	Requisitos da solução eletrônica	24
2.3.4	Requisitos da solução de Software	25
2.3.5	Requisitos da solução energética	27
<b>3</b>	<b>SOLUÇÃO ESTRUTURAL</b>	<b>28</b>
<b>3.1</b>	<b>Arquitetura do Suporte para o CubeSat</b>	<b>28</b>
3.1.1	Materiais	29
3.1.2	Motor de rotação do satélite	30
3.1.3	Motores para rotação do sistema integrado	35
3.1.4	Simulação estrutural do suporte	39
<b>3.2</b>	<b>Suporte das lâmpadas</b>	<b>41</b>
<b>3.3</b>	<b>Arquitetura do Sistema de Alimentação</b>	<b>43</b>
3.3.1	Materiais e componentes do sistema de alimentação.	46
3.3.2	Dinâmica de Operação do Sistema de Alimentação	48
<b>4</b>	<b>SOLUÇÃO ENERGÉTICA</b>	<b>50</b>
<b>4.1</b>	<b>Simulador Solar</b>	<b>50</b>
4.1.1	Premissas para escolha dos componentes do simulador solar	50
4.1.2	Dimensionamento dos componentes do simulador solar	53
<b>4.2</b>	<b>Trocadores de Calor</b>	<b>54</b>
4.2.1	Dimensionamento condensador	55
4.2.2	Dimensionamento aquecedor	56
<b>4.3</b>	<b>Parte Elétrica</b>	<b>56</b>
4.3.1	Dimensionamento <i>nobreak</i>	58
4.3.2	Dimensionamento condutores	58

4.3.3	Dimensionamento quadro de distribuição e disjuntores . . . . .	60
<b>5</b>	<b>SOLUÇÃO ELETRÔNICA . . . . .</b>	<b>61</b>
<b>5.1</b>	<b>Central de Controle e Sensoriamento . . . . .</b>	<b>61</b>
5.1.1	Sensor de temperatura . . . . .	64
5.1.2	Sensor de pressão . . . . .	66
5.1.3	Sensor de radiação . . . . .	68
5.1.4	Medidor de vazão . . . . .	69
<b>5.2</b>	<b>Sistema de atuadores . . . . .</b>	<b>69</b>
5.2.1	Relé . . . . .	70
5.2.2	Atuador Elétrico . . . . .	70
5.2.3	Controlador dos motores . . . . .	70
<b>5.3</b>	<b>Arquitetura eletrônica . . . . .</b>	<b>70</b>
<b>6</b>	<b>SOLUÇÃO DE SOFTWARE . . . . .</b>	<b>75</b>
<b>6.1</b>	<b>Documento de Visão . . . . .</b>	<b>75</b>
6.1.1	Introdução . . . . .	75
6.1.1.1	Finalidade . . . . .	75
6.1.1.2	Escopo . . . . .	76
6.1.1.3	Visão Geral . . . . .	76
6.1.2	Posicionamento . . . . .	76
6.1.2.1	Descrição do problema . . . . .	76
6.1.2.2	Sentença de Posição do Produto . . . . .	77
6.1.3	Perfis de usuários . . . . .	77
6.1.3.1	Pesquisador . . . . .	77
6.1.3.2	Ambiente do usuário . . . . .	77
6.1.3.3	Alternativas e Concorrência . . . . .	77
6.1.4	Visão geral do produto . . . . .	78
6.1.4.1	Perspectiva do Produto . . . . .	78
6.1.4.2	Resumo das Capacidades . . . . .	79
6.1.4.3	Suposições e Dependências . . . . .	79
6.1.4.4	Custos e Precificação . . . . .	79
6.1.4.5	Licenciamento e Instalação . . . . .	79
6.1.5	Visão Geral dos Recursos do Produto . . . . .	79
6.1.5.1	Preparar a câmara para o início dos testes . . . . .	79
6.1.5.2	Apresentar ao usuário os indicadores da câmara termo-vácuo . . . . .	80
6.1.5.3	Informar saúde e aspectos de cada sensor . . . . .	80
6.1.5.4	Gerar histórico . . . . .	80
6.1.6	Restrições . . . . .	80
6.1.6.1	Restrições externas . . . . .	80

6.1.6.2	Restrições de design . . . . .	80
6.1.7	Outros Requisitos do Produto . . . . .	80
<b>6.2</b>	<b>Arquitetura de Software . . . . .</b>	<b>80</b>
6.2.1	Arquitetura Cliente-Servidor . . . . .	81
6.2.2	Padrão Arquitetural MVC - Model-View-Controller . . . . .	81
6.2.3	WebSocket . . . . .	81
6.2.4	Raspberry . . . . .	81
6.2.5	Arquitetura Geral . . . . .	82
6.2.6	Modelagem da aplicação . . . . .	83
6.2.6.1	Diagrama de caso de uso . . . . .	83
6.2.6.2	Diagrama de Sequência . . . . .	83
6.2.6.3	Diagramas de Pacote . . . . .	84
6.2.6.4	Diagrama de Classes . . . . .	86
6.2.7	Tecnologias utilizadas na aplicação . . . . .	87
6.2.7.1	ReactJS . . . . .	87
6.2.7.2	NodeJS . . . . .	88
6.2.7.2.1	Node Express . . . . .	88
6.2.7.3	Jest . . . . .	89
6.2.7.4	Cypress . . . . .	89
6.2.7.5	ESLint . . . . .	89
6.2.7.6	Banco de Dados InfluxDB . . . . .	89
6.2.7.6.1	No-SQL . . . . .	89
6.2.7.6.2	Node-influx . . . . .	90
6.2.8	Automação de entrega de Software . . . . .	90
6.2.8.1	Github . . . . .	90
6.2.8.2	Integração contínua . . . . .	90
6.2.8.3	Docker . . . . .	91
<b>6.3</b>	<b>Proposta de inovação . . . . .</b>	<b>91</b>
6.3.1	Usabilidade . . . . .	91
6.3.2	InfluxDB . . . . .	91
<b>6.4</b>	<b>Arquitetura da Informação - Prototipagem . . . . .</b>	<b>92</b>
<b>7</b>	<b>CUSTOS . . . . .</b>	<b>95</b>
<b>8</b>	<b>CONSIDERAÇÕES . . . . .</b>	<b>99</b>
	<b>REFERÊNCIAS . . . . .</b>	<b>100</b>

<b>APÊNDICES</b>	<b>104</b>
<b>APÊNDICE A – DESENHOS TÉCNICOS . . . . .</b>	<b>106</b>
<b>APÊNDICE B – DIAGRAMAS DOS MODOS DE FUNCIONAMENTO</b>	<b>111</b>
<b>APÊNDICE C – ESQUEMÁTICO DO SISTEMA ELETRÔNICO . .</b>	<b>116</b>
<b>APÊNDICE D – DECISÕES ARQUITETURAIS DE SOFTWARE . .</b>	<b>117</b>
D.1 <b>Arquitetura da Informação . . . . .</b>	<b>117</b>
D.2 <b>Arquitetura do Software . . . . .</b>	<b>117</b>
D.2.1 <b>Escolha das tecnologias utilizadas no projeto . . . . .</b>	<b>118</b>
D.3 <b>Proposta de inovação . . . . .</b>	<b>119</b>
<b>APÊNDICE E – LINKS DE ACESSO PARA OS REPOSITÓRIOS         COM CÓDIGOS FONTE . . . . .</b>	<b>120</b>
<b>APÊNDICE F – AUTOAVALIAÇÃO DOS INTEGRANTES . . . . .</b>	<b>121</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>124</b>
<b>ANEXO A – DESENHOS TÉCNICOS - PARTES E COMPONENTES DA SOLUÇÃO ESTRUTURAL . . . . .</b>	<b>125</b>
<b>ANEXO B – ANEXOS DAS SOLUÇÕES ENERGÉTICAS . . . . .</b>	<b>127</b>
B.1 <b>Catálogos dos componentes energéticos . . . . .</b>	<b>127</b>
B.2 <b>Diagrama multifilar do sistema de energia . . . . .</b>	<b>129</b>
<b>ANEXO C – PROPRIEDADES DO NITROGÊNIO . . . . .</b>	<b>130</b>

# 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, 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](#)).

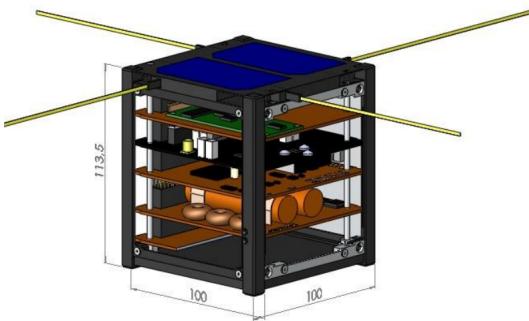


Figura 1 – CubeSat padrão 1U sem as paredes laterais (mm).

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 duas últimas 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 Vôo) ([CHISABAS et al., 2017](#)).

Os três modelos sistêmicos podem ser definidos por meio das seguintes definições:  
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 é a 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 representa a Fig. 2, com controle de temperatura interno. Esse controle de temperatura pode ser feito por meio de uma placa inserida dentro da 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 uma lâmpada 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](#)).

Durante o 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 na não detecção de falhas dos subsistemas do CubeSat comprometendo toda a missão e perdendo todo 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 e dificultado por conta de toda a burocracia para se realizar um teste no INPE.

Dessa forma, o tempo para desenvolver esses satélites prolongam-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 decentralizados do INPE no Brasil, torna-se necessário uma solução para viabilizar que esses novos projetos tenham a 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, oferecendo liberdade temporal e de projeto 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 entre 1U e 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 -20°C e 60°C, este foi definido com base nos principais testes de termo-vácuo realizado por instuições de pesquisas espaciais. Esse estudo pode ser conferido no artigo ([FERNANDES 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 se tem o uso de Nitrogênio Líquido (LN2) ou Nitrogênio Gasoso (GN2) para alcançar às 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 Escopo do Produto

### 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).

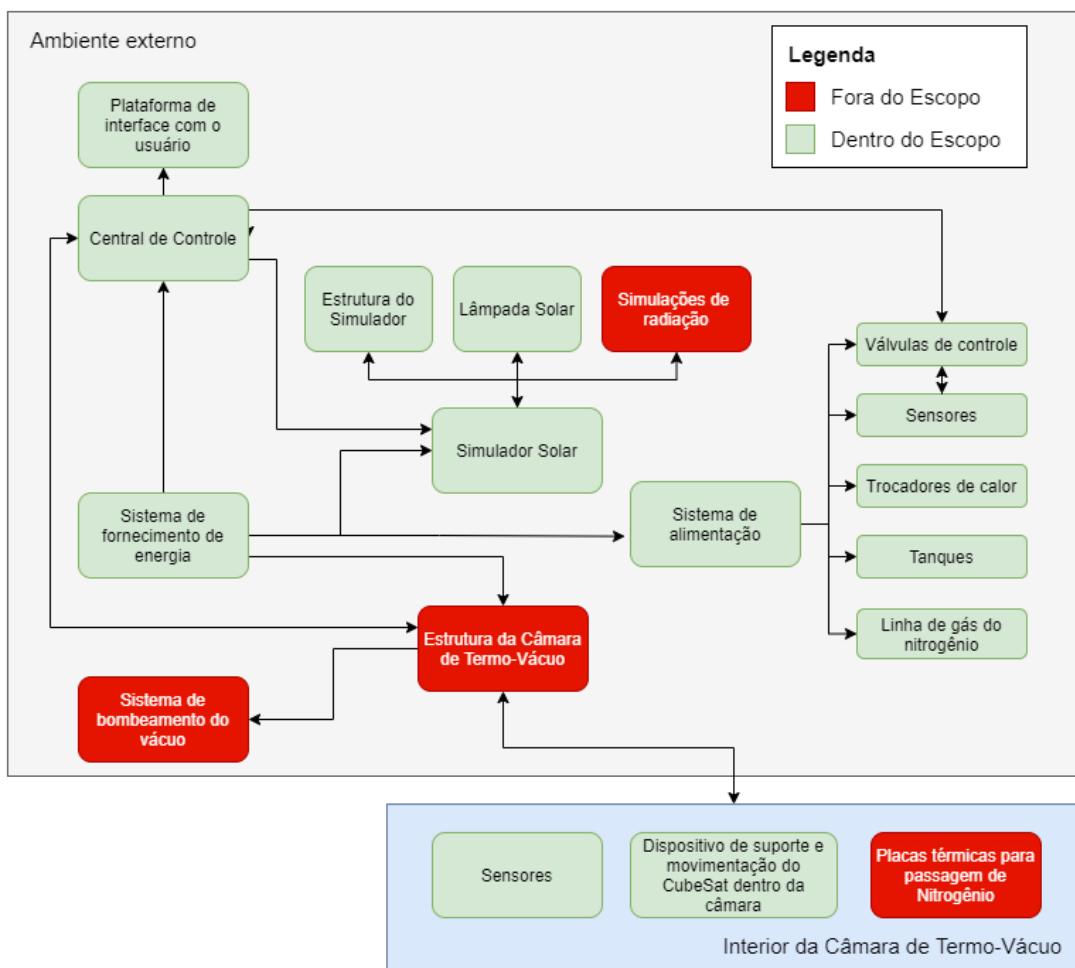


Figura 3 – Escopo do produto nos subsistemas.  
Fonte: Autoria Própria.

## 2.2 Visão geral das soluções

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 e fluídos, 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.

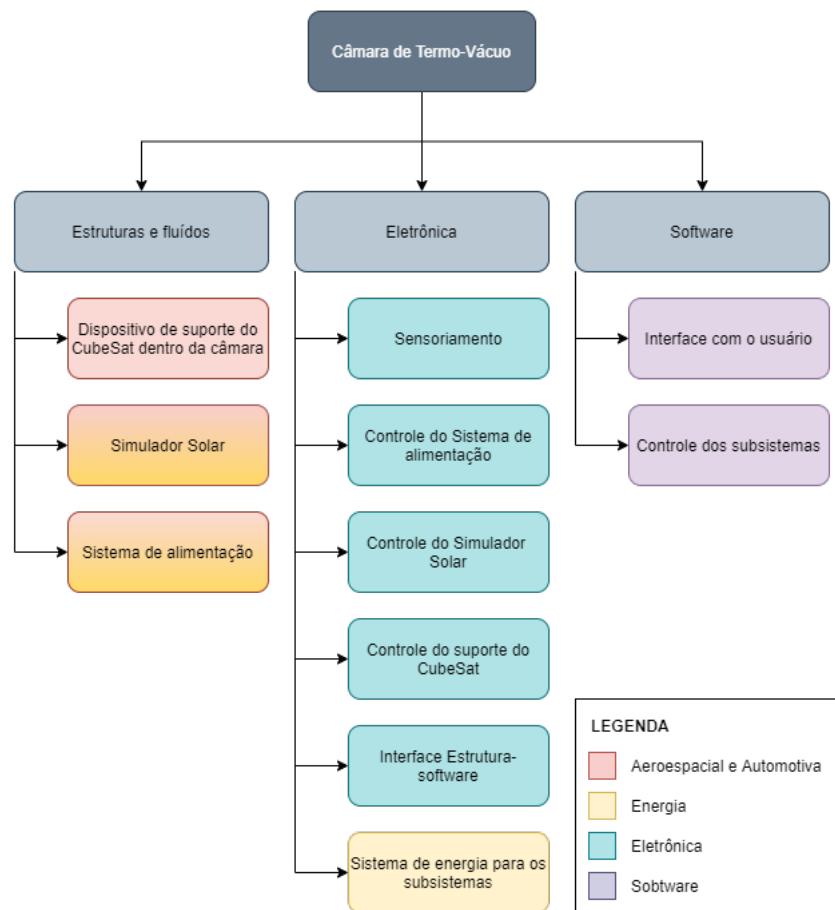


Figura 4 – Divisão das soluções por área de engenharia.

Fonte: Autoria Própria.

## 2.3 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.

### 2.3.1 Requisitos de 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 ( $\geq 400$ 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

### 2.3.2 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 um 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 se manter nos limites de temperatura durante o período dos testes térmicos	F	M	GER-04
EST-15	Sistema de alimentação	Deve contar com um 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

### 2.3.3 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 $253,15 \pm 3$ 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

### 2.3.4 Requisitos da solução de Software

Tabela 5 – Requisitos da solução de software.

ID	Categoria	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

### 2.3.5 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 <sup>2</sup> 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 modo de operações de teste previstos na justificativa. As soluções consistem em um **Suporte com dois graus de liberdade** para o pequeno satélite, um **Suporte para a lâmpada** do simulador solar e um **Sistema de alimentação** de Nitrogênio ( $N_2$ ) para a placa térmica, responsável pelo resfriamento/aquecimento do sistema. Na Figura 5 é mostrada uma representação da placa térmica com o suporte para o CubeSat e a o suporte da lâmpada.

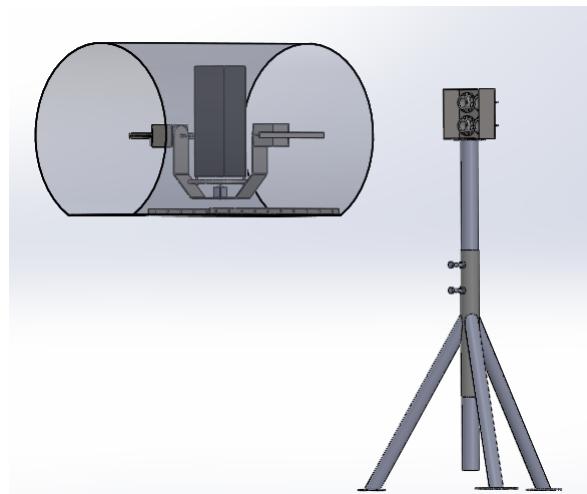


Figura 5 – Placa térmica com o suporte para o CubeSat integrado e suporte para a lâmpada.

Fonte: Autores.

#### 3.1 Arquitetura do Suporte para o CubeSat

O suporte deve ser responsável por manter o CubeSat girando em torno do próprio eixo, a uma taxa e em momentos pré-determinados pelo operador, para que todas as faces do satélite sejam expostas à radiação luminosa, dessa forma, permitindo a avaliação da temperatura e da exposição luminosa em todas as faces. Assim, é proposto que o sistema também faça um giro de  $180^\circ$  em um eixo perpendicular ao eixo que ocorre o giro completo, possibilitando assim que todas as seis faces sejam igualmente exposta à radiação durante o teste de ciclagem térmica.

Essa estrutura será encaixada na placa térmica projetada no Trabalho de Conclusão de Curso feito em parceria com esse trabalho. As dimensões da placa térmica podem ser conferidas no Anexo A, assim como as dimensões do trilho acoplado à ela.

Para tal movimento, serão necessários três motores, um para o giro em torno do

próprio eixo e dois para o giro em 180°. O principal requisito do motor é a capacidade de suportar o torque referente ao peso do sistema, de modo a manter o modelo com rotação constante em relação ao simulador solar. O detalhamento do sistema consta do Apêndice ??.

O sistema suportará CubeSats de no máximo 10x10x30 (3U), tendo isso como requisito, os motores laterais serão fixados com o eixo de rotação coincidindo com o centro de massa da unidade 3U, para garantir que durante a rotação de 180° a estrutura do CubeSat não entre em contato com a placa térmica. A câmara descrita no texto acima pode ser verificada na Fig. 6.

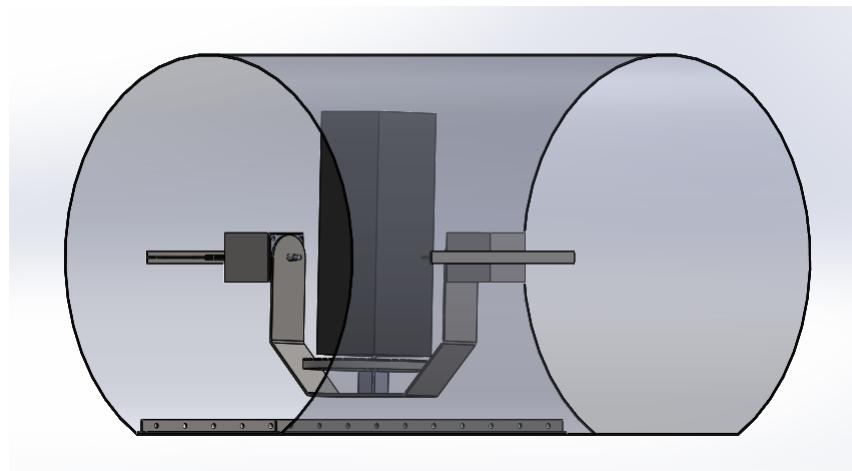


Figura 6 – Vista isométrica da solução com dois graus de liberdade.  
Fonte: Autoria Própria.

### 3.1.1 Materiais

O material que compõe todos os componentes estruturais do suporte do CubeSat e também tubos e conexões do sistema de alimentação é o Aço Inoxidável AISI 304. O material será submetido a uma grande variação de temperatura, de 77,15 K à 473,15 K, e não sofrerá alterações nas propriedades mecânicas durante o processo. Na Tabela 7 são apresentadas algumas propriedades mecânicas do Aço 304 e de mais outras ligas, para comparação.

Tabela 7 – Propriedades mecânicas dos Aços

Propriedades/Aços	<b>304</b>	<b>304 L</b>	<b>410</b>	<b>420</b>
Carbono [% máxima]	0,08	0,03	0,08	0,15
Níquel [%]	8,0 - 10,5	8,0 - 12,0	0,60 máxima	0,50 máxima
Estrutura molecular	Austenítica	Austenítica	Ferrítica	Martensítica
Magnetismo	Não magnético	Não magnético	Qualquer estado magnético	Qualquer estado magnético
Módulo de Elasticidade [GPa]	200,00	200,00	220,00	220,00

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

O Aço Inoxidável AISI 304 faz parte do grupo dos aços austeníticos, a variação de temperatura não afeta sua estrutura cristalina, isso acontece devido a alta concentração de Níquel na sua composição e a baixa concentração de Carbono. O Níquel auxilia a manter as fases austeníticas da liga. Essa característica apresentada é o principal fator na escolha do material.(ANTUNES, 2007)

Além disso, a estrutura do material, por apresentar propriedades não magnéticas, se torna uma boa opção para o projeto, para que não haja interferência magnética entre os materiais e os componentes eletrônicos do CubeSat.

A importância da estrutura molecular do aço associada a temperatura de trabalho do sistema, indica que utilizando um aço que contém a presença de ferrita ou martensita em sua estrutura molecular se submetido à temperaturas abaixo de 473,15 K, resultaria em um aço frágil e suscetível a fraturas. (MORENO, 2004)

Por outro lado a fase austenita do Aço Inoxidável 304, mesmo à temperatura mínima no sistema de alimentação de 77,15 K, mantém sua estrutura cristalina austenita e com ela suas propriedades mecânicas.

Os componentes fabricados em Aço Inox 304 são:

- Trilhos
- Envelope do motor
- Suporte em U
- Interface entre o motor e o *CubeSat*

### 3.1.2 Motor de rotação do satélite

Para o dimensionamento do motor que será responsável pela rotação do CubeSat é preciso calcular o torque necessário. Esse cálculo é feito através das propriedades geométricas do sistema e de como os componentes estão dispostos.

O motor deve suportar uma carga correspondente a, no máximo, um modelo 3U. Dessa forma, de acordo com o padrão de dimensões e peso para CubeSats, a carga máxima do mesmo deve ser de 6kg. Além do massa do modelo 3U, o motor responsável pela rotação deve ter um torque suficiente para movimentar o peso do disco que serve como interface de fixação 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.

O sistema é diretamente acoplado na estrutura, sendo o mecanismo de dispositivo rotativo aproximado a um disco na horizontal. Nesse caso, o sistema é mais simples que no geral, pois não conta com as duas polias e a correia de transmissão, já que o motor e

o CubeSat estarão com os eixos de rotação centralizados. Esse mecanismo está descrito na Fig. 7:

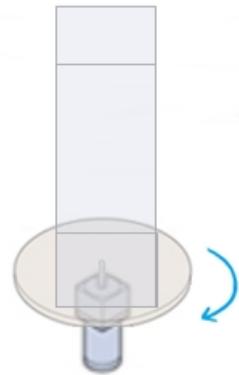


Figura 7 – Mecanismo do motor de rotação.

Fonte: Autoria Própria.

O torque é formado por duas componentes: uma componente de carga e uma componente de aceleração. O torque de aceleração é calculado através da Eq.3.9 e o torque de carga é calculado através da Eq. 3.6. Na Tabela 8 são apresentadas as dimensões das estruturas que o motor deve atuar e as grandezas relevantes para o cálculo do torque requerido, tanto o disco quanto o eixo do motor são feitos de Aço Inoxidável 304. Os cálculos realizados para dimensionamento do motor estão descritos através das Eqs.3.1 à 3.7.

Tabela 8 – Dimensões e grandezas relevantes para o cálculo do torque requerido para o motor do CubeSat.

Grandeza [Unidade]	Variável	Dimensão
Diâmetro do disco [m]	$D_{disco}$	0,175
Espessura do disco [m]	$t$	0,01
Diâmetro do eixo [m]	$D_{eixo}$	0,005
Comprimento do eixo [m]	$L_{eixo}$	0,02
Densidade do material do eixo e disco [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	$\rho$	8000
Largura do satélite [m]	$A_1$	0,1
Comprimento do satélite [m]	$B_1$	0,1
Distância ao centro de carga [m]	$r$	0
Distância do disco ao eixo do motor	$I$	0
Massa do satélite [kg]	$m_{sat}$	6
Coeficiente de atrito	$\mu$	0,8
Eficiência do sistema	$\eta$	85%
Velocidade de rotação [r/min]	$V_1$	10
Tempo de aceleração [s]	$t_1$	3
Fator de segurança	SF	1,5

Fonte: Autoria Própria.

- Inércia de carga:

$$J_{disco} = \frac{\pi}{32}(\rho \cdot t_{disco})(D_{disco})^4 = 7,3662 \cdot 10^{-3} [kg \cdot m^2] \quad (3.1)$$

$$J_{eixo} = \frac{\pi}{32}(\rho \cdot L_{eixo})(D_{eixo})^4 = 9,817 \cdot 10^{-9} [kg \cdot m^2] \quad (3.2)$$

$$J_{satélite} = \frac{1}{12}(m_{sat})(A_1)^2 + (B_1)^2 + 12(r)^2 = 1,00 \cdot 10^{-2} [kg \cdot m^2] \quad (3.3)$$

$$J_{total} = J_{disco} + J_{eixo} + J_{satélite} = 1,7366 \cdot 10^{-2} [kg \cdot m^2] \quad (3.4)$$

- Torque de aceleração:

$$T_a = J_{total} \left( \frac{V_1}{9,55 \cdot t_1} \right) = 6,0615 \cdot 10^{-3} [N \cdot m] \quad (3.5)$$

- Torque de carga: O torque de carga, calculado através da equação 3.6, depende da distância do disco ao eixo do motor ( $I$ ), que no caso do nosso sistema é 0, uma vez que os eixos estão todos alinhados. Assim, o torque de carga é nulo.

$$T_c = 9,8(m_T + m_1)\mu(I) \left( \frac{1}{\eta \cdot 0,01} \right) = 0 [N \cdot m] \quad (3.6)$$

- Torque requerido:

$$T = (T_a + T_c)(SF) = 9,0922 \cdot 10^{-3} [N \cdot m] \quad (3.7)$$

Uma vez que as faces do CubeSat devem ser expostas a radiação luminosa durante o teste, não é necessária uma velocidade de rotação alta, portanto, o torque requerido é pequeno. A Tabela 9 apresenta os resultados do dimensionamento realizado e o motor selecionado que atende aos requisitos de operação do sistema.

