



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

## **Rocket Guide Station: Estação de monitoramento e controle de lançamento de foguetes**

**Autores:** Artur Almeida, Augusto Vilarins, Diogo Sens, Douglas Brandão, Francisco Matheus, Gabriela Alves, Gustavo Linhares, Isaque Alves, João Egewarth, Luísa Prospero, Milena Martins, Misael Andrade e Thainá Rodrigues.

**Brasília, DF**

**2020**





Artur Almeida, Augusto Vilarins, Diogo Sens, Douglas Brandão, Francisco Matheus, Gabriela Alves, Gustavo Linhares, Isaque Alves, João Egewarth, Luísa Prospero, Milena Martins, Misael Andrade e Thainá Rodrigues.

**Rocket Guide Station:**  
**Estação de monitoramento e controle de lançamento de**  
**foguetes**

Trabalho submetido à disciplina de Projeto Integrador de Engenharia 2 referente ao **Ponto de Controle 2**, na Universidade de Brasília.

Universidade de Brasília – UnB

Faculdade UnB Gama – FGA

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

Brasília, DF

2020

# Listas de ilustrações

Figura 1 – Fishbone . . . . .	17
Figura 2 – Brainwriting. . . . .	22
Figura 3 – Storytelling, página 1 . . . . .	24
Figura 4 – Storytelling, página 2 . . . . .	25
Figura 5 – Wireframe . . . . .	26
Figura 6 – Mapa de requisitos . . . . .	29
Figura 7 – Modo como o JavaScript é executado fora do browser . . . . .	32
Figura 8 – Representação da Arquitetura . . . . .	32
Figura 9 – Cliente da aplicação Desktop . . . . .	33
Figura 10 – Servidor da aplicação Desktop . . . . .	34
Figura 11 – Padrão de Projeto Chain of Responsibility (GURU, 2020) . . . . .	35
Figura 12 – Sequência baseada em Middleware (IBM, 2020) . . . . .	35
Figura 13 – Documento em formato JSON . . . . .	36
Figura 14 – Documento em formato XML . . . . .	36
Figura 15 – Padrão de projeto Adapter (WIKIPEDIA, 2020) . . . . .	37
Figura 16 – Modelo Conceitual da modelagem. . . . .	38
Figura 17 – Modelo Lógico da modelagem . . . . .	39
Figura 18 – Diagrama do Lançamento. . . . .	41
Figura 19 – Placa Lora Esp32 da HELTEC. . . . .	42
Figura 20 – Faixa de Frequência ISM no Brasil. . . . .	43
Figura 21 – Diferentes símbolos para SF diferentes em LoRa. . . . .	44
Figura 22 – Diferentes distâncias para SF diferentes em LoRa. . . . .	44
Figura 23 – Diferentes taxas para SF e BW diferentes em LoRa. . . . .	45
Figura 24 – Sensor de pressão e temperatura BMP280 (Bosch). . . . .	46
Figura 25 – Conexões entre sensor BMP280 e ESP32 LoRa - Protocolo I2C. . . . .	47
Figura 26 – Módulo GPS GY-NEO6MV2 (uBlox). . . . .	48
Figura 27 – Conexões entre o GPS GY-NEO6MV2 e ESP32 LoRa - Protocolo UART. . . . .	49
Figura 28 – Célula de carga - 50 kg. . . . .	50
Figura 29 – Célula de carga - 50 kg. . . . .	51
Figura 30 – Conexões entre Hx711 e ESP32 LoRa - Protocolo I2C. . . . .	51
Figura 31 – Estação de controle de solo. . . . .	53
Figura 32 – Tela da interface do usuário. . . . .	54
Figura 33 – Teclado da interface do usuário. . . . .	55
Figura 34 – Tabela de comparação de <i>single board computers</i> . Fonte : Autor . . . . .	55
Figura 35 – Nvidea Jetson Nano Developer Kit. . . . .	56
Figura 36 – Diagrama Central de Controle. . . . .	56

Figura 37 – Diagrama do algoritmo de calibração da balança	57
Figura 38 – Diagrama lógico do abastecimento foguete.	58
Figura 39 – Circuito típico de uma ponte H.	59
Figura 40 – Driver Motor Ponte H L298n.	60
Figura 41 – Módulo Conversor Nível Lógico 5V/3.3V - Bidirecional (4 Canais)	60
Figura 42 – Módulo Relé 5V 2 Canais modelo SRD-05VDC-SL-C	61
Figura 43 – Conexões entre atuadores externos e microcontrolador da base de lançamento.	61
Figura 44 – Fluxo de dados	63
Figura 45 – Diagrama esquemático do circuito interno da base de lançamento.	64
Figura 46 – Diagrama esquemático do circuito interno do foguete.	65
Figura 47 – Diagrama esquemático do circuito da central de controle do usuário.	65
Figura 48 – Dimensões da PCI do circuito interno do foguete.	67
Figura 49 – PCI do circuito interno do foguete.	67
Figura 50 – Dimensões da PCI do circuito interno da base de lançamento.	68
Figura 51 – PCI do circuito interno da base de lançamento	68
Figura 52 – Dimensões da PCI do circuito da central de controle.	69
Figura 53 – PCI do circuito interno do foguete.	69
Figura 54 – Bateria selecionada para o sistema de controle. Fonte: (DELL, 2020)	74
Figura 55 – Bateria selecionada para a base de lançamento.	75
Figura 56 – Regulador de tensão modelo LM2596.	76
Figura 57 – Diagrama em blocos do sistema de controle - maleta.	76
Figura 58 – Diagrama em blocos da base de lançamento.	77
Figura 59 – Esquemático de um retificador de onda completa. Fonte: (WENDLING, 2011)	79
Figura 60 – Curva de carga da bateria de Lítio íon. Fonte: (MICHELINI, 2020)	79
Figura 61 – Medição de tensão no circuito carregador. Fonte: (WENDLING, 2011)	80
Figura 62 – Medição de corrente no circuito carregador.	80
Figura 63 – Solução estrutural	84
Figura 64 – Solução no PC1 e solução no PC2	85
Figura 65 – Maleta 01 - GCS	92
Figura 66 – Disposição dos equipamentos eletrônicos	92
Figura 67 – Resultados obtidos para a estimativa de peso da maleta GCS	93
Figura 68 – Maleta 02 - Abastecimento	94
Figura 69 – Resultados obtidos para a estimativa de peso da maleta GCS	95
Figura 70 – Malha da maleta da estação de controle	96
Figura 71 – Malha da maleta do sistema de alimentação com revestimento	97
Figura 72 – Deformação da maleta do sistema de alimentação	97
Figura 73 – Tensão normal no eixo Y da maleta do sistema de alimentação	98

Figura 74 – Tensão de cisalhamento no plano XZ da maleta da estação de controle	98
Figura 75 – Deformação da maleta do sistema de alimentação revestida . . . . .	98
Figura 76 – Fluxograma do sistema de alimentação . . . . .	100
Figura 77 – Etapas de simulação . . . . .	106
Figura 78 – Diagrama hidráulico . . . . .	110
Figura 79 – Diagrama eletromecânico . . . . .	110
Figura 80 – Diagrama de sequencia representando o cadastro de foguetes. Fonte: Autor . . . . .	123
Figura 81 – Diagrama de sequencia representando o cadastro de micro. Fonte: Autor	123
Figura 82 – Diagrama de sequencia representando o processo da missão. Fonte: Autor	124
Figura 83 – Diagrama de sequencia representando o processo de abastecimento. Fonte: Autor . . . . .	124
Figura 84 – Diagrama de sequencia representando o processo de finalizar a missão. Fonte: Autor . . . . .	124
Figura 85 – Diagrama de sequencia representando o processo de histórico. Fonte: Autor . . . . .	125
Figura 86 – Diagrama de blocos do projeto. Fonte: Autor . . . . .	127
Figura 87 – Diagrama unifilar GCS . . . . .	129
Figura 88 – Diagrama unifilar abastecimento . . . . .	130
Figura 89 – Esboço inicial . . . . .	133
Figura 90 – CAD da maleta verso . . . . .	133
Figura 91 – CAD's da maleta frente . . . . .	133
Figura 92 – CAD's da maleta lateral . . . . .	134
Figura 93 – CAD's da maleta superior . . . . .	134
Figura 94 – CAD's da maleta isométrica . . . . .	134
Figura 95 – Tensão normal no eixo Y da maleta do sistema de alimentação em queda direta . . . . .	141
Figura 96 – Tensão normal no eixo Y da maleta do sistema de alimentação em queda lateral . . . . .	141
Figura 97 – Tensão normal no eixo Y da maleta do sistema de alimentação em queda inclinada . . . . .	142
Figura 98 – Tensão de Cisalhamento no plano XZ da maleta do sistema de alimen- tação em queda direta . . . . .	142
Figura 99 – Tensão de Cisalhamento no plano XZ da maleta do sistema de alimen- tação em queda lateral . . . . .	142
Figura 100 – Tensão de Cisalhamento no plano XZ da maleta do sistema de alimen- tação em queda inclinada . . . . .	143
Figura 101 – Deformação da maleta do sistema de alimentação em queda direta . .	143
Figura 102 – Deformação da maleta do sistema de alimentação em queda lateral . .	143

Figura 103 – Deformação da maleta do sistema de alimentação em queda inclinada . . . . .	144
Figura 104 – Tensão normal no eixo Y da maleta do sistema de alimentação revestida em queda direta . . . . .	144
Figura 105 – Tensão normal no eixo Y da maleta do sistema de alimentação revestida em queda lateral . . . . .	144
Figura 106 – Tensão normal no eixo Y da maleta do sistema de alimentação revestida em queda inclinada . . . . .	145
Figura 107 – Tensão de cisalhamento no plano XZ da maleta do sistema de alimentação revestida em queda direta . . . . .	145
Figura 108 – Tensão de cisalhamento no plano XZ da maleta do sistema de alimentação revestida em queda lateral . . . . .	145
Figura 109 – Tensão de cisalhamento no plano XZ da maleta do sistema de alimentação revestida em queda inclinada . . . . .	146
Figura 110 – Deformação da maleta do sistema de alimentação revestida em queda direta . . . . .	146
Figura 111 – Deformação da maleta do sistema de alimentação revestida em queda lateral . . . . .	146
Figura 112 – Deformação da maleta do sistema de alimentação revestida em queda inclinada . . . . .	147
Figura 113 – Tensão normal no eixo Y da maleta do sistema de controle em queda direta . . . . .	147
Figura 114 – Tensão normal no eixo Y da maleta do sistema de controle em queda lateral . . . . .	147
Figura 115 – Tensão normal no eixo Y da maleta do sistema de controle em queda inclinada . . . . .	148
Figura 116 – Tensão de cisalhamento no plano XZ da maleta do sistema de controle em queda direta . . . . .	148
Figura 117 – Tensão de cisalhamento no plano XZ da maleta do sistema de controle em queda lateral . . . . .	148
Figura 118 – Tensão de cisalhamento no plano XZ da maleta do sistema de controle em queda inclinada . . . . .	149
Figura 119 – Deformação da maleta do sistema de controle em queda direta . . . . .	149
Figura 120 – Deformação da maleta do sistema de controle em queda lateral . . . . .	149
Figura 121 – Deformação da maleta do sistema de controle em queda inclinada . . . . .	150
Figura 122 – Tensão normal Y da maleta revestida do sistema de controle em queda direta . . . . .	150
Figura 123 – Tensão normal Y da maleta revestida do sistema de controle em queda lateral . . . . .	150

Figura 124 – Tensão normal Y da maleta revestida do sistema de controle em queda inclinada . . . . .	151
Figura 125 – Tensão de cisalhamento no plano XZ da maleta revestida do sistema de controle em queda direta . . . . .	151
Figura 126 – Tensão de cisalhamento no plano XZ da maleta revestida do sistema de controle em queda lateral . . . . .	151
Figura 127 – Tensão de cisalhamento no plano XZ da maleta revestida do sistema de controle em queda inclinada . . . . .	152
Figura 128 – Deformação da maleta revestida do sistema de controle em queda direta	152
Figura 129 – Deformação da maleta revestida do sistema de controle em queda lateral	152
Figura 130 – Deformação da maleta revestida do sistema de controle em queda inclinada . . . . .	153
Figura 131 – Tanque de abastecimento e Tubo flexível . . . . .	165
Figura 132 – Válvulas . . . . .	165
Figura 133 – Conectores . . . . .	165

# **Lista de tabelas**

Tabela 1 – Especificações principais dos componentes do sensoriamento. . . . .	52
Tabela 2 – Consumo elétrico dos componentes da maleta. . . . .	71
Tabela 3 – Consumo elétrico dos componentes da base de lançamento. . . . .	72
Tabela 4 – Dimensionamento dos condutores do projeto. . . . .	82
Tabela 5 – Requisitos de Estrutura . . . . .	84
Tabela 6 – Propriedades do MDF . . . . .	87
Tabela 7 – Propriedades do PRFC . . . . .	88
Tabela 8 – Propriedades do PLA . . . . .	89
Tabela 9 – Propriedades do ABS . . . . .	89
Tabela 10 – Propriedades material de revestimento . . . . .	91
Tabela 11 – Tensões máximas e mínimas em cada simulação . . . . .	99
Tabela 12 – Características físico-químicas do óxido nitroso . . . . .	105
Tabela 13 – Parâmetros da simulação de abastecimento . . . . .	107
Tabela 14 – Custos do Projeto . . . . .	111
Tabela 15 – Custos do Projeto . . . . .	112
Tabela 16 – Lista de alterações significativas do projeto. . . . .	155



# **Lista de abreviaturas e siglas**

CNC	<i>Computer Numeric Control</i>
RUP	<i>Rational Unified Process</i>
MVP	<i>Minimum Viable Product</i>
RGS	<i>Rocket Guide Station</i>
GPS	<i>Global Positioning System - Sistema de Posicionamento Global</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
EAP	<i>Estrutura Analítica de Projetos</i>
TAP	<i>Termo de Abertura de Projeto</i>
SWOT	<i>Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats</i>
GPRS	<i>General Packet Radio Services</i>
LASC	<i>Latin America Space Challenge</i>
SPI	<i>Serial Peripheral Interface</i>
SOA	<i>Service oriented architecture</i>
ML	<i>Machine Learning</i>
PC	<i>Ponto de Controle</i>
SWOT	<i>strengths, weaknesses, opportunities, and threats</i>
FOFA	<i>Forças, Oportunidades, Fraquezas e Ameaças</i>
5W1H	<i>Who, What, Where, When, Why, How</i>
FIT	<i>Feira de inovação tecnológica</i>
FGA	<i>Faculdade Gama</i>
ISO	<i>Organização Internacional de Normalização</i>
MDF	<i>Medium Density Fiberboard</i>
PRFV	<i>Polímero Reforçado com Fibra de Vidro</i>

PRFC	<i>Polímero Reforçado com Fibra de Carbono</i>
PLA	<i>Poli Ácido Lático</i>
ABS	<i>Acrilonitrila Butadieno Estireno</i>
GCS	<i>Ground Control Station</i>
IA	<i>Inteligencia artificial</i>
PTH	<i>Pin Through Hole</i>
SMD	<i>Surface Mounted Device</i>
PCI	<i>Placa de Circuito Impresso</i>
FR	<i>Flame Resistant</i>
SF	<i>Spreading Factor-Fator de espalhamento</i>
BW	<i>Bandwidth-Largura de banda</i>
Rb	<i>Taxa de bits</i>
A	<i>Ampères</i>
W	<i>Watts</i>
Wh	<i>Watts hora</i>

# Sumário

<b>1</b>	<b>CONTEXTUALIZAÇÃO . . . . .</b>	<b>15</b>
<b>1.1</b>	<b>Problematização . . . . .</b>	<b>16</b>
<b>1.2</b>	<b>Justificativa . . . . .</b>	<b>17</b>
<b>2</b>	<b>CONCEPÇÃO E DETALHAMENTO DA SOLUÇÃO . . . . .</b>	<b>19</b>
<b>2.1</b>	<b>Solução Geral . . . . .</b>	<b>19</b>
<b>2.2</b>	<b>Software . . . . .</b>	<b>19</b>
<b>2.2.1</b>	<b><i>Product Design</i> . . . . .</b>	<b>19</b>
<b>2.2.1.1</b>	<b><i>User Centered Design</i> . . . . .</b>	<b>19</b>
<b>2.2.1.1.1</b>	<b>Entrevistas . . . . .</b>	<b>20</b>
<b>2.2.1.1.2</b>	<b><i>Brainwriting</i> . . . . .</b>	<b>21</b>
<b>2.2.1.1.3</b>	<b><i>Storyboard</i> . . . . .</b>	<b>22</b>
<b>2.2.1.2</b>	<b>Arquitetura da informação . . . . .</b>	<b>25</b>
<b>2.2.1.2.1</b>	<b><i>Wireframe</i> . . . . .</b>	<b>26</b>
<b>2.2.1.2.2</b>	<b>Protótipo de média fidelidade . . . . .</b>	<b>27</b>
<b>2.2.1.3</b>	<b>Definição do produto . . . . .</b>	<b>27</b>
<b>2.2.1.3.1</b>	<b>Mapa de requisitos . . . . .</b>	<b>28</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Problemas na Solução Antiga . . . . .</b>	<b>28</b>
<b>2.2.3</b>	<b>Definição da Arquitetura . . . . .</b>	<b>31</b>
<b>2.2.3.1</b>	<b>Padrão Arquitetural . . . . .</b>	<b>31</b>
<b>2.2.3.2</b>	<b>Representação da Arquitetura . . . . .</b>	<b>32</b>
<b>2.2.3.2.1</b>	<b>Cliente . . . . .</b>	<b>33</b>
<b>2.2.3.2.2</b>	<b>Servidor . . . . .</b>	<b>34</b>
<b>2.2.3.2.3</b>	<b>Banco de Dados . . . . .</b>	<b>35</b>
<b>2.2.3.2.4</b>	<b><i>Hardware</i> . . . . .</b>	<b>36</b>
<b>2.2.3.3</b>	<b>Ambiente . . . . .</b>	<b>37</b>
<b>2.2.3.4</b>	<b>Arquitetura computacional . . . . .</b>	<b>37</b>
<b>2.2.4</b>	<b>Diagrama de Sequência . . . . .</b>	<b>37</b>
<b>2.2.5</b>	<b>Modelagem de Dados . . . . .</b>	<b>38</b>
<b>2.2.6</b>	<b>Metas e restrições de arquitetura . . . . .</b>	<b>38</b>
<b>2.2.6.1</b>	<b>Metas . . . . .</b>	<b>38</b>
<b>2.2.6.2</b>	<b>Restrições . . . . .</b>	<b>39</b>
<b>2.3</b>	<b>Eletrônica . . . . .</b>	<b>40</b>
<b>2.3.1</b>	<b>Telemetria . . . . .</b>	<b>40</b>
<b>2.3.1.1</b>	<b>Lora . . . . .</b>	<b>42</b>

<b>2.3.2</b>	<b>Sensoriamento</b>	<b>45</b>
2.3.2.1	Altitude e Velocidade	46
2.3.2.2	Localização Geográfica (GPS)	48
2.3.2.3	Peso do foguete	49
2.3.2.4	Especificações dos sensores	52
<b>2.3.3</b>	<b>Central de controle</b>	<b>53</b>
2.3.3.1	Interface do usuário	53
2.3.3.2	<i>Single Board Computer</i>	55
<b>2.3.4</b>	<b>Calibração</b>	<b>57</b>
<b>2.3.5</b>	<b>Integrações</b>	<b>58</b>
2.3.5.1	Diagrama de blocos do Abastecimento	58
2.3.5.2	Acionamento eletrônico das válvulas externas	59
2.3.5.3	Acionamento eletrônico das válvulas internas	62
2.3.5.4	Comunicação hardware e software	62
<b>2.3.6</b>	<b>Diagramas e esquemáticos</b>	<b>64</b>
<b>2.3.7</b>	<b>Placa de circuito impresso</b>	<b>66</b>
2.3.7.1	Círculo interno do foguete	66
2.3.7.2	Círculo na base de lançamento	67
2.3.7.3	Círculo na base de controle central	68
<b>2.4</b>	<b>Energia</b>	<b>69</b>
2.4.1	Ignição	70
2.4.2	Consumo dos sistemas	71
2.4.3	Baterias	73
2.4.3.1	Sistema de controle - maleta	73
2.4.3.2	Sistema da base de lançamento	74
2.4.4	Regulador de tensão	75
2.4.5	Funcionamento do sistema de alimentação	75
2.4.6	Carregador de bateria	77
2.4.6.1	Fonte de Alimentação	78
2.4.6.2	Círculo de carregamento	78
2.4.7	Dimensionamento dos condutores	80
2.4.8	Plano de construção	82
2.4.8.1	Carregador	82
2.4.8.2	Sistema de controle e sistema da base de lançamento	83
<b>2.5</b>	<b>Estrutura</b>	<b>83</b>
2.5.1	Maletas	85
2.5.1.1	Especificações de materiais	86
2.5.1.2	Material para revestimento da caixa	90
2.5.1.3	Maleta 01 - GCS	91

2.5.1.4	Maleta 02 - Abastecimento . . . . .	93
2.5.1.5	Simulações de Impacto . . . . .	95
2.5.1.6	Plano de construção . . . . .	99
2.5.2	Abastecimento . . . . .	100
2.5.2.1	Fluxo de trabalho . . . . .	100
2.5.2.2	Caracterização dos componentes . . . . .	102
2.5.2.3	Atuador . . . . .	103
2.5.2.4	Oxido Nitroso . . . . .	104
2.5.2.5	Metodologia . . . . .	105
2.5.2.6	Modelagem matemática . . . . .	107
<b>2.6</b>	<b>Custos . . . . .</b>	<b>110</b>
 <b>REFERÊNCIAS . . . . .</b>		<b>113</b>
 <b>APÊNDICES</b>		<b>121</b>
<b>APÊNDICE A – DIAGRAMA DE SEQUENCIAS . . . . .</b>		<b>123</b>
<b>APÊNDICE B – DIAGRAMA DE BLOCOS DO SISTEMA VER- SÃO INICIAL . . . . .</b>		<b>127</b>
<b>APÊNDICE C – DIAGRAMAS ELÉTRICOS . . . . .</b>		<b>129</b>
<b>APÊNDICE D – ESBOÇO INICIAL E CAD . . . . .</b>		<b>133</b>
<b>APÊNDICE E – DESENHOS TÉCNICOS . . . . .</b>		<b>135</b>
<b>APÊNDICE F – SIMULAÇÃO DE IMPACTO . . . . .</b>		<b>141</b>
<b>APÊNDICE G – REGISTRO DE ALTERAÇÕES . . . . .</b>		<b>155</b>
<b>APÊNDICE H – AUTOAVALIAÇÃO . . . . .</b>		<b>157</b>
 <b>ANEXOS</b>		<b>163</b>
<b>ANEXO A – ELEMENTOS DO SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO . . .</b>		<b>165</b>



# 1 Contextualização

Competições universitárias de foguetes são eventos em que equipes formadas por estudantes (de engenharia, em sua maioria) precisam desenvolver um foguete experimental que consiga atingir uma altitude máxima específica (1km, 3km ou 7km, dependendo da competição). O propósito dessas competições é incentivar os participantes a se envolverem no desenvolvimento de um projeto desafiador e ao mesmo tempo estimulante, semelhante a eventos estudantis de nível médio ou mesmo fundamental, nos quais a propulsão do foguete é emulada com experimentos lúdicos (com o uso de bicarbonato de sódio, ou bombas de pressão)<sup>1</sup>, porém não menos interessantes.