Tabela 9 – Especificações técnicas do motor para a rotação do CubeSat de acordo com o fabricante

Torque requerido [Nm]	0,00915
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: Autoria Própria.

O motor escolhido atende as condições de operação do sistema. O torque fornecido pelo motor é quase dez vezes maior que o torque requerido e sua temperatura de operação está em um faixa aceitável para a faixa de variação de temperatura do sistema, de 253,15 a 333,15 K. O motor selecionado tem um torque bem maior do que o requerido pois foi uma das opções disponíveis no mercado com o menor torque encontrado. Na Figura 8 é apresentado o motor selecionado.



Figura 8 – Motor selecionado para a rotação do CubeSat.

Para fixação entre o motor, interface e CubeSat, de forma que o haja transmissão de torque entre o motor e a restante do conjunto, um parafusamento paralelo ao eixo de rotação será realizado. O parafusamento é feito de acordo com o padrão de rosca já existente para CubeSats. Esse parafusamento ainda garante a fixação do conjunto quando de cabeça para baixo, evitando danos ao satélite. Além do parafusamento, serão usados travas roscas LOCTITE®, para evitar que qualquer vibração no sistema retire o parafuso da rosca, algumas propriedades importantes do trava rosca são descritas na tab.10. O esquema de fixação está representada na Fig.9, com as setas indicando o sentido de parafusamento.

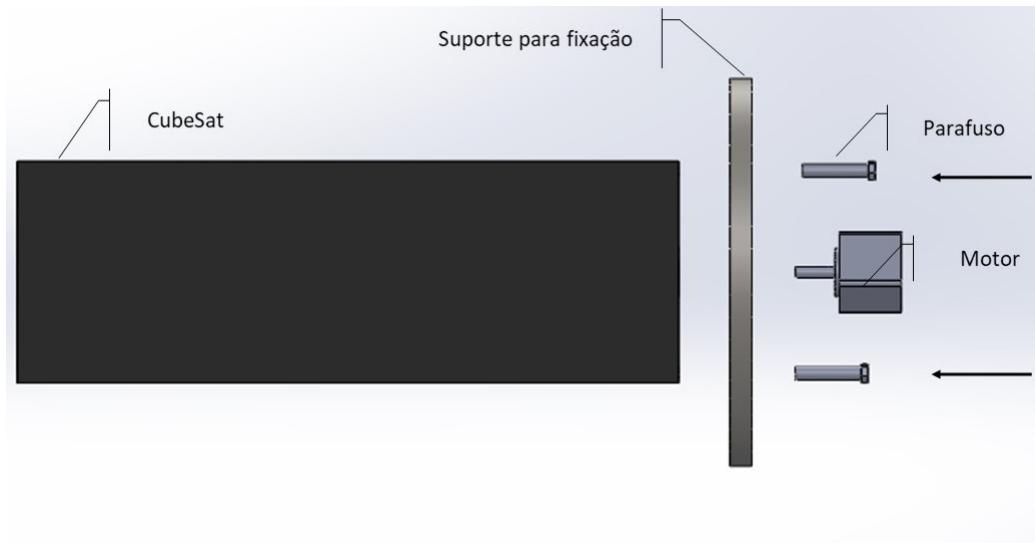


Figura 9 – Esquema de fixação entre o conjunto motor-interface-CubeSat.  
Fonte: Autoria Própria.

Tabela 10 – Propriedades do trava rosca.

Torque de quebra [Nm]	33
Faixa de temperatura de operação [K]	219,15 a 422,15
Cura parcial [min]	5
Cura total [h]	24

Fonte: LOCTITE®.

A fixação do motor para rotação do suporte será realizada através de parafusamento já previsto pelo modelo do motor, Fig. 10 e de acordo com o esquema da Fig. 11, onde o sentido de parafusamento é indicado pela seta.

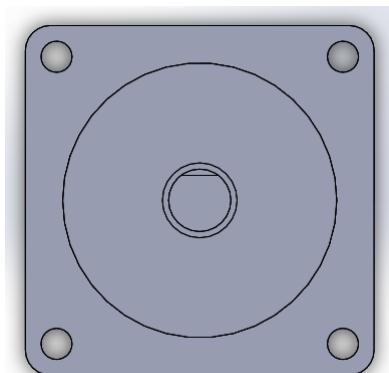


Figura 10 – Vista do motor mostrando o parafusamento previsto pelo modelo.  
Fonte: Autoria Própria.

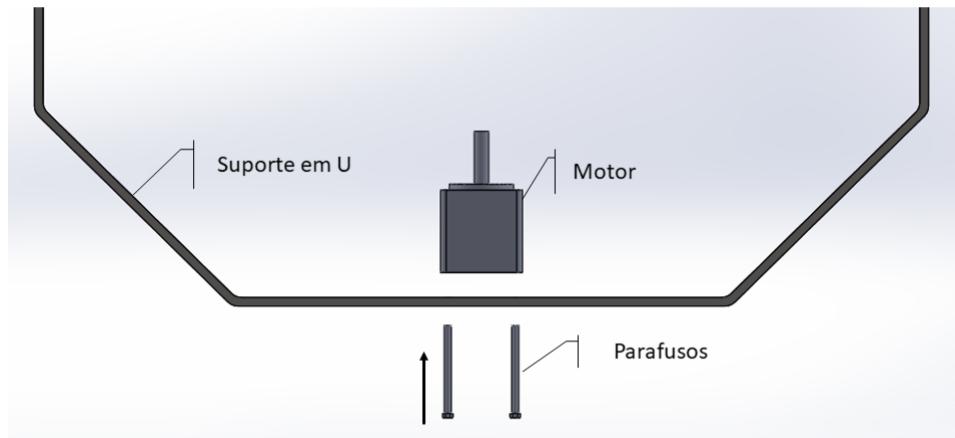


Figura 11 – Esquema de fixação entre o conjunto motor-Suporte U.  
Fonte: Autoria Própria.

### 3.1.3 Motores para rotação do sistema integrado

Os motores do sistema integrado compreendem a movimentação em  $180^\circ$  da estrutura em U que sustenta o satélite e o motor responsável pela rotação do satélite. O sistema 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, sendo o mecanismo genérico usado como referência para os cálculos apresentados na Fig.12 e o sistema para o projeto apresentado na Fig.13.

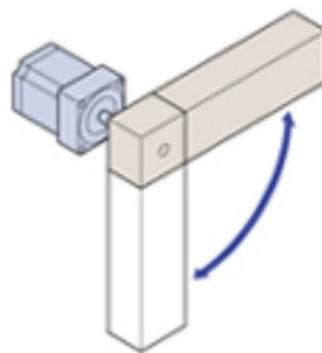


Figura 12 – Mecanismo genérico de rotação com braço de alavanca.  
Fonte: Autoria Própria.

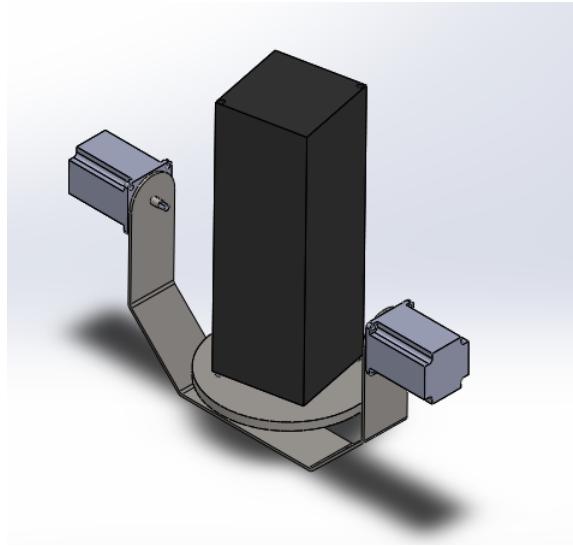


Figura 13 – Sistema do projeto.  
Fonte: Autoria Própria.

Os cálculos para o dimensionamento desse motor são realizados de forma semelhante aos cálculos para o motor usado para a rotação do satélite. Na Tabela 11 são apresentadas as dimensões e grandezas relevantes para o dimensionamento do motor e nas Eqs.3.8 à 3.11 está descrito o cálculo realizado.

Tabela 11 – Dimensões e grandezas relevantes para o cálculo do torque requerido para os motores do suporte.

Grandeza [Unidade]	Variável	Dimensão
Comprimento do braço [m]	C	0,2
Largura do braço [m]	B	0,056
Distância entre o eixo do motor e o centro de massa do braço [m]	r	0,01659
Massa do conjunto [kg]	m	9,534
Eficiência do sistema	$\eta$	85%
Velocidade de rotação [r/min]	$V_2$	3
Tempo de aceleração [s]	$t_1$	3
Aceleração da gravidade [ $m/s^2$ ]	g	9,8
Fator de segurança	SF	1,5

Fonte: Autoria Própria.

- Inércia de carga:

$$J_{total} = \frac{1}{12}(m)(C)^2 + (B)^2 + 12(r)^2 = 3,6896 \cdot 10^{-2} [kg \cdot m^2] \quad (3.8)$$

- Torque de aceleração:

$$T_a = J_{total} \left( \frac{V_2}{9,55 \cdot t_1} \right) = 6,0615 \cdot 10^{-3} [N \cdot m] \quad (3.9)$$

- Torque de carga:

$$T_c = (m \cdot r) \cdot g \cdot \left( \frac{1}{\eta \cdot 0,01} \right) = 1,824 [N \cdot m] \quad (3.10)$$

- Torque requerido:

$$T = (T_a + T_c)(SF) = 2.741 [N \cdot m] \quad (3.11)$$

Portanto, os motores escolhidos devem ser capazes de suportar 1,371 Nm de torque cada, uma vez que serão usados dois. As especificações técnicas do motor escolhido são apresentadas na Tab. 12.

Tabela 12 – Especificações técnicas do motor selecionado para a rotação do conjunto suporte/CubeSat.

Torque Requerido [Nm]	1,371
Modelo	23HS7628
Ângulo do passo [º]	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: Autoria Própria.

O motor escolhido atende as condições de operação do sistema. O torque fornecido pelo motor é suficientemente maior que o torque requerido e sua temperatura de operação está em um faixa aceitável para a faixa de variação de temperatura do sistema, de 253,15 a 333,15 K. Na Figura 14 é apresentado o motor selecionado.



Figura 14 – Motor selecionado para a rotação do conjunto suporte/CubeSat.

Além do suporte, cinco trilhos de aço inox 304 e seção T de 15x15x2 mm, serão alocados no interior da câmara, sendo que dois trilhos de 500 mm de comprimento estarão na base e um de 250 mm no topo. Outros dois trilhos de 250 mm serão fixados na lateral da placa térmica, onde servirão de apoio para os motores, o trilho é mostrado na Fig.15. Todos têm furos de 6 mm de diâmetro espaçados em 50 mm, para fixação de equipamentos.

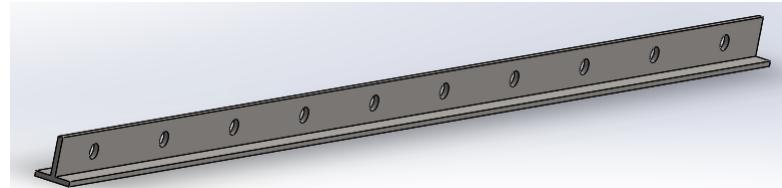


Figura 15 – Trilho para fixação de dispositivos na placa térmica.

Fonte: Autoria Própria.

A fixação do motor à placa térmica é feita através de um Envelope de Aço Inox, apresentado na Fig. 16. O envelope é fixado no trilho da placa térmica através de parafusamento, como apresentado na Fig. 17

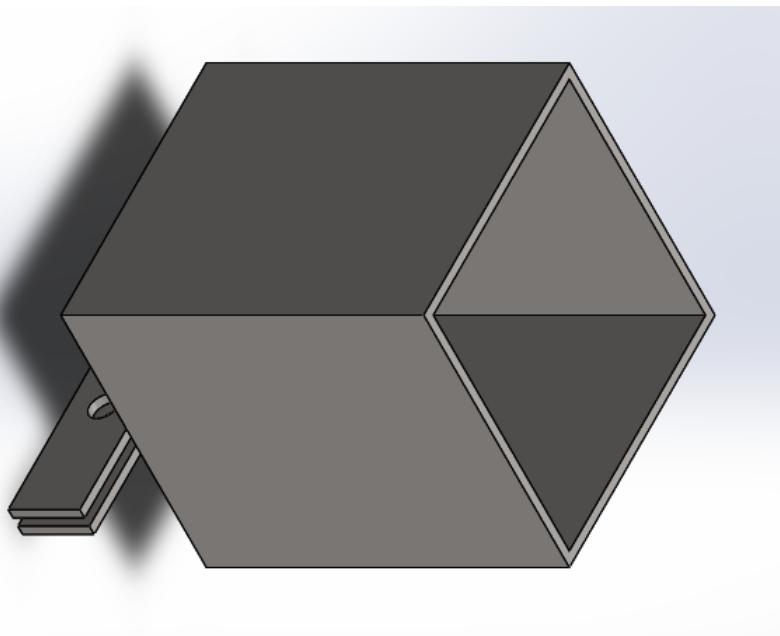


Figura 16 – Envelope para o motor do suporte.

Fonte: Autoria Própria.

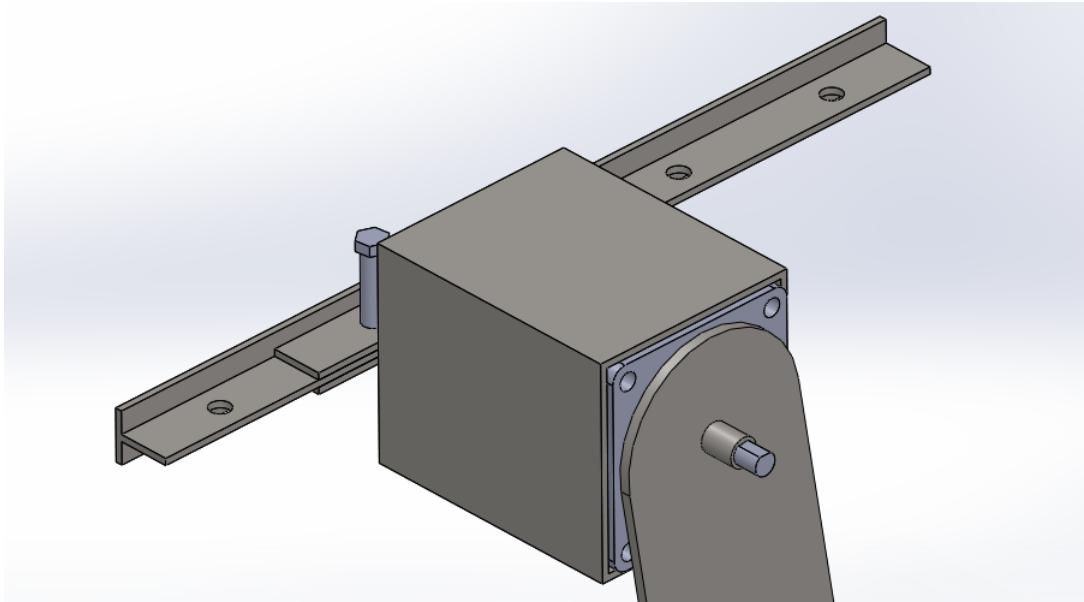


Figura 17 – Fixação do motor do suporte à placa térmica.

Fonte: Autoria Própria.

A fixação do eixo do motor com o suporte em U é feita a partir de um rebaixo existente no eixo do motor e um ressalto de mesma dimensão feito no encaixe suporte, dessa forma, o eixo não tem seção circular e seu movimento dentro do suporte fica restrinrido, havendo assim transmissão de torque. Essa configuração pode ser vista na Fig. 18.

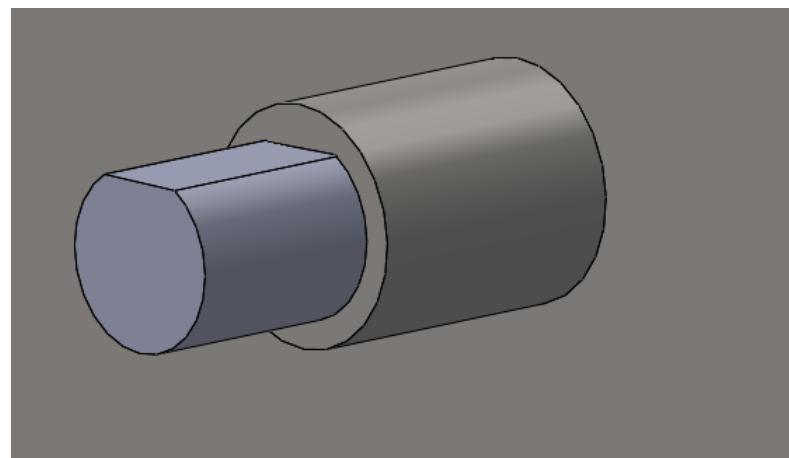


Figura 18 – Fixação do motor ao suporte.

Fonte: Autoria Própria.

### 3.1.4 Simulação estrutural do suporte

A simulação do suporte onde o CubeSat estará apoiado foi feita no *software ANSYS Student*. Por ser uma versão gratuita de estudante as simulações tem limitações de número de nós para a malha. A qualidade da malha pode ser visualizada no gráfico da Figura 19. Quanto mais próximo de 1,00 a métrica do elemento estiver, melhor a qualidade do

elemento, contudo, ainda temos alguns elementos de qualidade baixa. A simulação ainda requer um melhor refino na malha para um resultado com menor distorção, que sera feito para o Ponto de Controle 3.

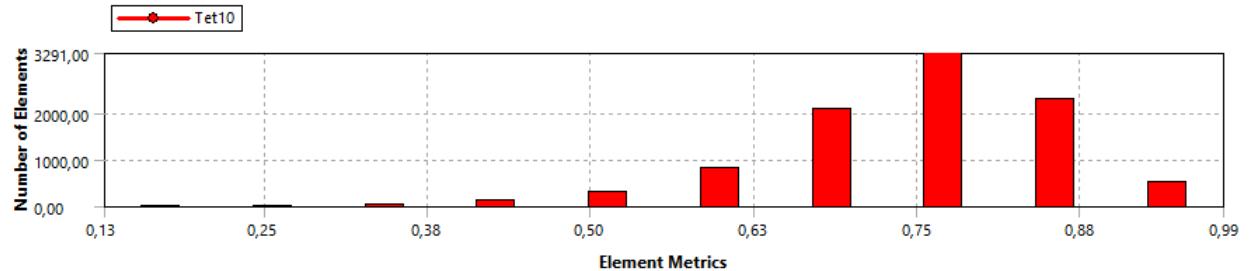


Figura 19 – Gráfico da qualidade da malha do suporte  
Fonte: Autores.

Para as condições de contorno do problema, foram aplicadas à estrutura uma carga de 120 N, no local de apoio do CubeSat e dois suportes de segundo gênero no local onde é realizada a conexão como o eixo dos motores. Na figura 20 são apresentadas as condições de contorno aplicadas.

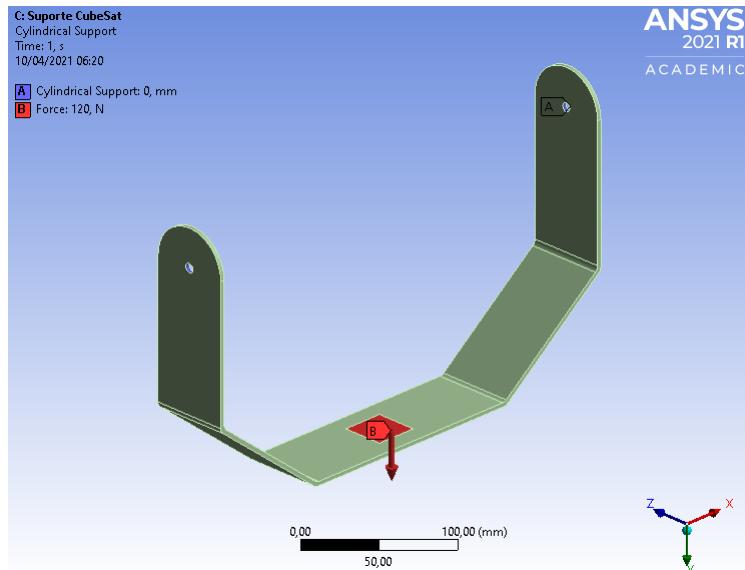


Figura 20 – Condições de contorno aplicadas ao suporte  
Fonte: Autoria Própria.

Na Figura 21 observa-se as tensões no suporte. Os locais com a maior solicitação do suporte são os apoios cilíndricos e no local onde o CubeSat fica apoiado, entretanto, os valores observados são menores que os 200 MPa de resistência ao escoamento do material utilizado. Dessa forma, na Figura 22 podemos ver um fator de segurança mínimo de 2,9, suportando cargas maiores que duas vezes o peso original do CubeSat.

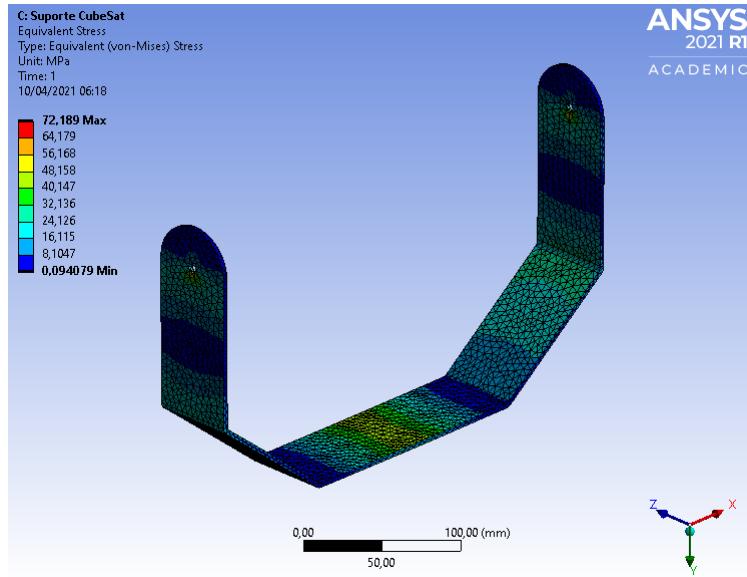


Figura 21 – Tensões no Suporte  
Fonte: Autoria Própria.

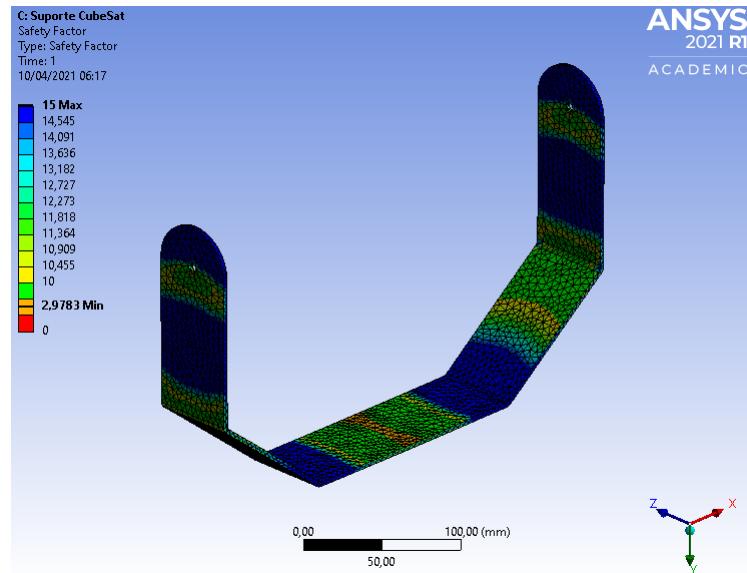


Figura 22 – Fator de Segurança no Suporte  
Fonte: Autoria Própria.

### 3.2 Suporte das lâmpadas

O suporte das lâmpadas será feito de forma simples. Através de um tripé, para regulagem da altura da lâmpada em relação a entrada de luminosidade na câmara de termo-vácuo, Fig. 23, e uma caixa para fixação das quatro lâmpadas que serão utilizadas para simulação de radiação solar, Fig. 24.

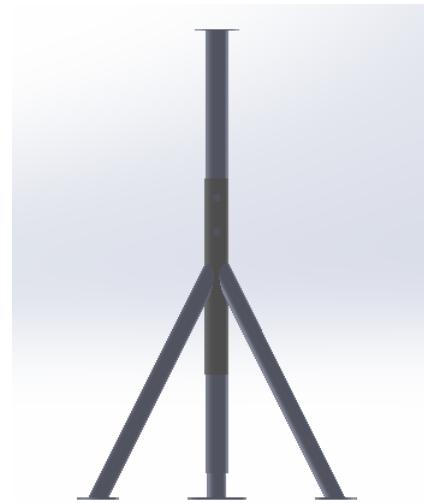


Figura 23 – Tripé para o suporte da lâmpada.  
Fonte: Autoria Própria.

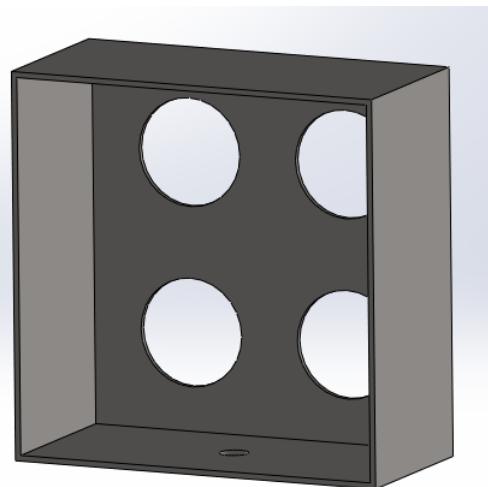


Figura 24 – Caixa para fixação das lâmpadas.  
Fonte: Autoria Própria.

A Figura 25 mostra como o suporte fica montado. O mesmo será regulado pelo operador em frente a câmara de termo-vácuo.



Figura 25 – Suporte para as lâmpadas.

Fonte: Autoria Própria.

Os desenhos técnicos de todos os componentes estruturais projetados pelo grupo que compõem os suportes podem ser vistos no Apêndice A. No Anexo A são apresentados as dimensões dos componentes selecionados, de acordo com os fabricantes, como também de partes que compõem o projeto mas não são de escopo do grupo.

### 3.3 Arquitetura do Sistema de Alimentação

O sistema de alimentação tem o objetivo de suprir o nitrogênio líquido e gasoso à 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 inicio 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, de onde sai na fase líquida e é armazenado em um *Dewar*, que é um dispositivo utilizado para manter o líquido a baixas temperaturas, mantendo-o no estado líquido.

Para o sistema de resfriamento é importante 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 conseguir 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 contam com válvulas de controle de vazão e um medidor de vazão para obter 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 o filtro previne que partículas sólidas danifiquem o sistema.