No entanto, diferente desses eventos, numa competição universitária, são utilizados propulsores a combustão, semelhantes aos utilizados em foguetes reais, ainda que em escala reduzida (por isso experimentais). Essa exigência demanda, naturalmente, uma série de medidas de seguranças que devem ser observadas pelas equipes durante as competições. Uma dessas medidas é o raio de distância mínima da base de lançamento, que define a área na qual nenhuma pessoa deve ficar durante o lançamento do foguete<sup>2</sup>. Isso exige que alguns atos preparatórios do lançamento sejam feitos remotamente.

A Capital Rocket Team (CRT) é a equipe da Universidade de Brasília dedicada a participar dessas competições de foguetes. Fundada em 2015 por estudantes do curso de Engenharia Aeroespacial, desde sua origem a equipe trabalha com um tipo específico de propulsão: a propulsão híbrida. Nela, as substâncias responsáveis pela propulsão (chamadas de par propelente) são armazenadas no foguete em estados físicos distintos ([SUTTON, 2016](#)). No caso dos foguetes da Capital, o combustível (parafina) fica em estado sólido, em formato cilíndrico dentro da câmara de combustão do motor, enquanto o oxidante (óxido nitroso) fica em estado líquido em um tanque separado.

O sistema propulsivo é completado por um ignitor, que fica junto ao combustível na câmara de combustão, uma substância que necessita somente de uma fonte de calor (que pode ser um resistor elétrico) para iniciar sua combustão. Na hora do lançamento, uma corrente elétrica aquece o resistor. O tanque contendo o óxido nitroso é aberto, despejando o oxidante na câmara de combustão. A mistura do oxidante com o combustível contido na câmara, mais o calor gerado pela combustão do ignitor, provoca a reação principal de combustão do propulsor. Os gases resultantes dessa combustão são expelidos pelo bocal de saída do motor (chamado de tubeira). Essa saída dos gases gera uma força de empuxo direcionada para o solo, o que faz o foguete deslocar no sentido oposto, em direção ao apogeu. E assim é feita a decolagem do foguete.

---

<sup>1</sup> Cf. Mostra Brasileira de Foguetes (MOBFOG): <https://bit.ly/3c968ki>

<sup>2</sup> Cf. Latin America Space Challenge (LASC): <https://bit.ly/2FQ2Ru9>

## 1.1 Problematização

Como visto, as características de um foguete de propulsão híbrida, somadas com as exigências de segurança da competição, somadas também com as necessidades típicas de uma missão de lançamento (como o registro da altitude durante o voo) resultam em uma série de demandas que a Capital Rocket Team precisa atender para ter uma missão bem sucedida. Para fins deste trabalho, a Capital será tratada como um cliente (e referenciada por esse termo a partir de agora) que deseja contratar um serviço prestado pela presente equipe de Projeto Integrador 2 (referenciada a partir de agora como "equipe") para sanar algumas dessas demandas, as quais são:

- fazer o abastecimento do tanque de oxidante remotamente, uma vez que o foguete já esteja colocado na base de lançamento e a mangueira de abastecimento esteja acoplada a ele manualmente (o que é permitido pelas regras de segurança);
- fazer a ignição do foguete remotamente, a qual consiste em emitir um sinal elétrico capaz de aquecer o resistor ligado ao ignitor pelo tempo necessário para que este inicie sua combustão, bem como em abrir a válvula que conecta o tanque do oxidante ao motor do foguete;
- fazer a coleta dos dados de telemetria do foguete durante o voo, de modo a registrar tanto sua variação de altitude e velocidade em tempo real como sua posterior localização, para fins de recuperação.

Essas demandas possuem o elemento comum de serem, de uma forma ou de outra, a execução de uma tarefa à distância. Ademais, cada uma delas tem características específicas que são variáveis conforme as dimensões do foguete. Por exemplo, a quantidade de oxidante necessária para o tanque do foguete varia conforme a altitude de apogeu desejada (quanto maior o apogeu, maior o tempo de voo e, consequentemente, maior será a quantidade necessária de oxidante para a combustão).

Para fins do presente projeto, a equipe utilizar-se-á dos parâmetros com que o cliente trabalha atualmente (foguete de apogeu de 1km). No entanto, a solução a ser desenvolvida precisará observar esse caráter variável de alguns parâmetros presentes nas demandas contidas na execução de uma missão de lançamento.

A proposta da equipe é o desenvolvimento de uma estação de controle remota capaz de coordenar essas diversas atividades, por meio do envio e recebimento de sinais que sejam capazes de coletar os dados pertinentes à operação de lançamento e ao voo subsequente, bem como atuar sobre dispositivos que executem as tarefas demandadas (como por exemplo a abertura ou fechamento de válvulas).

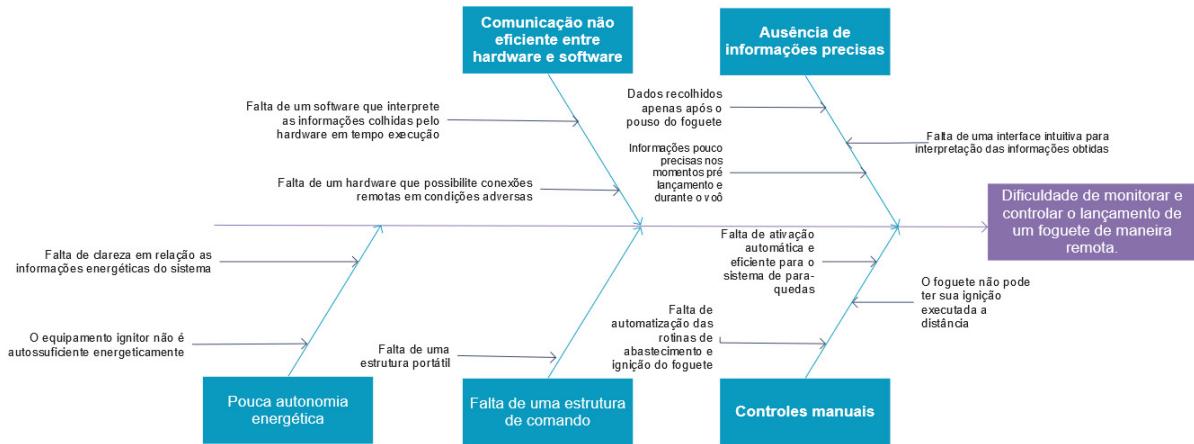


Figura 1 – Fishbone

## 1.2 Justificativa

Há dois pontos que precisam ser fundamentados a respeito do projeto: a escolha da demanda e a natureza da solução proposta para essa demanda. Quanto à escolha da demanda, optou-se por atender um problema concreto enfrentado por um agente que atua efetivamente na área de tecnologia. Ainda que o propósito principal da equipe seja de fato atender as diretrizes estabelecidas pela matéria, adotar um *stakeholder* adicional traz a dupla vantagem de: a) definir requisitos do projeto de maneira clara, uma vez que o que se precisa ou não fazer é expresso pelo trabalho que o cliente já desenvolve; e b) dar destinação útil ao projeto (caso aprovado) após o fim da matéria, o que está em consonância com o propósito do curso de promover o desenvolvimento de produtos que tenham aplicação prática e/ou potencialmente comercial.

Quanto à natureza da solução, acreditamos que o projeto está voltado a tornar uma rotina de trabalho mais eficiente e segura. Como vimos nos requisitos de segurança das competições, uma plataforma que automatize uma série de tarefas necessárias para a preparação do lançamento de um foguete é mais do que bem-vinda, em favor da segurança dos membros de uma equipe de competição. Ademais, o cliente já reportou dificuldades passadas quanto a essas tarefas, em particular o abastecimento do tanque e o desacoplamento da mangueira, feitos com um sistema de cordas e polias em caráter contingencial.

Desenvolver uma solução definitiva para essas atividades acessórias permitirá que o cliente torne mais produtivo seu trabalho voltado especificamente no desenvolvimento do seu foguete e, quem sabe, o trabalho de outras equipes interessadas e que atuem em projetos semelhantes, o que, em última análise, ajudará no desenvolvimento da atividade espacial brasileira como um todo.



## 2 Concepção e Detalhamento da Solução



### 2.1 Solução Geral

A solução proposta é o projeto de uma estação de controle e monitoramento do lançamento de um foguete experimental movido a propulsão híbrida. Por meio de sensores e atuadores, a estação realizará o abastecimento e a ignição remota do foguete e, durante o voo, a coleta da telemetria deste.

### 2.2 Software

#### 2.2.1 *Product Design*

O *design* do produto é o processo que os *designers* usam para combinar as necessidades do usuário com os objetivos de negócio para criar produtos e experiências de sucesso.

##### 2.2.1.1 *User Centered Design*

*User Centered Design* (Design centrado no usuário) é um termo usado para descrever os processos de *design* os quais os usuários finais influenciam. Alguns processos utilizam técnicas voltadas para entendimento das necessidades dos usuários em pontos específicos, como levantamento de requisitos e testes de usabilidade. Outros métodos têm o usuário como um parceiro dos *designers*, tendo um grande impacto no processo de *design*.

(ABRAS et al., 2004). Para o contexto da disciplina, foram utilizadas algumas técnicas do *User Centered Design* citadas nos tópicos a seguir.

#### 2.2.1.1.1 Entrevistas

Para criar um produto que satisfaça as necessidades dos seus usuários, é necessário entender suas dores e anseios. A realização de entrevistas com usuários é um dos métodos do *User Centered Design* que pode ser utilizado para esse fim. Existem quatro técnicas bastante difundidas no processo de criação de um produto: entrevistas estruturadas, semi-estruturadas, não estruturadas e por telefone. (WILSON, 2013)

- **Estruturadas** : Entrevistas com perguntas estruturadas e padronizadas, utilizadas principalmente para reunir dados demográficos, compreender o conhecimento do usuário, ou para reunir dados de atitude e de opinião.
- **Semi-estruturadas** : O método de entrevistas semi-estruturadas utiliza uma combinação de perguntas estruturadas com a liberdade exploratória das entrevistas não estruturadas. Ela é útil quando você tem algum conhecimento sobre um tópico, mas deseja dar aos usuários a oportunidade de levantar novas questões ou quando o tópico é muito complexo para ser uma entrevista estruturada.
- **Não estruturadas** : Nas entrevistas não estruturadas, utilizam-se de tópicos gerais; porém, não é necessária nenhuma pergunta ou formato pré determinado. Essa entrevista é extremamente importante pra reunir dados sobre as experiências dos participantes, sem restrições. É uma conversa com um objetivo, e o rumo da entrevista pode ser ditado por ambos os participantes.
- **Por telefone** : As entrevistas por telefone são geralmente entrevistas semiestruturadas ou estruturadas conduzidas de maneira remota.

Com embasamento nessas técnicas, fizemos algumas entrevistas com nossos *stakeholders*. Aplicamos diferentes técnicas para cada uma das entrevistas, pois os objetivos eram diferentes.

- **Entrevista semi-estruturada** : A utilização da entrevista semi estruturada foi feita em um cenário complexo, onde tínhamos pouco conhecimento do assunto. Foram criadas perguntas simples para dar objetivo inicial para a entrevista. Após isso, os próprios *stakeholders* tocaram a entrevista, e os integrantes do grupo apenas complementavam com perguntas sobre o assunto. Essa entrevista serviu para entendermos quais dados eram gerados na simulação e quais valores eles traziam para os *stakeholders*. A partir dessa entrevista, conseguimos entender quais os usos dos dados que seriam coletados e mostrados pelo nosso sistema

- **Entrevista não estruturada** : A entrevista não estruturada foi utilizada em um contexto onde já tínhamos um conhecimento melhor sobre o assunto e queríamos validar a experiência dos usuários com o protótipo criado. Não foi estruturada nenhuma pergunta ou método, apenas o objetivo: validar o protótipo. O resultado da entrevista foi uma série de apontamentos sobre a necessidade de cada usuário em cada fase de uma missão. Esses resultados foram utilizados posteriormente para criar uma evolução do protótipo.

#### 2.2.1.1.2 *Brainwriting*

Umas das técnicas mais populares para documentar ideias de maneira rápida é o *brainstorm*. No entanto, essa técnica exige muito esforço para ser aplicada em grupo, devido à dificuldade de organização das ideias e ao gerenciamento de conflitos. O *brainwriting* é a aplicação da técnica do *brainstorm* de maneira silenciosa, proposto para substituir o *brainstorm* em grupos. “*Brainwriting* é a geração silenciosa e escrita de ideias por um grupo de pessoas”. ([VANGUNDY, 1984](#))

Existem 6 maneiras distintas de se fazer um *brainwriting*, são elas:

- *Nominal Group Technique* (NGT)
- *Collective Notebook* (CNB)
- *Brainwriting Pool*
- *Pin Cards*
- *Battelle-Bildmappen-Brainwriting* (BBB)
- *SIL Method*

Para execução do *brainwriting* no nosso contexto, foram feitas algumas adaptações a partir do entendimento e da aplicação de cada uma das técnicas. Foi utilizada uma combinação das técnicas *Brainwriting Pool* e *Nominal Group Technique* (NGT), resultando na seguinte definição:

- o organizador deve identificar um tema central da sessão, um problema;
- cada participante vai usar seu espaço no MIRO para fazer um *brainstorm* silencioso durante 5 minutos cronometrados;
- após os primeiros 5 minutos, os participantes vão usar o espaço do colega do lado pra fazer suas próprias anotações por mais 5 minutos (pode-se repetir);

- após a segunda ou terceira interação (dependendo do organizador), cada participante volta para seu espaço e lê suas ideias para o grupo. Nessa etapa, os integrantes podem fazer perguntas e comentários para ajudar a entender melhor a ideia em questão;
- após todos os integrantes terem lido e entendido o que foi feito, todas as ideias serão agrupadas de acordo com sua similaridade ou proximidade;
- cada participante receberá 1 estrela, 3 triângulos e 5 bolas. Os elementos valem: estrela - 5 pontos, triângulo 3 pontos, bola 1 ponto;
- critério de desempate: o critério de desempate é a quantidade de elementos com pontuação maior. Os integrantes terão 5 minutos para distribuir seus pontos entre as ideias selecionadas na etapa anterior;
- ao fim da dinâmica, é feita a contagem dos pontos e a eleição das ideias que serão aproveitadas pelo grupo, em ordem de prioridade.

Utilizando essa metodologia, conseguimos estabelecer uma visão compartilhada junto à equipe e aos demais envolvidos sobre o produto que seria desenvolvido. O artefato gerado ajuda tanto a manter o foco e a clareza dos objetivos do produto quanto a proporcionar a horizontalidade e a distribuição de conhecimentos em relação a esse produto.

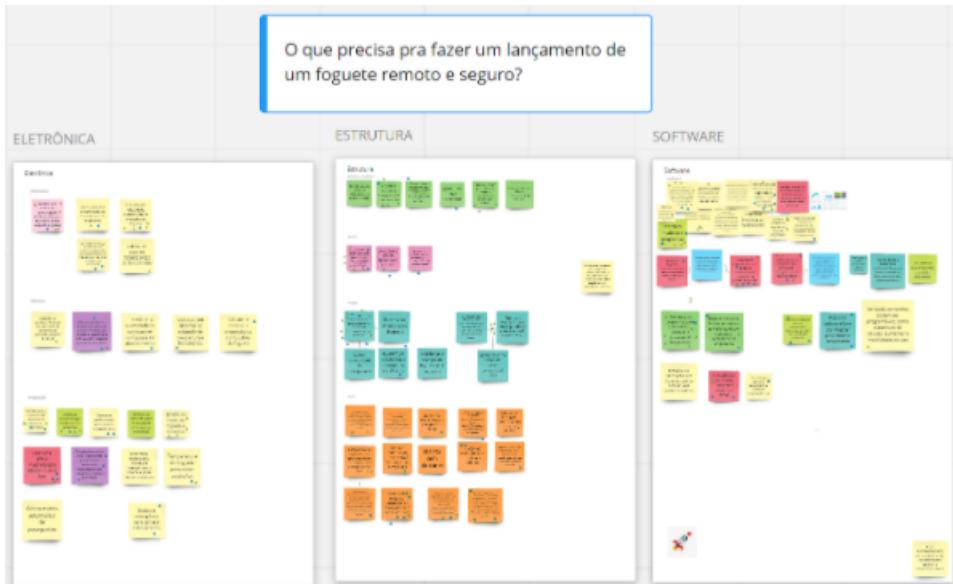


Figura 2 – Brainwriting.

Pode-se acessar em: <[https://miro.com/app/board/o9J\\_kmVCxA=/](https://miro.com/app/board/o9J_kmVCxA=/)>

#### 2.2.1.1.3 Storyboard

Sob a perspectiva de modelos de desenvolvimento, já é comum o uso de histórias de usuários como um aspecto fundamental quando se trata de adotar o modelo *eXtreme*

*Programming.* A ideia consiste em fornecer uma visão de alto nível dos requisitos de um sistema, usadas como principal entrada de informações sobre estimativas e cronogramas, além de guiar a identificação de tarefas de desenvolvimento e conjunto de testes de aceitação (AMBLER, 2004).

O *storytelling* geralmente concentra-se em três linhas de pesquisas distintas: Geração, Interação ou Visualização das histórias (POZZER, 2005). Assim, nesta etapa do trabalho, a ênfase será na linha de construção que remete a forma como a história é gerada, ou seja, como se dá a elaboração da estrutura que irá guiar aspectos mais gerais, como personagens, ações, objetos e relacionamentos entre usuário e desenvolvedor para que essas especificações sejam geradas.

*Storytelling* é um novo paradigma de entretenimento digital que está avançando a passos largos, com a criação de técnicas e ferramentas que permitem que histórias interativas possam ser criadas, visualizadas e guiadas com o auxílio do computador (POZZER, 2005). Por fim, a “Exibição” trata a forma de representação gráfica da história, ou seja, a transformação das abstrações das estruturas internas dos personagens em ações realistas dentro de um espaço gráfico.

Contudo, *storytelling* é mais do que um método baseado no ato de contar uma história. Tem como finalidade a captura e a transmissão de conhecimento de forma estruturada. A metodologia adotada pela equipe entrelaça conceitos de RUP e ágil, o que faz que o dinamismo e a relação com o *stakeholder* sejam de fácil acesso e de muita troca de informações, tornando os requisitos mutáveis e adaptáveis à medida que o processo acontece.

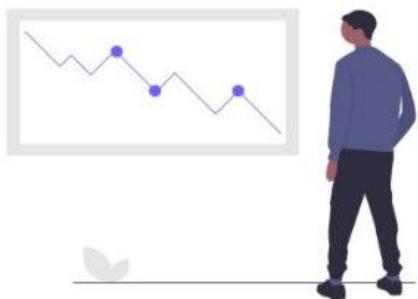
Com base nesse contexto, o *storytelling* tem como objetivo assegurar a construção das histórias de usuário com o intuito de prevenir e corrigir as falhas de comunicação e conceito de escopo que possam existir durante o processo.