Após circular na placa térmica, todo o Nitrogênio deverá ser retirado do sistema. Nesse caso, existem duas opções: liberar o Nitrogênio utilizado em ambiente externo ou reutilizá-lo. A segunda opção tem por consequência uma maior complexidade no sistema de alimentação, 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). A fim de tornar o sistema mais rentável a longo prazo, a segunda opção foi escolhida.

Para determinar o diâmetro da linha de alimentação as vazões mássicas mostradas na Tab. 13 e as eqs. 3.12 e 3.13 foram utilizadas. Os valores de vazão mássica foram obtidos do trabalho feito em parceria com este. O diâmetro calculado foi de 3/4 polegadas. A Equação 3.12 é a equação de Bernoulli e é válida para fluidos compressíveis e a eq. 3.13 é válida para fluidos compressíveis em velocidades subsônicas (WHITMORE; CHANDLER, 2010).

Tabela 13 – Vazões mássicas de nitrogênio

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

- Bernoulli (Líquidos incompressíveis):

$$\dot{m}_l = A \cdot C_d (2\rho_l \Delta P) \quad (3.12)$$

- Compressível e subsônico:

$$\dot{m}_g = A \cdot C_d \sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma - 1} \rho_g p_t \left[ \left( \frac{p_s}{p_t} \right)^{2/\gamma} - \left( \frac{p_s}{p_t} \right)^{(\gamma+1)/\gamma} \right]} \quad (3.13)$$

onde A é a área de passagem,  $C_d$  é o coeficiente de descarga,  $\rho_l$  é a massa específica de líquido,  $\rho_g$  é a massa específica de gás,  $\Delta P$  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  $\gamma$  é a razão dos calores específicos que

corresponde ao  $\gamma_l$  se for líquido ou ao  $\gamma_g$  se for do gás, pois depende da temperatura do fluido. Os valores de cada parâmetro estão listados na Tab. 13 e na Tab.

Tabela 14 – Parâmetros do Nitrogênio

Parâmetro	Valor
$p_t$ [bar]	10
$\Delta P$ [bar]	3
$C_d$	0,76
$\rho_l$ [kg/m <sup>3</sup> ]	808,53
$\rho_g$ [kg/m <sup>3</sup> ]	8,89
$\gamma_l$	1,8
$\gamma_g$	1,39

Fonte: (NIST, 2021).

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

A Figura 26 mostra o diagrama hidráulico do sistema de alimentação, representando os equipamentos e as linhas de distribuição do nitrogênio. Na Figura 27 é possível ver em detalhes a disposição dos componentes dentro da câmara de termo-vácuo.

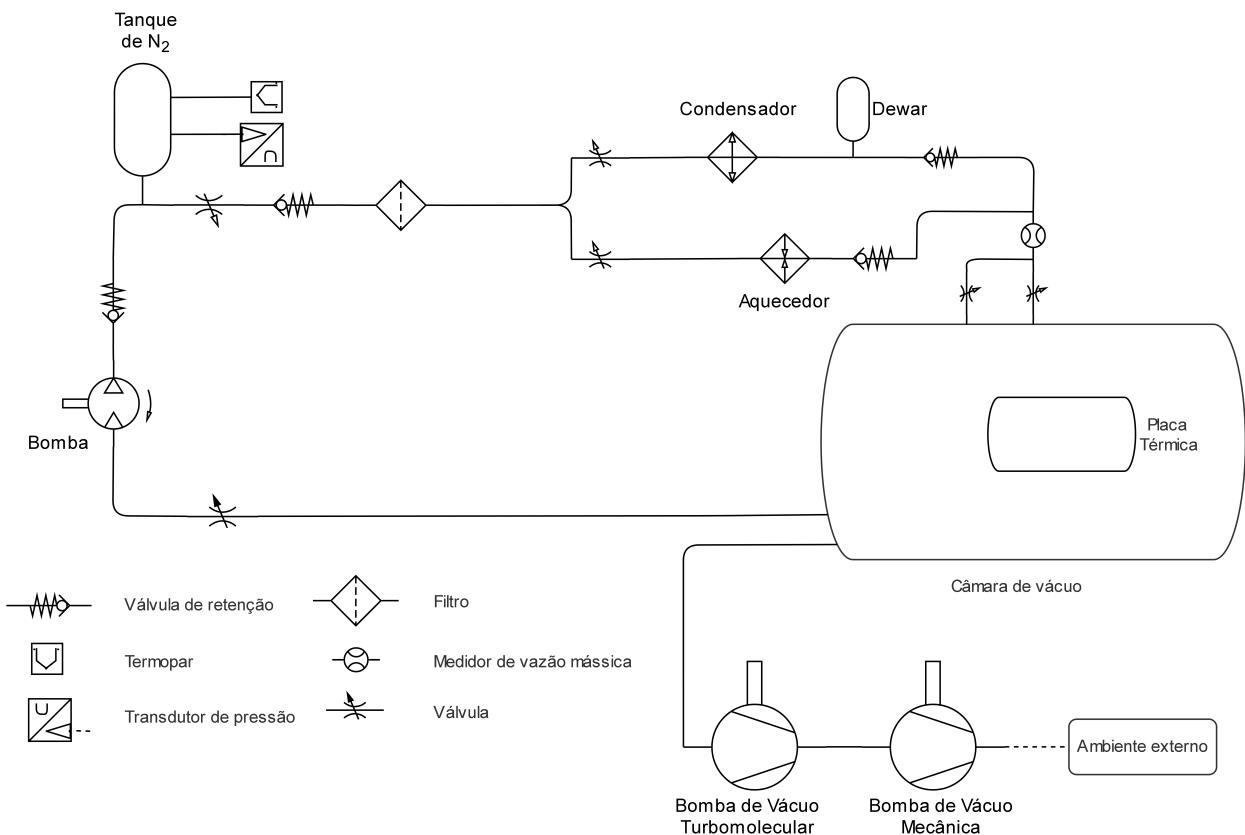


Figura 26 – Diagrama hidráulico  
Fonte: Autoria Própria.

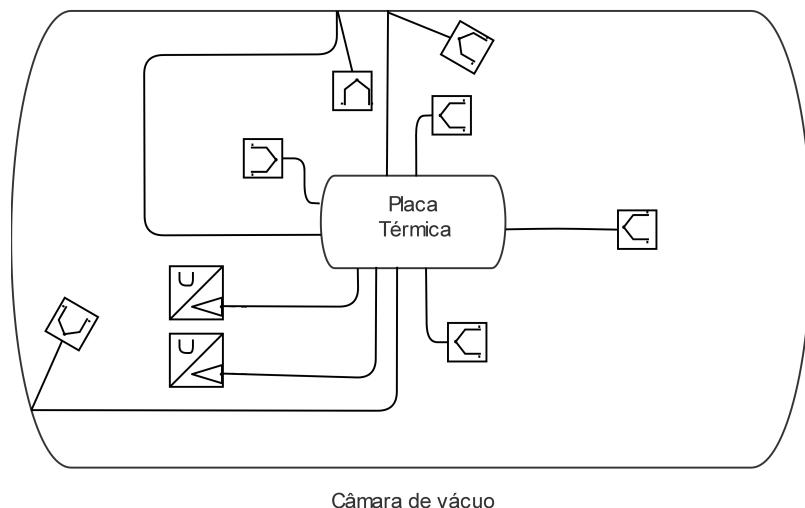


Figura 27 – Diagrama hidráulico dentro da câmara de termo-vácuo

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.

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 de que 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 foi escolhido como sendo 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. Mais informações estão no

A solução para o armazenamento do Nitrogênio será a instalação de um tanque comercial de uso próprio para armazenamento nitrogênio. A capacidade do tanque é de 1000 litros.

A forma de armazenamento do nitrogênio líquido é dado de maneira diferente ao gás, e será 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 demora mais para evaporar e se mantém por mais tempo em estado liquefeito. A capacidade do Dewar é de 250 litros.

O projeto exige o uso de válvulas para um controle preciso de fluxo de gás e líquido por meio de válvulas criogênicas, devido às propriedades do fluido, e exige ainda

válvulas de retenção para impedir fluxo reverso. As Válvulas selecionadas que atendem as circunstâncias do projeto foram do tipo globo, ambas da empresa Grofe, que são válvulas com dispositivos mecânicos aplicados em ambiente industrial para o controle de regulagem de vazão em tubulações. Seu mecanismo é formado por um disco móvel e um anel fixo em um corpo esférico, sendo utilizadas tanto para baixas, quanto para altas pressões.

As válvulas escolhidas atendem as especificações de temperatura, pressão e aplicação fornecidas pelo projeto. A válvula criogênica escolhida foi a *Globo VAP 74 AL*, sendo utilizadas seis dessas. E por fim, temos as quatro válvulas de retenção *Stop Check*. As Figuras 28 e 29 mostram a válvula criogênica e de retenção escolhidas, respectivamente.



Figura 28 – Válvula criogênica Globo VAP 74 AL  
Fonte: ([GROFE, 2021b](#)).



Figura 29 – Válvula de Retenção Stop Check  
Fonte: ([GROFE, 2021a](#)).

Para 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 alcance de pressão de 35 bar até 310 bar, o que é suficiente para permitir o uso do sistema fechado.

### 3.3.2 Dinâmica de Operação do Sistema de Alimentação

Para representar como a operação do sistema será feita de forma clara e intuitiva, o fluxograma da Fig. 30 foi feito. O sistema foi pensado para que 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. 30 mostra como o sistema funcionará dependendo da escolha do usuário ([CHISABAS et al., 2017](#)).

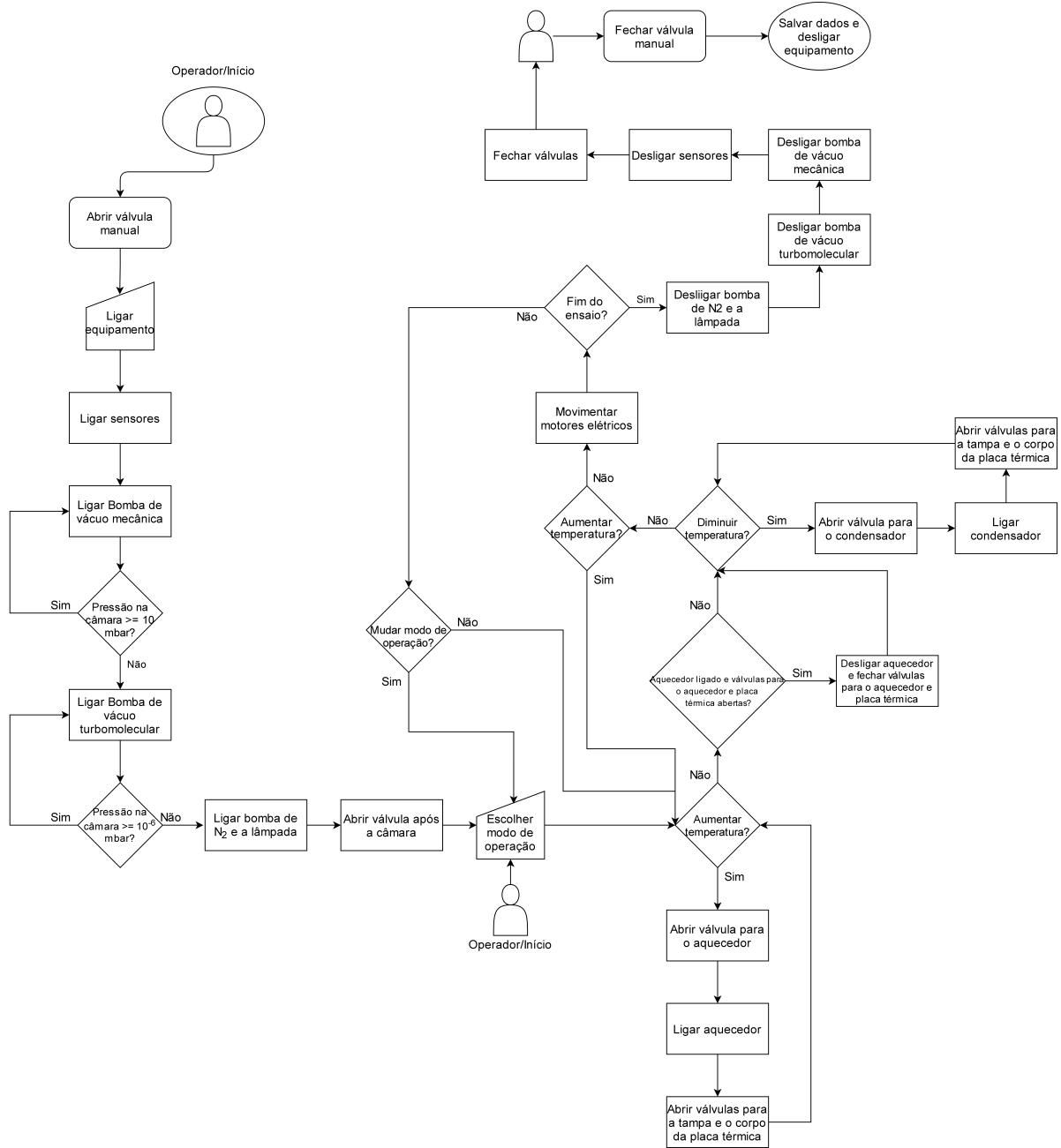


Figura 30 – Fluxograma de operação do Sistema de Alimentação.  
Fonte: Autoria Própria.

# 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 para 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. 31, em que é necessário um fluxo de radiação solar de  $1400 \text{ W/m}^2$  e potência de 274,89 W.

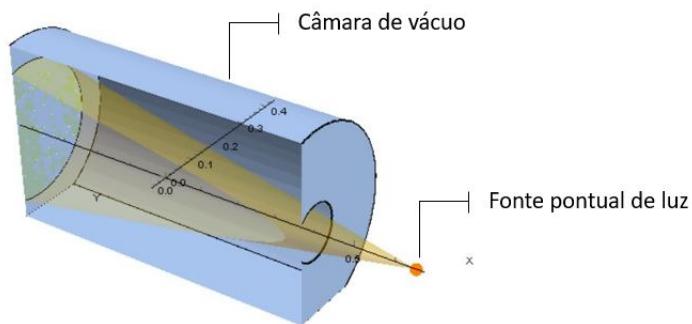


Figura 31 – CAD (do inglês, *Computer Aided Design*) Simulador Solar. Fonte: ([SIL-VEIRA, 2021](#))

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 mostrasse 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.

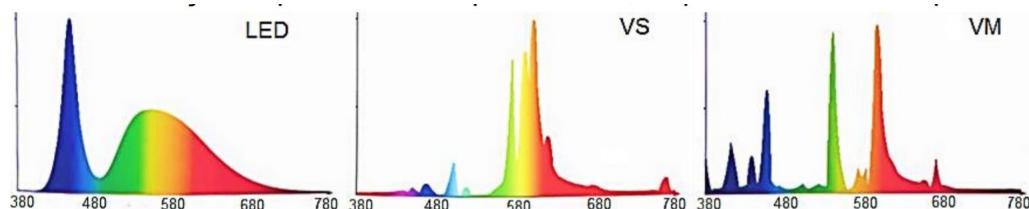


Figura 32 – Distribuição espectral dos diferentes tipos de lâmpadas.

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](#)).

Assim, 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 15 – 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](#)). Para isso, será utilizado o radiômetro "SI1146-M01-GMR" para que seja possível conectá-lo a placa Raspi definida pela equipe de eletrônica, mais informações sobre esse componente pode ser encontrado na seção de eletrônica.

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

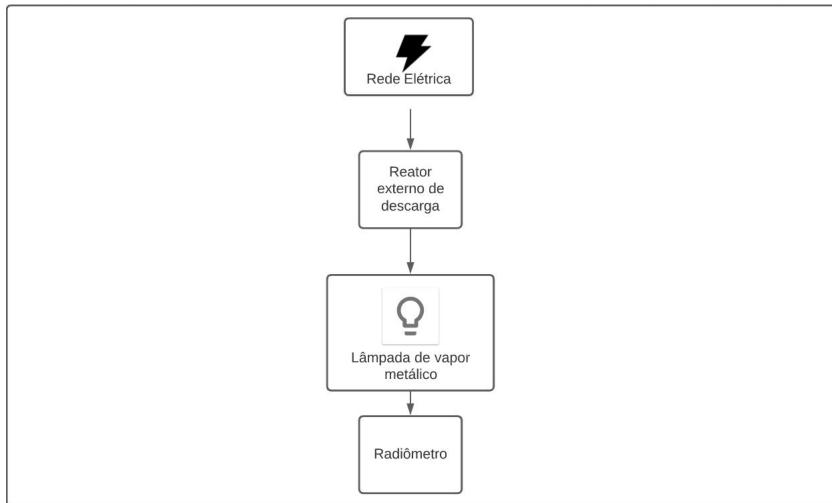


Figura 33 – Diagrama Simulador Solar. Fonte: Autoria Própria.

#### 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 não é necessário que o teste ocorra de forma ininterrupta.

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 dois métodos 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. Este método consiste em definir a corrente nominal do projeto para seleção do condutor do circuito de iluminação através da tabela 36.

Para o segundo método 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  $0,5mm^2$  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  $1,5mm^2$ .

Posto isto, os componentes utilizados no simulador solar estão listados na tabela 16.

Tabela 16 – 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

No sistema de alimentação, deverá ter equipamentos para esquentar e resfriar o nitrogênio até a temperatura ideal. Para isso, serão utilizados trocadores de calor para que seja permitida uma variação de temperatura na face do microssatélite entre 253,15 K e 333,15 K, além disso, esses deverão operar 2 horas, a depender do tempo da experimentação, conforme o requisito ENE-04.

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 chegue aos 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:

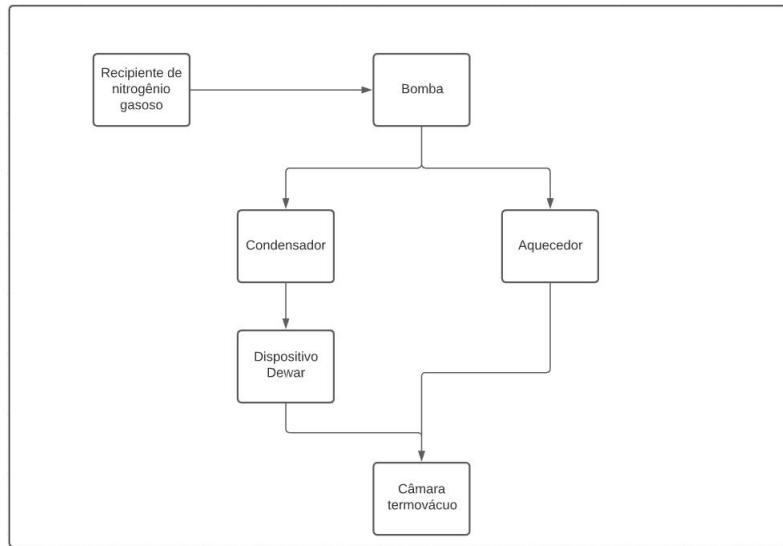


Figura 34 – Diagrama Trocadores de Calor. Fonte: Autoria Própria.

#### 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/m<sup>3</sup>, 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 o teste, 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, trocadores de calor. Já a segunda seção abastecerá o simulador e o sensor de radiação. Essa divisão pode ser observada na Fig. 35.

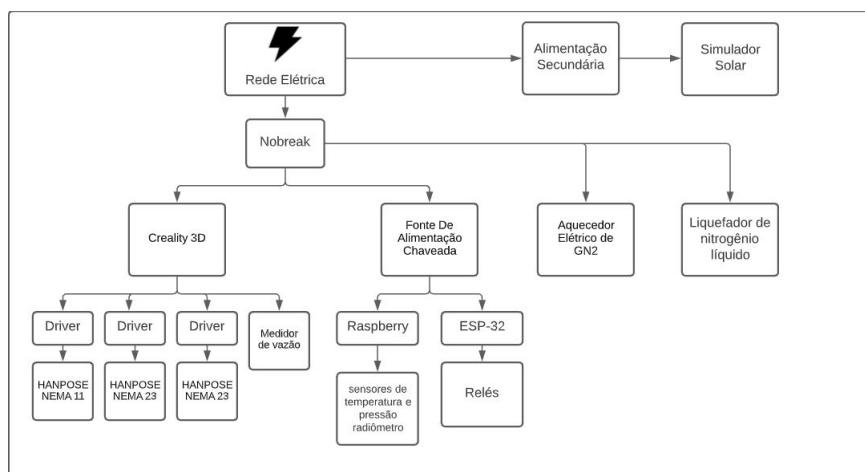


Figura 35 – Diagrama Parte Elétrica.  
Fonte: Autoria Própria.

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

demandará 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 *drivers* 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 usado 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* possui 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 micro-controlador 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 32V, 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. 17.

Tabela 17 – 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.

Para a corrente necessária para a bateria do equipamento foi realizado o cálculo presente na Eq. 4.3, considerando 30 minutos de autonomia.

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

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 métodos de análise:

- Primeiro método: Seção mínima estipulada para cada tipo de circuito, conforme a norma. Por exemplo: para cabos de força, a seção mínima do cabo é de  $2,5 \text{ mm}^2$ ;
- Segundo método: 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 18 – Seção mínima para os condutores.

Círculo	Potência (W)	Corrente de Projeto (A)	Método 1 ( $\text{mm}^2$ )	Método 2 ( $\text{mm}^2$ )	Seção Escolhida ( $\text{mm}^2$ )
Fonte chaveada	450	5	2,5	0,5	2,5
Fonte Creality 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  $16 \text{ mm}^2$  como pode ser vista na imagem abaixo:

Potência	No-break Innovation – 220 VAC						
	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 <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>	63 A	16 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>	
2 x 15,0 kVA = 30,0 kVA	100 A	35 mm <sup>2</sup>	25 mm <sup>2</sup>	80 A	25 mm <sup>2</sup>	25 mm <sup>2</sup>	
2 x 20,0 kVA = 40,0 kVA	125 A	50 mm <sup>2</sup>	25 mm <sup>2</sup>	125 A	50 mm <sup>2</sup>	25 mm <sup>2</sup>	
2 x 30,0 kVA = 60,0 kVA	200 A	95 mm <sup>2</sup>	50 mm <sup>2</sup>	175 A	95 mm <sup>2</sup>	50 mm <sup>2</sup>	

Potência	No-break Innovation – 220 VAC						
	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 <sup>2</sup>	6 mm <sup>2</sup>	32 A	6 mm <sup>2</sup>	6 mm <sup>2</sup>	
Innovation 15,0 kVA	50 A	10 mm <sup>2</sup>	10 mm <sup>2</sup>	40 A	10 mm <sup>2</sup>	10 mm <sup>2</sup>	
Innovation 20,0 kVA	63 A	16 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>	63 A	16 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>	
Innovation 30,0 kVA	100 A	35 mm <sup>2</sup>	25 mm <sup>2</sup>	80 A	25 mm <sup>2</sup>	25 mm <sup>2</sup>	

Figura 36 – 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. 19.

Tabela 19 – 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 como objetivo realizar a aquisição de dados provenientes dos sensores, realizar o controle de atuadores e comunicar com a Interface de Programação de Aplicativo (em inglês: API). A solução proposta para este sistema é baseada no desenvolvimento de um grande componente que pode ser dividido em dois: **Central de Controle e Sensoriamento** e **Sistema de Atuadores**. Nas seções seguintes é descrito de forma mais detalhada cada subsistema.

## 5.1 Central de Controle e Sensoriamento

A Central de Controle engloba os requisitos ELE-13, ELE-15 e ELE-16. Nesse sentido, a Central de Controle é responsável por interpretar dados sensoriais provenientes dos sensores, processar esses dados, comunicar com a API, e controlar o Sistema de Atuadores de forma a fornecer a rotina de funcionamento desejada. Ademais, recebe os comandos de *start* através da interface gráfica utilizada pelo usuário. Por fim, a central controla a temperatura dentro da câmara e monitora a pressão.

O Módulo de Sensoriamento encontra-se integrado a 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 (em inglês: Serial Peripheral Interface) e via I<sup>2</sup>C (em inglês: Inter-Integrated Circuit). 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. Ademais, os dados de temperatura são transmitidos por SPI. Sendo a interface *fullduplex* por realizar a transmissão e recepção ao mesmo tempo, além de suportar taxas de transmissão maiores em bits por segundo que a I<sup>2</sup>C. O protocolo I<sup>2</sup>C é utilizado para a transmissão dos dados do radiômetro.

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 naquele instante. 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. O esquemático da conexão entre ESP-32 e Raspberry pode ser observado na Fig. 37.

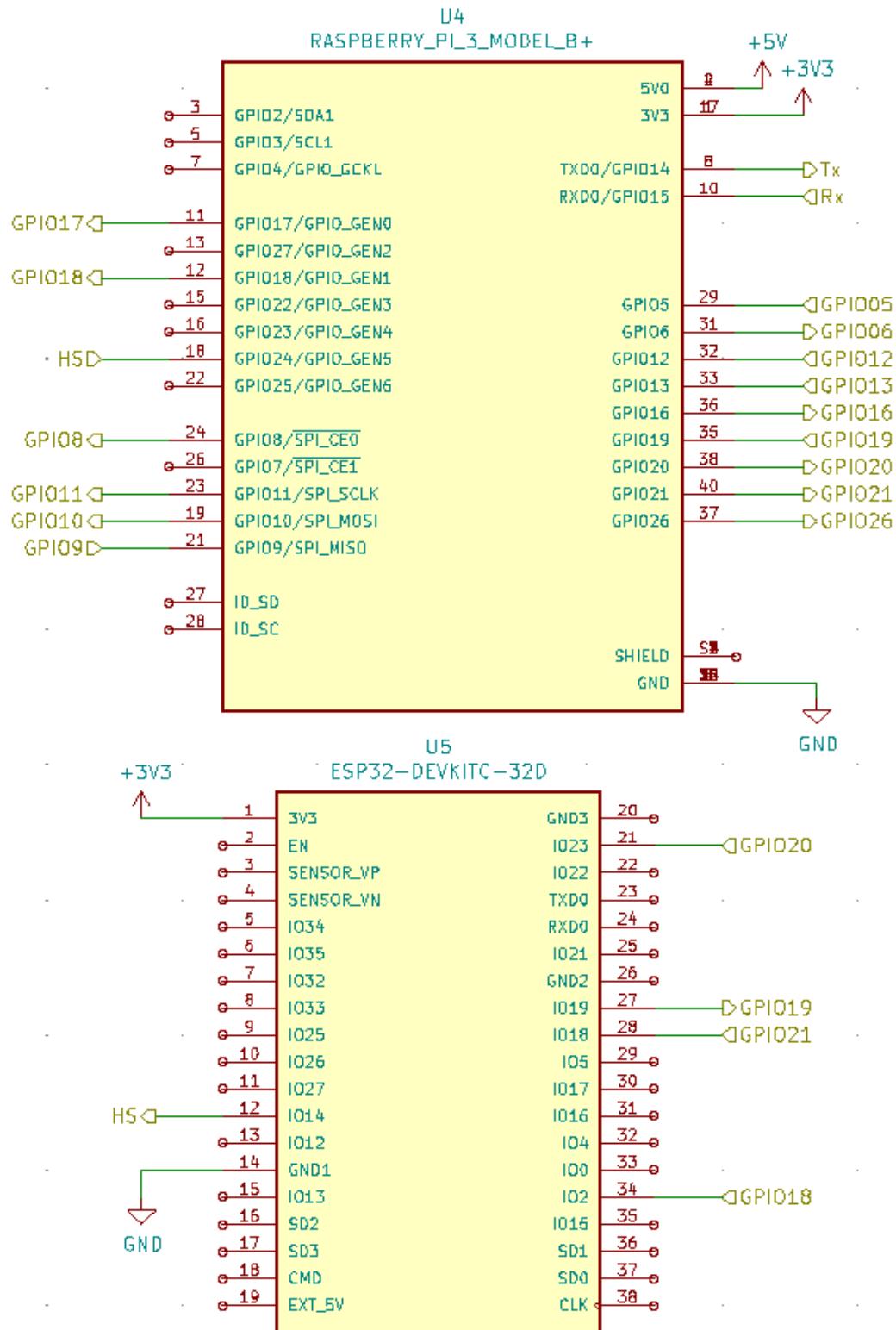


Figura 37 – Conexão entre a Raspberry PI e a Esp-32.  
Fonte: Autoria Própria.

O esquemático presente em (Fig. 37) foi utilizado para testes de software, como o analisado na Fig. 38, 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. 39, 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 38 – Teste de Comunicação na Raspberry Pi.  
Fonte: Autoria Própria.

```
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 39 – Teste de Comunicação na Esp32.

Fonte: Autoria Própria.

Além disso, no canal 0, conecta-se o módulo Max 31856, entretanto, como há uma grande quantidade de sensores, propõe-se o uso de um multiplexador analógico (ADG1607), que é um circuito lógico que comuta dados digitais de uma linha de entrada para diversas linhas de saída numa sequência temporal específica ([FLOYD, 2007](#)). 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.

### 5.1.1 Sensor de temperatura

No projeto se faz necessário o uso de sensores de temperaturas 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. Visto o requisito ELE-01, ELE-

02 e ELE03, é necessário um sensor com a temperatura de operação com range mínimo de 253,15 K a 333,15 K. Além disso, é necessário que o sensor suporte alto vácuo.

O teste que será realizado na câmara de vácuo tem uma grande dependência com a temperatura, dessa forma, é necessário que a aquisição dos dados de temperatura não tenha erros. Visto isso, é utilizado 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, é necessário 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 resquiamento.

O termopar é um dos sensores mais utilizados para esse tipo de aplicação e fornece medições em uma ampla faixa de temperatura ([HOLMAN, 2012](#); [CARVALHAIS, 2019](#)). O range de temperatura depende dos metais que o compõe. O termopar tipo T (cobre e contantán) realiza medições entre -250 °C e 350 °C com um limite padrão de erro superior a 1 °C ou 0,75 %, satisfazendo o range necessário para o projeto. Outros tipos de termopar, também, suprem as necessidades do projeto, no entanto, o limite superior é muito alto, não tendo essa necessidade, outro sim, quanto maior o range maior o erro.

O processo de aquisição das temperaturas por meio de termopar, faz necessário a utilização de um amplificador operacional, com o objetivo de amplificar o sinal elétrico gerado pelo termopar pois que este apresenta baixas amplitudes, após o estágio de amplificação, será necessário um processo de filtragem para reduzir os ruídos apresentados, além de ser necessário um conversor analógico digital (A/D) devido ao sinal ser analógico, isso demandará uma quantidade elevada de processamento por conta da elevada quantidade de sensores.

Por fim o dado de interesse é a temperatura, sendo necessário cálculos para converter os valores de tensão em graus Celsius. Diante da quantidade de processos necessários para se obter a temperatura e ainda o número de sensores, propõe-se o uso de um módulo condicionador de sinal baseado no CI MAX 31856, que deve ser utilizado individualmente conectado ao termopar. O CI MAX31856 é um conversor digital de alta precisão e pode ser utilizado para a digitalização dos sinais de qualquer tipo de termopar, este realiza a amplificação do sinal e conta com um filtro interno para rejeição de ruído nas frequências de linha, 50 e 60 Hz, realiza a conversão do sinal de tensão para valores de temperatura em graus Celsius, pouparando dessa forma uma alta quantidade de processamento da Raspberry, a temperatura pode ser obtida por meio da leitura de cada módulo no barramento SPI, o protocolo de comunicação utilizado pelo módulo condicionador de sinal.

### 5.1.2 Sensor de pressão

O sensor de pressão é necessário no projeto para monitorar a pressão dentro da câmara de vácuo e no tanque de LN2. O monitoramento da pressão da câmara de vácuo será feito com dois sensores, um de baixo vácuo e outro de alto vácuo. O sensor de baixo vácuo é um medidor de pressão de condutividade térmica do tipo Pirani, 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, o qual mede pressões entre  $10^9$  mbar e  $10^2$  mbar. Devido a faixa de pressão de operação da câmara de vácuo, é necessário a utilização destes dois diferentes tipos de sensores, já que não há disponibilidade de um único sensor que apresente uma faixa de eficiência que atenda a necessidade do projeto. Para realizar o monitoramento da pressão do tanque de LN2 pode ser utilizado o medidor de pressão de condutividade térmica. A escolha desses sensores foi baseada nos requisitos ELE-04, ELE-05 ELE-12.

De forma a se obter os dados de pressão, considerando os sensores do tipo Penning (PEG100) e do tipo Pirani (APG100), utiliza-se o dispositivo chamado de Edwards PGC201 Passive Gauge Controller (Controlador de Medidor Passivo de Edwards), que é um dispositivo universal para monitoramento de pressão de alto e baixo vácuo em sistemas complexos turbomoleculares, difusores, criogênicos, iônicos, aceleradores de partícula. Além de ser útil em processos de instrumentação analítica, derretimento, fornos de endurecimento. O dispositivo cobre o alcance de pressões atmosféricas até  $1.10^{-9}$  mbar, permitindo a conexão de até 2 sensores Pirani e um sensor Penning. Também, é alimentado por tensão AC de 110V ou 220V. Ademais, sua conexão com a RaspberryPi pode ser realizada através da interface RS232, que permite tanto controle de operações, quanto a aquisição de dados, por comandos seriais. Entretanto, a utilização do cabo serial RS232 para USB, que possui tensões em TTL, é necessária e, ainda, deve haver uma conversão USB para UART, de forma que a placa de circuito impresso comporte a conexão com a interface do dispositivo da forma correta. O dispositivo ainda possui conexão 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, relacionado ao sensor Penning, que podem ser feitas também através da interface RS232. O PGC201 é ilustrado na Fig. 40.

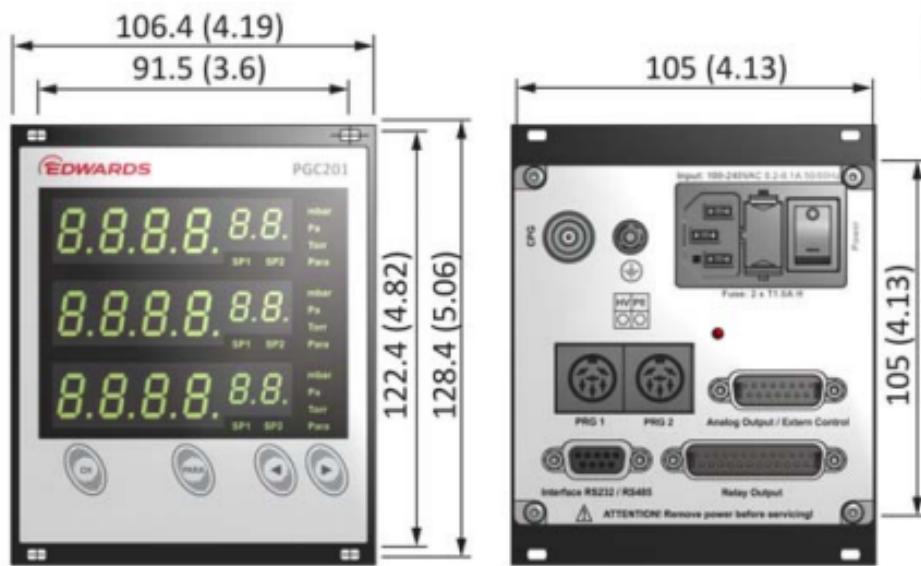


Figura 40 – Dispositivo Medidor de Pressão em Vácuo (PGC201).

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

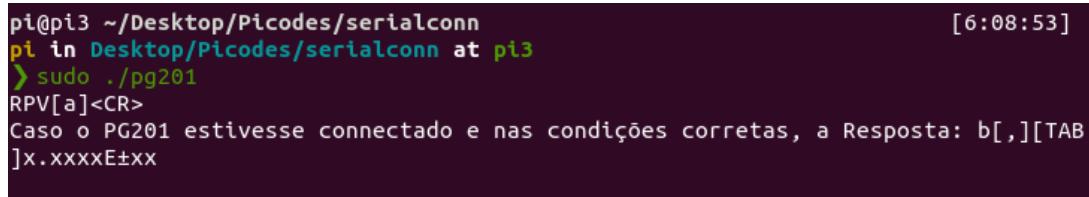
Na comunicação pela interface RS232, a Raspberry é o *host*, podendo mandar e receber dados, não há nenhum "handshake" em hardware para avisar quando o dispositivo está preparado para receber o bit, as mensagens são transferidas por strings ASCII e o dispositivo pode ser totalmente controlado pelo terminal através dos comandos seriais, incluindo os parâmetros de medição, de calibração, unidades em que as medições de pressão são mostradas. Dessa forma, através do datasheet do dispositivo, constata-se que alguns comandos e respostas importantes para definir os valores de pressão de alto vácuo e baixo vácuo, são os demonstrados pela Tab. 20.

Tabela 20 – 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 Mediçāo 2 = Valor medido > Alcance de Mediçāo 3 = Valor medido « Alcance de mediçāo = (Err Lo) 4 = Valor medido » Alcance de mediçāo = (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 transmití-los a partir da Raspberry, é necessário que seja realizado uma escrita no arquivo serial, também, deve-se configurar para que haja 1 bit de parada, Baudrate de 9600, 19200 ou 38400, que são os tolerados pelo dispositivo PGC201, sem bits de paridade ([EDWARDS LIMITED, 2017](#)). Além disso, a resposta vai indicar o valor da pressão nos sensores, erro no sensor ou erro em limites de pressão. A fim de testar como os comandos podem ser transmitidos e recebidos em C, aplicou-se um test 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.41), 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 conectado e nas condições corretas, a Resposta: b[,] [TAB
]x.xxxxE±xx
```

Figura 41 – Teste em Loopback.

Entretanto, para receber os dados do dispositivo, é necessário a conversão UART para nível USB, para que as tensões sejam mantidas nos níveis corretos. A Figura 42, define como deve ser feito a conexão entre RPI 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.

### 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, mínimo 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 SI1146-M01-GMR, Esse sensor utiliza o protocolo de comunicação I<sup>2</sup>C e sua tensão de trabalho é entre 1,71 V e 3,6 V.

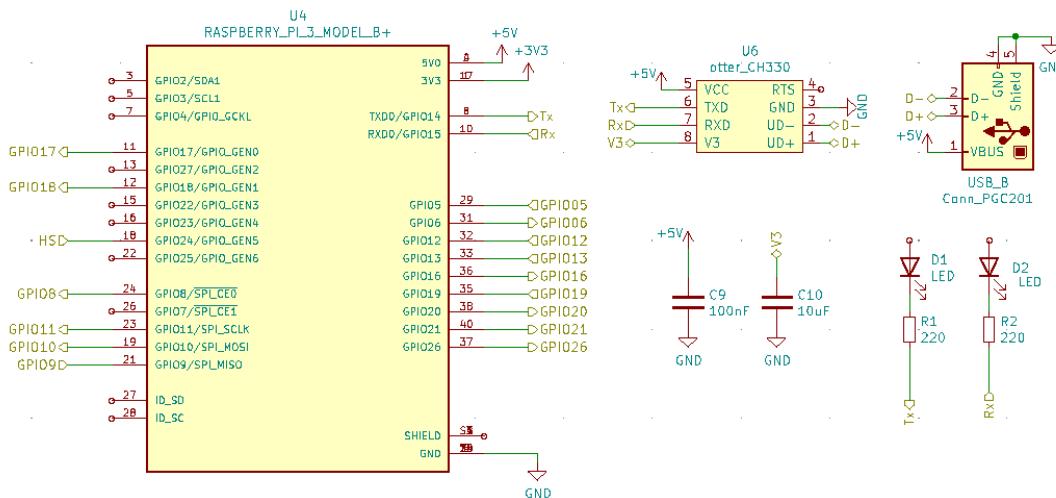


Figura 42 – Conexão Raspberry para Usb.

Fonte: Autoria Própria.

### 5.1.4 Medidor de vazão

O medidor de vazão será inserido na linha de entrada da câmara para medidor o volume de nitrogênio, tanto gasoso como líquido, que está sendo inserido na placa térmica, pois dessa forma, é possível relacionar o volume de N<sub>2</sub> com a temperatura, auxiliando no controle de temperatura. Foi escolhido o medidor de vazão tipo turbina série STV - L/G, pois mede a vazão tanto de gases e líquidos.

## 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 deixar o sistema mais modular, 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 K ±

3 K e permanecer nessa temperatura por aproximadamente 2 horas. Depois, é necessário abaixar 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 a 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. Será necessário 8 relés para fazer esses controles, dessa forma, foi escolhido um módulo relé 8 canis 24 V com Borne.

### 5.2.2 Atuador Elétrico

O projeto requer o uso de 5 atuadores elétricos para realizar o movimento mecânico de abertura e fechamento das válvulas. As válvulas que utilizam o atuador elétrico são: a válvula que antecede e a válvula que sucede o aquecedor, a válvula que antecede e a válvula que sucede o condensador e a válvula na saída da câmara de vácuo, de acordo com a Fig. 27.

### 5.2.3 Controlador dos motores

O sistema de controle dos motores, é composto por 3 drivers para motor de passo de 3A do modelo TB6560, que realizará o acionamento dos motores e pela ESP-32 que receberá o sinal de comando vindo do usuário por meio da Raspberry. Inicialmente os motores estarão freados, assim até que receba o comando do usuário o CubeSat permanecerá imóvel, quando o usuário acionar o sistema de movimento, este comando será recebido pela Raspberry e transmitido para a ESP, que por sua vez será responsável por gerar os sinais de comando para os drivers, controlando a direção e a velocidade de rotação.

## 5.3 Arquitetura eletrônica

Nas Figuras 43 e 44 estão apresentadas as conexões do subsistema eletrônico e as conexões da eletrônica com os outros subsistemas, respectivamente.

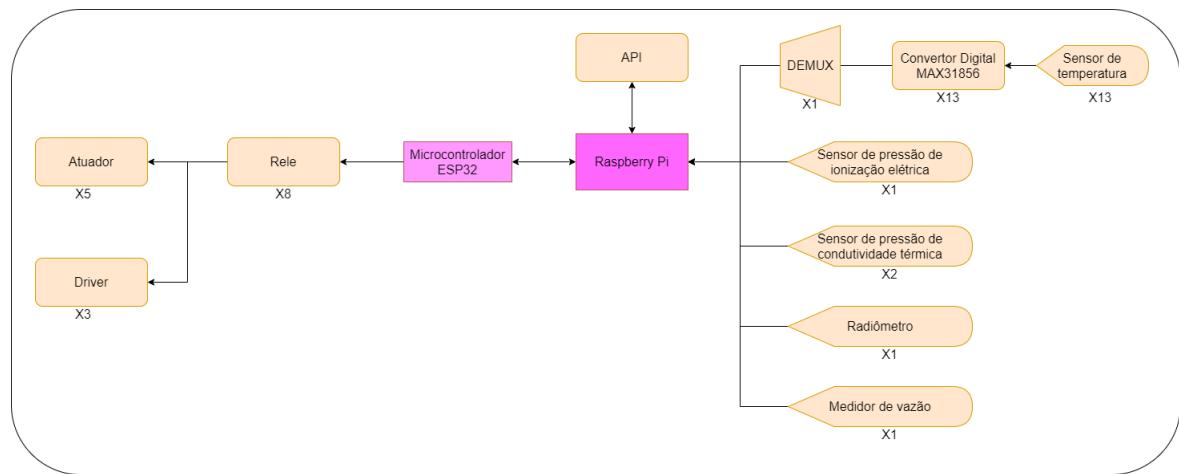


Figura 43 – Arquitetura da eletrônica

Fonte: Autoria Própria.

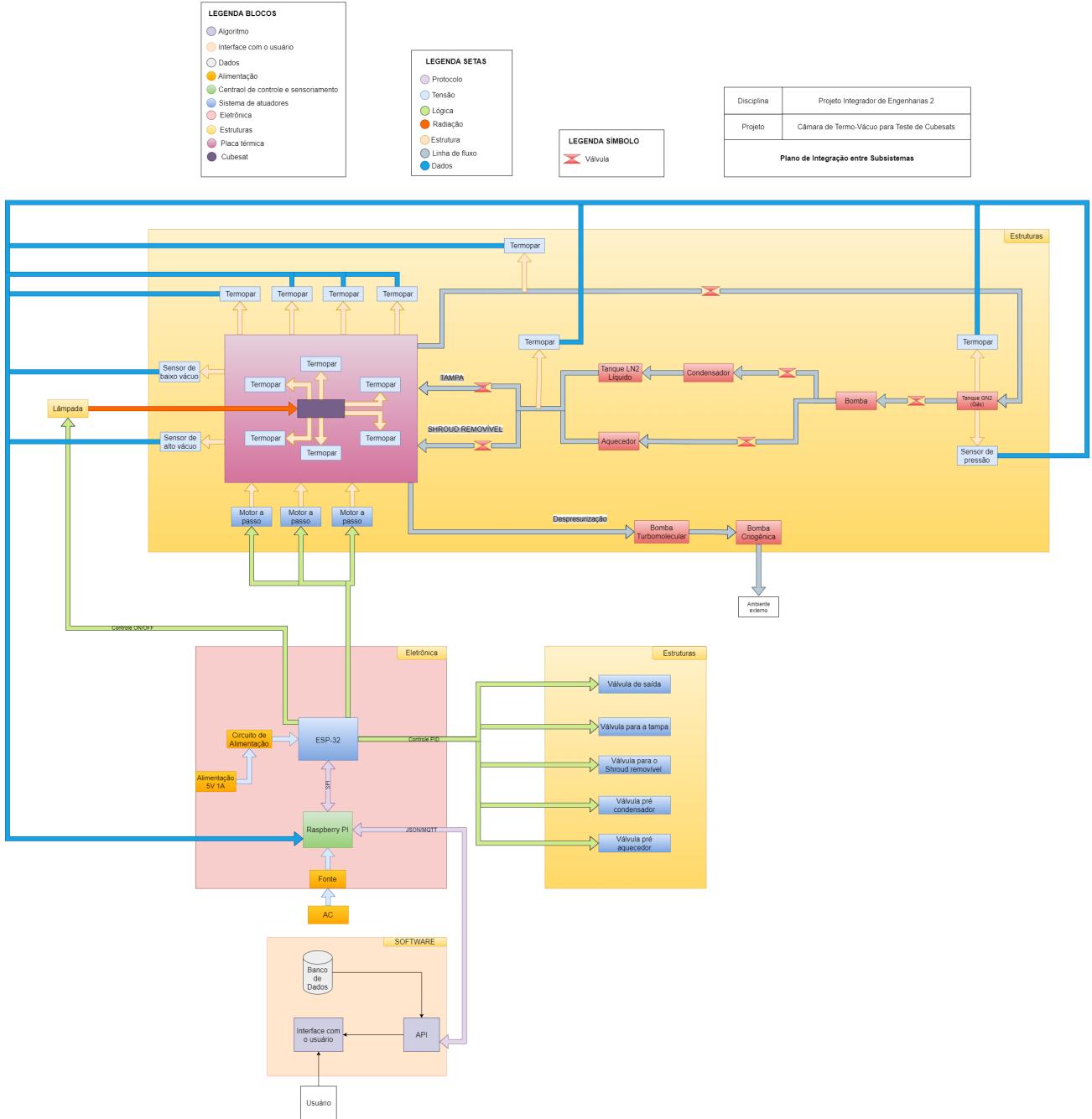


Figura 44 – Plano de integração entre subsistemas  
Fonte: Autoria Própria.

A unidade de *software* da eletrônica é dividida em *software* de controle e *software* de interface, suas funções estão descritas nas Tabs. 21 e 22, respectivamente. A Figura 45 mostra a arquitetura de *software* do sistema eletrônico baseados nos IDs das Tabs. 21 e 22.

Tabela 21 – 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

Tabela 22 – 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

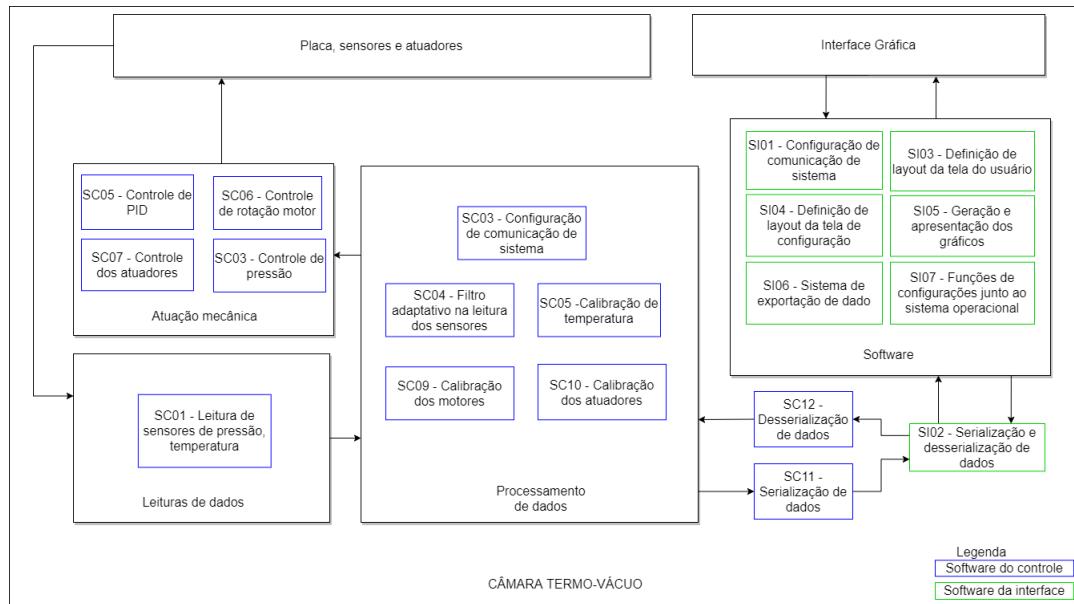


Figura 45 – Arquitetura de software da eletrônica  
Fonte: Autoria Própria.

# 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:

- Preparar a 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 e controlar a ativação da lâmpada solar.

## 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](#)).

### 6.1.1 Introdução

Nesta introdução serão abordados tópicos referentes a uma visão geral do produto, definindo seu propósito, escopo, definições, acrônimos, abreviações e referências.

#### 6.1.1.1 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.

### 6.1.1.2 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.

### 6.1.1.3 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.

## 6.1.2 Posicionamento

Para resumir o problema que este projeto busca resolver, são respondidas algumas informações, conforme seções abaixo.

### 6.1.2.1 Descrição do problema

Tabela 23 – Tabela sobre a descrição do problema.

<b>O problema de</b>	gerenciar e orquestrar os testes do CubeSat em uma câmara de termo-vácuo
<b>afeta</b>	pesquisadores
<b>tendo o impacto de</b>	otimização na análise de testes
<b>Para este, uma boa solução seria</b>	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

### 6.1.2.2 Sentença de Posição do Produto

Tabela 24 – Tabela sobre a posição do produto.

<b>Público alvo</b>	Pesquisadores
<b>Carência</b>	Algo que concentre os interesses e as ações principais na execução do teste de CubeSat
<b>Solução</b>	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
<b>Descrição da solução</b>	Um profissional pode, através da aplicação, preparar a 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.
<b>Diferenciais</b>	Robusto sistema de preparação, execução e controle da câmara termo-vácuo

### 6.1.3 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.

#### 6.1.3.1 Pesquisador

Tabela 25 – Tabela sobre o perfil dos usuários.

<b>Representante</b>	Pesquisador
<b>Descrição</b>	Pessoas inseridas no ambiente de pesquisa, focados em simulação de missões espaciais
<b>Tipo</b>	Usuário final de qualquer grau de conhecimento técnico
<b>Responsabilidades</b>	Iniciar os testes, inserir parâmetros para o teste e controlar ações na câmara
<b>Critérios de sucesso</b>	Concluir a simulação da missão com sucesso e visualizar os dados analíticos

#### 6.1.3.2 Ambiente do usuário

A aplicação tem como alvo dispositivos *web*, cujo sistema operacional possua um *browser* previamente instalado.

#### 6.1.3.3 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.

### 6.1.4 Visão geral do produto

#### 6.1.4.1 Perspectiva do Produto

A visão geral sobre a perspectiva geral do produto pode ser descrita na forma do Diagrama de Casos de Uso, mais detalhado posteriormente na seção ??.

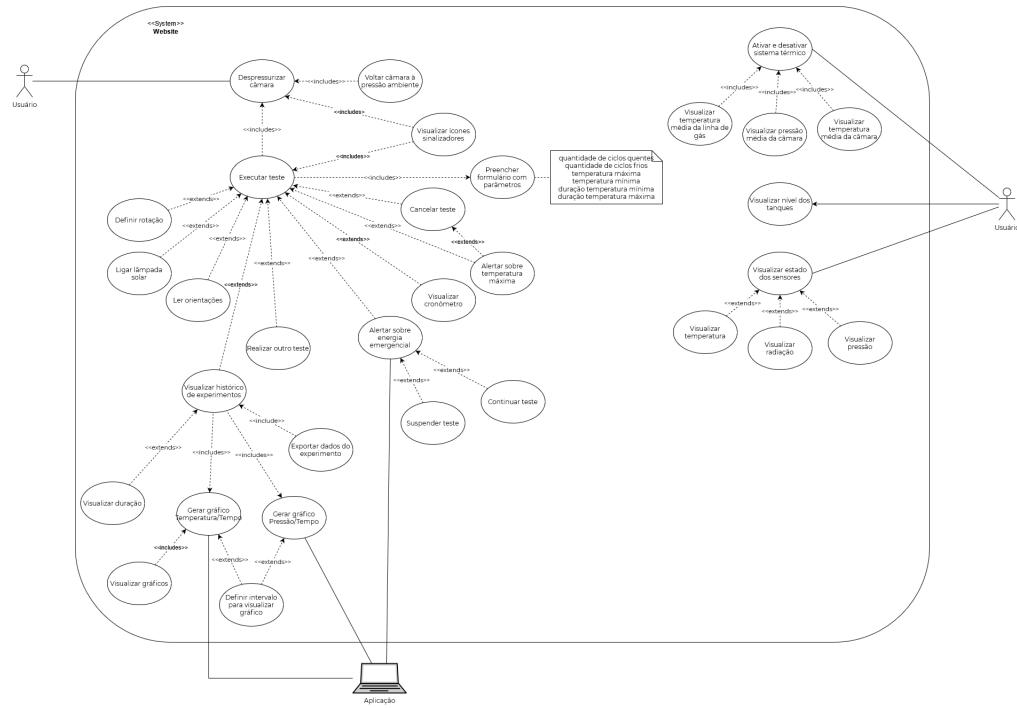


Figura 46 – Diagrama de uso sobre as principais interações do usuário com a aplicação.  
Fonte: Autoria Própria.