O artefato que foi gerado pela equipe pode ser conferido abaixo:

*"Guto é um integrante de uma equipe de competição universitária de lançamento de foguetes de pequeno porte e comumente enfrenta problemas com o lançamento dos foguetes da equipe por conta da necessidade da execução manual obrigatória de rotinas de lançamento.*

*Além disso, as informações a respeito do lançamento e do desempenho do foguete são turvas e só podem ser obtidas após a recuperação do foguete, que acontece depois da competição.*

Guto é um integrante de uma equipe de competição universitária de lançamento de foguetes de pequeno porte e comumente enfrenta problemas com o lançamento dos foguetes da equipe por conta da necessidade da execução manual obrigatória de rotinas de lançamento.



Além disso, as informações a respeito do lançamento e do desempenho do foguete são turvas e só podem ser obtidos após a recuperação do foguete , que acontece depois da competição.



Passando por essas dificuldades, Guto imaginou um dispositivo que fosse portátil , para que ele pudesse levá-lo às competições e que pudesse realizar as tarefas de rotina de lançamento de forma remota e realizar a coleta e exposição das informações durante a fase de vôo e lançamento para que através da análise dos dados ele possa melhorar os próximos lançamentos.

Figura 3 – Storytelling, página 1

*Passando por essas dificuldades, Guto imaginou um dispositivo que fosse portátil, para que ele pudesse levá-lo às competições, e que pudesse realizar as tarefas de rotina de lançamento de forma remota e realizar a coleta e exposição das informações durante a fase de vôo e lançamento para que através da análise dos dados ele possa melhorar os próximos lançamentos.*

*Assim surgiu o GCS , um dispositivo portátil, que, além de sanar as dificuldades de Guto, é portátil, seguro, e projetado por meio do método “user centered design”, para que as suas funcionalidades sejam intuitivas e de fácil usabilidade para o usuário.*



Figura 4 – Storytelling, página 2

*O sistema pode-se comunicar à distância, com o foguete realizando as rotinas de lançamento de forma remota e segura! Além disso, pode extrair informações pertinentes durante todo o processo para que sejam analisadas e também mostra informações sobre o tempo, condições de voo e missões passadas."*

### 2.2.1.2 Arquitetura da informação

A arquitetura da informação é a ciência de organizar e categorizar *web sites*, intranets, comunidades *online* e *softwares*, para favorecer a usabilidade e a facilidade, para se encontrar o que se procura (ALBUQUERQUE; MARQUES, 2011). Ou seja, é a estruturação de toda a informação disponível em um site ou aplicação, para que os usuários possam encontrar fácil e rapidamente o que procuram. E o arquiteto de informação é, na essência, o responsável por isso (ALBUQUERQUE; MARQUES, 2011).

Durante a execução desta etapa do projeto, a equipe dedicou-se a executar atividades que fossem relacionadas aos princípios do *User Centered Design*, e, com base nisso, à elaboração de artefatos que ajudassem a construir uma interface intuitiva para o usuário. Os artefatos elaborados pela equipe podem ser conferidos nas sessões seguintes.

#### 2.2.1.2.1 Wireframe

Os *wireframes* são diagramas de baixa fidelidade que representam o layout de um site ou aplicação. A sua relevância no processo de *design* deve-se ao fato de permitirem explorar, testar e iterar ideias de *design* numa fase inicial do projeto, momento em que as mudanças não vão aumentar o orçamento do trabalho. É importante que as pessoas responsáveis pela criação de conteúdo estejam envolvidas no processo de *wireframing* (BRITO, 2016).

Com o objetivo de testar as possíveis versões da interface e iterar a organização estrutural da informação da aplicação, a equipe elaborou um *wireframe*, que foi validado com os usuários e *stakeholders*. Esse artefato pode ser visualizado abaixo.

Wireframe.

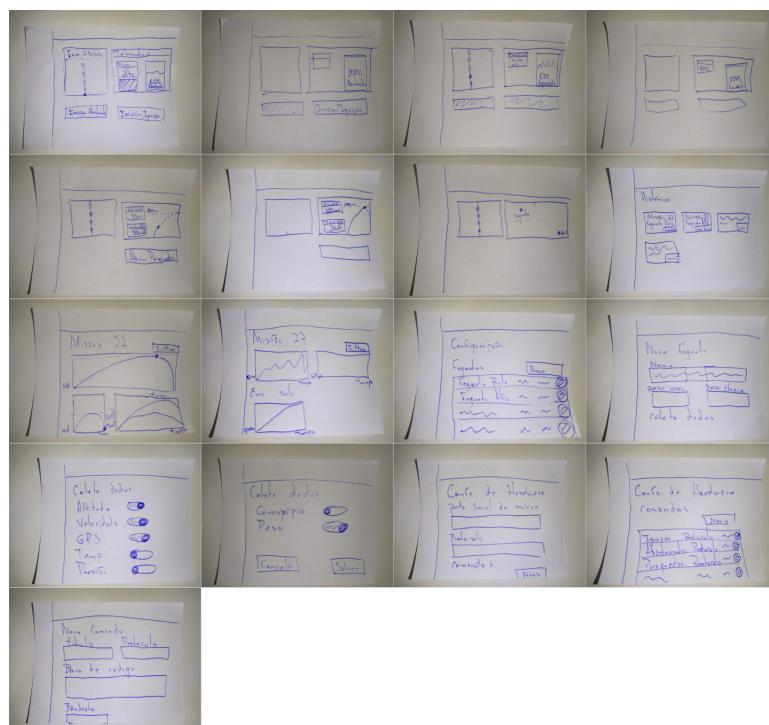


Figura 5 – Wireframe

Pode-se acessar em: <<https://bit.ly/3jnLnmN>>

### 2.2.1.2.2 Protótipo de média fidelidade

A prototipação no desenvolvimento de *software* é um processo que tem como função avaliar as ideias geradas e validar – ou não – todos os requisitos estabelecidos (LILLEY; BARKER; BRITTON, 2004). É nesse momento que a equipe tende a tirar as ideias do papel e passar a entendê-las na forma física.

Essa etapa é importante para verificar se a solução desenhada está adequada ao desafio que o cliente enfrenta, garantindo o alinhamento das informações. Dessa forma, conseguimos minimizar os riscos, permitindo que o cliente valide e faça todos os testes antes da implantação. É importante ressaltar que a fase de prototipação pode – e muitas vezes deve – ser realizada em diversos momentos, já que se verificam falhas de forma ágil, chegando assim a uma solução de software mais assertiva.

Apesar de já serem definidos diversos requisitos antes do desenvolvimento do *software*, é durante a interação real do usuário com o sistema que os novos detalhes são percebidos. Para isso, a equipe realizou a elaboração de protótipos de baixa e média fidelidade, com a colaboração dos usuários e *stakeholders*. As versões dos protótipos podem ser conferidas a seguir:

Protótipo V0.

Protótipo V1.

Protótipo V2.

### 2.2.1.3 Definição do produto

O projeto aplica-se a um contexto de competições de lançamento de foguetes experimentais, onde cada equipe constrói seu foguete com base no regulamento da competição. Os projetos necessitam estar adequados o melhor possível às regras para obter uma boa pontuação. Devido à dinamicidade dos projetos e da baixa restrição de *hardware* das competições, temos diversas configurações de *hardware*. Nesse contexto, os sistemas de *software* têm uma grande necessidade de adequação e adaptação aos diferentes *hardwares* possíveis.

O produto de *software* visa auxiliar o controle e monitoramento do lançamento de um foguete experimental para competições, provendo segurança, controle e visão de uma missão<sup>1</sup>. O sistema irá atuar em 3 momentos na competição:

- abastecimento e ignição do foguete;
- foguete em voo;

---

<sup>1</sup> Uma missão é todo o processo de lançamento de um foguete em uma competição. Vai desde a preparação para o abastecimento até a coleta do foguete após pousar.

- foguete em pouso.

Em ambos os momentos da competição, o sistema comunicar-se-á com *hardwares* externos para fazer as leituras e enviar comandos de controles. Para tornar o produto de software valioso para os clientes, é fundamental satisfazer os objetivos e restrições expostos. Assim, faz-se necessária a construção de um sistema que permita a visualização e controle dos processos da missão, a partir de dados de telemetria e comandos para o *hardware*, sendo estes configuráveis. Portanto, podemos definir as principais funcionalidades do sistema como:

- possibilitar a leitura e exposição dos dados de telemetria do foguete:
  - GPS;
  - Altitude;
  - Velocidade;
  - Temperatura;
  - Pressão;
  - Giroscópio;
  - Peso (em solo);
- possibilitar comandos de ignição, abastecimento e abertura do paraquedas;
- possibilitar configuração dos comandos e protocolos necessários para se comunicar com diferentes *hardwares*;
- armazenar os dados de maneira segura.

#### 2.2.1.3.1 Mapa de requisitos

Neste projeto, aplicamos técnicas de mapa mental para fazer a especificações de requisitos (HAENDCHEN, 2015). Utilizamos a ferramenta **Mind Meister** para construir o mapa mental. A partir da nova definição de produto, foi feito um mapa de requisitos demonstrando todos os requisitos do projeto. A Figura 6 apresenta os épicos, ou principais funcionalidades: **Gerenciar Foguetes**; **Gerenciar Missões**; **Gerenciar Hardware**; e **Comunicar com o Micro Controlador**. Essas informações também estão disponíveis no link à seguir: (<https://mm.tt/1664123184?t=VJwmqWSqXf>).

#### 2.2.2 Problemas na Solução Antiga

Antes de criar ou implantar uma *feature* de *machine learning*, deve-se levar em consideração alguns pontos cruciais para a criação e especificação do produto. Desenvolver um produto de *Machine Learning* (ML) demanda um processo mais complexo e requer

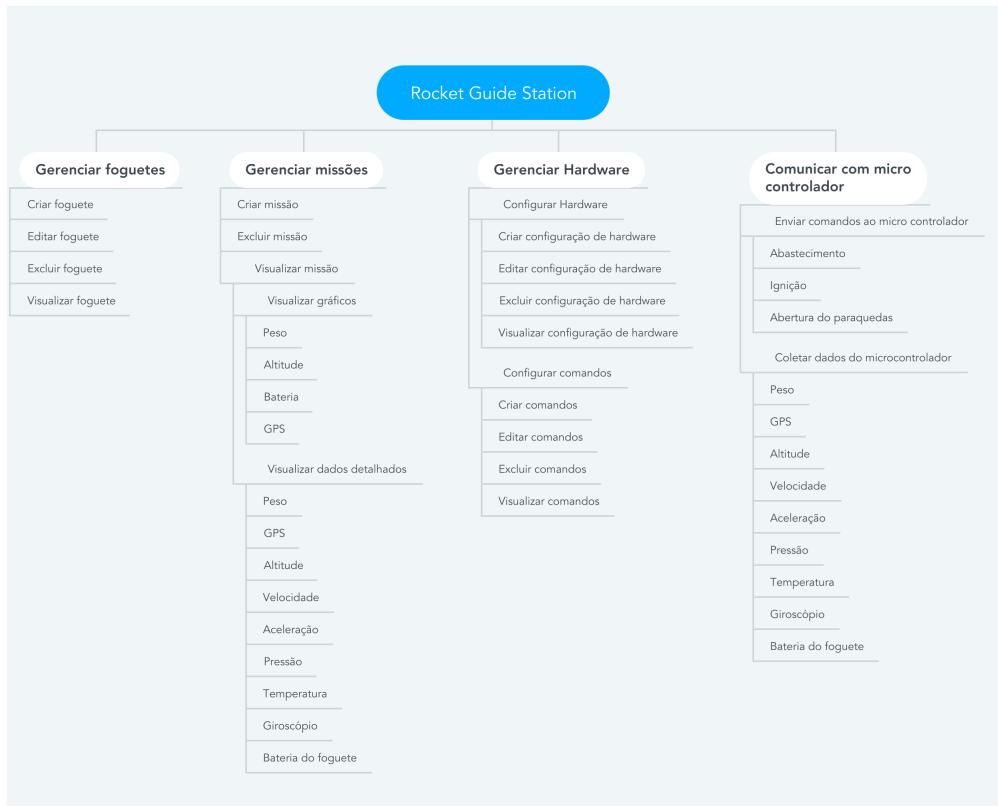


Figura 6 – Mapa de requisitos

mais processamento de *hardware*. Portanto, levamos em consideração algumas ponderações sobre as necessidades do cliente e quais as melhores soluções a serem adotadas e, por fim, verificar a necessidade de utilizar ML para resolver esse problema (SHAMS, 2018).

Primeiro, entendemos que, em um clássico programa, é necessário especificar as regras sobre o que deverá ser feito. Já para ser necessário aplicar ML, essas regras são tantas que não são escaláveis para resolver em um produto comum. A utilização de um algoritmo ou do poder de ML dá-se quando as regras não são precisas ou não são conhecidas, mas temos muitos dados e respostas. Consequentemente, para desenvolver esse produto, é necessário ter um grande problema a ser resolvido, com muitas regras desconhecidas (tantas que se torna difícil implementar usando um software comum) (AMERSHI et al., 2019). Quando se deseja desenvolver um produto, é necessário ter em mente duas coisas principais:

- qual o problema a ser resolvido e quais as respostas esperadas?
- temos acesso a muitos dados?

Se conseguimos responder corretamente essas duas questões, desenvolver um produto de ML é a melhor solução. Nesse projeto, a primeira questão é facilmente respondida, mas a quantidade de dados e informações inviabiliza o desenvolvimento de um ML, pois

o produto de ML é um ciclo, onde no início de tudo, é utilizado **dados**, com esses dados conseguimos fazer boas **predições**. Essas predições melhoram a **experiência do cliente**, que acabam gerando mais **tráfego** e utilização, que implica em ter mais dados e consequentemente mais informações (YANDONG; KEZHENG, 2005). A falta de dados para iniciar esse processo, inviabiliza a utilização desse tipo de solução nesse projeto.

Existem outros quatro fatores importantes que foram levados em consideração na concepção e *design* desse produto:

- **Lógica muito complexa:** A necessidade dos clientes desse projeto, não possui uma lógica complexa a ponto de não ser possível resolver com um software comum. As regras são conhecidas e facilmente manipuladas.
- **Rápida escalabilidade:** Esse projeto possui um problema complexo, mas é um problema pequeno, não possui muitos dados complexos e a utilização não é tão frequente quanto o necessário para utilizar ML. (ex: O Diário Oficial é publicado diariamente, às vezes até mais uma vez por dia, e possui uma série de informações diferentes em cada um, portanto este é um exemplo de problema que necessita de uma rápida escalabilidade).
- **Requer personalização especializada:** Uma das vantagens de utilizar ML é o seu poder de identificar padrões e regras específicas de cada necessidade em um cenário com inúmeras necessidades. Neste projeto as necessidades são mensuráveis e poucas especificidades relacionadas à elas.
- **Adaptação em tempo real:** Por último e não menos importante, é importante verificar se o problema identificado hoje poderá ser modificado no futuro. Neste projeto, identificamos que as necessidades podem ser modificadas de acordo com os componentes de *hardware* e sensor, o edital e as regras da competição, portanto é um problema que necessita de uma adaptação em tempo real.

Após analisar esses pontos, entendemos que a solução desse projeto não precisa ser - e de fato não é recomendado que seja - resolvida com o uso de ML. Ao primeiro momento, o objetivo será focar em coletar e iniciar o armazenamento de dados para que futuramente possa ser inserido uma *feature* de ML para resolver problemas mais complexos. A implantação de um ML no projeto no momento atual não se faz necessária e tem alto custo de processamento. Ela pode atender as necessidades do cliente, mas é uma ferramenta muito poderosa para ser aplicada no problema atual.

## 2.2.3 Definição da Arquitetura

### 2.2.3.1 Padrão Arquitetural

De acordo com o problema que o projeto visa resolver, a solução técnica proposta será embasada na arquitetura REST. A arquitetura *Representational State Transfer* (REST), em português Transferência Representacional de Estado, é ideal ao nosso sistema, pois ele possui baixa complexidade e necessidade de utilização dos dados em tempo e estado definidos. De acordo com (TRIPOLI; CARVALHO, 2016) em suas conclusões, um sistema nem sempre se encaixa no perfil de um arquitetura distribuída, como a arquitetura micros-serviços, que, se aplicada de modo equivocado, pode prejudicar o bom andamento do projeto, pois exige maior complexidade no desenvolvimento e implantação do sistema, concluindo que esse tipo de arquitetura não deve ser aplicada a *softwares* simples e com baixo grau de complexidade.

A complexidade de um sistema nada diz sobre a eficiência e eficácia deste. Nossa solução proverá uma comunicação necessária para que as regras de negócio sejam aplicadas, satisfazendo as expectativas dos usuários e clientes. Após um estudo, foi verificado que uma *Application Programming Interface* (API), em português Interface de Programação de Aplicativos, que seja RESTful, ou seja, capaz de implementar a arquitetura REST, é ideal para o problema proposto.

No diagrama com protocolos de comunicação entre componentes do software Figura 8, vemos que a comunicação entre os componentes do sistema deve ser planejada de maneira sistemática, e esse foi o caso. O sistema será construído usando a linguagem de programação JavaScript. O uso de JavaScript é bem comum para os *browsers*, porém é necessários ajustes para a sua utilização a nível de *backend*. Esses ajustes são realizados pelo *runtime* Node.js, um ambiente em tempo de execução capaz de rodar um servidor *web* local na porta 4200 como padrão. O Node.js, além de permitir a execução de código localmente fora no navegador, é responsável também por gerenciar pacotes e empacotar tudo que é necessário para executar e interpretar código JavaScript.

Na Figura 7 (SACHDEVA, 2019) vemos a lógica por trás da aplicação da linguagem JavaScript em nossa API.

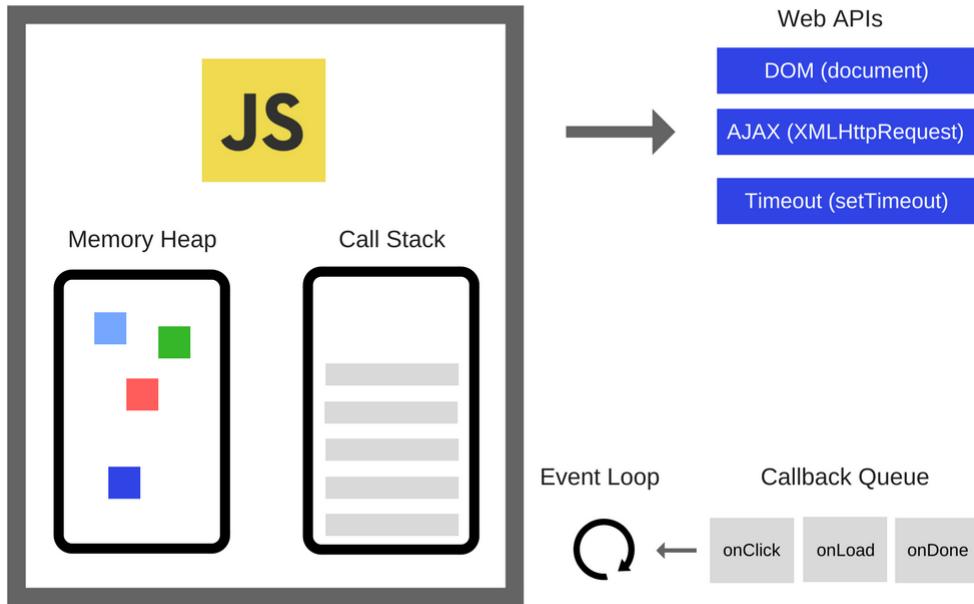


Figura 7 – Modo como o JavaScript é executado fora do browser

Fonte: ([SACHDEVA, 2019](#))

#### 2.2.3.2 Representação da Arquitetura

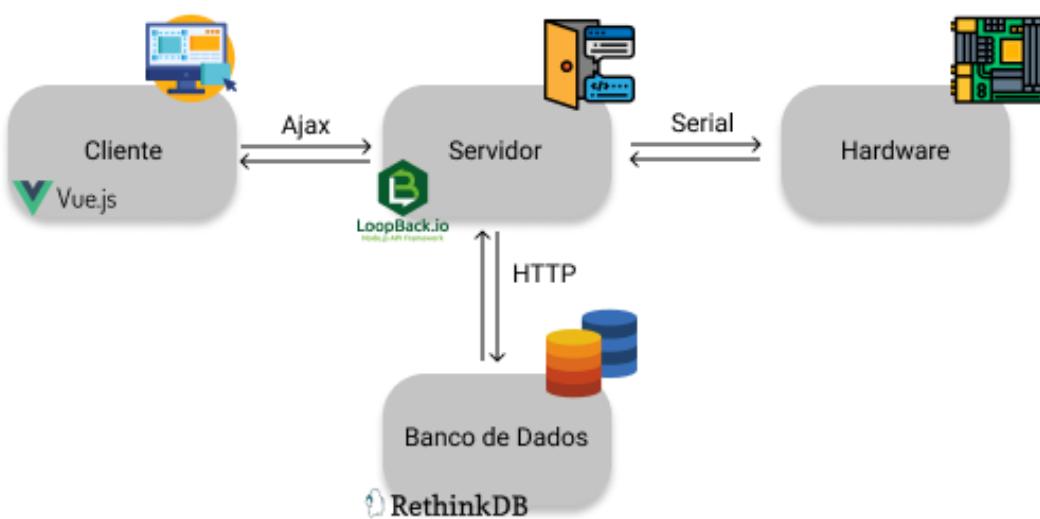
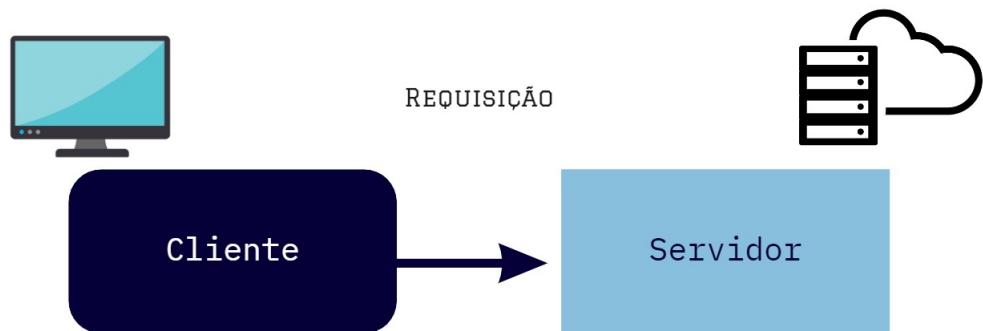


Figura 8 – Representação da Arquitetura

### 2.2.3.2.1 Cliente

Em aplicações *web*, é muito comum adotar o conceito de *Client-side* e *Server-side* dentro da arquitetura em camadas ([ISKANDAR, 2020](#)). Nossa aplicação não será essencialmente *web*, já que não será possível executar um *browser* e também ter acesso à internet, assim como citado na Seção [2.2.6](#) deste documento. Porém, vamos usar uma tecnologia inovadora implementada pelo *framework* JavaScript Electron.js, que possibilita o desenvolvimento de aplicações *desktop cross-platform*, em português seria algo como uma mescla de tipos de plataformas (*web* e *desktop*), utilizando ferramentas *web* como JavaScript, HTML e CSS ([OPENJS, 2020](#)).