#### 6.1.4.2 Resumo das Capacidades

Tabela 26 – 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

#### 6.1.4.3 Suposições e Dependências

- 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 durante todo o experimento.

#### 6.1.4.4 Custos e Precificação

Os custos referentes ao projeto no escopo de Software, são descritos na Tab. 30.

#### 6.1.4.5 Licenciamento e Instalação

O produto de software será desenvolvido sob a forma de código livre, diante da plataforma Github <sup>1</sup> e terá como licença a AGPL-3.0 License (GNU, 2007).

### 6.1.5 Visão Geral dos Recursos do Produto

#### 6.1.5.1 Preparar a 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,

<sup>1</sup> <https://github.com/>

definindo também regras para a conclusão do teste.

#### 6.1.5.2 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.

#### 6.1.5.3 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.

#### 6.1.5.4 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.

### 6.1.6 Restrições

Nesta seção busca-se levantar as possíveis restrições do produto.

#### 6.1.6.1 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*.

#### 6.1.6.2 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.

### 6.1.7 Outros Requisitos do Produto

A lista de requisitos do produto de software pode ser visualizada na Tab. 5.

## 6.2 Arquitetura de Software

A seguir são expostas a modelagem da arquitetura, tecnologias envolvidas e suas devidas aplicações no projeto.

### 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](#)). O modelo Cliente-Servidor 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](#)). O modelo será utilizado então no projeto, pois permite a expansão dos serviços para outros computadores ou celulares, permitindo inclusive a troca do computador sem necessidade de *backup*. Para isso, o servidor do BackEnd será a Raspberry integrada com os sensores, e a aplicação gerará apenas o cliente.

### 6.2.2 Padrão Arquitetural MVC - Model-View-Controller

O padrão de código MVC permite uma implementação desse padrão permite uma manutenção mais fácil com o possível reaproveitamento de classes e partes do projeto, e consequentemente uma melhor organização, além de coesão e um baixo acoplamento, permitindo a diminuição de dependência entre módulos ([MEDIA, 2013](#)). No projeto, será utilizado no BackEnd, tornando o código fonte mais manutenível.

### 6.2.3 WebSocket

WebSocket é uma tecnologia que permite a comunicação bidirecional por canais *full-duplex* sobre um único soquete (TCP) Transmission Control Protocol. Essa tecnologia surgiu devido a um problema recorrente na *web*: a comunicação entre cliente e servidor era lenta e de alta latência.

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.

### 6.2.4 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. 43 e 44. Essa comunicação consistirá em

mensagens no formato JSON sobre os dados dos sensores a serem recebidos pelo módulo em NodeJS.

### 6.2.5 Arquitetura Geral

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

A Figura 47 expõe os módulos macro da aplicação, ou seja, o BackEnd, o banco de dados e o FrontEnd.

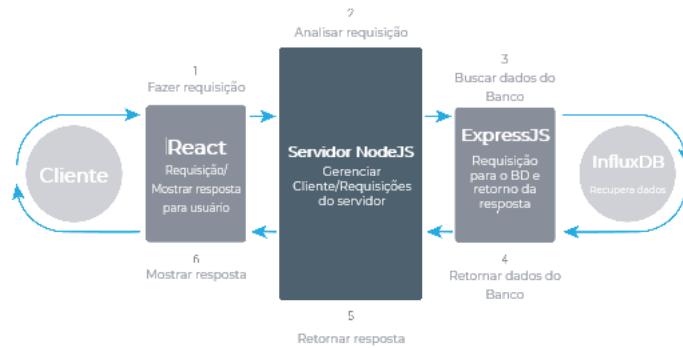


Figura 47 – Arquitetura da aplicação com os módulos macro de FrontEnd e BackEnd.

Fonte: Autoria Própria.

Já a figura 48 expõe a arquitetura geral com os módulos de integração, bem como as tecnologias utilizadas para que o desenvolvimento seja possível.

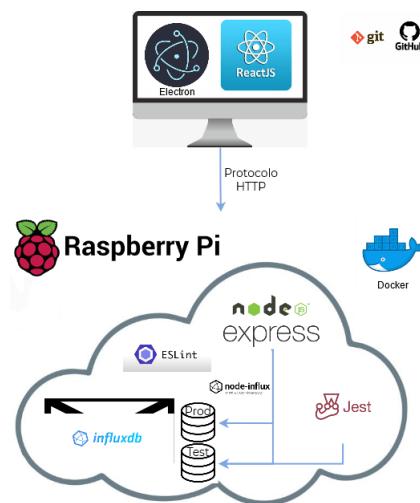


Figura 48 – Diagrama da arquitetura geral com as tecnologias a serem utilizadas.

Fonte: Autoria Própria.

Ela consiste em uma arquitetura Cliente-Servidor e 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 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.

### 6.2.6 Modelagem da aplicação

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

#### 6.2.6.1 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 utilizada a modelagem de casos de uso. Os atores do projeto são:

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

**Aplicação:** Aplicativo para monitoramento e visualização de dados de experimentos

Na figura 46 observa-se o diagrama de casos de uso do produto, com as interações principais da aplicação.

#### 6.2.6.2 Diagrama de Sequência

O diagrama de sequência é uma solução dinâmica de modelagem em UML bastante usada porque busca detalhar processos, ações, objetos e mensagens trocadas entre eles para desempenhar uma função antes do término do processo demandado (CHART, 2020b). O diagrama ilustrado na Fig. 49 busca relatar os principais processos e métodos demandados na aplicação.

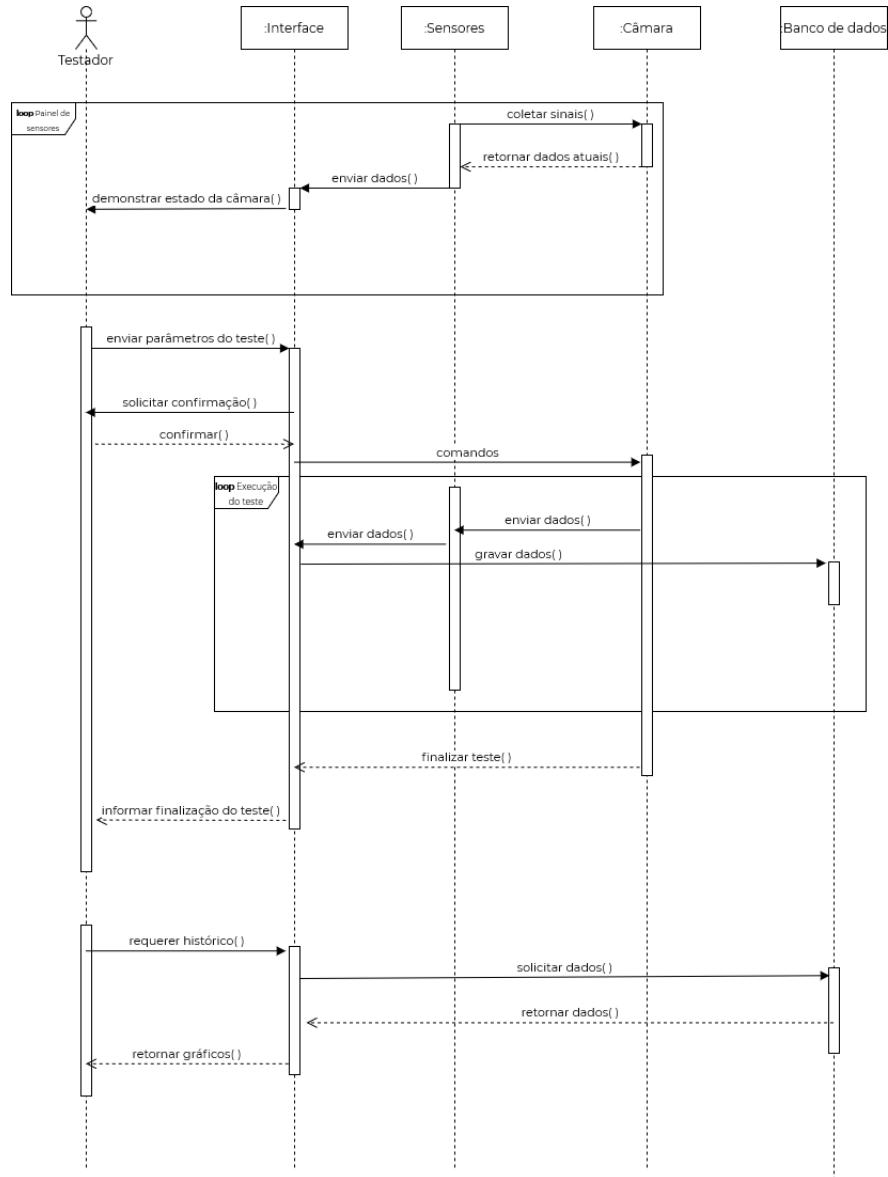


Figura 49 – Diagrama de sequência.

Fonte: Autoria Própria.

#### 6.2.6.3 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. 50, segue os padrões de desenvolvimento em NodeJS, em que os diretórios têm seus respectivos objetivos para organização da arquitetura:

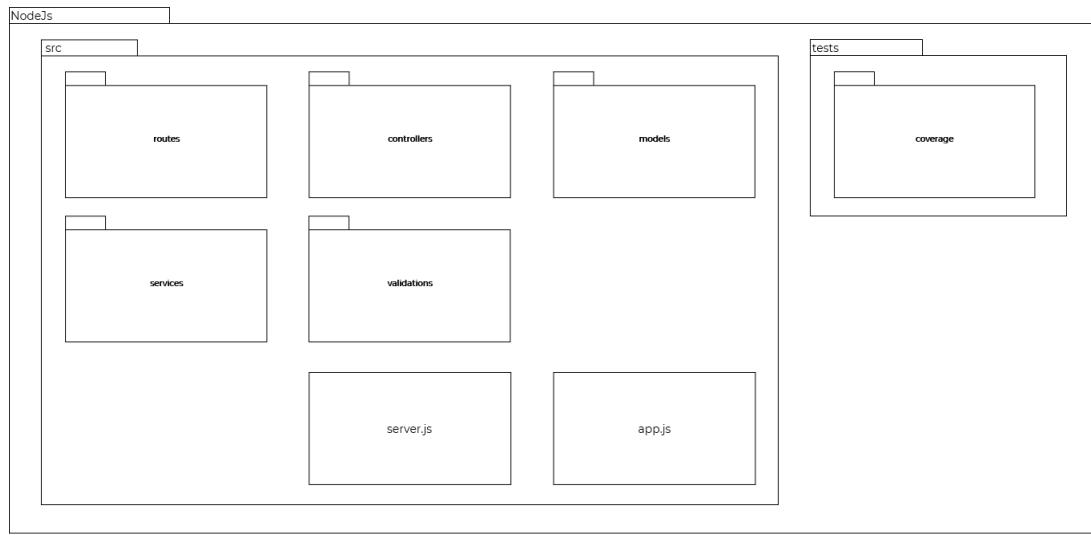


Figura 50 – Diagrama de pacotes referente ao Backend.

Fonte: Autoria Própria.

- `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. 52 segue os padrões de desenvolvimento em ReactJS:

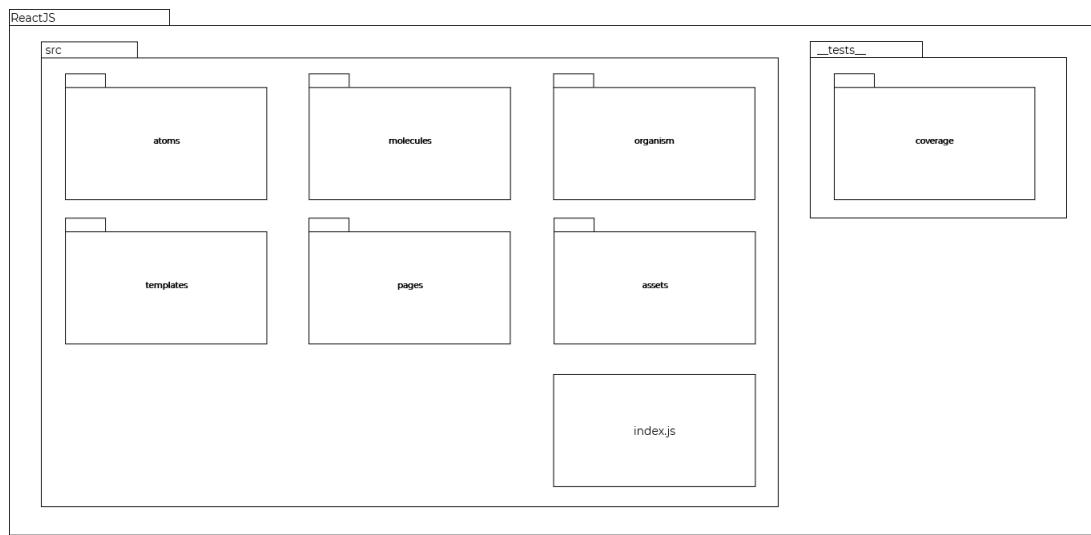


Figura 51 – Diagrama de pacotes referente ao FrontEnd.

Fonte: Autoria Própria.

- 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

#### 6.2.6.4 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 modelar suas classes, seus atributos, operações e relações entre objetos (CHART, 2020a). Com a sua modelagem prévia ao desenvolvimento, é possível manter o planejamento dos padrões de código e organização entre o grupo.

- TypeSensor:
  - idType
  - name

- Sensor:
  - ID (primary key)
  - type (foreign key)
  - data[]\*
    - \* time (primary key)
    - \* experiment (foreing key)
    - \* value
- TypeTest:
  - idType
  - name
- Experiment
  - ID (primary key)
  - name
  - date
  - type (foreign key)
  - parameters (temp min, temp max, ciclos, duração)

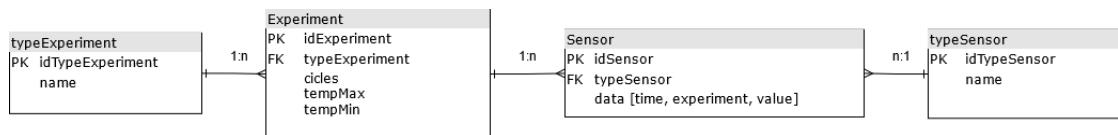


Figura 52 – Modelagem do banco de dados..

Fonte: Autoria Própria.

### 6.2.7 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.

#### 6.2.7.1 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 maior, 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.

#### 6.2.7.2 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.

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](#)).

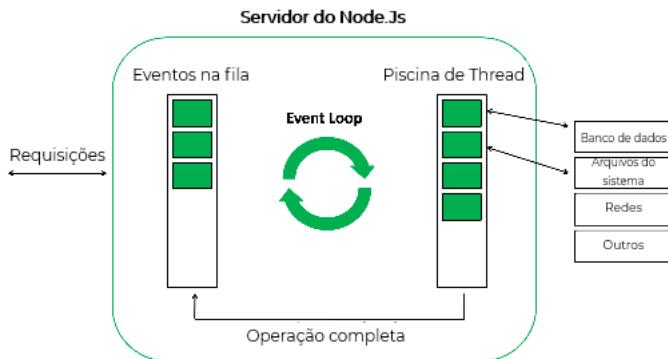


Figura 53 – Funcionamento da *Single Thread* do NodeJS.  
Fonte: Autoria Própria.

#### 6.2.7.2.1 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.

### 6.2.7.3 Jest

Jest é um *framework* de testes, utilizado amplamente de forma a facilitar uma melhora na qualidade do software. Ele permite uma fácil configuração, criação de testes chamados de *snapshots*, 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](#)).

### 6.2.7.4 Cypress

### 6.2.7.5 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 nossa preferência, melhorando a confiabilidade e manutenibilidade do código e consequentemente do projeto ([ESLINT, 2020](#)).

### 6.2.7.6 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](#)), justificado o uso no projeto pela necessidade de coleta de dados constantes, seja de temperatura, pressão ou radiação. Esse modelo contém, além do próprio banco de dados No-SQL, interface e disponibilização de gráficos, por meio da interface web Chronograf ([INFLUXDB, 2020](#)).

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](#)). Será utilizado um banco de dados No-SQL para otimizar a análise dos dados, visto que terão vários registros para manter a análise em tempo real. Assim, o InfluxDB foi escolhido para este fim, pois além de se tratar de um banco No-SQL voltado para séries temporais, possui a biblioteca node-influx para manipulação dos dados em NodeJS.

#### 6.2.7.6.1 No-SQL

Bancos de dados não relacionais são modelos que fogem dos modelos relacionais SQL consolidados e que aprendemos previamente. 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, por estarmos analisando dados com a variável tempo, nota-se a necessidade de adaptação a este tipo de tecnologia para melhor aproveitamento ao escopo do projeto.

#### 6.2.7.6.2 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, conseguiremos otimizar tanto o armazenamento quanto a utilização dos dados dos sensores em tempo real.

### 6.2.8 Automação de entrega de Software

#### 6.2.8.1 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](#)).

#### 6.2.8.2 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](#)). Parte deste fluxo é ilustrado na Fig. 54.

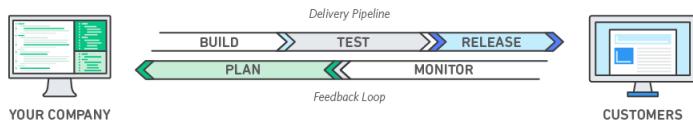


Figura 54 – Fluxo das práticas de Devops.

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

#### 6.2.8.3 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](#)).

### 6.3 Proposta de inovação

#### 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 testes, a fim de facilitar ao máximo o trabalho do usuário.

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. Como a aplicação demanda dados correntes em um período curto de tempo, o banco de dados de séries temporais é adequado 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](#)).

## 6.4 Arquitetura da Informação - Prototipagem

Para validar as funcionalidades da aplicação, foi desenvolvido um protótipo de baixa fidelidade utilizando o Draw<sup>2</sup>, 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* Figma<sup>3</sup>, 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. 55.



Figura 55 – Paleta de cores para a aplicação.

Fonte: (ADOBE, 2021).

A Figura 56 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.

<sup>2</sup> draw.io

<sup>3</sup> figma.com

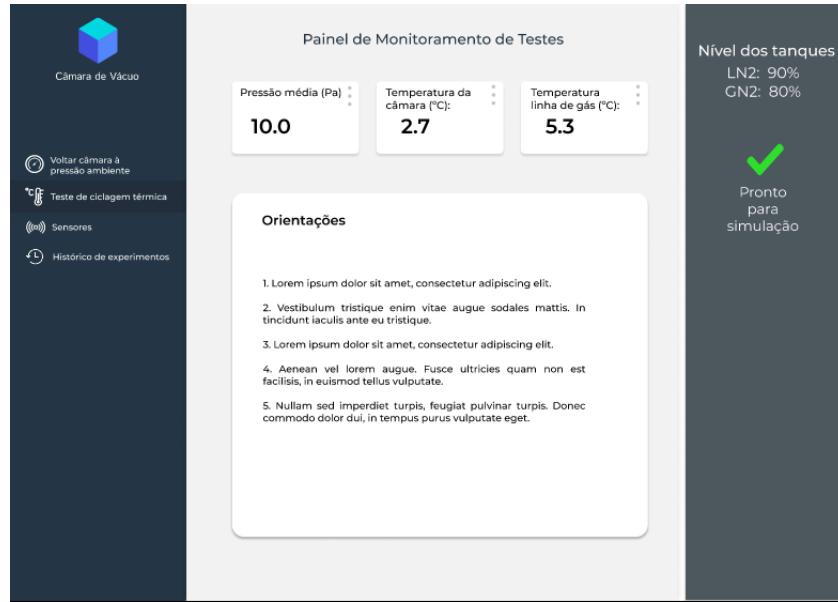


Figura 56 – Tela do Painel inicial.

Fonte: Autoria Própria.

A Figura 57 ilustra a tela em que o usuário define e insere os parâmetros a serem utilizados durante o teste.

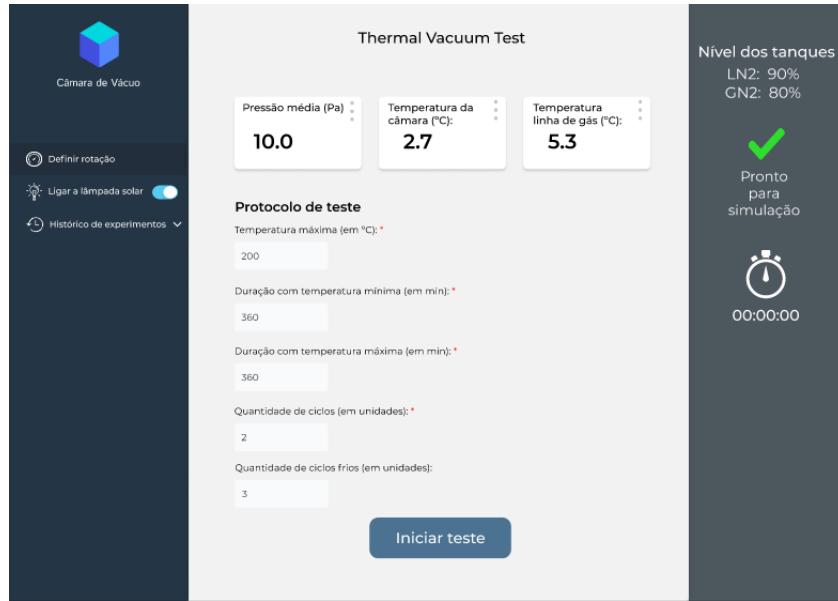


Figura 57 – Tela da definição dos parâmetros a serem realizados no teste.

Fonte: Autoria Própria.

A Figura 58 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.

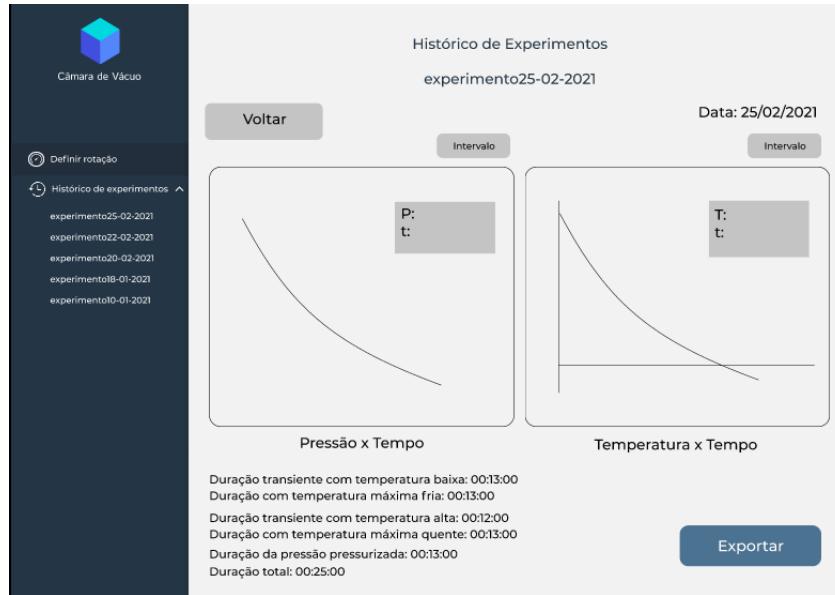


Figura 58 – Tela que disponibiliza o histórico dos experimentos realizados.

Fonte: Autoria Própria.

A Figura 59 permite que o usuário visualize os sensores instalados, bem como conferir sua conexão e dados qualitativos, como pressão, temperatura ou radiação.



Figura 59 – Tela que apresenta os sensores da câmara.

Fonte: Autoria Própria.

A versão mais atualizada do protótipo de alta fidelidade está disponível [clicando aqui](#).

## 7 Custos

As Tabelas 27, 28, 29 e 30 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\$ 159.909,17, mas, considerando uma margem de segurança de 20% para casos de fretes ou complicações, o valor total é de R\$ 191.891,00.

Tabela 27 – Custos da solução eletrônica.

ID	Componente	Modelo	Fornecedor	Quant.	Valor
EL1	Leitura de sensores e transmissão	Raspberry Pi 3B+	FelipeFlop	1	R\$ 419,90
EL2	Microcontrolador de atuadores	Esp32	Eletrogate	1	R\$ 79,90
EL3	Sensor de temperatura	Termopar tipo T	Alutal	13	5.395,00
EL4	Sensor de pressão	Pirani	Edwards	2	4.244,00
EL5	Sensor de pressão	Penning	Edwards	1	2.100,00
EL6	Módulo relé 8 canais 24 V	MDLRL24V	Americanas	1	R\$ 104,98
EL7	Amplificador de sinal	MAX31856	Eelectrimaker	13	R\$ 1.263,86
EL8	Conecotor USB fêmea	USB01B	Baú da Eletrônica	1	R\$ 1,70
EL9	Módulo conversor USS TTL serial	CH330	Eletrogate	1	R\$ 15,90
EL10	Medidor de vazão tipo turbina série SVT – L/G	Medidor de vazão tipo turbina série SVT – L/G	Contech	1	R\$ 325,79
<b>Total</b>					<b>R\$ 13.950,13</b>

Tabela 28 – 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	Manta de Teflon	Modelo Adesivo	Socd	5	R\$ 300,00
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	*
ES8	Válvulas de Retenção	RCHS37 RCHR38	Grofe	4	*
ES9	Motor para o suporte	HANPOSE 23HS7628	Banggood	2	R\$ 344,68
ES10	Bomba de N2	NB-45	Aero Specialties Inc	1	R\$ 25.112,90
ES11	Trava rosca	LOCTITE	Loja do Mecânico	1	R\$ 51,80
ES12	Chapa	Aço Inox	Dimetal	1	R\$ 120,00
ES13	Tarugo	Aço Inox	Dimetal	1	R\$ 185,00
Total					R\$ 26.976,76

Tabela 29 – 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 REFORÇADO DECORLUX	Eletroastro	1	R\$ 5,78
EN8	Nobreak Online	20kVA trifásico, 220V	CMCo-mandos	1	R\$ 47.850,00
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	Anluz	1	R\$ 11.988,00
EN13	Condensador de Nitrogênio	20l/dia 3kW	Allumcorp	1	R\$ 8.000,00
EN14	Quadro de distribuição	24 Disjuntores DIN Steck	Leroy Merlin	1	R\$ 92,90
EN15	Disjuntor circuito Lâmpada	EZ9F33104 - Schneider Electric	Loja Elétrica	1	R\$ 56,69
EN16	Disjuntor circuito Aquecedor	EZ9F13150 - Schneider Electric	Loja Schneider	1	R\$ 16,75
EN17	Disjuntor Circuito Condensador	EZ9F13120 - Schneider Electric	Loja Elétrica	1	R\$ 9,49
EN18	Disjuntor Circuito Fonte 1	EZ9F13106 - Schneider Electric	Loja Elétrica	1	R\$ 23,77
EN19	Disjuntor Circuito Fonte 2	EZ9F13106 - Schneider Electric	Loja Elétrica	1	R\$ 23,77
EN20	Disjuntores Nobreak 3 Pólos	EZ9F56363 - Schneider Electric	Multifast	2	R\$ 335,66
EN21	Disjuntor geral 3 Pólos	EZ9F33370-Schneider Electric	Melhor Industria	1	R\$ 167,01
EN22	Disjuntor de Proteção de Surto	CLAMPER VCL SLIM - 20kA - 275V / 20kA	Clamper	4	R\$ 159,60

EN23	Fio cabo flexível 16 mm <sup>2</sup>	Rolo vermelho com 25 metros - Megatron	Mercado Livre	1	R\$ 423,00
EN24	Fio cabo flexível 16 mm <sup>2</sup>	Rolo verde com 25 metros - Megatron	Mercado Livre	1	R\$ 423,00
EN25	Fio cabo flexível 16 mm <sup>2</sup>	Rolo azul com 25 metros - Megatron	Mercado Livre	1	R\$ 423,00
EN26	Fio cabo flexível 2,5 mm <sup>2</sup>	Preto com 25 metros - Lexman	Leroy Merlin	1	R\$ 69,90
EN27	Fio cabo flexível 2,5 mm <sup>2</sup>	Azul com 25 metros - Lexman	Leroy Merlin	1	R\$ 69,90
EN28	Cabo Flexível 10mm <sup>2</sup>	Preto com 10 metros - Lexman	Leroy Merlin	1	R\$ 129,90
EN29	Cabo Flexível 10mm <sup>2</sup>	Azul com 10 metros - Lexman	Leroy Merlin	1	R\$ 129,90
Total					R\$ 71.035,05

Tabela 30 – 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

## 8 Considerações

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 segundo Ponto de controle foi abordado as versões finais das soluções de cada área e a definição dos materiais. O orçamento de alguns componentes ainda não foram apresentados por conta do atraso de respostas dos fornecedores.

Ressaltando que o projeto está sendo desenvolvido em conjunto com o TCC citado anteriormente, então os cálculos de transferência de calor não estão contemplados no presente relatório por já ter sido feito no trabalho supracitado.

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 [F](#).

# 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 51.
- ABNT, A. B. D. N. T. Nbr 5410: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, p. 102, 2005. Citado na página 53.
- 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 52.
- ACTIONS, G. *Automate your workflow from idea to production*. 2020. <<https://github.com/features/actions>>. Acesso em: 24 mar. 2021. Citado na página 90.
- ADOBE. *Adobe Color*. 2021. <<https://color.adobe.com/pt/create/color-wheel>>. Acesso em: 26 fev. 2021. Citado na página 92.
- 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 16.
- ANTUNES, A. E. B. A. e L. M. D. Comportamento plástico do aço inoxidável austenítico em baixa temperatura. 2007. Citado na página 30.
- AWS, A. *O que significa integração contínua?* 2020. <<https://aws.amazon.com/pt/devops/continuous-integration/>>. Acesso em: 24 mar. 2021. Citado na página 90.
- AWS, A. *O que é NoSQL?* 2020. <<https://aws.amazon.com/pt/nosql/>>. Acesso em: 24 mar. 2021. Citado na página 90.
- 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 90 e 91.
- BASTOS, A. M. *Modelo Cliente-Servidor*. 2012. <<https://stack.desenvolvedor.expert/comecando/mindset.html>>. Acesso em: 24 mar. 2021. Citado na página 81.
- 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 89, 91 e 119.
- CARVALHAIS, D. C. Thermal modelling and experiments for small satellites. Universidade da Beira Interior, 2019. Citado na página 65.
- 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 86.
- 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 83.

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 16, 17 e 48.

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 60.

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 75.

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 89.

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 89 e 119.

DOCKER. *Accelerate how you build, share and run modern applications*. 2020. <<https://www.docker.com/>>. Acesso em: 24 mar. 2021. Citado na página 91.

DURÃO, O.; SHUCH, N. Nanosatc-br1 e 2. INPE/CRS, 2016. Citado na página 16.

EDWARDS LIMITED. *PCC201 PASSIVE GAUGE CONTROLLER INSTRUCTION MANUAL*. [S.l.], 2017. Disponível em: <<https://www.manualslib.com/products/Edwards-Pgc201-10982735.html>>. Citado 2 vezes nas páginas 67 e 68.

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 118.

ESLINT. *ESLint - Find and fix problems in your JavaScript code*. 2020. <<https://eslint.org/>>. Acesso em: 24 mar. 2021. Citado na página 89.

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 88.

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 18.

FLOYD, T. L. *Sistemas digitais: fundamentos e aplicações*. [S.l.]: Bookman, 2007. Citado na página 64.

GITHUB. *GitHub: Where the world builds software*. 2020. <<https://github.com/>>. Acesso em: 24 mar. 2021. Citado na página 90.

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 79.

GROFE. *Válvula de Retenção*. 2021. <<http://www.grofe.com.br/segmento/familia/retencao>>. Acesso em: 2 abril. 2021. Citado na página 47.

GROFE. Válvula Globo. 2021. <<http://www.grofe.com.br/produto/VALVULA-PAINEL-ALTA-PRESSAO-VAP-74-AL>>. Acesso em: 2 abril. 2021. Citado na página 47.

HOLMAN, J. P. *Experimental Methods for Engineers, Eighth Edition*. [S.l.]: McGraw-Hill, 2012. Citado na página 65.

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 89.

JEST. *Jest*. 2020. <<https://jestjs.io/pt-BR/>>. Acesso em: 24 mar. 2021. Citado na página 89.

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 52.

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 44.

LIBRARY, N. influx. *Node-influx - An InfluxDB client for Javascript*. 2020. <<https://node-influx.github.io/>>. Acesso em: 24 mar. 2021. Citado na página 90.

MEDIA, D. *Introdução ao Padrão MVC: Primeiros passos na Arquitetura MVC*. 2013. <<https://www.devmedia.com.br/introducao-ao-padrao-mvc/29308>>. Acesso em: 24 mar. 2021. Citado na página 81.

MIGON, H. *Análise de Séries Temporais*. 2020. <<http://www.dme.ufrj.br/dani/pdf/slidespartefrequentista.pdf>>. Acesso em: 24 mar. 2021. Citado na página 89.

MORENO, J. R. S. Degradação da resistência à corrosão de aços inoxidáveis duplex, devido ao envelhecimento em baixas temperaturas por tempos prolongados. 2004. Citado na página 30.

NASA. *Systems Engineering Handbook*. [S.l.]: Headquarters Washington, D.C., 2007. Citado na página 16.

NASA. *Open MCT - Open Source Mission Control Software*. 2021. <<https://nasa.github.io/openmct/>>. Acesso em: 24 fev. 2021. Citado 3 vezes nas páginas 77, 92 e 118.

NIST. *Propriedades Nitrogênio*. 2021. <<https://webbook.nist.gov/cgi/fluid.cgi?ID=C7727379&Action=Page>>. Acesso em: 3 abril. 2021. Citado 2 vezes nas páginas 45 e 130.

NODE. *About NodeJS*. 2020. <<https://nodejs.org/en/about/>>. Acesso em: 24 mar. 2021. Citado na página 88.

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 88.

- RASPBERRY, F. *What is a Raspberry Pi?* 2020. <[https://www.raspberrypi.org/documentation/faqs/?page\\_id=8#introduction](https://www.raspberrypi.org/documentation/faqs/?page_id=8#introduction)>. Acesso em: 24 mar. 2021. Citado na página 81.
- REACT. *React - Uma biblioteca Javascript para criar interfaces de usuário.* 2020. <<https://pt-br.reactjs.org/>>. Acesso em: 24 mar. 2021. Citado na página 88.
- 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 51.
- 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 51.
- 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 118.
- SIDACOINOX. *Tabela de Propriedades.* 2021. <<http://sidacoinox.com.br/tabela-de-propriedades>>. Acesso em: 2 abril. 2021. Citado na página 29.
- SILVA, H.; PERONDI, L. Testes ambientais e verificação de requisitos em projetos da Área espacial. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2011. Citado na página 17.
- SILVEIRA, M. Projeto estrutural de uma câmara de simulação espacial. Monografia - Universidade de Brasília, DF, 2021. Citado 4 vezes nas páginas 3, 17, 19 e 50.
- TOORIAN, A. Cubesat design specification. ITAR, 2004. Citado na página 15.
- TWIGGS, R. *Small satellite: past, present and future.* [S.l.]: El Segundo, CA: The Aerospace Press, 2008. 151-173 p. Citado na página 15.
- 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 81.
- UFSC, R. de C. *Arquitetura Cliente X Servidor.* 2012. <<http://www.inf.ufsc.br/~j.barreto/cca/internet/redesde.htm>>. Acesso em: 24 mar. 2021. Citado na página 81.
- VILELA, T.; BRANDÃO, A.; LEONARDI, R. Cubesats e oportunidades para o setor espacial brasileiro. Contribuições do CGEE ao SNCTI, 2016. Citado na página 15.
- VILELA, T. et al. Towards the thousandth cubesat: A statistical overview. International Journal of Aerospace Engineering, 2019. Citado na página 18.
- WHITMORE, S.; CHANDLER, S. Engineering model for self-pressurizing saturated n2o propellant feed systems. 2010. Citado na página 44.

# Apêndices



# APÊNDICE A – Desenhos Técnicos

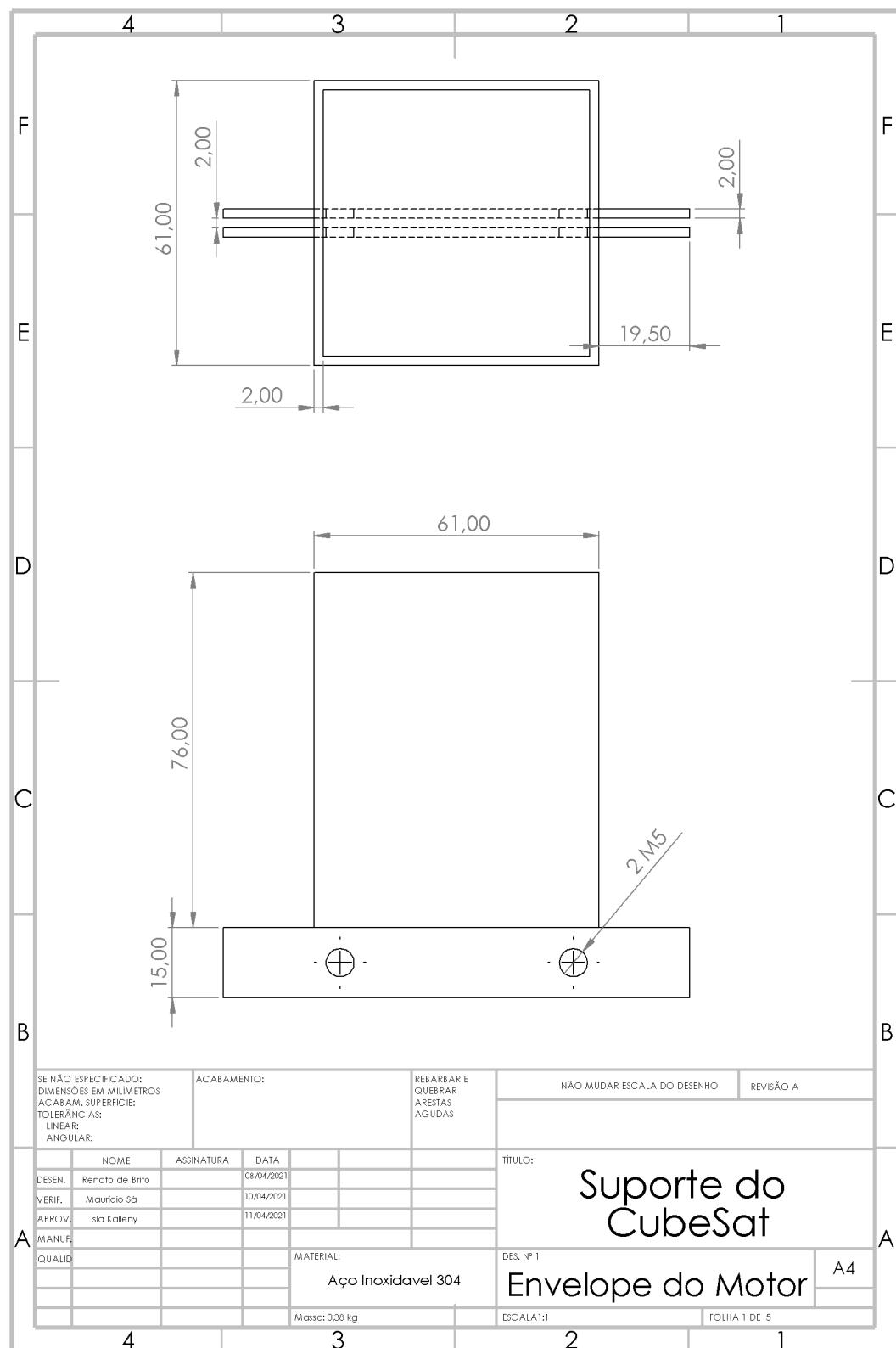


Figura 60 – Envelope do motor.

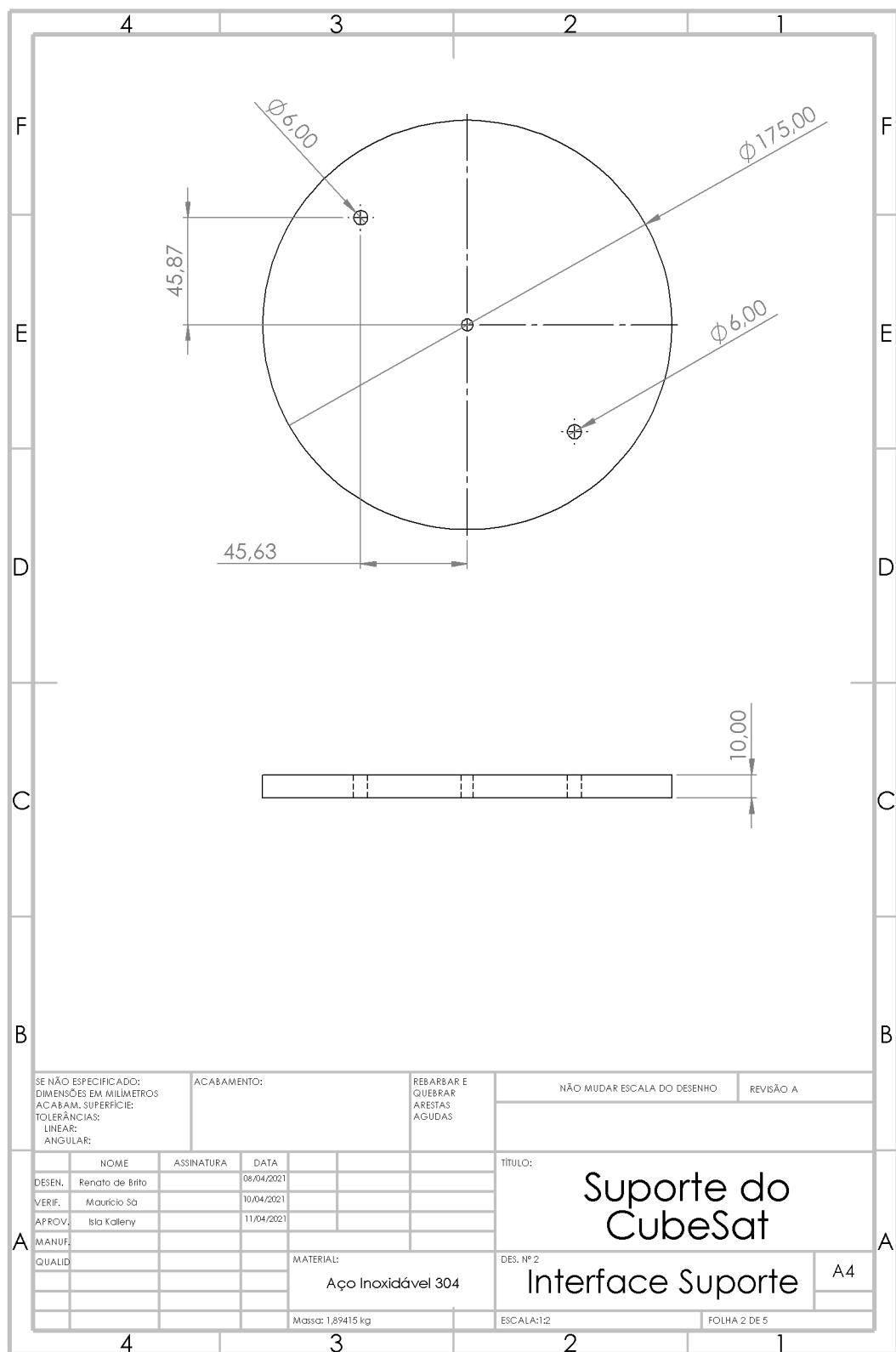


Figura 61 – Interface entre o motor e o Cubesat.

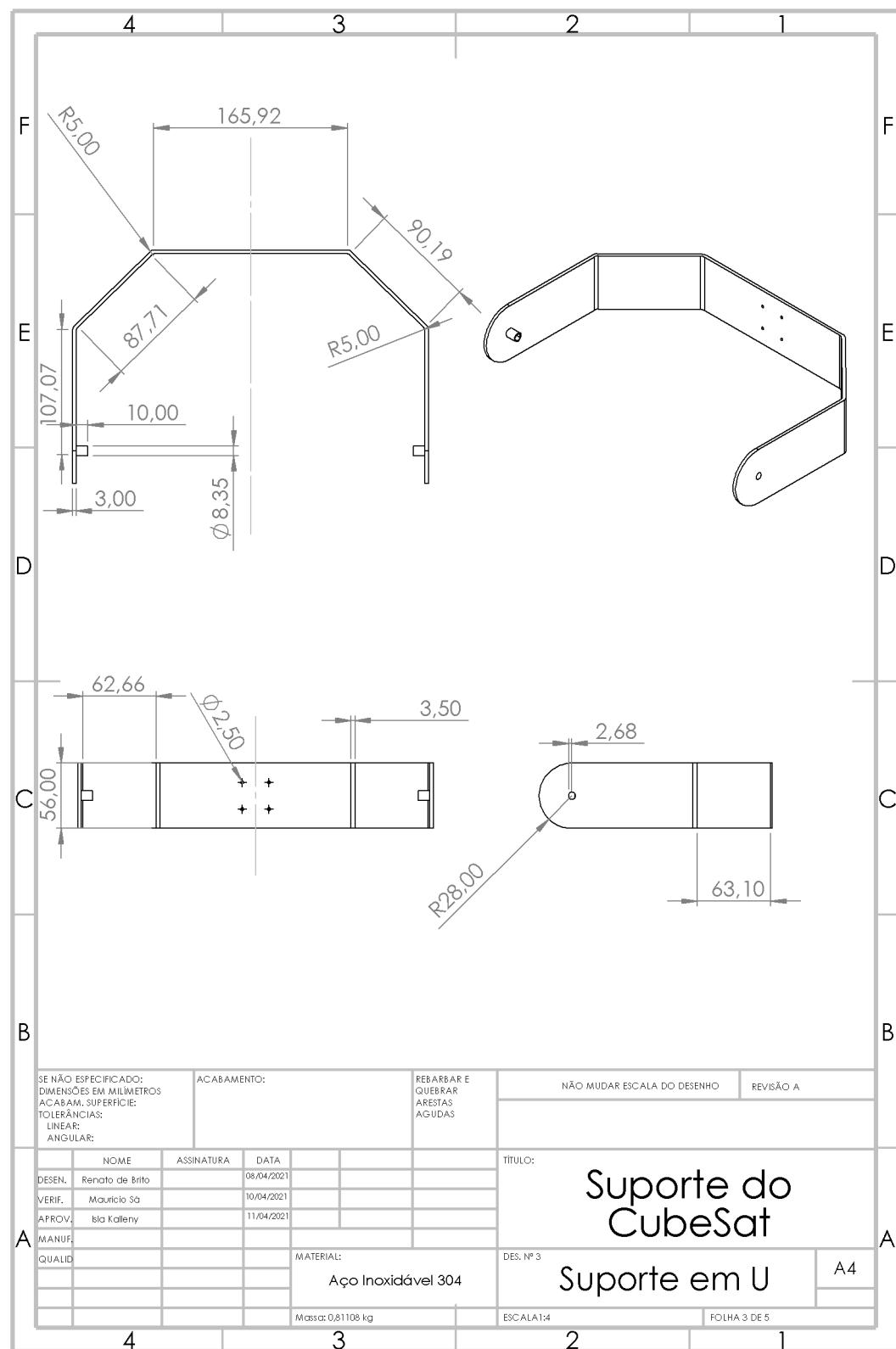


Figura 62 – Suporte em U.

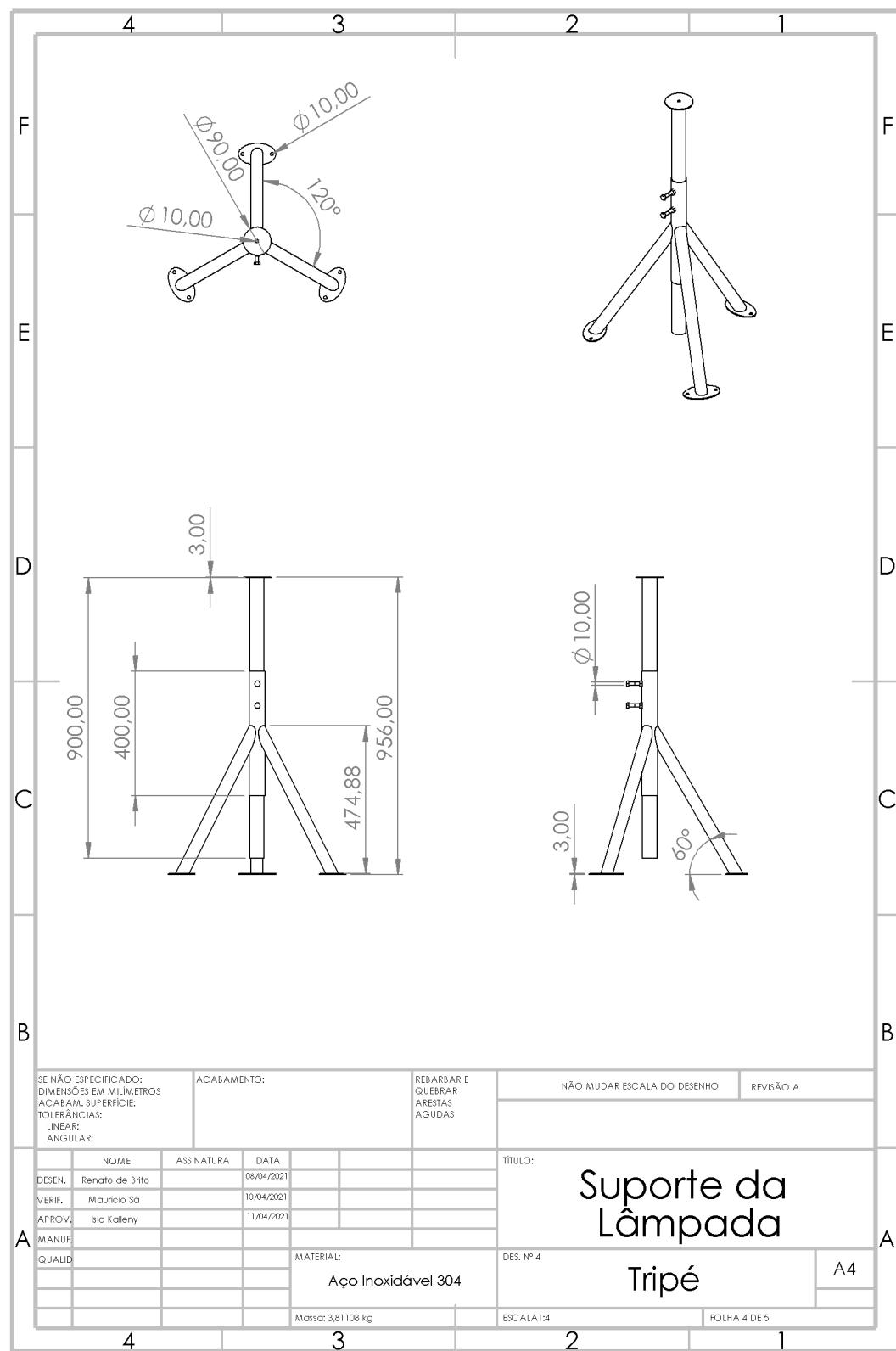


Figura 63 – Tripé.

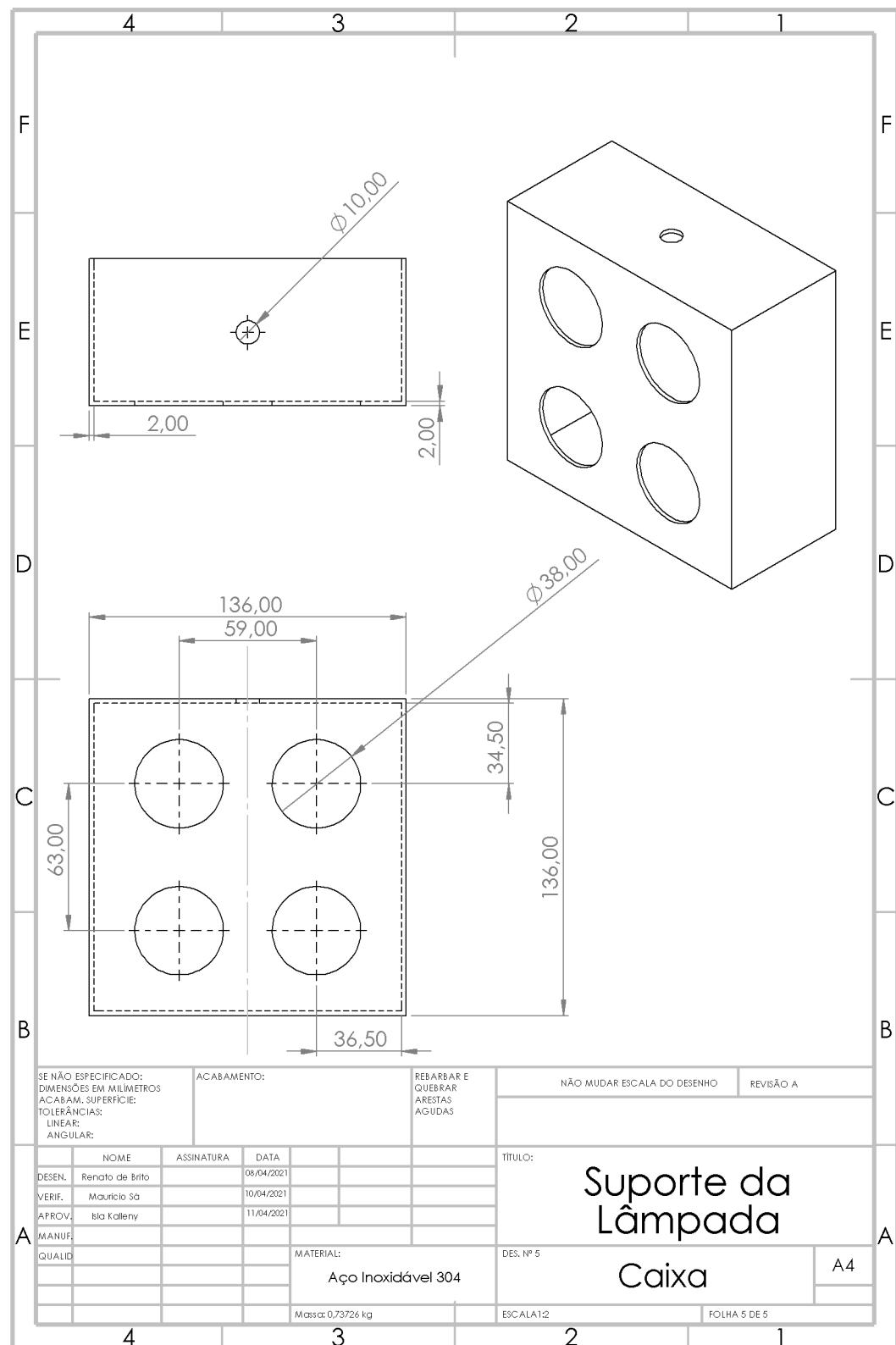


Figura 64 – Caixa para as lâmpadas.