O ciclo de vida do lado do Cliente (*Client-side*) é representado na figura [10](#). O JavaScript faz requisições, ações que o usuário deseja executar ao utilizar a interface da aplicação, por meio de chamadas AJAX (Asynchronous JavaScript And XML), em português seria algo como JavaScript assíncrono + XML ([MOZILLA, 2020a](#)). Com essa tecnologia, uma aplicação *web* é capaz de realizar atualizações incrementais na interface apresentada ao usuário.



miro

Figura 9 – Cliente da aplicação Desktop

A tecnologia que será usada é o Vue.js um *progressive framework*, em português "*framework* progressivo", em JavaScript para o desenvolvimento no *Client-side* ([AUTODESIGNER, 2020](#)).

(CODE, 2020) e também fazendo uso do "axios" que é um cliente HTTP baseado em *promises*, que é um objeto usado para processamento assíncrono (MOZILLA, 2020b). Nesse contexto, o desenvolvimento *frontend* será responsável por criar a interface gráfica e também a comunicação entre *Client-side* e *Server-side*.

#### 2.2.3.2.2 Servidor

Do lado do servidor, *Server-side*, temos recebimento de requisições por parte do cliente, o processamento lógico e, por fim, o envio da resposta correspondente ao cliente.

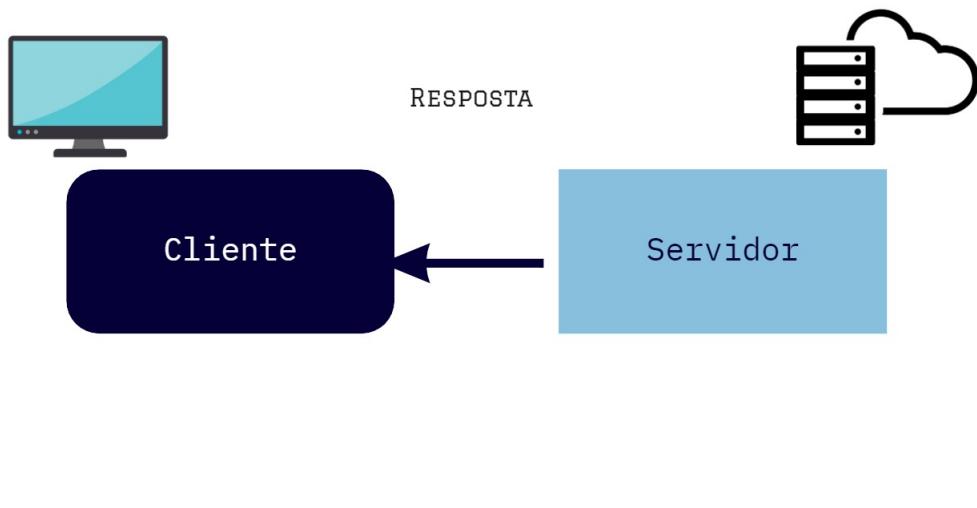


Figura 10 – Servidor da aplicação Desktop

Faremos uso de uma API Rest escrita em JavaScript, por meio do Framework Loopback, um *framework* altamente expansível baseado no famoso Express e em Node.js + Typescript (IBM, 2020). Dessa forma, poderemos criar serviços REST que serão consumidos pelo Cliente por meio de *endpoints*.

Para o *pipeline* de funções que manipulam as requisições e respostas HTTP que serão necessárias para a comunicação com o Banco de dados, faremos o uso de *middleware*. Esse tipo de metodologia de processamento implementa o padrão de projeto *Chain of Responsibility* (GAMMA, 1994), o qual é desenhado para desacoplar o envio e recebimento de mensagens dividindo a tarefa de manipulá-las entre múltiplos objetos tal como na figura 11:

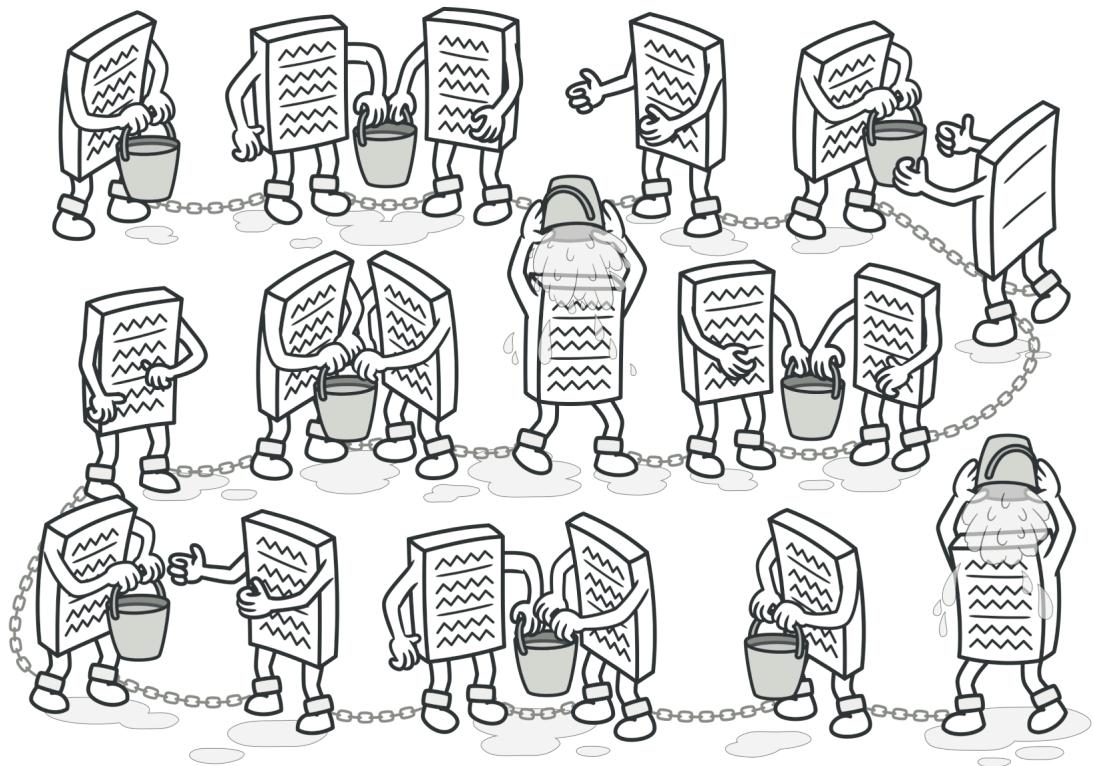


Figura 11 – Padrão de Projeto Chain of Responsability ([GURU, 2020](#))

Com o *Loopback*, podemos criar uma sequencia de funções que realizam o processamento adequado de mensagens conforme representado na Figura 12 ([IBM, 2020](#)).

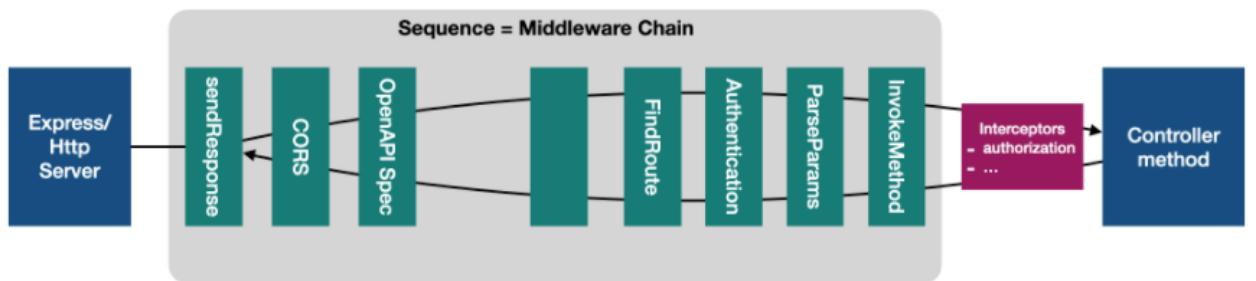


Figura 12 – Sequência baseada em Middleware ([IBM, 2020](#))

#### 2.2.3.2.3 Banco de Dados

Para oferecer uma experiência satisfatória ao usuário da aplicação, os dados devem ser apresentados em tela em tempo real. Nossa base de dados deve ser capaz de detectar qualquer mudança realizada em seu armazenamento. Para isso, optamos por usar a

tecnologia do banco de dados RethinkDB, um banco de dados open-source capaz de realizar envio de dados no formato JSON em tempo real. Além disso, é um banco de dados NoSQL, que nos permite flexibilidade se comparado com bancos SQL, mas que mantém a organização a nível de modelagem de dados. A tecnologia por trás disso é a *schemaless JSON documents*, um armazenamento de documentos JSON não esquematizado. Todos os documentos NoSQL armazenam suportam as mesmas operações básicas:

- criar ou apagar registros de uma coleção;
- criar, recuperar, atualizar ou deletar um documento;
- consultar uma coleção;
- criar ou apagar registros de índices.

Dessa forma, teremos uma ferramenta poderosa para manipular nossos dados. Diferentemente de bancos SQL, os arquivos são escritos em documentos, com estruturas semelhantes às abaixo:

```
{
    "PrimeiroNome": "Gabriela",
    "Idade": 26
}
```

Figura 13 – Documento em formato JSON

```
<pessoa>
    <primeironome>Yakov</primeironome>
    <idade>26</idade>
</pessoa>
```

Figura 14 – Documento em formato XML

#### 2.2.3.2.4 Hardware

A comunicação entre o *hardware* e o *software* do projeto é feita via porta serial. Em fase experimental, iremos fazer um *script* para simular o funcionamento dessa integração e relatar o desempenho possível e desejado. Até o momento, não foram encontradas evidências de que o *script* poderá ser escrito em JavaScript, já que existe a biblioteca Serialport.js ([NODE, 2020](#)) que dá o necessário suporte a esse tipo de comunicação. Porém, caso haja qualquer problema de compatibilidade, faremos uso do padrão de projeto Adaper, que tem como objetivo prover uma interface que liga objetos com diferentes tipos de linguagem e protocolos de comunicação. O padrão é representado pela Figura 15:

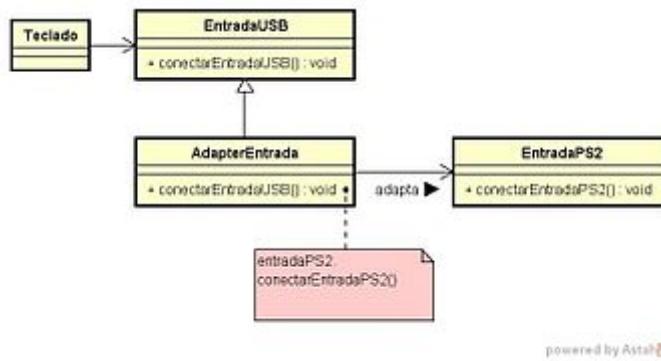


Figura 15 – Padrão de projeto Adapter ([WIKIPEDIA, 2020](#))

#### 2.2.3.3 Ambiente

Tendo em vista a arquitetura do projeto e a falta da placa para testar o sistema nas condições reais, foi adotada a estratégia de conteinerização dos serviços. Assim é possível isolar os ambientes, bem como facilitar a configuração do ambiente de produção (já embarcado no dispositivo). Para isso, foram utilizadas as seguintes tecnologias:

- Docker ([DOCKER, 2020](#))
- Docker - Compose ([COMPOSE, 2020](#))

#### 2.2.3.4 Arquitetura computacional

O sistema será desenvolvido para ser executado em um computador de arquitetura 64 bit ARM (Arm64) e um sistema operacional que opere nessa mesma arquitetura ([DEBIAN, 2020](#)).

#### 2.2.4 Diagrama de Sequência

O principal objetivo do diagrama de sequência é verificar se ele é consistente com a declaração dos requisitos, bem como com sua estrutura de árvore bem formada. Enquanto isso, a construção do diagrama é definida em termos das transições de estado, que são realizadas pelas invocações de método no diagrama, representados no nosso contexto por Cliente, Servidor, Banco de Dados e Micro Controlador. Quando uma mensagem é executada, ela deve ser consistente com o estado do sistema, e com as dependências de transações entre os estados ([LI; LIU; JIFENG, 2004](#)). Nós construímos o diagrama de sequência, presente no Apêndice A, com o objetivo de alinhar o processo de lançamento e especificar os requisitos.

## 2.2.5 Modelagem de Dados

A modelagem dos dados foi feita com base nos requisitos e utilizando o *software* BrModelo. Primeiro, optamos por fazer o modelo conceitual especificar em um nível mais alto as entidades e seus relacionamentos. A Figura 16 apresenta as entidades: *Foguete*, *Missão*, *Temperatura*, *Velocidade*, *GPS* e *Pressão*, mantendo um relacionamento. As entidades *Hardware* e *Comando* não possuem relação com a entidade *Foguete* e *Comando*, pois se trata de uma configuração presente na *Ground Station* apenas, não interagindo assim diretamente na *Missão* e no funcionamento do *Foguete*.

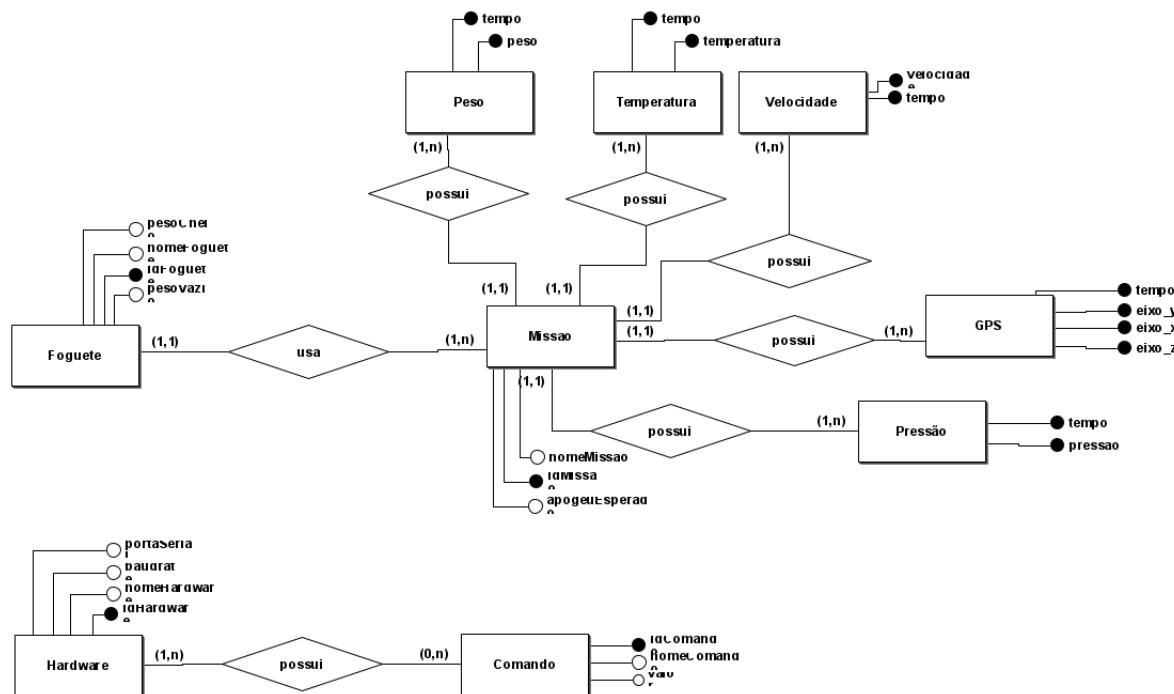


Figura 16 – Modelo Conceitual da modelagem.

Em seguida, foi gerado o modelo lógico da implementação para representar as tabelas junto com as chaves primárias e estrangeiras. A Figura 17 apresenta essa implementação.

## 2.2.6 Metas e restrições de arquitetura

### 2.2.6.1 Metas

- Auxiliar o usuário no lançamento e acompanhamento de voo de um foguete experimental.
- Armazenar dados dos lançamentos de forma sistemática.
- Ter uma interface intuitiva e de fácil utilização, para agilizar o processo de lançamento do foguete e análise dos dados pós voo.

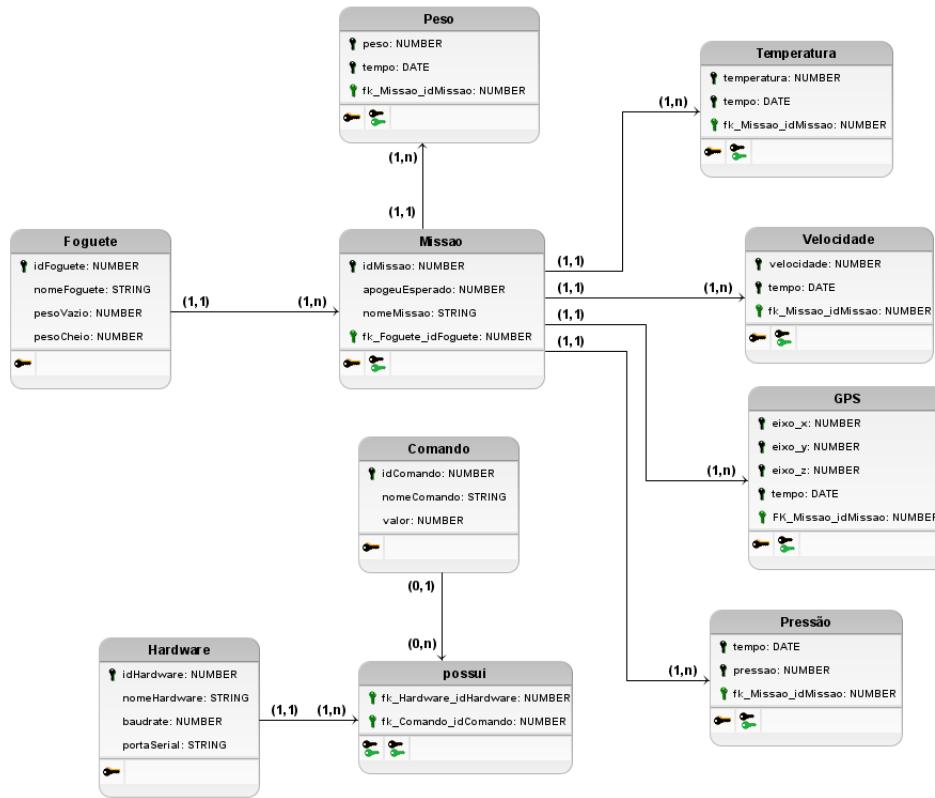


Figura 17 – Modelo Lógico da modelagem

- Possibilitar o controle do lançamento e acompanhamento do voo do foguete.

#### 2.2.6.2 Restrições

- O sistema não terá acesso a internet.
- Deve ser executado em microcomputador com recursos limitados.
- Realizar *streaming* de dados obtidos do foguete em tempo de execução.
- Disponibilizar dados armazenados em CSV para exportação via cartão SD.
- Utilizar ambiente containerizado (Docker) para virtualização do ambiente, a fim de poder simular o comportamento do software, já que não teremos a placa para fazer os testes.
- Deve ser utilizado um computador de arquitetura 64 bit ARM (Arm64) e um sistema operacional compatível.