# APÊNDICE B – Diagramas dos Modos de Funcionamento

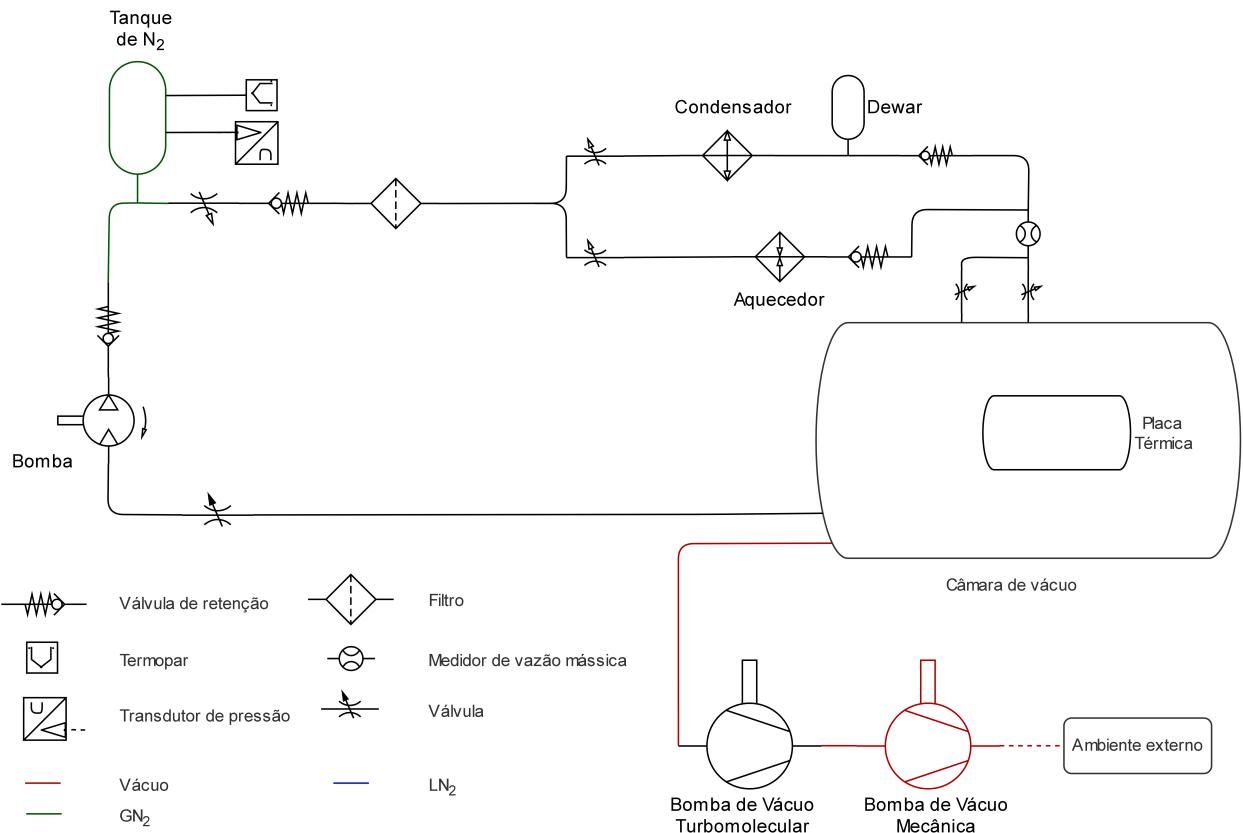


Figura 65 – Diagrama do sistema de alimentação durante a obtenção de vácuo

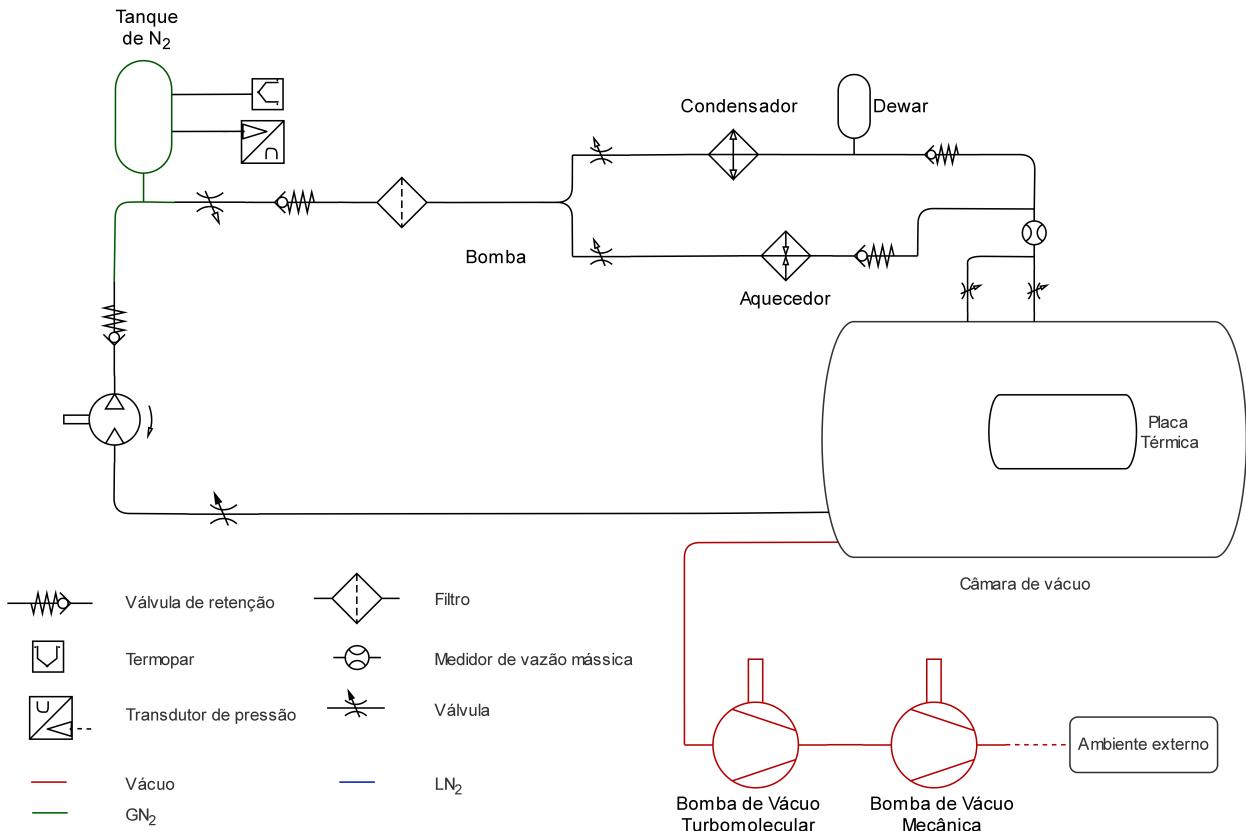


Figura 66 – Diagrama do sistema de alimentação durante a obtenção de alto vácuo

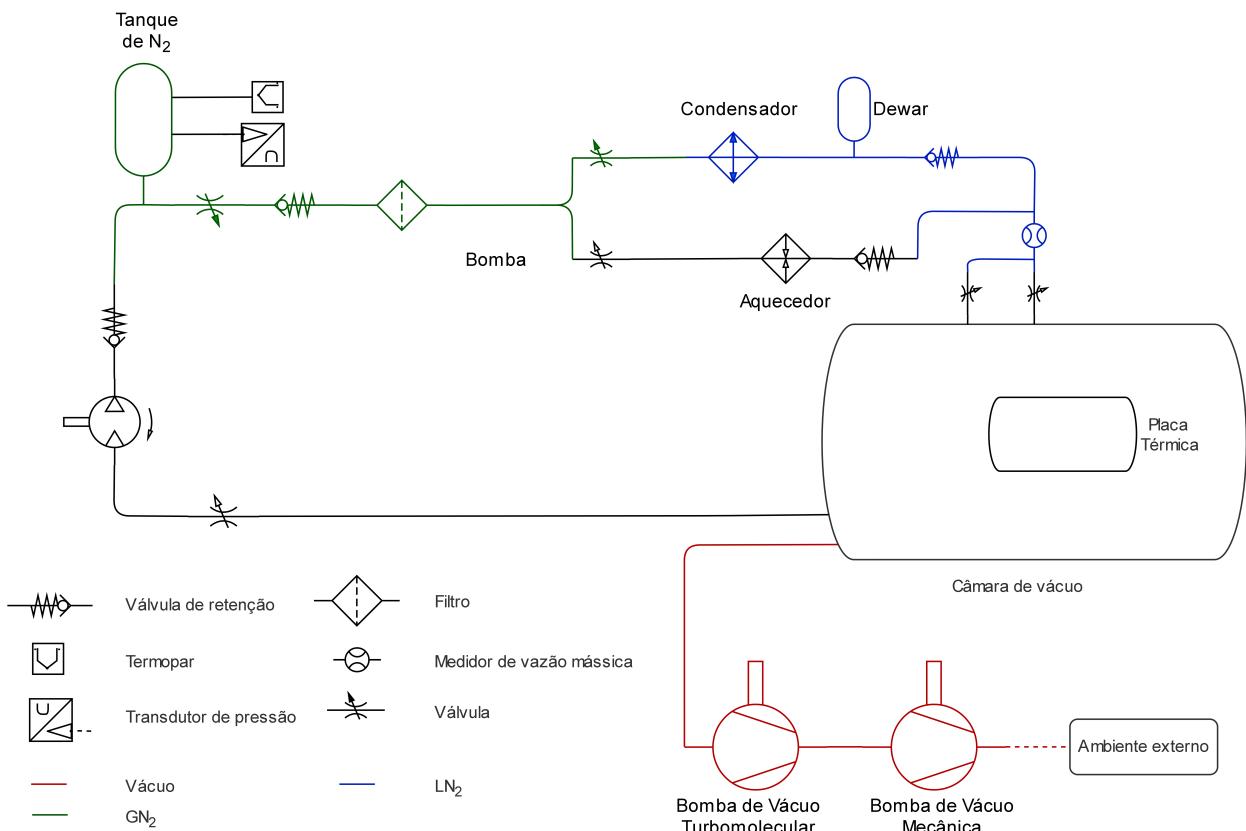


Figura 67 – Diagrama do sistema de alimentação durante a obtenção de nitrogênio líquido

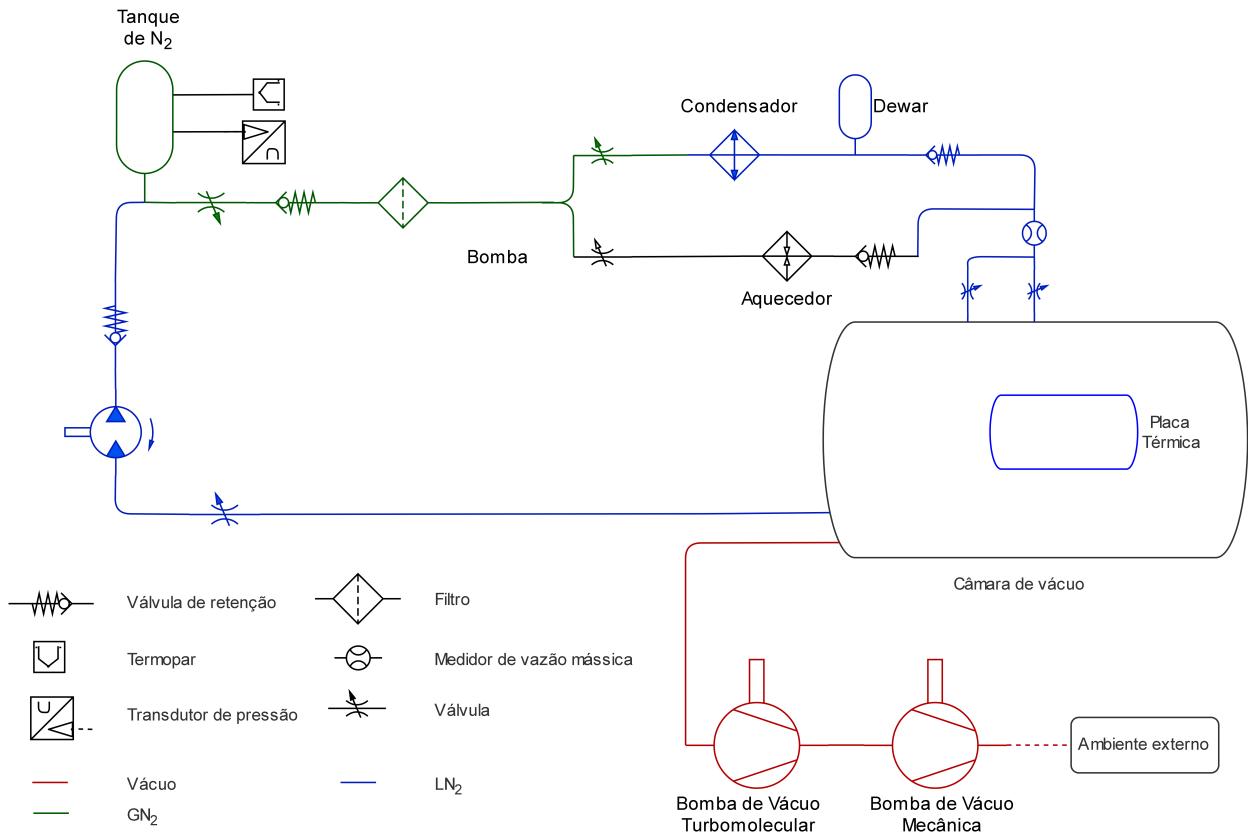


Figura 68 – Diagrama do sistema de alimentação durante o fornecimento de nitrogênio líquido

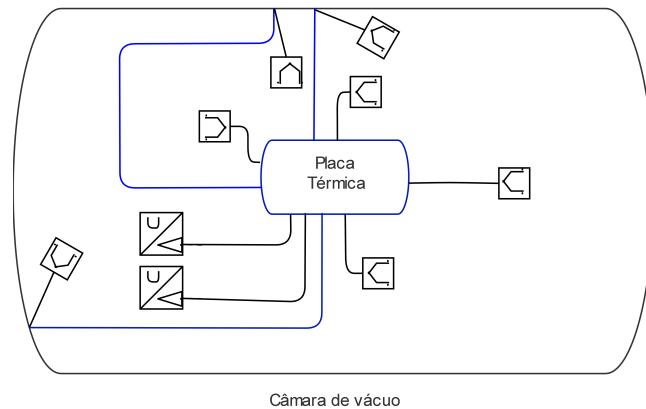


Figura 69 – Diagrama do sistema de alimentação dentro da câmara de termo-vácuo durante o fornecimento de nitrogênio líquido

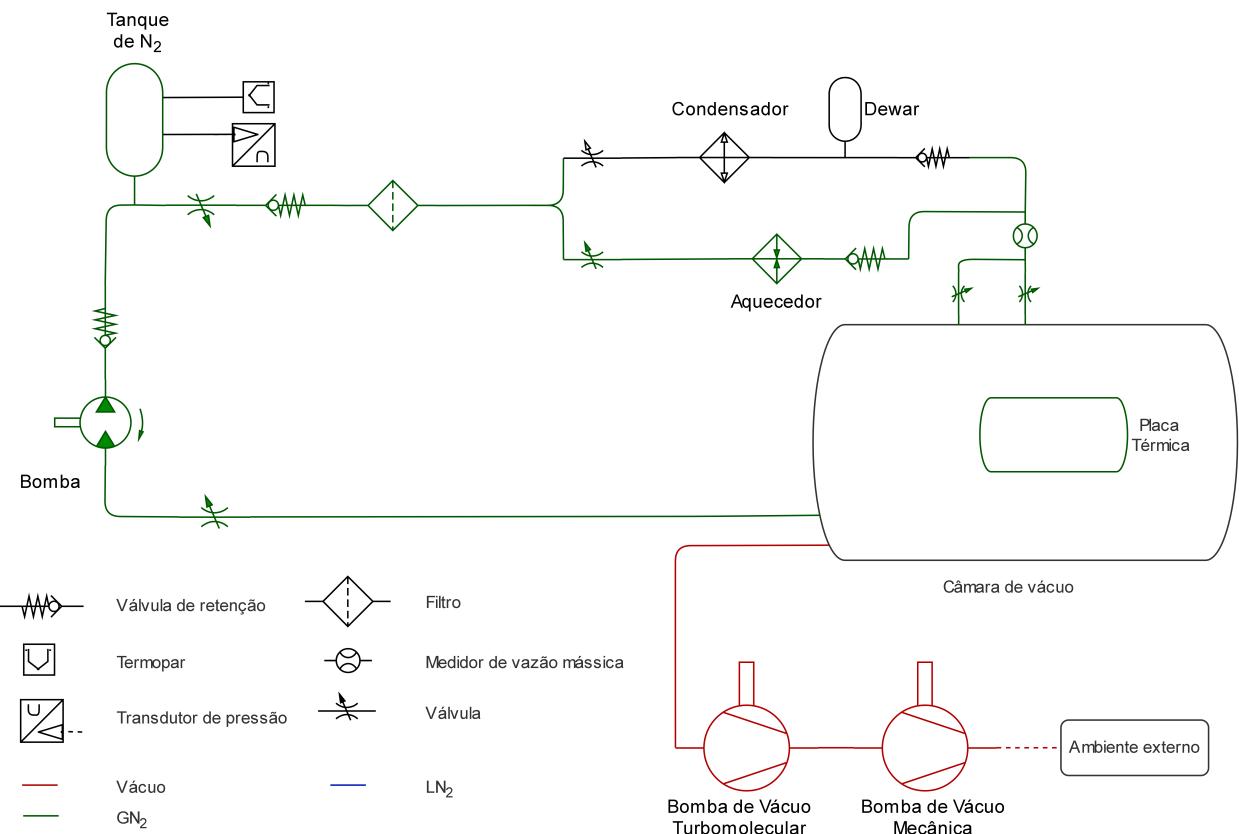


Figura 70 – Diagrama do sistema de alimentação durante a obtenção de nitrogênio gasoso

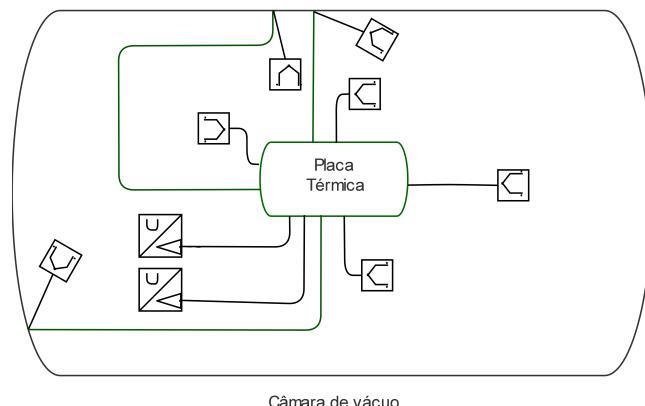


Figura 71 – Diagrama do sistema de alimentação durante o fornecimento de nitrogênio gasoso

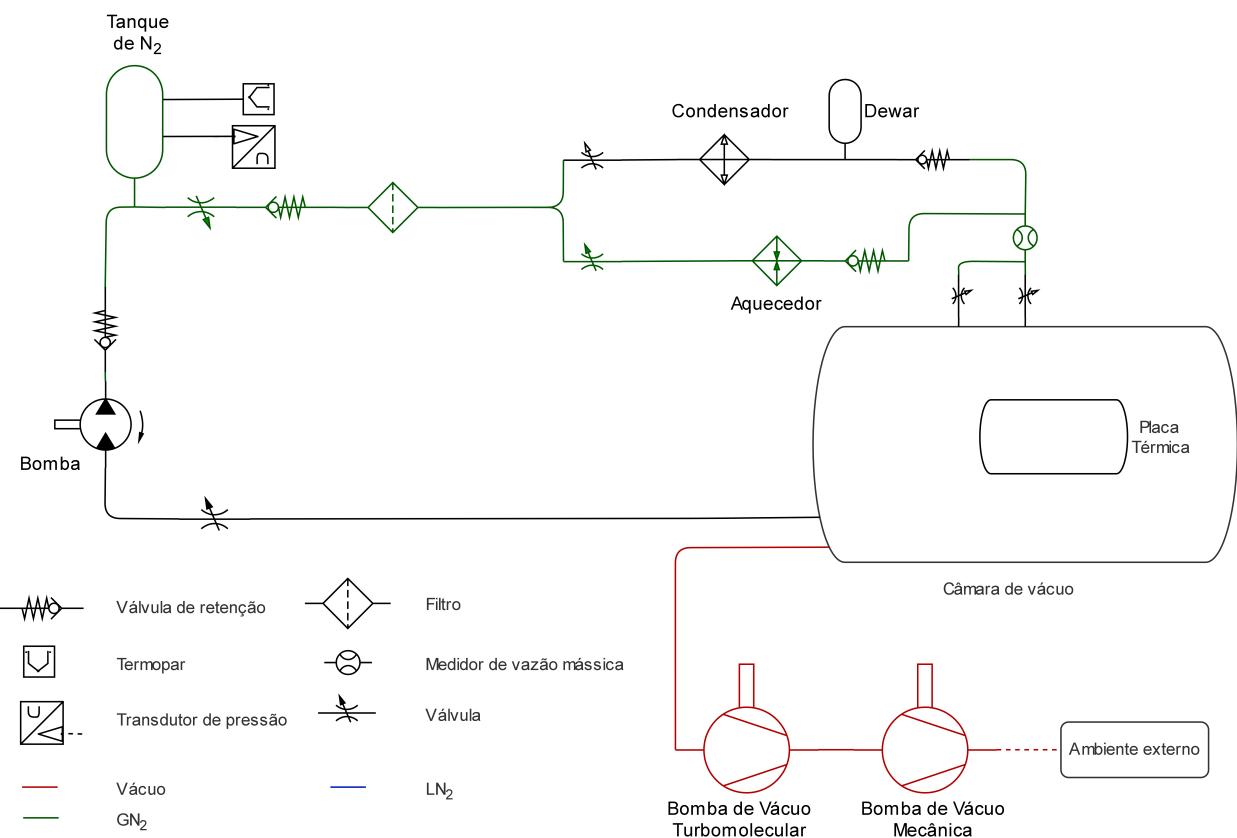


Figura 72 – Diagrama do sistema de alimentação dentro da câmara de termo-vácuo durante o fornecimento de nitrogênio gasoso

# APÊNDICE C – Esquemático do Sistema Eletrônico

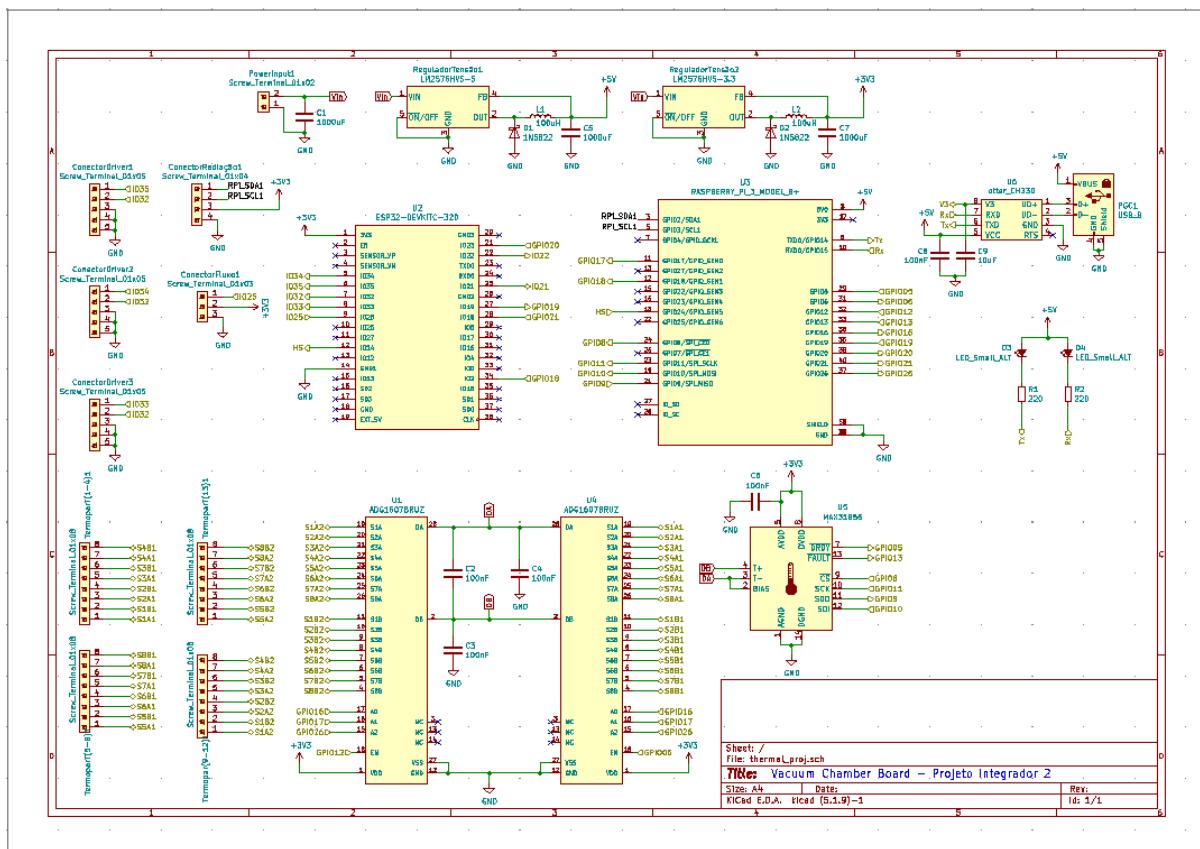


Figura 73 – Esquemático do sistema eletrônico

# APÊNDICE D – 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.

## D.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 ele e os requisitos elicitados fossem validados pelo restante da equipe, podendo colher *feedbacks* constantes. Seu complexo uso não atrapalhou, visto que ele possui muita documentação para auxiliar em dúvidas.

## D.2 Arquitetura do Software

Até a delimitação de um escopo mais estável a decisão foi adiada, para verificar qual seria o modelo de arquitetura adotado durante o desenvolvimento. As opções eram Cliente-Servidor e Microsserviços.