## 2.3 Eletrônica

A solução de eletrônica do projeto consiste em garantir todo o funcionamento eletrônico do projeto, que é composto pelas áreas: telemetria, sensoriamento e controle do abastecimento e ignição do foguete.

Como o principal objetivo do projeto é construir um sistema de controle e monitoramento do foguete que permita isso ser feito a uma distância segura. Para isso, foi pensada uma solução envolvendo telemetria tanto para colher os dados quanto para enviar sinais de comando. Para melhor detalhamento do projeto na parte de *hardware*, a figura 86 no apêndice B resume bem a solução proposta.

Dado os avanços e o melhor desenvolvimento das ideias da proposta de solução da eletrônica, foi construído um diagrama geral mais detalhado, no qual foram incluídos os tipos de protocolos, quantidade de fios necessários e as demais informações que foram pesquisadas no ponto de controle 02. O novo diagrama pode ser visto no seguinte link [Diagrama Geral](#).

### 2.3.1 Telemetria

É um processo remoto de aquisição ou envio de dados, ou seja, é utilizado para medir, rastrear ou até mesmo controlar à distância alguma coisa. Esse processo é feito geralmente por um sistema de comunicação sem fio, como por exemplo por radiofrequência ou via satélite. ([CAPELARI, 2012](#)).

Atualmente, a telemetria está presente em diversos ramos da vida cotidiana do ser humano: na apuração das informações de um automóvel, no controle meteorológico, na agricultura e em outras diversas atividades. Para o projeto proposto, entende-se que o uso da telemetria em tempo real é extremamente vantajoso para a aquisição de dados durante o voo do foguete e para o controle autônomo do seu abastecimento/ignição.

Como requisito de segurança, é necessário fazer o controle do foguete à distância. O recomendado pelas regras da LASC, competição a qual o cliente pretende participar, é uma distância mínima de 500m (lembre que o foguete pode atingir uma altura de voo de aproximadamente 1km). Ou seja, fazer a aquisição de dados e o controle de abastecimento e ignição via cabo seria muito dispendioso, ou mesmo inviável, sujeito a maiores riscos de falhas, ou ficando na dependência de coletar os dados armazenados na memória do foguete somente após sua recuperação. Por essas razões, entende-se que é necessário realizar a telemetria em tempo real. Para melhor entendimento, na figura 18 encontra-se o esquemático de um lançamento de foguete.

Como trata-se de uma função específica, o controle à distância e a aquisição de dados do pré-lançamento, do lançamento, do apogeu até a chegada do foguete no chão, é

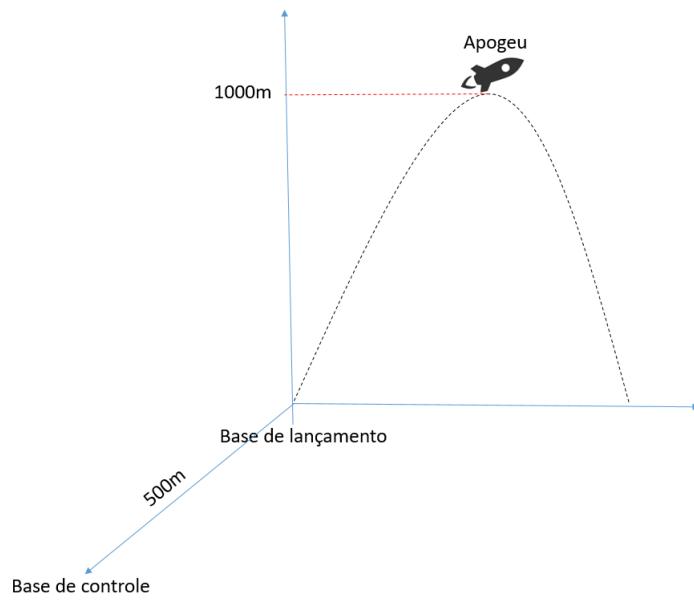


Figura 18 – Diagrama do Lançamento.

Fonte: Elaborado pelo autor.

necessário compreender o problema e levantar requisitos para escolher a melhor forma de fazer a telemetria do projeto.

Foram analisadas diversas formas de fazer a telemetria, entre elas estão: a telemetria feita por radiofrequência, Lora, Wi-Fi, ZigBee, GPRS, Bluetooth, entre outras, analisando os seguintes requisitos:

- Alcance;
- Taxa de Transição de dados;
- Protocolo de Comunicação;
- Frequência dos Protocolos;
- Potência de Transmissão;
- Interface de Dados;
- Consumo.

Por fim, analisando diversos componentes, foi definido que a Placa Lora Esp32 da HELTEC figura 19 atende os requisitos do projeto citados acima, garantindo assim o funcionamento de qualidade do projeto, sendo que o principal motivo foi a distância alcançada pelo transmissor.



Figura 19 – Placa Lora Esp32 da HELTEC.

Fonte:([SYSTEMS, 2020](#))

Contudo, como forma de garantir a integridade dos dados, foi pensado em ter um cartão MicroSD para gravação dos dados, evitando assim a perda de dados por falha na telemetria.

### 2.3.1.1 Lora

A comunicação feita via Lora(Long Range) é um método de comunicação à distância sem fio, utilizando radiofrequência e pode ser considerado um marco para o IOT-internet das coisas, possibilitando diversos projetos com sua utilização.

A técnica de modulação utilizado pela LoRa é baseada na modulação *Chirp Spread Spectrum* (CSS), que é bastante semelhante à modulação FSK (*Frequency-shift keying*), onde a frequência varia linearmente ao longo do tempo. Contudo, o LoRa tem um ganho de potência maior em relação a modulação FSK, possibilitando assim maior alcance dos sinalis.

A tecnologia LoRa possui uma carga útil de dados que pode varia entre 2 até 255 bytes, dependendo das configurações a serem utilizadas, além de ser possível alcançar até 50 Kbps. Para isso, é necessário utilizar artifícios de técnicas de canais ([BARREIROS, 2019](#)). A LoRa pode ser utilizada em diversas bandas ISM (Industrial Sientific and Medical), que regula as frequências para livre desenvolvimento industrial, sendo que cada país tem seu órgão responsável para distinguir qual faixa pode ser utilizada. Segundo a Resolução nº 726, de 05 de maio de 2020, que regulamenta as faixas livres de frequência no Brasil([ANATEL, 2020](#)), a LoRa enquadra-se na faixa de frequência livre no Brasil, que varia de 902 a 928 MHz, entre outras, sendo que a LoRa opera em 915MHz no continente americano (cf. figura 20) .

A modulação LoRa codifica a mensagem em pulsos de *chirps*, sendo que possui

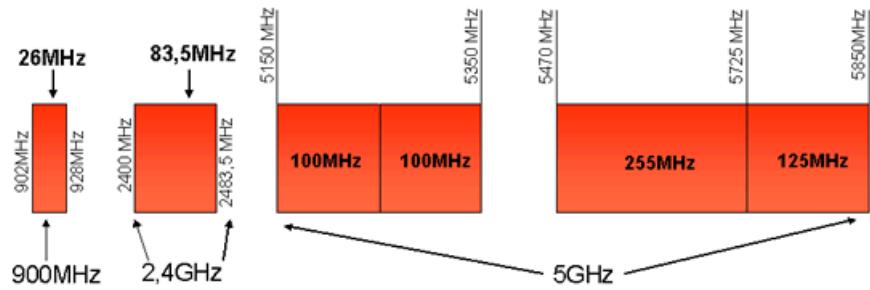


Figura 20 – Faixa de FrequênciA ISM no Brasil.

Fonte:([TELECO, 2020](#))

alguns parâmetros importantes para o melhor entendimento do funcionamento do mesmo: a largura de banda, a frequênciA da portadora e a taxa de código([ORTIZ THALES T. ALMEIDA, 2019](#)).

A frequênciA da portadora é definida como a frequênciA central da informaçAo, que é especificada pela regiAo utilizada pelo equipamento (como citado anteriormente, a frequênciA é de 915MHz para o continente americano).

A largura de banda (BW) define o tamanho da faixa de frequênciA que a mensagem vai ser transmitida, ou seja a quantidade de informaçAo que irá caber na mensagem. No protocolo de comunicaçAo LoRa, há 3 configurações possíveis programáveis: 125KHz, 250KHz e 500KHz. Já o fator de espalhamento (SF) determina a variaçAo da duraçAo do pulso *chirps* (cf. figura 21), podendo variar de 7 até 12: quanto maior o SF, maior será o tempo da mensagem no ar e, consequentemente, menor o tamanho da mensagem enviada. Na figura 22, pode-se notar a representação dessa variante.

A taxa de código (CR), por sua vez, é o padrão de correção de erros do LoRa, e é dado pela equaçAo 2.1

$$CR = \frac{4}{4 + n} \quad (2.1)$$

com n variando de 1 a 4 ([RIBEIRO, 2019](#)).

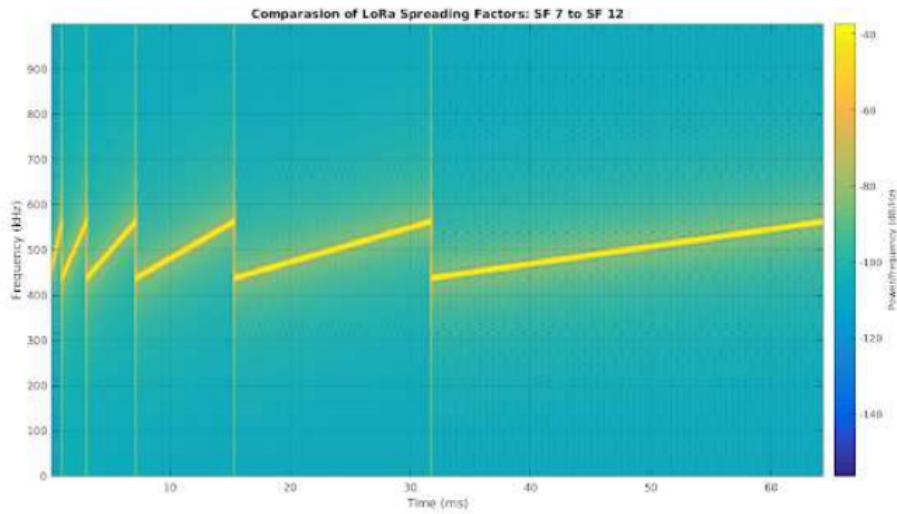


Figura 21 – Diferentes símbolos para SF diferentes em LoRa.

Fonte:([ZHO, 2019](#))

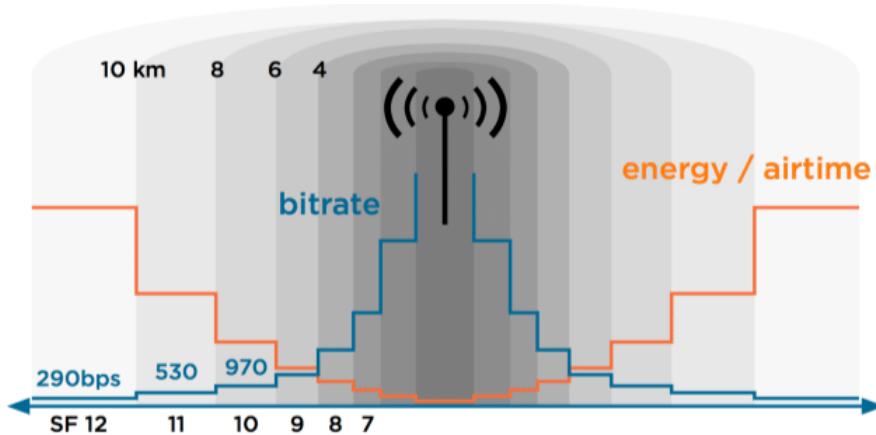


Figura 22 – Diferentes distancias para SF diferentes em LoRa.

Fonte:([SHUDA A.J. RIX, 2017](#))

A taxa de bits transmitidas na modulação LoRa pode ser calculada pela equação 2.2. Na figura 23, pode-se observar a variação da taxa de transmissão LoRa. Variando o SF e a BW, decidimos usar um SF entre 7 e 8, que atende nossa distância pretendida com uma largura de banda de 500KHz e uma taxa de código de 4/5 ou 4/6 que garante uma quantidade grande de dados a serem transmitidos.

$$Rb = SF * \frac{BW}{2^{SF}} * CR \quad (2.2)$$

Onde:

$R_b$  = Taxa de bits/s,

BW = Largura de banda,

SF = Fator de espalhamento,

CR = Taxa de código.

Taxa de dados (bps)		Spreading Factor					
		7	8	9	10	11	12
Largura de Banda (kHz)	125	3418	1953	1098	610	336	183
	250	6836	3906	2197	1220	671	366
	500	13672	7813	4395	2441	1343	732

Coding Rate 4/8

Taxa de dados (bps)		Spreading Factor					
		7	8	9	10	11	12
Largura de Banda (kHz)	125	3906	2232	1256	698	384	209
	250	7813	4464	2511	1395	767	419
	500	15625	8929	5022	2790	1535	837

Coding Rate 4/7

Taxa de dados (bps)		Spreading Factor					
		7	8	9	10	11	12
Largura de Banda (kHz)	125	4557	2604	1465	814	448	244
	250	9115	5208	2930	1628	895	488
	500	18229	10417	5859	3255	1790	977

Coding Rate 4/6

Taxa de dados (bps)		Spreading Factor					
		7	8	9	10	11	12
Largura de Banda (kHz)	125	5469	3125	1758	977	537	293
	250	10938	6250	3516	1953	1074	586
	500	21875	12500	7031	3906	2148	1172

Coding Rate 4/5

Figura 23 – Diferentes taxa para SF e BW diferentes em LoRa.

Fonte: ([RADIOENGE, 2018](#))

### 2.3.2 Sensoriamento

Sensores são dispositivos que possuem a função de detectar e responder com eficiência algum estímulo. Existem vários tipos de sensores que respondem a estímulos diferentes, como por exemplo: calor, pressão, movimento, luz e outros. Depois que o sensor recebe o estímulo, a sua função é emitir um sinal que seja capaz de ser convertido e interpretado pelos outros dispositivos ([MATTEDE, 2020](#)).

Definidos os requisitos do projeto, sabe-se que será necessário o uso de sensores e transdutores para a coleta de dados de altitude, velocidade e localização geográfica (GPS) do foguete, e também do peso do foguete durante o abastecimento na sua base de lançamento. Para tal, serão utilizados apenas 3 sensores para obter essas 4 medidas.

### 2.3.2.1 Altitude e Velocidade

Para medição da altitude e velocidade do foguete durante o lançamento, foi escolhido o sensor de pressão e temperatura BMP280, visto na figura 24 ([SENSORTEC, 2018](#)).

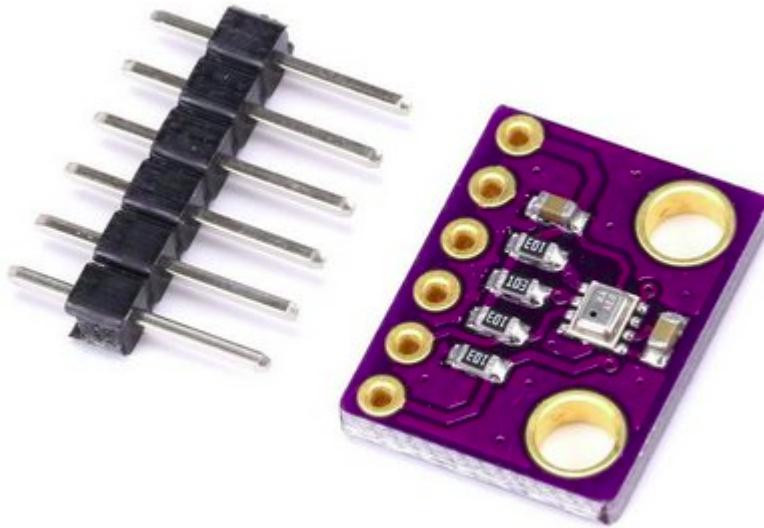


Figura 24 – Sensor de pressão e temperatura BMP280 (Bosch).

Fonte:([ARDUINOMEGA](#), )

Esse sensor mostrou-se o mais viável, pois, implementando-o com uso de determinadas bibliotecas, é possível obter os dados de temperatura (Graus Celsius), pressão (hPa) e altitude (metros).

Logo, sabendo a altitude do foguete e obtendo a sua variação ao longo do tempo, este podendo ser medido pelo *clock* próprio do microcontrolador, é possível medir a velocidade do foguete em cada instante, por meio do cálculo da velocidade média, equação 2.3.

$$V = \frac{\Delta S}{\Delta T} \quad (2.3)$$

onde V é a velocidade média do foguete durante o voo, em m/s,  $\Delta S$  é a variação de altitude do foguete durante o voo, em metros e  $\Delta T$  é a variação de tempo de subida do foguete durante o voo, em segundos.

O sensor BMP280 realiza medições de pressão com precisão de  $\pm 1$  hPa e temperatura com precisão de  $\pm 1^\circ C$ . Com essa precisão, é possível realizar medições de altitude

com margem de erro de  $\pm 1$  metro, efetuando a leitura entre 300 e 1100 hPa, o que corresponde à faixa de altitude de +9000 à -500 m (CIA, 2017). Em relação aos sensores existentes no mercado, o BMP280 foi o que melhor atendeu aos requisitos, pois ele é a versão mais atual e precisa dos modelos BMP180 e BM085. Também é de baixo consumo em relação aos sensores Mpx10dp e Mpx5700, possuindo melhor aplicabilidade.

Para a implementação do sensor, é necessário o uso de duas bibliotecas da Adafruit para o sensor BMP280 (ADAFRUIT, ): a [Adafruit\\_Sensor.h](#) e a [Adafruit\\_BMP280.h](#).

Para ambientes que a Adafruit não pode ser implementada, a Bosh, fabricante do sensor, disponibiliza um código em C para a sua implementação (em [BME280\\_driver](#)).

As bibliotecas citadas anteriormente já disponibilizam funções, em código C, que retornam as medidas de pressão, temperatura e altitude, tais funções são:

- float readPressure() -> Leitura da Pressão atmosférica
- float readTemperature() -> Leitura da Temperatura
- float readAltitude -> Leitura da Altitude (em metros, considerando nível do mar)

Os dados retornados por cada uma dessas funções são do tipo *float*, portanto cada medida tem o dado do tamanho de 4 bytes.

Usando a comunicação I2C, a conexão das pinagens entre o sensor e o microcontrolador foi definida com o SDA e SCL do BMP280 conectados aos pinos D21 e D22 da ESP32 LoRa, respectivamente. Para comunicação, foram conectados o VDD e GND do BMP280 com os pinos 3V3 e GND da ESP32 LoRa respectivamente, conforme mostrado na figura 25.

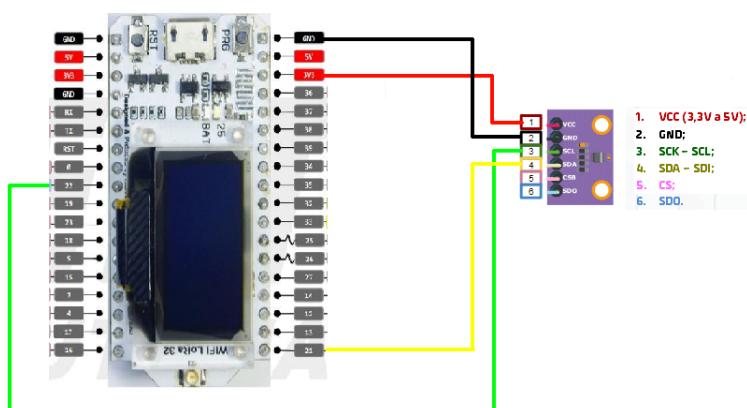


Figura 25 – Conexões entre sensor BMP280 e ESP32 LoRa - Protocolo I2C.

Fonte : Autor

### 2.3.2.2 Localização Geográfica (GPS)

A sigla GPS significa Global Positioning System, o que em português quer dizer Sistema de Posicionamento Global. É uma tecnologia que utiliza satélites e dispositivos para fornecer informações sobre a localização no globo terrestre ([INFORMAÇÃO, 2020](#)). A localização GPS será utilizada para obter a posição geográfica do foguete após sua aterrissagem, podendo também fornecer as coordenadas ao longo do lançamento para determinar a trajetória percorrida pelo foguete. Foi definido para tal função o GY-NEO6MV2 (Figura 26), um módulo GPS composto por duas partes, a antena, responsável por captar as informações provindas dos satélites e o sistema de controle, responsável pelo processamento dos dados obtidos, por meio do microcontrolador interno NEO6 ([UBLOX](#), ).



Figura 26 – Módulo GPS GY-NEO6MV2 (uBlox).

Fonte: ([ROBOCORE, 2020](#))

O módulo GPS GY-NEO6MV2 foi escolhido por ser de fácil utilização, realizando a comunicação por meio de comunicação serial, usando apenas 2 pinos (TX e RX), o que permite a comunicação com os mais diversos tipos de equipamentos e microcontroladores. Esse componente apresenta um consumo de corrente em média de 45 mA, enquanto o módulo similar, VK2828U7G5LF, consome em média 50 mA.

Para a aplicação com o módulo é necessário o uso de duas bibliotecas essenciais. A primeira é para a realizar a comunicação serial do microcontrolador com o módulo GPS, onde pode ser usada tanto a biblioteca [SoftwareSerial.h](#) para usar a IDE do arduino, quanto a biblioteca [EspSoftwareSerial.h](#) como exclusivo da ESP32. A segunda ([TinyGPS.h](#)) contém todas as funções e comandos necessários para se comunicar com o módulo e acessar suas ferramentas.

Para GPS GY-NEO6MV2, com a vantagem da sua comunicação ser serial, a sua pinagem com a WiFi Lora ESP32 é bastante simples. Portanto, foi definida a conexão dos pinos de VCC e GND do módulo com os pinos 3V3 e GND da ESP32, para alimentação,

e conectamos o TX e RX do módulo com os pinos de RX e TX da ESP32 LoRa, usando o protocolo UART de comunicação. A figura 27 mostra as conexões entre os componentes.

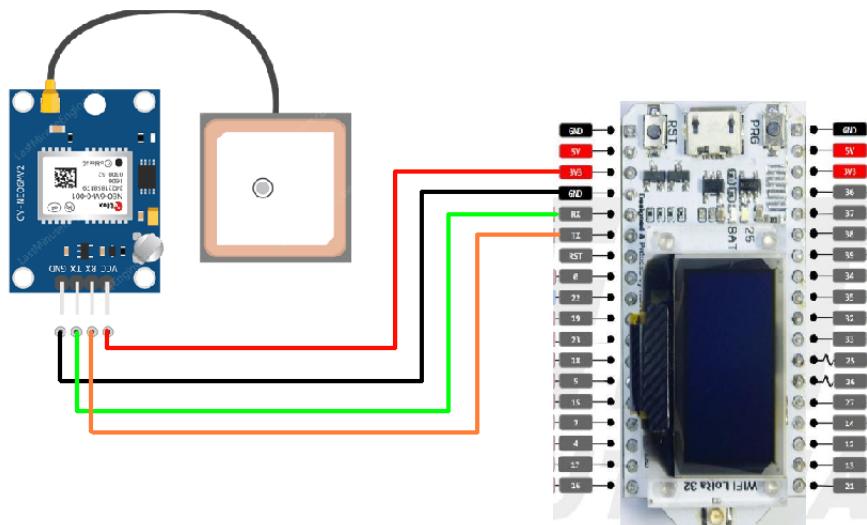


Figura 27 – Conexões entre o GPS GY-NEO6MV2 e ESP32 LoRa - Protocolo UART.

Fonte : Autor

### 2.3.2.3 Peso do foguete

Por meio do acompanhamento do peso do antes, durante e depois do abastecimento do foguete, será possível controlar e medir a quantidade de combustível contido em seu tanque. Para mensurar o peso do foguete, serão utilizadas duas células de carga.

Uma célula de carga é um transdutor de força que converte a carga que atua sobre ele em uma saída elétrica mensurável. Embora existam vários tipos, as células de carga baseadas em sensores de deformação e tensão são as mais usadas (ENGINEERING, 2020).

Neste projeto, foi escolhida célula de carga de 50 kg (cf. figura 28), que atende o peso máximo do foguete, de 18.5 kg com o tanque de combustível cheio e 14.3 kg vazio (dados fornecidos pela Capital Rocket Team).



Figura 28 – Célula de carga - 50 kg.

Fonte: ([ELETROGATE, 2020](#))

Esse é um sensor de carga de meia-ponte da Weadstone, amplamente utilizado em balanças. Quando a meia-ponte é esticada, é enviado um sinal elétrico através de um fio. Utilizando-se apenas uma célula de carga seriam necessários mais resistores para completar a ponte. Além disso, projetos com apenas uma célula de carga tendem a ter dificuldades para ajustes de calibração da célula.

Portanto, considerando também que, além do foguete acima da balança, haverá toda uma estrutura para comportar a base do foguete, serão usadas duas células de cargas para fazer a balança, o que é o mais indicado: uma para medir compressão e outra para medir tensão (forças aplicadas em direções diferentes). Com duas células de carga, tem-se uma ponte de Wheatstone completa.

Como o sinal enviado pelo transdutor é elétrico, precisa-se de um módulo conversor, que fará a conversão do sinal elétrico em sinal digital para possibilitar a leitura dos dados pelo microcontrolador. Para isso, será usado o módulo conversor HX711, figura 29, um módulo amplificador e conversor HX711 de 24 bits, utilizado para amplificar o sinal de dispositivos como células de carga, fazendo a interligação entre essas células e o microcontrolador, por meio da comunicação SPI ([SEMICONDUCTOR](#), ).

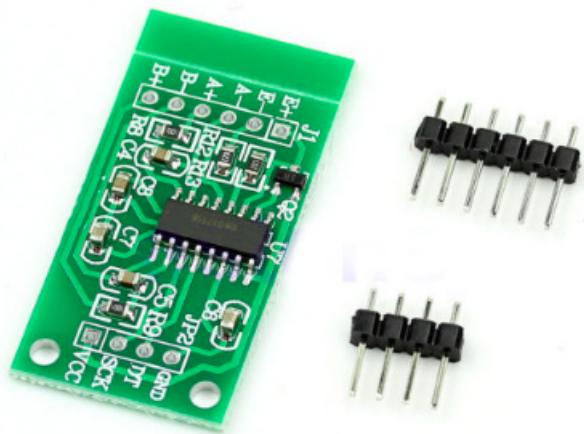


Figura 29 – Célula de carga - 50 kg.

Fonte: ([FILIPEFLOP](#), )

Para implementar a balança, a comunicação é feita apenas do microcontrolador com o módulo e amplificador HX711. Para tal, foi definido o protocolo de comunicação I2C, sendo necessário o uso da biblioteca [HX711.h](#). Nessa biblioteca, a função a ser utilizada, que retorna os dados do peso da balança é do tipo *long*, ou seja, uma dado de 4 bytes.

As conexões entre o conversor e microcontrolador foram definidas da seguinte forma: para alimentação, o VDD e GND do HX711 conectados nos pinos 5V e GND da ESP32 Lora, respectivamente, para comunicação I2C, o DT e SCK do HX711 conectados nos pinos D23 e D17 da ESP32 LoRa. A figura 30 mostra as pinagens realizadas.

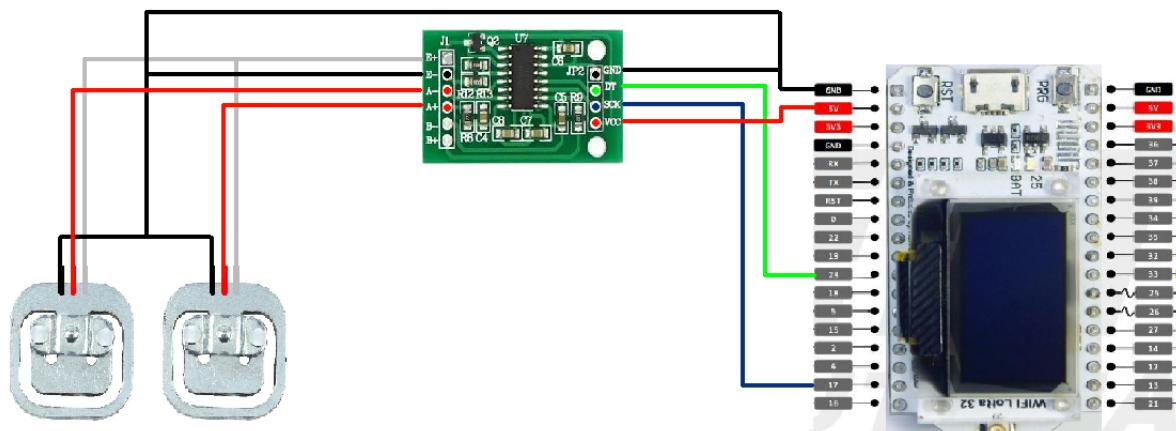


Figura 30 – Conexões entre Hx711 e ESP32 LoRa - Protocolo I2C.

Fonte : Autor

### 2.3.2.4 Especificações dos sensores

A tabela 1 apresenta os dados das principais especificações dos sensores citados acima.

Sensor	Tensão de Operação	Consumo de corrente	Comunicação	Taxa de transmissão	Formato dos Dados
BMP280	1.71 - 3.6V	3.6 uA @ 1 Hz (umidade, pressão e temperatura)	I2C e SPI	I2C (até 3.4 MHz e SPI (3 e 4 fios, até 10 MHz))	unsigned 20-bit (pressão e temperatura) unsigned 16-bit (umidade)
Célula de carga 50kg	5 -10V	Resistência de entrada e saída ( $\Omega$ ): 1000 50	-	-	-
Módulo Hx711	4.8 - 5.5V	1.5mA	SPI	10 - 80 MHz	24 bits em complemento de 2
Módulo GPS GY-NEO6MV2	3 - 5V	10mA – 100 mA	Serial UART e SPI	9600 bps (UART baud rate) e 100 kbit/s	-

Tabela 1 – Especificações principais dos componentes do sensoriamento.

### 2.3.3 Central de controle

A central de controle será o ponto de acesso do usuário com os dados e comandos vindos da base de lançamento e do foguete. Um exemplo de estação pode ser visto na figura 31.



Figura 31 – Estação de controle de solo.

Fonte : ([DGS, 2010](#))

A solução proposta para essa interface do usuário foi seguindo esse modelo de maleta, que possui uma tela, um teclado e dois botões, sendo o primeiro para acionamento da ignição e um segundo para interromper os processos em caso de emergência.

#### 2.3.3.1 Interface do usuário

A tela escolhida pode ser vista na figura 32. Essa tela possui um tamanho de 9 polegadas e uma resolução máxima de 1600x1200.



Figura 32 – Tela da interface do usuário.

Fonte : ([MERCADOLIVRE, 2020b](#))

Para a chegada dessa definição, pesquisas foram feitas e percebeu-se que geralmente telas menores, cinco e sete polegadas, possuem sensibilidade ao toque o que além de não agregar mais valor em nosso produto, dificultaria no dimensionamento da bateria dado a maior necessidade de potencia desse tipo de tela. Outro ponto levado em consideração é a questão da troca que existe entre o tamanho da tela e seu gasto energético. Precisava-se de uma tela grande o suficiente para a boa visualização dos dados, porém que fosse portátil e que consumisse pouca carga da bateria. Assim a escolha da tela com as características mencionadas anteriormente é justificada.

Para que o usuário interaja com essa tela, foi pensado em dois tipos de soluções. A primeira seria colocar todos os comandos em botões e chaves, e a segunda realizar os comandos por meio de um mini teclado. Optou-se pelo uso do teclado, devido a possibilidade de maior interatividade com a aplicação de *software* e facilidade para futuras atualizações no projeto.

O modelo de teclado portátil escolhido pode ser visto na figura 33. Esse teclado possui dimensões de 200x126x6,2 mm e um peso de 200g.

Porém, em conversa com os nossos *stakeholders*, chegou-se à conclusão que um botão para a ignição e um botão em caso de falha seriam necessários, devido a possibilidade de acontecimento de falhas no processo de lançamento. Assim, esses dois botões também serão integrados à nossa solução.



Figura 33 – Teclado da interface do usuário.

Fonte : ([MERCADOLIVRE, 2020a](#))

### 2.3.3.2 Single Board Computer

Para a melhor escolha da placa utilizada no projeto, foi montada a seguinte tabela, na figura 34. Essa tabela foi levada aos grupos de *software* e de energia para o debate entre capacidade de processamento e custo energético.

	Raspberry pi 4	Raspberry pi zero W	Asus Tinkerboard	ODROID-C1+	ODROID-XU4	Orange Pi PC2	Raspberry pi 3B+
Processador	Quad core Cortex-A72 (ARM v8) 64-bit 1.5GHz	1GHz single-core CPU	Quad-Core RK3288 processor	4 x ARM® Cortex®-A5 1.5GHz	2Ghz and Cortex™-A7 Octa core CPUs	Quad-core 64-bit Cortex-A53	Quad core Cortex-A53 64-bit 1.4GHz
Memória RAM	4GB DDR4	512MB LPDDR2	2GB DDR3	1GB DDR3	2GB LPDDR3	1GB DDR3	1GB DDR3
Tensão / Corrente	5V/3.0A	5V/1.2A	5V/3A	5V 2A	5V/4.0A	5V/2A	5V/2A
Dimensão (mm)	85 x 56 x 17	65 x 30 x 5	85 x 56 x 17	85 x 56 x 20	83 x 58 x 20	85 x 56	85 x 56 x 17
Wifi	802.11n	802.11 b/g/n	802.11 b/g/n	802.11b/g/n	802.11 ac/b/g/n	802.11b/g/n	802.11 b/g/n/AC
Bluetooth	Bluetooth 5.0 BLE	Low Energy (BLE) 4.1	Bluetooth V4.0 + EDR	Não possui	Não possui	Bluetooth V4.0 + EDR	4.2 BLE integrado
Preço	R\$ 499,00	R\$ 154,90	R\$550,00	R\$ 530,00	R\$ 420,00	R\$ 113,49	R\$ 400,00

Figura 34 – Tabela de comparação de *single board computers*. Fonte : Autor

Após algumas reuniões, ficou decidido que se usaria a raspberry pi 3B+ no projeto. Porém, conforme as *sprints* foram passando, percebemos juntamente com o grupo

de software que seria necessário mais capacidade de processamento para os algoritmos que seriam implementados. Um novo alinhamento geral foi feito e a escolha que melhor atenderia essa demanda de processamento seria o uso de uma Jetson Nano Developer Kit da Nvidia, mostrado na figura 35.



Figura 35 – Nvidea Jetson Nano Developer Kit.

Fonte : ([NVIDIA, 2020](#))

Apesar do detimento causado no dimensionamento da bateria, essa placa foi escolhida devido a sua capacidade de processamento de algoritmos de *machine learning*, assim suprindo a demanda encaminhada pela equipe de *software*.

Juntamente com a equipe de energia foi construído um diagrama de blocos das interligações dos componentes, o mesmo pode ser visto na figura 36. Visto as colaborações necessárias entre os dois grupos com relação ao dimensionamento da bateria, por parte da energia, e o consumo de potência de cada componente por parte da eletrônica.

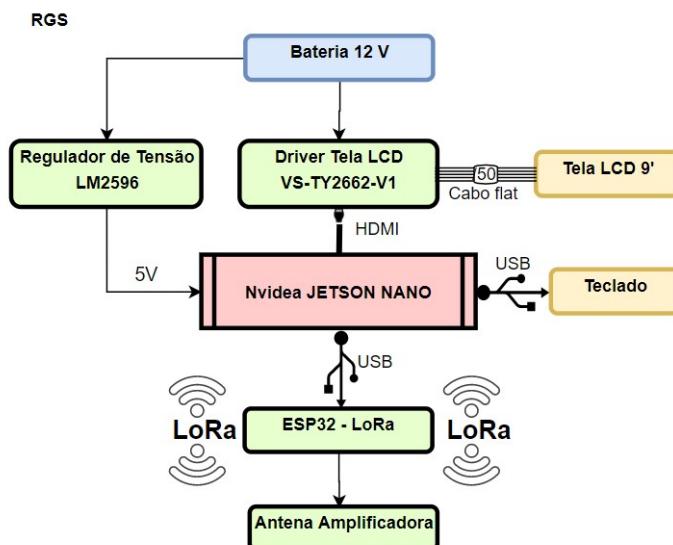


Figura 36 – Diagrama Central de Controle.

Fonte : Autor

### 2.3.4 Calibração

Calibração é o processo de descobrir, experimentalmente, o Erro Sistemático (uma espécie de “desvio” constante) e a máxima Incerteza de Medição associada a um determinado instrumento. A forma mais comum de se realizar uma calibração é por meio da comparação direta do instrumento a ser calibrado com um instrumento de procedência conhecida, que é periodicamente avaliado com base em normas internacionais, conhecido como “Padrão” (PEREIRA, 2020).

Dentre os sensores utilizados na base de lançamento e no foguete, apenas as células de cargas da balança são transdutores necessários de calibração, os demais sensores já possuem calibração de fábrica, onde geralmente seus coeficientes de calibragem ficam armazenados em ROM.

Para calibrar a balança, após a montagem com as duas células de carga 50 Kg e o módulo conversor HX711, será rodado um programa de calibração no microcontrolador ESP32 LoRa. Através do programa deve ser encontrado o valor aferido do Fator de Calibração para ser inserido no programa de medição da Balança com o conversor.

O programa de calibração fará uso da biblioteca [HX711.h](#), onde um objeto de peso conhecido deve ser lido pela balança, e a média dos valores retornados deve ser dividido pelo valor do peso real do objeto em KG, obtendo o fator de calibração, que deve ser inserido como parâmetro da função “`scale.set_scale()`” importada da biblioteca mencionada. Com esse fator de calibração setado, obtém-se a medição do peso real do objeto (VIDAL, 2017).

A figura 37 apresenta o fluxograma do algoritmo de calibração dos sensores da balança.

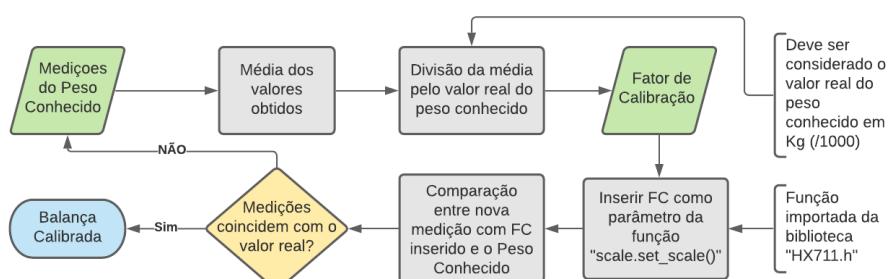


Figura 37 – Diagrama do algoritmo de calibração da balança

Fonte : Autor

## 2.3.5 Interações

### 2.3.5.1 Diagrama de blocos do Abastecimento

Apos reuniões com a equipe de estrutura e com a CRT, foram levantados os requisitos para o abastecimento do foguete de forma mais específica. Foi criado um diagrama lógico para melhor entendimento do procedimento, figura 38, e na sessão 76. Assim, foi possível a equipe estrutural definir quais motores se enquadram para cada válvula do sistema.

É necessário um conjunto de 4 motores para a parte externa do foguete, um para a válvula 1 responsável por abrir o cilindro do combustível, um para a válvula 2 que é responsável por despressurizar a mangueira após a conclusão do abastecimento, dois para o desacoplamento do engate rápido, sendo que estes seriam acionados por um modulo de dois relés SRD-05VDC-SL-C, por necessitarem se movimentarem somente em uma direção linear de desengate, diferentemente dos outros dois citados anteriormente, que necessitam se movimentarem nos dois sentidos (horário e antihorário, para abertura e fechamento das válvulas), fazendo-se necessário usar o modulo L298N, que é uma ponte H dupla.

Já na parte interna do foguete, existem dois atuadores, que seriam acionados também de modo remoto: a válvula 4, que é uma válvula solenoide, responsável pelo controle da pressão do tanque do foguete, ou seja, ela fica abrindo e fechando a fim de estabilizar a pressão interna do foguete liberando gases internos durante o abastecimento; e a válvula 5, que é aberta na ignição, expulsando o óxido nitroso do tanque do foguete em direção à câmara de combustão. Ambas serão abertas em um só sentido; portanto, foi proposto usar um módulo de dois relés SRD-05VDC-SL-C para seu acionamento pelo microcontrolador interno do foguete.

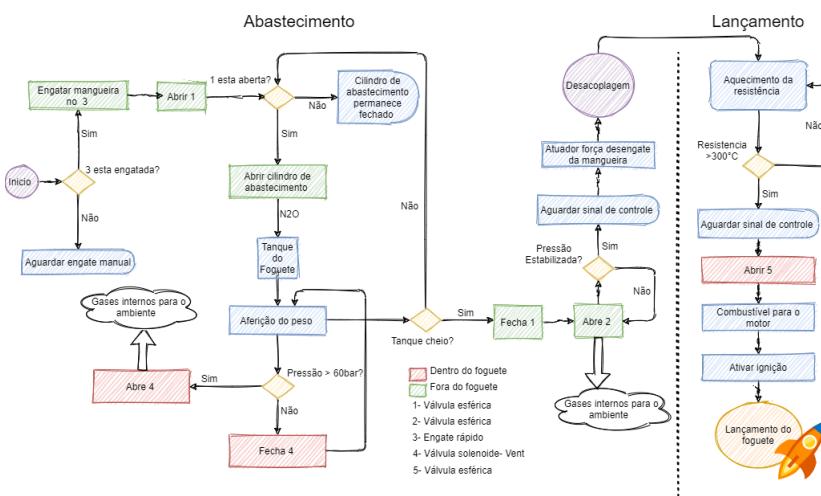


Figura 38 – Diagrama lógico do abastecimento foguete.