Verificada viabilidade, prazo e tamanho do projeto, a arquitetura da aplicação seguirá o modelo Cliente-Servidor. Uma arquitetura baseada em microsserviços foi descartada levando em conta o prazo e sobrecarga de tarefas durante o semestre dos membros e de forma técnica, por ela ter 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](#)).

### D.2.1 Escolha das tecnologias utilizadas no projeto

Após ideia inicial sobre o escopo do projeto, foi pesquisado softwares semelhantes, ou seja, sistemas que permitissem o monitoramento e controle de missões espaciais. A NASA, por exemplo, possui um painel desenvolvido na forma de código livre chamado OpenMCT ([NASA, 2021](#)), que tem sua forma de interface *web*. Pelo contexto, 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. Logo, 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) e o SCRUM.

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](#)) e ([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.

### D.3 Proposta de inovação

De início, a proposta de inovação era o uso de bibliotecas para a plotagem de gráficos em tempo real, além da própria implementação de um sistema para manipular o satélite. No entanto, por escopo da disciplina, percebeu-se que a demanda de plotagem de gráficos não é prioritária para a equipe geral, logo, a inovação poderia ser um tópico relacionado a tecnologias utilizadas.

Assim, houve a alteração para o novo banco de dados InfluxDB, que foi cogitado a ser descartado por outro banco, por seu complexo uso e dívidas técnicas com um intervalo de tempo de duas semanas sem avanços. Por ser uma tecnologia importante para o contexto, permanece no escopo e é um dos pontos de inovação e merecedor de atenção durante o projeto.

# APÊNDICE E – 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 <sup>1</sup>

Acesso ao repositório do módulo de FrontEnd.

Acesso ao repositório do módulo de BackEnd.

Acesso ao repositório do módulo eletrônico.

Acesso ao time geral.

---

<sup>1</sup> [github.com](https://github.com)

# APÊNDICE F – AUTOAVALIAÇÃO DOS INTEGRANTES

Tabela 31 – Autoavaliação dos integrantes

<b>Estuturas</b>		
<b>Nome</b>	<b>Matrícula</b>	<b>Descrição da contribuição</b>
André Aquino Braga	140090045	Desenvolver a simulação estrutural para o suporte do Cubesat. Solução do uso do Aço inoxidável no sistema de alimentação. Modificar partes do PC1 requeridas pelos professores.
Gustavo de Barros Borges	140142584	Foi feito o selecionamento das válvulas para o sistema de alimentação, escrita do relatório e correções do PC1 conforme dito pelos professores.
Isla Kalleny Marques Brandão	170059308	Correção dos problemas do PC1; Estruturação do PC2; Manutenção das atividades; Resolução de problemas entre núcleos; Definição dos parâmetros de transferência de calor baseado no TCC; Auxílio nas resoluções de problemas das soluções; Ajustes do PC2
Maurício Sá Gontijo	140155791	Implementação de soluções para o sistema de alimentação, construção dos diagramas hidráulicos e de processos, participação em reuniões de grupos, escrita do relatório, desenvolvimento de CAD's, desenhos técnicos e revisão.
Rana Mayeli Piêgas Taborda	170163938	Dimensionamento dos motores, escrita do relatório referente aos motores, pesquisa de mercado e orçamento dos mesmos
Renato de Brito do Nascimento Filho	160143551	Implementação de soluções para o suporte do cubesat, Dimensionamento dos motores, participação em reuniões de grupos, escrita do relatório, desenvolvimento de CAD's, desenhos técnicos e revisão

<b>Energia</b>		
<b>Nome</b>	<b>Matrícula</b>	<b>Descrição da contribuição</b>
Daniel Moreira Carreira	150122438	Dimensionamento da alimentação aos componentes elétricos; Consulta das normas necessárias para cabeamento; Pesquisa de mercado e orçamento de elementos da parte elétrica; Escrita do relatório; Listagem de modificações do PC1 para PC2.
Débora da Silva Dantas	150123060	Desenvolvimento da arquitetura de solução energética; Dimensionamento dos trocadores de calor; Dimensionamento do Simulador Solar; Consulta das normas necessárias para cada sistema; Desenvolvimento do diagrama multifilar; Pesquisa de mercado e orçamento dos componentes de cada sistema; Escrita do relatório; Revisão dos custos e relatório.
<b>Software</b>		
<b>Nome</b>	<b>Matrícula</b>	<b>Descrição da contribuição</b>
Ciro Barbosa Costa	150121873	Ajuda na elaboração da escrita do relatório; Elaboração do esquemático do circuito eletrônico; Definição de como é realizada a aquisição de dados de pressão pelo PG201; Comunicação Rasp-ESP, testes de comunicação em C++(Rasp) e em C (Esp);
Marcos Breno da Silva Aguiar	150016883	Correção de alguns itens do PC1, ajuda na elaboração do esquemático elétrico. Seleção dos drivers para os motores de passo assim como a programação do controle dos mesmos. Ajuda na escrita do relatório.
Priscila Yukie Yamada	160141974	Correção de alguns itens do PC1. Orçamento dos componentes eletrônicos. Desenvolvimento conjunto do código para a leitura dos dados de temperatura. Seleção do medidor de vazão. Escrita do relatório
<b>Software</b>		
<b>Nome</b>	<b>Matrícula</b>	<b>Descrição da contribuição</b>

João Pedro Mota Jardim	160031982	Elaboração do diagrama de sequência, revisão de documentos, auxílio no desenvolvimento do backend da aplicação, escrita e revisão da parte de software do relatório, participação nas reuniões
Matheus Rodrigues do Nascimento	160015294	Desenvolvimento do documento de visão, Revisão dos demais diagramas e documentos, Decisões arquiteturais, Escrita do relatório, Implementação de funcionalidades da aplicação
Paulo Victor de Menezes Lopes	160016428	Desenvolvimento do diagrama de arquitetura, escrita do documento de arquitetura, decisões arquiteturais, proposta de inovação, implementação inicial da aplicação e da proposta de inovação, participação ativa nas reuniões da equipe.
Shayane Marques Alcântara	160144949	Desenvolvimento do diagrama de caso de uso, Revisão dos demais diagramas e documentos, Escrita do documento de arquitetura, Decisões arquiteturais, Escrita do relatório, Criação das histórias de usuário no repositório e Implementação de funcionalidades da aplicação

## Anexos

## ANEXO A – Desenhos Técnicos - Partes e componentes da solução estrutural

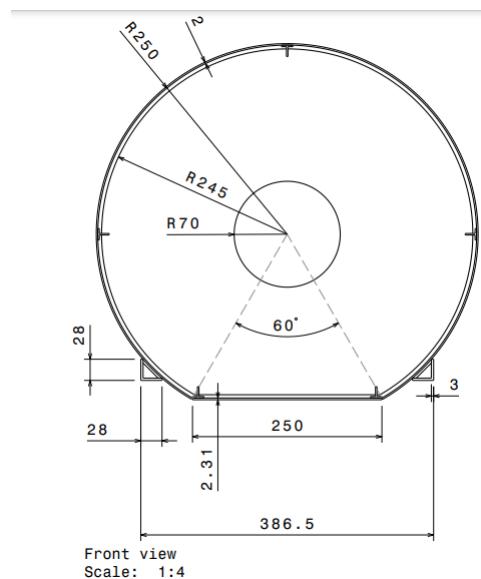


Figura 74 – Vista frontal da placa térmica da câmara de termo-vácuo (dimensões em milímetros).

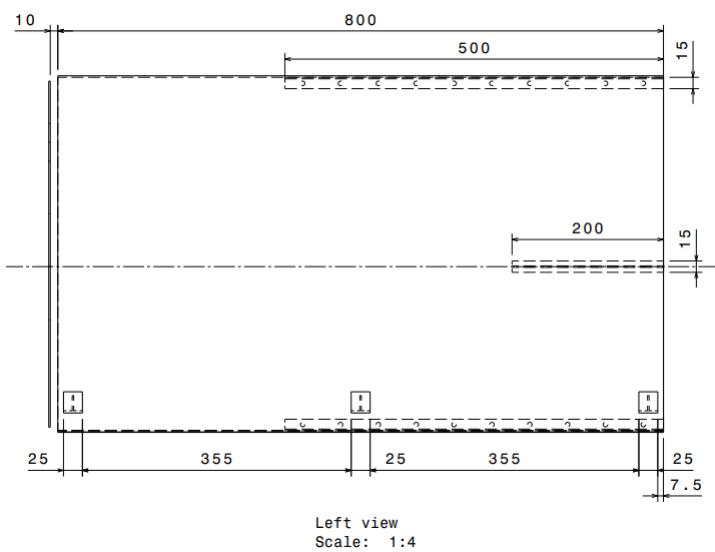


Figura 75 – Vista lateral da placa térmica da câmara de termo-vácuo (dimensões em milímetros).

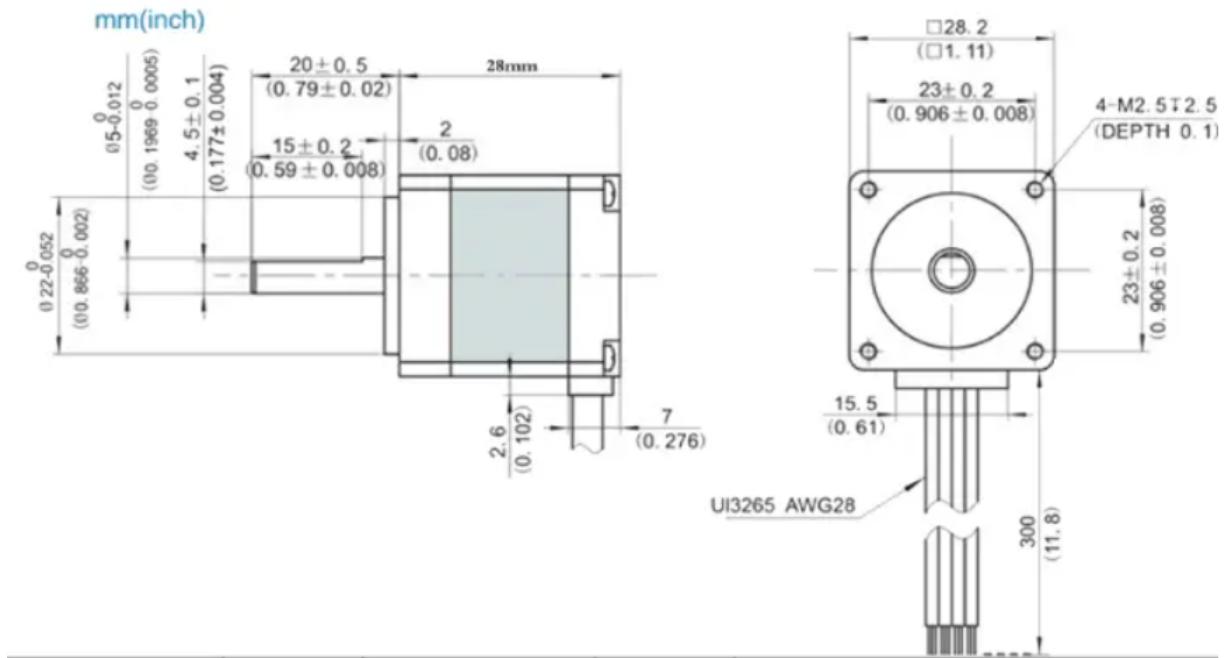


Figura 76 – Dimensões do motor para rotação do CubeSat.

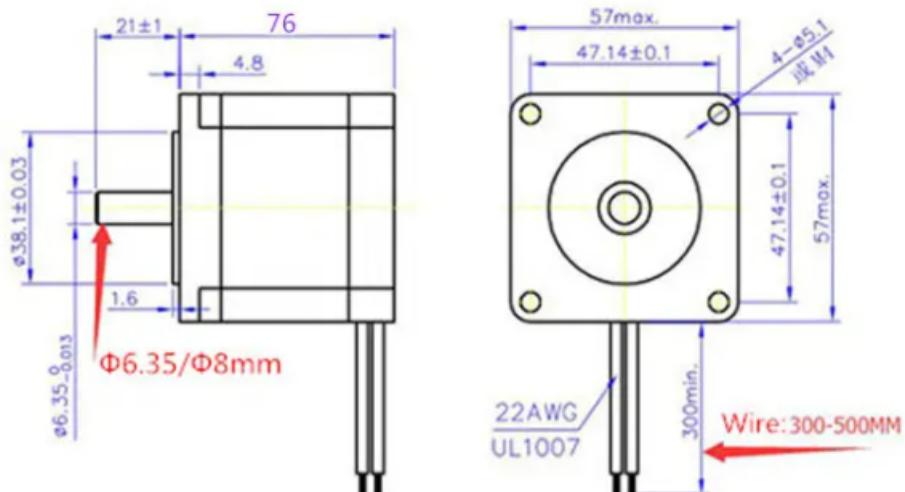


Figura 77 – Dimensões do motor para rotação do Suporte em U.

# ANEXO B – Anexos das Soluções Energéticas

## B.1 Catálogos dos componentes energéticos



### LÂMPADA VAPOR METÁLICO

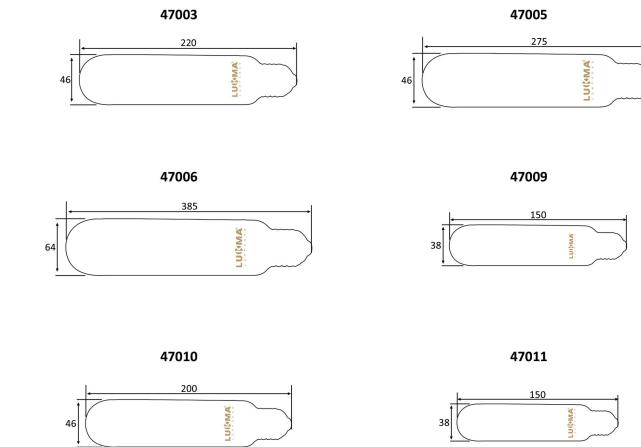
As lâmpadas de vapor metálico são muito eficientes para projetos de iluminação em grandes áreas, como estádios de futebol, ginásios e praças. Essa lâmpada possui uma luz branca que transforma os ambientes, é muito durável, gera menos calor do que as incandescentes comuns e apresenta um resultado mais 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	150W	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)



Lâmpada Vapor Metálico

As informações contidas podem sofrer alterações que não afetarão o desempenho e função do produto.  
Imagens ilustrativas. Revisão: 10/2019 | LUKMA ELECTRIC: +55 17 2138-5050. E-mail: [sae@lukma.com](mailto:sae@lukma.com) | [www.lukma.com](http://www.lukma.com)

6

Figura 78 – Catálogo da lâmpada de vapor metálico da fabricante Lukma.

Fonte: [Lukma<sup>1</sup>](#)

CÓDIGO	LÂMPADA		USO	CARACTERÍSTICA DA REDE			UTILIZAR CAPACITOR ( $\mu$ F)	PERDAS MAX. (W)	DIAGRAMA DE LIGAÇÃO	DIMENSÕES (MM)			PESO APROX.		
	POTÊNCIA (W)	CÓDIGO COMERCIAL		TENSÃO (V)	CORRENTE (A)	TAMPOZ. POTÊNCIA				A	B	C			
88IV0026A	35	QUALQUER MARCA (*)	INTERNO	220V (60Hz)	0,22	ALTO	6	SMSSN	10	2	1	120	57	68	1,250
88IV0026A	35	QUALQUER MARCA (*)	EXTERNO	220V (60Hz)	0,22	ALTO	INCORP.	INCORP.	10	5	2	132	70	72	1,810
88IV026A	70	QUALQUER MARCA (*)	INTERNO	220V (60Hz)	0,41	ALTO	10	SMTON	14	2	1	120	61	72	1,380
88IV026A	70	QUALQUER MARCA (*)	EXTERNO	220V (60Hz)	0,41	ALTO	INCORP.	INCORP.	14	5	2	132	78	67	1,890
88IV126A	150	QUALQUER MARCA (*)	INTERNO	220V (60Hz)	1,85	ALTO	18	SMSSN	22	2	1	150	61	72	1,930
88IV126A	150	QUALQUER MARCA (*)	EXTERNO	220V (60Hz)	0,85	ALTO	INCORP.	INCORP.	22	5	2	172	78	67	2,480
88IV226A1	250	PADRÃO PHILIPS	INTERNO	220V (60Hz)	1,30	ALTO	18	SMSSN	23	2	1	150	70	83	2,580
88IV226A1	250	PADRÃO OSRAM (*)	EXTERNO	220V (60Hz)	1,30	ALTO	INCORP.	INCORP.	23	5	2	172	78	67	2,480
88IV226A2	250	PADRÃO OSRAM (*)	INTERNO	220V (60Hz)	1,30	ALTO	32	SMSSN	30	2	1	150	70	83	3,450
88IV226A2	250	PADRÃO OSRAM (*)	EXTERNO	220V (60Hz)	1,30	ALTO	INCORP.	INCORP.	30	5	2	177	75	85	3,330
88IV246A3	400	PADRÃO PHILIPS	INTERNO	220V (60Hz)	2,10	ALTO	30	SMSSN	29	2	1	150	77	91	3,440
88IV246A3	400	PADRÃO PHILIPS	EXTERNO	220V (60Hz)	2,10	ALTO	INCORP.	INCORP.	29	5	2	177	75	85	3,570
88IV426A4	400	PADRÃO OSRAM (*)	INTERNO	220V (60Hz)	2,10	ALTO	35	SMSSN	38	2	1	150	77	91	4,120
88IV426A4	400	PADRÃO OSRAM (*)	EXTERNO	220V (60Hz)	2,10	ALTO	INCORP.	INCORP.	38	5	2	177	75	85	3,790
88IV2826S	1000		INTERNO		8,25	BAIXO		SM61	50	2	1	176	104	125	7,870
88IV2826S	1000		INTERNO	220V (60Hz)	5,10	ALTO	60	SM61	50	2	1	176	104	125	7,990
88IV2826S	1000		EXTERNO	220V (60Hz)	8,25	BAIXO	-	INCORP.	50	5	2	222	106	125	9,250
88IV2826S	1000		EXTERNO		5,10	ALTO	INCORP.	INCORP.	50	5	2	222	106	125	9,400
88IV2826B	1000		INTERNO		9,50	BAIXO	-	SMSSN	70	2	1	176	104	125	8,920
88IV2826A	1000		INTERNO	220V (60Hz)	5,10	ALTO	100	SMSSN	70	2	1	176	104	125	9,220
88IV2826B	1000		EXTERNO	220V (60Hz)	9,50	BAIXO	-	INCORP.	70	5	2	222	106	125	10,800
88IV2826A	1000		EXTERNO		5,10	ALTO	INCORP.	INCORP.	70	5	2	222	106	125	11,100
88IV2926A7	2000	HPI-1 200W/100V (PHILIPS)	INTERNO	220V (60Hz)	10,50	ALTO	INCORP.	INCORP.	100	5	2	352	120	145	19,200
88IV2926A8	2000	HPI-1 200W/100V (PHILIPS)	EXTERNO	220V (60Hz)	10,50	ALTO	INCORP.	INCORP.	80	5	2	352	165	150	32,300
88IV3936A8	2000	HPI-1 200W/380V (PHILIPS)	EXTERNO	380V (60Hz)	6,00	ALTO	INCORP.	INCORP.	80	5	2	252	165	150	18,500
88IV3936A9	2000	HPI-1 200W/100V (OSRAM)	EXTERNO	220V (60Hz)	10,50	ALTO	INCORP.	NÃO USA	80	5	2	352	165	150	32,200
88IV3936A9	2000	HPI-1 200W/100V (OSRAM)	EXTERNO	380V (60Hz)	6,00	ALTO	INCORP.	NÃO USA	80	5	2	252	165	150	18,400

Figura 79 – Catálogo do reator utilizado para a lâmpada de vapor metálico de 70W.

Fonte: *Fiolux<sup>1</sup>*

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)				
	Nº Fases de Entrada	3				
	Variação tensão admissível	± 15%				
Entrada	Frequência**	50** / 60 Hz				
	Variação freq. admissível	± 8%				
	Operação Grupo Gerador	100% compatível com todos os modelos				
	Fator de Potência	>0,99				
Saída	Tensão *	220 ou 380 VAC				
	Regulação estática	± 1%				
	Configuração	Trifásica (3 F + N + Terra)				
	Frequência**	50** / 60 Hz				
	Precisão frequência	± 0,05 % em modo bateria				
	Forma de Onda	Senoide pura				
	Distorsão Harmônica	< 1%				
	Fator de Potência	0,8				
	Tipo	Seladas ou estacionárias - isentas de manutenção				
Bateria	Modelos com Tensão de entrada 220 VAC e saída 220VAC					
	Tensão VDC	240 (+ 120 / - 120) VDC				
	Tensão Flutuação VDC	270 (+ 135 / - 135) VDC				
	Tensão Pré-alarme	220 (+ 110 / - 110) VDC				
	Tensão Mínima (bat baixa)	210 (+ 105 / - 105) VDC				
Bateria	Modelos com Tensão de entrada 380 VAC e saída 380VAC					
	Tensão VDC	480 (+ 240 / - 240) VDC				
	Tensão Flutuação VDC	540 (+ 270 / - 270) VDC				
	Tensão Pré-alarme VDC	440 (+ 220 / - 220) VDC				
	Tensão Mínima (bat baixa)	420 (+ 210 / - 210) VDC				
	Temperatura operação	20°C a 25°C recomendado para a máxima vida útil das baterias				
	Temperatura máxima	30°C sob perda de vida útil das baterias				
	Tempo de recarga	8 a 10 horas para 90% da carga				
	Cor do Gabinete	Grafite				

Figura 80 – Especificações técnicas do nobreak.

Fonte: *NobreakInnovationS1*

## B.2 Diagrama multifilar do sistema de energia

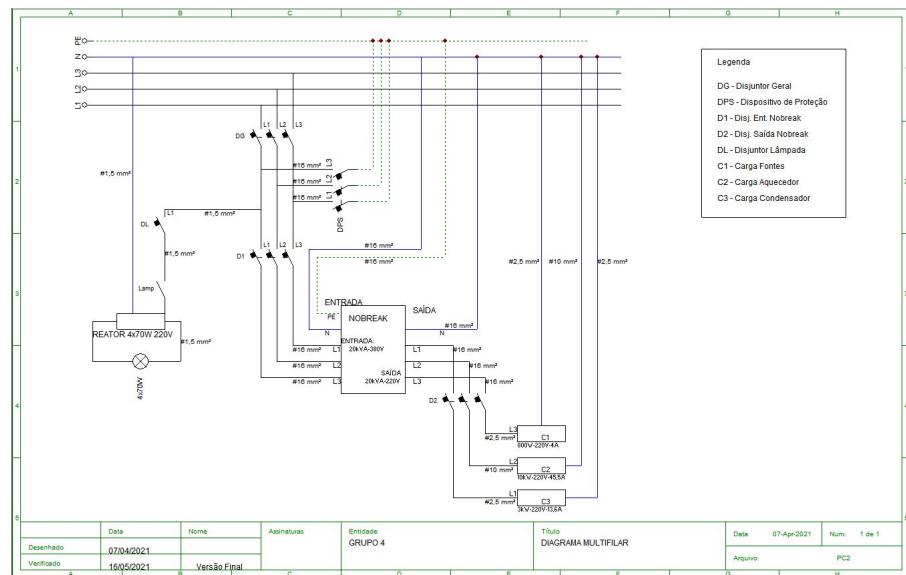


Figura 81 – Fonte: Autoria Própria.

## ANEXO C – Propriedades do Nitrogênio

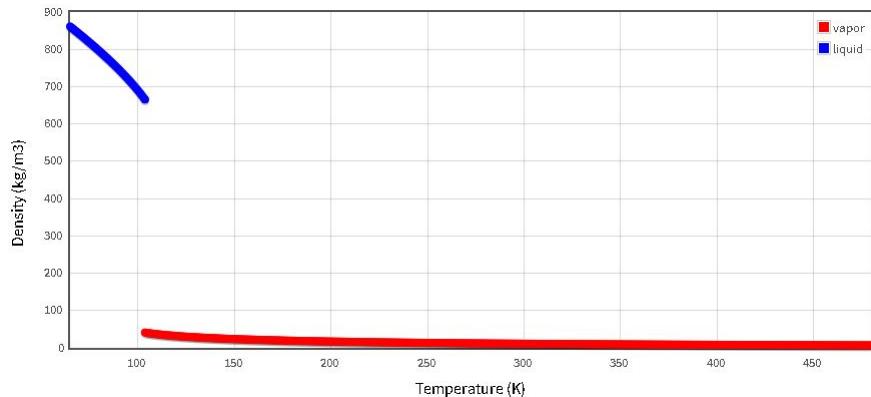


Figura 82 – Variação da massa específica com a temperatura para uma pressão de 10 bar.  
Fonte: (NIST, 2021).

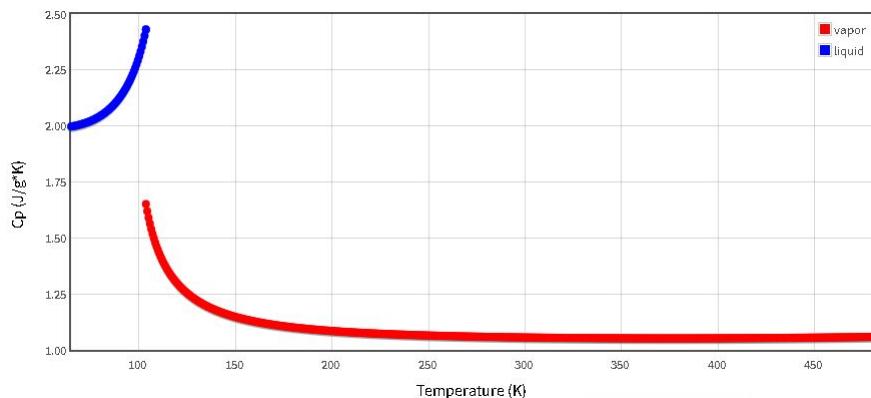


Figura 83 – Variação do calor específico a pressão constante com a temperatura para uma pressão de 10 bar.  
Fonte: (NIST, 2021).

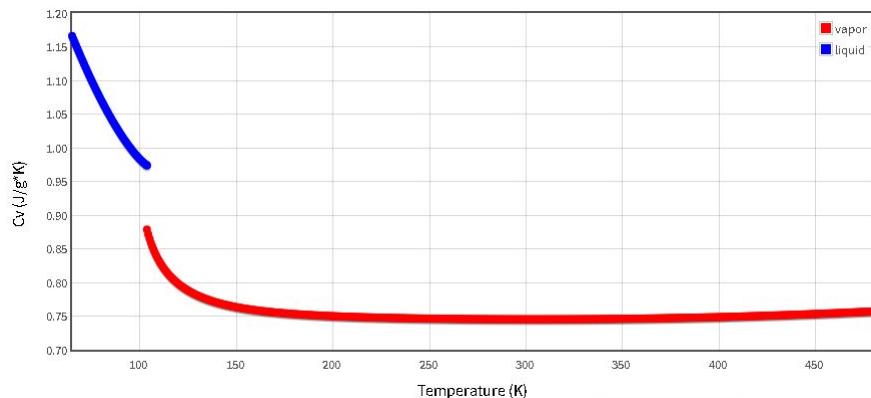


Figura 84 – Variação do calor específico a volume constante com a temperatura para uma pressão de 10 bar.  
Fonte: (NIST, 2021).