Fonte : Autor

### 2.3.5.2 Acionamento eletrônico das válvulas externas

As válvulas externas terão o seu acionamento controlado pelo microcontrolador ESP32 LoRa contido na base de lançamento do foguete, o qual também atua no controle da balança. Por meio dele serão enviados comandos de acionamento para fechar e abrir as válvulas externas durante o processo de abastecimento do foguete.

De acordo com informações obtidas do grupo de estrutura, serão necessários 3 adaptadores externos, sendo 2 válvulas esféricas que atuam no tanque de combustível e mangueira, e 1 atuador para desengate rápido, onde é necessário apenas o desengate remoto, pois o engate é manual.

As válvulas esféricas serão acionadas por meio de dois motores, um para cada válvula, onde o microcontrolador fará o seu acionamento por meio de uma Ponte H, enviando comandos para girar o motor em sentido horário ou anti-horário, ou seja, abrir ou fechar a válvula. A solução mecânica entre motores e válvulas é detalhado na estrutura.

De acordo com a estrutura, os motores usados para controle das válvulas esféricas são do modelo Mabuchi 8d 12V. Esse motor é alimentado com 12V, com um consumo de corrente de 1,3A e torque de 9,12 N.m / 93 Kg. Para controle dos motores será necessário o uso de ponte H para realizar abertura e fechamento, controlando o sentido de rotação dos motores.

A ponte H é um circuito que serve para variar o sentido da corrente em uma determinada carga, bem como controlar sua potência. A figura 39 apresenta o circuito típico de uma ponte H.

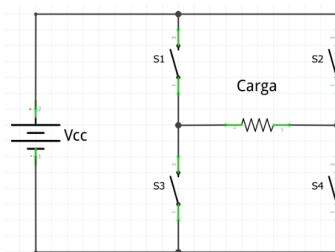


Figura 39 – Circuito típico de uma ponte H.

Fonte : ([GUIMARAES, 2018](#))

Com base nas especificações dos motores, foi escolhido o Driver Motor Ponte H L298n (cf. vide figura 40), para controle destes. Esse módulo possui tensão de operação de 4 a 35V, com corrente de operação máxima de 2A por canal (ou 4A máxima), tensão lógica de 5V, corrente lógica de 0 a 36mA e potência máxima de 25W ([STMICROELECTRONICS, 2020](#)). O grande benefício desse módulo é que, com ele, é possível controlar dois motores ao mesmo tempo e, se necessário, controlar a velocidade deles, atuando no PWM do sinal enviado.

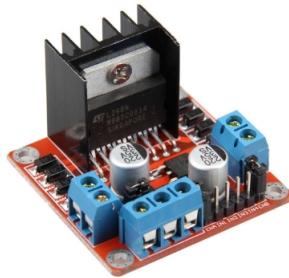


Figura 40 – Driver Motor Ponte H L298n.

Fonte : ([FILIPEFLOP](#), )

Como o módulo da ponte H trabalha com tensão lógica de 5V, é necessário o uso de um conversor lógico de 3.3V (tensão lógica dos pinos da ESP32 LoRa) para 5V. Para tal, foi escolhido o Módulo Conversor Nível Lógico 5V/3.3V - Bidirecional (4 Canais), vide figura 41. Esse conversor é capaz de elevar tensões de nível lógico de 3,3V para 5V, e isso de forma totalmente segura, possuindo 4 canais independentes que permitem a conversão de sinal. Entretanto, o conversor não é capaz de funcionar com sinais analógicos. A placa necessita de alimentação das duas voltagens (alta voltagem e baixa voltagem) com que seu sistema estiver trabalhando ([OLIVEIRA](#), ).



Figura 41 – Módulo Conversor Nível Lógico 5V/3.3V - Bidirecional (4 Canais)

Fonte : ([ARDUCORE](#), )

Por fim, na parte externa ao foguete, tem-se o engate rápido, cuja solução mecânica não faz parte do escopo do projeto e sim da CRT. Todavia, apenas o acionamento eletrônico do seu desacoplamento do foguete faz parte do escopo da eletrônica, devido a necessidade de fazê-lo de maneira remota.

Para tal, a solução adotada pela CRT é que o desacoplamento do engate seja feito com o auxílio de dois motores de vidro elétrico universal, modelo Mabuchi 8d 12v, o mesmo modelo utilizado para as válvulas esferas. O desacoplamento deve ocorrer quando os dois motores forem acionados em conjunto, onde cabos de aço presos no engate enrolaram no motor, puxando a mangueira para fora do engate.

Uma vez que os motores não precisarão inverter os sentidos de rotação, não é necessário o uso de ponte H, portanto, para realizar o acionamento dos motores, será

utilizado um módulo Módulo Relé 5V 2 Canais modelo SRD-05VDC-SL-C, vide figura 42. Esse relé possui 2 canais, um para cada motor, possui tensão de operação de 5V, com um consumo de corrente típica de 15-20mA e possui capacidade na faixa de (30 VDC a 10A) ou (250VAC a 10A), o que atende a especificação dos motores Mabuchi ([SONGLE](#), ).

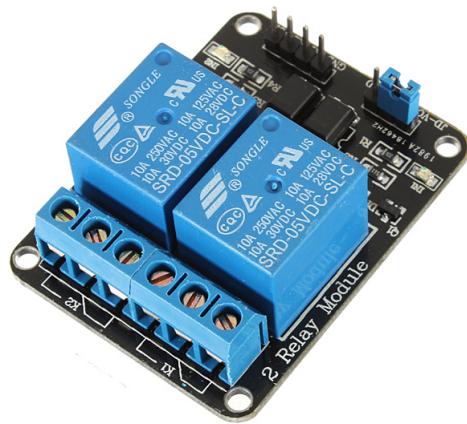


Figura 42 – Módulo Relé 5V 2 Canais modelo SRD-05VDC-SL-C

Fonte : ([FILIPEFLOP](#), )

A conexão dos módulos atuadores das válvulas e do desengate no microcontrolador é estabelecido conforme esquema a seguir:

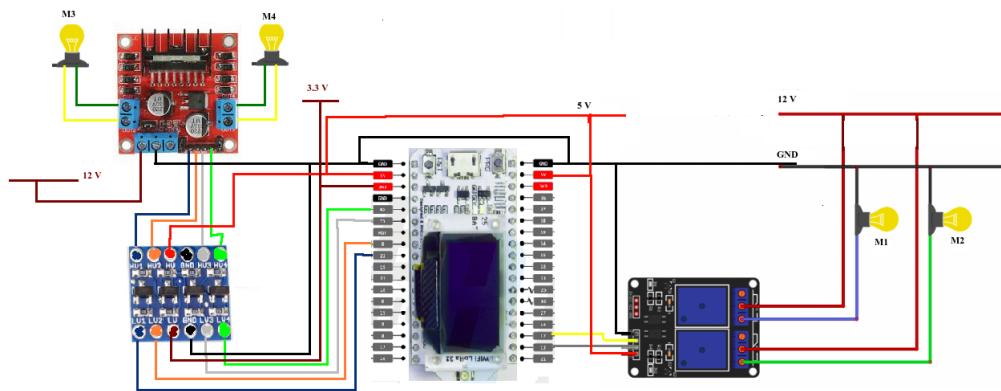


Figura 43 – Conexões entre atuadores externos e microcontrolador da base de lançamento.

Fonte : Autor

onde, M1 e M2 são os dois motores do desengate remoto e M3 e M4 são os motores de abertura e fechamento das válvulas esferas do cilindro de combustível e mangueira, respectivamente.

### 2.3.5.3 Acionamento eletrônico das válvulas internas

As válvulas internas do foguete, serão controladas e acionadas pelo microcontrolador ESP32 LoRa presente no foguete, o qual também faz o controle dos sensores de pressão e temperatura e módulo GPS.

Uma vez que é necessário acionar com precisão a válvula 4, ou seja, uma válvula solenoide, não é necessário o uso de ponte H. Portanto, para realizar o acionamento desta, será utilizado um relé que atende a necessidade de ficar acionando a válvula solenoide de tempo em tempos, e a outra válvula interna é do tipo esférica que será aberta somente uma vez também será acionado por relé, assim foi definido o uso do Módulo Relé 5V 2 Canais modelo SRD-05VDC-SL-C (cf. figura 42), com as configurações supracitadas anteriormente. Esse relé possui 2 canais, um para a válvula solenoide e um para o motor da válvula 5 controlados pela ESP32-LoRa de dentro do foguete que mandará os sinais de controle para o módulo de relés e pode ser observado melhor no diagrama esquemático do circuito interno do foguete 46.

### 2.3.5.4 Comunicação hardware e software

Visto que um dos maiores objetivos do projeto é a realização da telemetria com os dados vindos do foguete, este tópico tratará a maneira pela qual será realizada a comunicação entre o *hardware* e a aplicação de *software* e também como o dado trafegará em todo o sistema.

Para exemplificar de forma mais clara o caminho e os protocolos usados, a explicação será feita pro meio da figura 44.

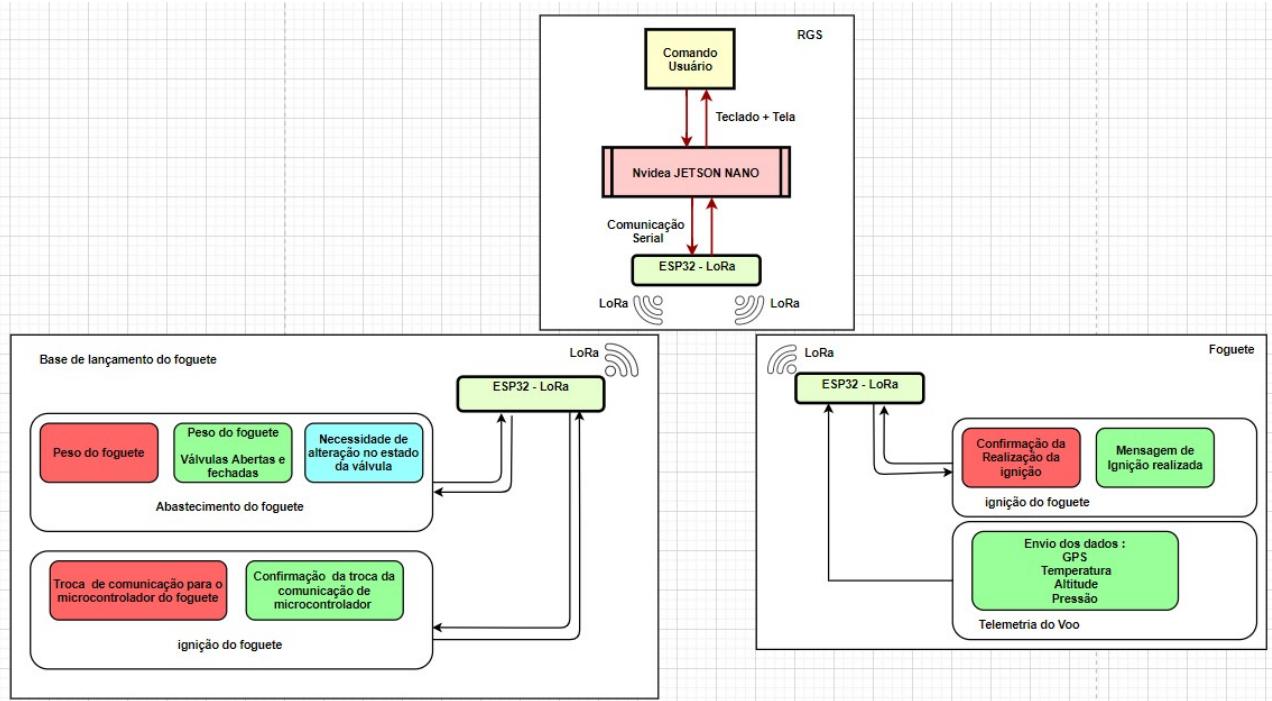


Figura 44 – Fluxo de dados

Fonte : Autor

Todos os comandos são inseridos pelo usuário por meio do teclado, então o *software* do sistema informa essas ações via comunicação serial para o microcontrolador da maleta, pois ambos estão conectados via USB. Esse primeiro passo está representado no topo da imagem anteriormente mostrada.

Assim que o comando chega neste primeiro microcontrolador, ele é transmitido para a base do foguete ou para o próprio foguete, dependendo se o lançamento está na fase do abastecimento ou da ignição.

Dependendo do tipo de comando, serão necessários dados informados pelo usuário (estes estão representados em vermelho no diagrama). Os blocos em verde são os dados enviados do *hardware* para o *software* desde que o processo tenha-se iniciado. Por fim, o bloco em azul representa as ações que podem ser realizadas durante a execução do comando.

Por exemplo, no caso do comando de abastecimento do foguete, quando requisitado pelo o usuário a realização desse processo, o *hardware* requisitará o dado do bloco em vermelho. Quando o dado do bloco vermelho chegar, o hardware passará a transmitir, de forma contínua, os dados do bloco verde e, caso o usuário queira interferir na execução do processo, ele poderá tomar as ações do bloco azul. Então, para cada processo no lançamento do foguete, teremos essas requisições e envios dos dados de acordo com o diagrama.

### 2.3.6 Diagramas e esquemáticos

Com a definição da solução e dos componentes da base de lançamento, foi criado o esquemático do circuito integrado, com detalhamento de pinos, conexões e módulos utilizados. A figura 45 apresenta o circuito integrado da base de lançamento, com os componentes da balança e os módulos dos atuadores externos, assim como bornes para os motores. Na figura 46, encontra-se o diagrama esquemático, o detalhamento das conexões do sensoriamento interno do foguete, assim como a parte de controle das válvulas internas. Na figura 45, por sua vez, tem-se o esquemático com as conexões na base central de comando entre a ESP32 WifiLora e a Jetson e outros periféricos. Os esquemáticos foram feitos utilizando as ferramentas do *software* EasyEDA ,assim como o projeto de suas PCIs.

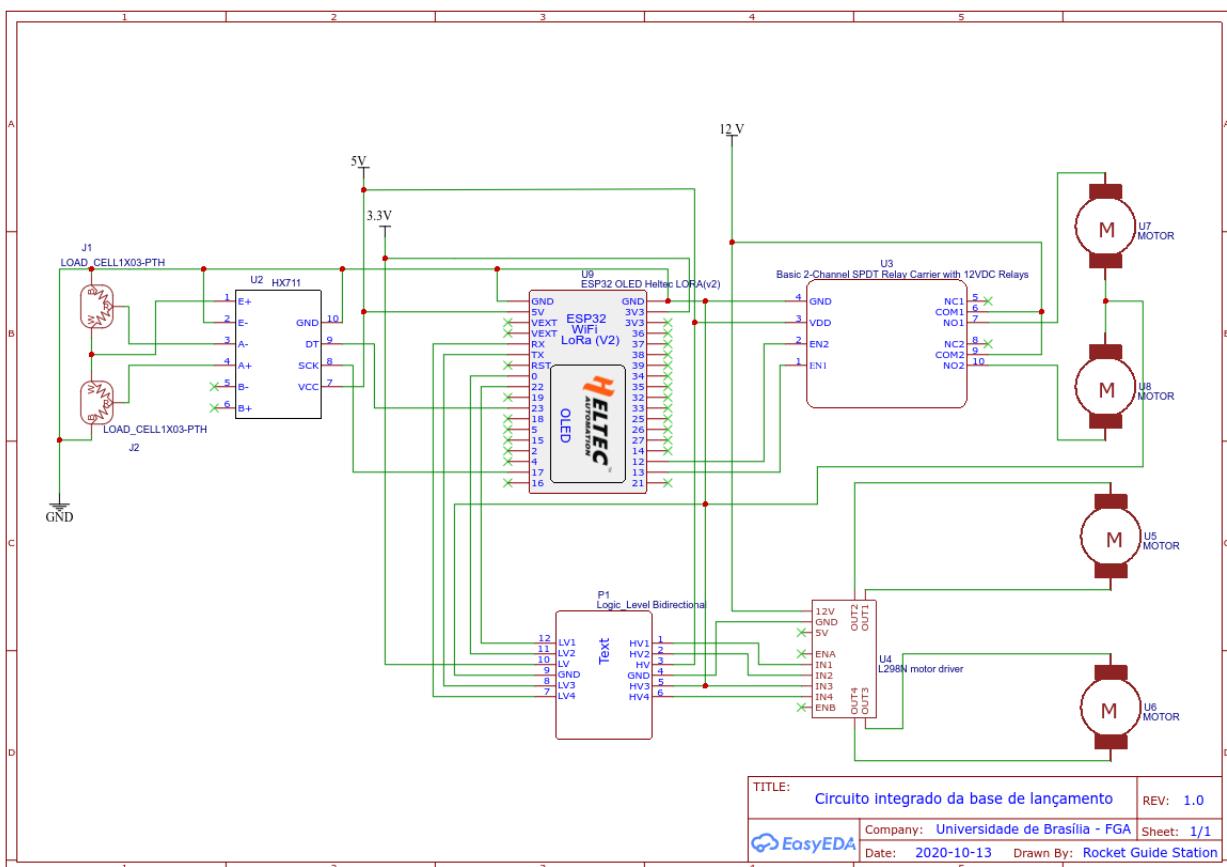


Figura 45 – Diagrama esquemático do circuito interno da base de lançamento.

Fonte : Autor

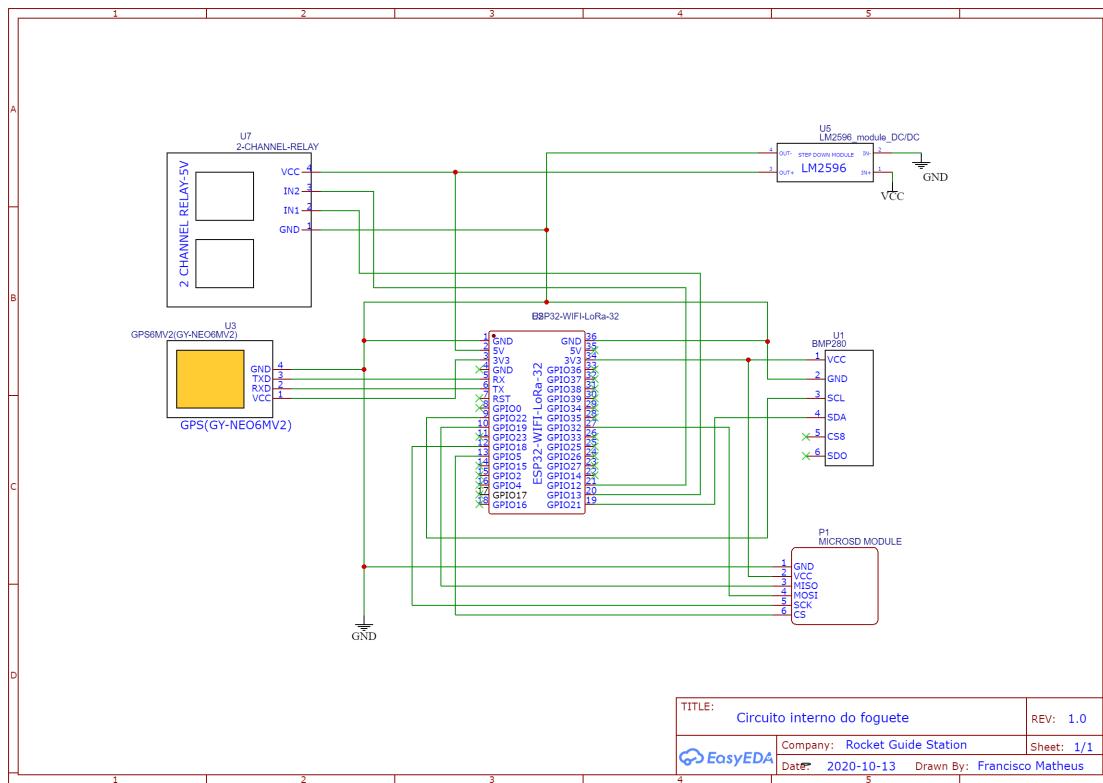


Figura 46 – Diagrama esquemático do circuito interno do foguete.

Fonte : Autor

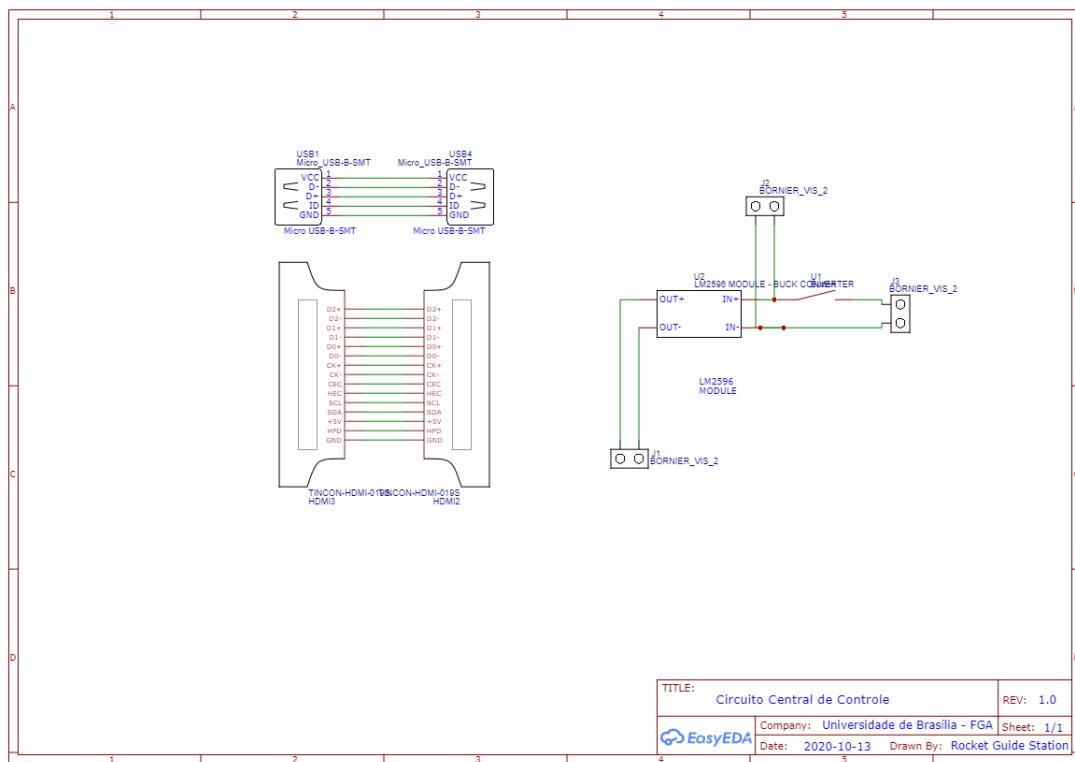


Figura 47 – Diagrama esquemático do circuito da central de controle do usuário.

Fonte : Autor

### 2.3.7 Placa de circuito impresso

Para melhor funcionamento e durabilidade do circuito, é necessária a criação do desenho de placa de circuito impresso, conhecido como PCI, que é gerido por regras que visam garantir a qualidade do funcionamento do circuito, até visando a disposição dos componentes para melhor acomodação mecânica e eletromagnética, a fim de evitar interferências no circuito.

Basicamente, é constituída por uma base de um material isolante, geralmente fenolite ou fibra de vidro, revestida por uma fina camada de cobre na sua superfície, onde ocorre as ligações entre os componentes eletrônicos que podem ser do tipo PTH ou SMD([SILVA, 2013](#)).

As placas utilizadas nesse projeto serão feitas de modo a acomodar componentes do tipo PTH, ou seja, componentes que serão inseridos na placa através de um furo denominado de pads, sendo necessário uma acurácia para não errar no distanciamento dos furos, evitando assim mal posicionamento dos componentes eletrônicos.

Outro levantamento importante que é necessário fazer no projeto de uma PCI é a largura das trilhas, que são responsáveis pelas conexões elétricas entre os componentes, a qual é determinada pela corrente que irá passar pela trilha e pela espessura da trilha de cobre ([LIMA, 2010](#)).

#### 2.3.7.1 Circuito interno do foguete

Na figura [46](#), está representado o circuito interno do foguete. Assim, na figura [48](#), encontra-se o projeto mecânico da placa de circuito impresso com as dimensões para sua fabricação. Foram adicionados cinco buracos na PCI no intuito de facilitar sua fixação dentro do foguete com parafusos de diâmetro de 5mm. Na figura [49](#), por sua vez, é apresentado o modelo 3D da PCI com o sistema de alimentação à esquerda da placa, separado dos outros componentes a fim de evitar interferência eletromagnética no restante da placa. Foi adicionado a essa placa esse sistema para garantir a tensão adequada para os componentes.

A placa a ser produzida possui espessura padrão de 1,6mm, com tolerância nominal de  $\pm 0,13$ mm. Nessa PCB específica, são utilizadas duas camadas de cobre para as trilhas; portanto, serão feitas trilhas tanto na *Top Layer* quanto na *Bottom Layer*, ou seja, *multilayer*, garantindo uma melhor distribuição das trilhas. Por ser um módulo que vai dentro do foguete, inicialmente foi pensado em usar componentes do tipo PTH e a plaquinha de desenvolvimento da ESP32Lora, da Heltec, pois não são feitos muitos lançamentos. A ideia é utilizar primeiramente uma PCB nesse formato para testes e melhorias no projeto, antes de confeccionar uma placa mais enxuta com componentes SMD.

Para essa versão inicial das placas de circuito impresso, seriam feitas de fenolite

(FR2), que é um material mais barato para a confecção e quando tiver os componentes testados será feito em material de vibra de vidro(FR4)([MEHL, 2013](#)).

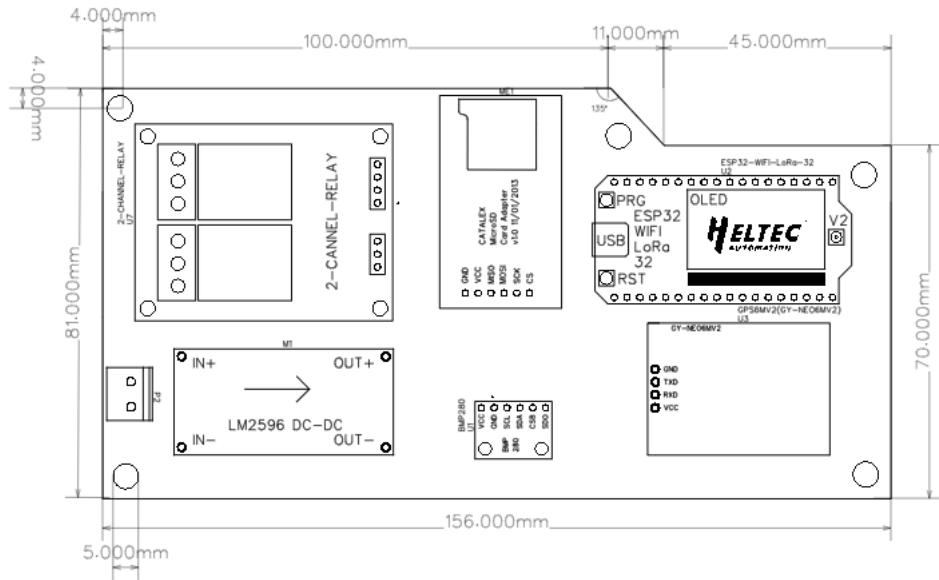


Figura 48 – Dimensões da PCI do circuito interno do foguete.

Fonte : Autor

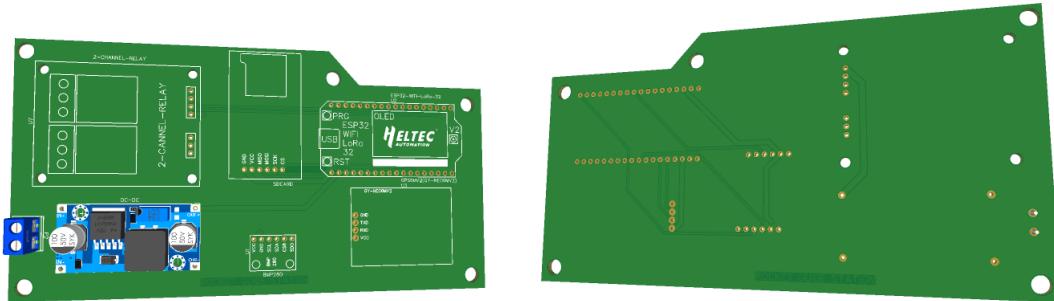


Figura 49 – PCI do circuito interno do foguete.

Fonte : Autor

### 2.3.7.2 Circuito na base de lançamento

Objetivando reduzir o número de fios e cabos utilizados no circuito da base de lançamento, assim como obter a menor ocupação de volume de circuitaria e componentes, foi criado o modelo de PCI com base no circuito integrado citado na figura [45](#). Foi optado o modelo *Bottom Layer* para as trilhas da PCI, ou seja, contém apenas uma camada de cobre.

A figura [50](#) mostra o desenho da PCI, junto com suas cotas de dimensões definidas, que foram de 88mm x 109mm. Os buracos nos cantos da PCB, com diâmetro de 4mm e distâncias das bordas de 3mm, servem pra fixação da placa na estrutura da base.

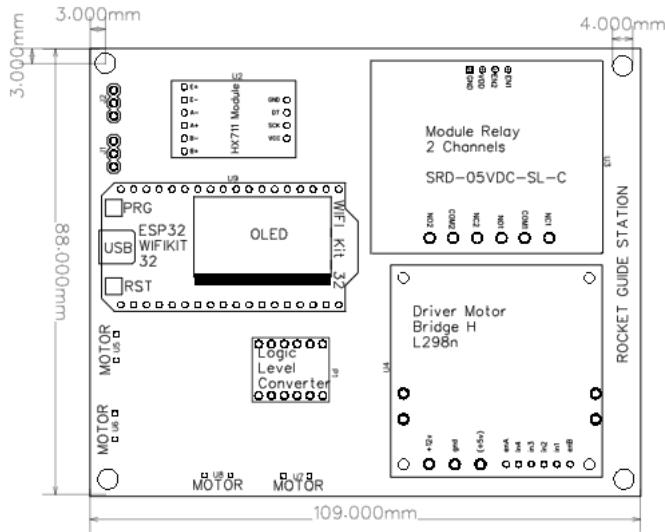


Figura 50 – Dimensões da PCI do circuito interno da base de lançamento.

Fonte : Autor

A figura 51 apresenta a visão frontal da PCI, onde é possível visualizar a posição dos componentes, tais como encaixes dos pinos e os bornes dispostos nas extremidades, e a visão traseira da PCI, onde se encontra a camada de fundo (*Bottom Layer*), com as trilhas do circuito.

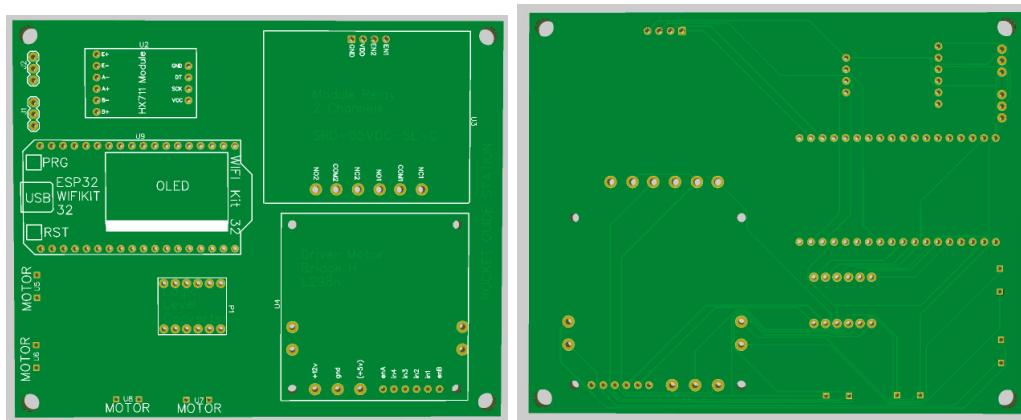


Figura 51 – PCI do circuito interno da base de lançamento

Fonte : Autor

### 2.3.7.3 Circuito na base de controle central

A ideia dessa PCI é reduzir o número de cabos utilizados dentro da maleta do usuário. De acordo com o espaço e a disposição dos componentes mostrado na figura 66 e na figura 53 pensou-se em fazer uma placa de modo que os módulos sejam encaixados nas laterais da PCI. Para isso foi verificado todos desenhos técnicos dos componentes, mapeando então os conectores por meio dessas medidas fornecidas pelo fabricante. Os

conectores precisarão ser do tipo macho para que o encaixe seja realizado. Isso traz vantagens: caso algum módulo sofra dano, bastará desconectá-lo e realizar a troca.

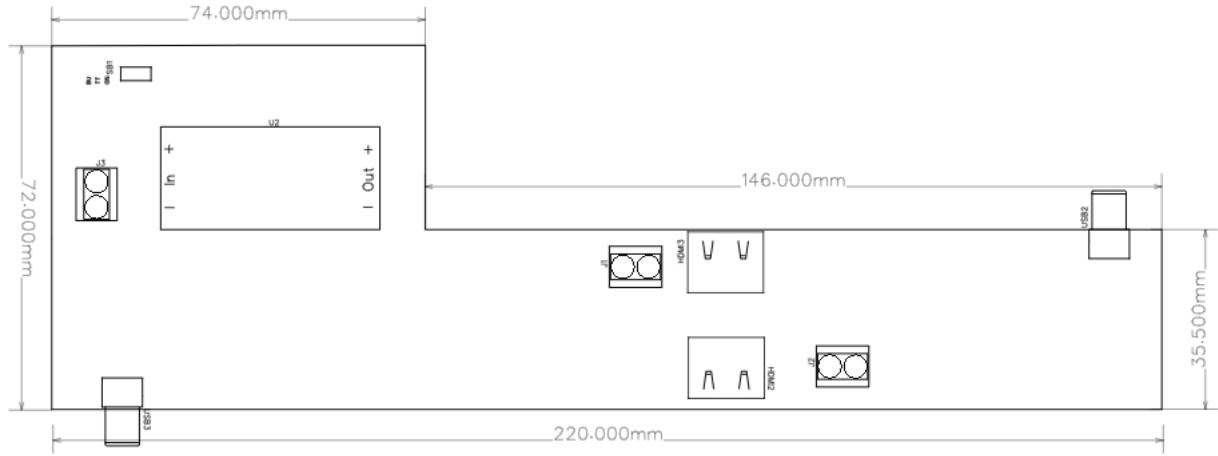


Figura 52 – Dimensões da PCI do circuito da central de controle.

Fonte : Autor

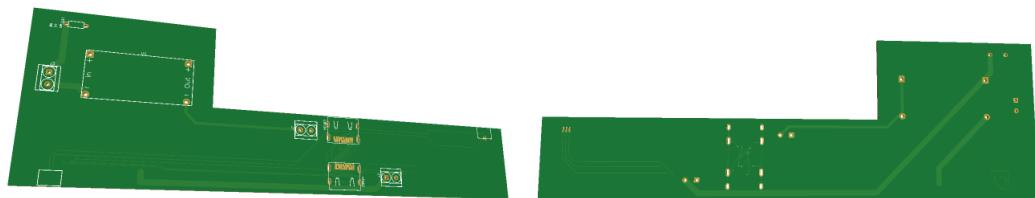


Figura 53 – PCI do circuito interno do foguete.

Fonte : Autor

## 2.4 Energia

A solução de energia do projeto consiste no dimensionamento de baterias que atendam às especificações e requisitos do sistema, tanto dos dispositivos eletrônicos quanto do sistema de ignição e lançamento. Além disso, será projetado um carregador de bateria para tornar contínuo o uso do equipamento.

Para dimensionar o consumo do sistema, foi observado o gasto energético dos componentes eletrônicos, levando em conta que o projeto precisa de uma autonomia de, no mínimo, duas horas de uso sem a possibilidade de ter como fonte de energia a rede elétrica.

Anteriormente, ao dimensionar o sistema de alimentação do projeto, foi definido que seria utilizada apenas uma bateria que alimentasse todos os componentes. Porém, ao avaliar melhor as necessidades do projeto, em especial a distância de segurança (500m)

entre o usuário e a base de lançamento do foguete, optou-se por dimensionar dois sistemas, de forma a eliminar a utilização de cabos para alimentar os componentes que precisariam estar na base.

A utilização de cabos entre a base e o sistema de controle, além de não ser viável do ponto de vista do usuário, também provocaria impactos a serem considerados no projeto, como a queda de tensão atrelada a um cabo de grande extensão como o que seria necessário.

Sendo assim, para aumentar a qualidade e melhorar a usabilidade do produto, foi definido que o projeto será composto por dois sistemas: o sistema de controle e o sistema da base. Cada sistema será alimentado eletricamente de forma individual. Os dois sistemas estarão interligados por telemetria, conforme descrito na solução de eletrônica, e serão controlados pelo usuário, que utilizará o sistema de controle (maleta) a uma distância segura da base de lançamento.

#### 2.4.1 Ignição

Para dimensionar o sistema de alimentação elétrica do projeto, é necessário realizar o dimensionamento do consumo de potência do ignitor, que faz parte do sistema da base de lançamento. O tipo de ignitor utilizado pela *Equipe Capital Rocket Team* é o fio de Níquel Cromo (Ni-Cr), os cálculos foram realizados com base nesse tipo de ignitor.

Para o ignitor de Níquel Cromo foi considerado o diâmetro de  $0,8mm^2$  e temperatura de ignição de  $300^\circ\text{C}$ , a *Capital Rocket Team* não dispunha dessas informações, mas esses foram os parâmetros mais comuns encontrados para esse tipo de sistema ([EDUFER, 2020](#)).

No site do fabricante ([SUPERSTEEL, 2020](#)), há uma tabela que permite, com a entrada desses dados, obter a resistência (em Ohm/m). A partir desse dado, utilizando a primeira Lei de Ohm, com o valor de tensão fornecido pela bateria (12V) será calculada a corrente consumida pelo ignitor.

A resistência obtida por meio da tabela do fabricante é de 2,23 Ohms/m, considerando um enrolamento de 1m, a resistência do ignitor é 2,23 Ohms. A corrente pode ser descrita de acordo com a primeira Lei de Ohm:

$$I = \frac{V}{R} \quad (2.4)$$

$$I = \frac{12}{0,23} \quad (2.5)$$

$$I = 5,38A \quad (2.6)$$

Com o valor da corrente obtido e com base na relação entre corrente, tensão e potência, pode ser calculada a potência consumida.

$$P = I \times V \quad (2.7)$$

$$P = 5,38 \times 12 \quad (2.8)$$

$$P = 64,56W \quad (2.9)$$

O ignitor será utilizado somente uma vez a cada lançamento, e apenas para o momento de ignição do foguete. Para fins de segurança, de forma a garantir a autonomia do sistema, será adotado o tempo de utilização de 15 minutos.

#### 2.4.2 Consumo dos sistemas

Como dito anteriormente o projeto é separado por dois sistemas a maleta e a base de lançamento. Nas tabelas 2 e 3 é apresentado o consumo dos principais componentes elétricos e eletrônicos de cada um dos dois sistemas e uma estimativa do período que cada componente será utilizado durante um lançamento.

Componentes	Tensão	Corrente	Potência	Tempo de Utilização
Tela	12V	1A	12W	2h30m
Jetson Nano Developer Kit	5V	2A	10W	2h30m
Teclado e botões	5V	250 mA	1,25W	2h30m
Módulo LORA - maleta	5V	500mA	2,5W	2h30m

Tabela 2 – Consumo elétrico dos componentes da maleta.

Com base na tabela 2, o somatório de potências do sistema é de 25,75W. Será utilizado o valor de 30 W por segurança. O lançamento de um foguete tem duração média de 2 horas, o valor utilizado será de 2 horas e 30 minutos, por segurança.

Sendo assim, o somatório da potência é multiplicado pelo tempo em horas.

$$30W \times 2,5h = 75Wh \quad (2.10)$$

Componentes	Tensão	Corrente	Potência	Tempo de Utilização
Módulo LORA - base	5V	500mA	2,5W	2h5m
Ignitor (Ni-Cr)	12V	5,38A	64,56W	15m
Atuadores (3x)	12V	3.9A	46,8W	15m

Tabela 3 – Consumo elétrico dos componentes da base de lançamento.

Para a alimentação dos componentes, vão ser utilizadas tensões contínuas de 5 V e 12 V. A bateria a ser utilizada será de 12V, já que a maior tensão dentre os equipamentos.

Com base na tabela 3, o somatório de potências do sistema é de 113,86W; porém, o valor utilizado de 2 horas e 30 minutos será usado apenas para o módulo, o ignitor e os três atuadores funcionam apenas nos primeiros minutos do lançamento. Por isso para calcular a potência destes será usado o tempo de 15 minutos.

Para o módulo:

$$2,5W \times 2,5h = 6,25Wh \quad (2.11)$$

Para ignitor e atuadores:

$$111,36W \times 0,25h = 27,84Wh \quad (2.12)$$

A potência total consumida pela base é :

$$6,25Wh + 27,84Wh = 34,09Wh \quad (2.13)$$

Essa será a energia necessária consumida para a autonomia especificada. Por segurança será considerado o valor de 40 Wh. Pela Lei de Ohm temos:

$$I = \frac{P}{V} \quad (2.14)$$

$$I = \frac{34,09}{12} \quad (2.15)$$

$$I = 3,33Ah \quad (2.16)$$

### 2.4.3 Baterias

As duas baterias serão de 12V, já que esta é a maior tensão dentre todos os equipamentos nos dois sistemas.

Dentre os tipos mais comuns de baterias no mercado, estão as de chumbo-ácido e de íons de lítio.

A bateria de chumbo-ácido é a mais comum, é comercializada há mais tempo e requer pouca manutenção. Esse modelo não possui efeito memória, que diminui a capacidade de carga. Porém, o chumbo, além de ser tóxico, possui baixa densidade de energia, o que limita sua aplicação a sistemas portáteis leves ([PASSOLD F.POSSA, 2006](#)).

As baterias de íons de lítio tem como componente principal o lítio, que é um metal leve e com grande potencial eletroquímico, o que proporciona uma grande densidade de energia. Esse tipo de bateria também não possui efeito memória, importante em sistemas que sofrerão cargas e descargas frequentemente. Porém, essa tecnologia é mais recente, e o custo das baterias de íons de lítio é mais elevado ([PASSOLD F.POSSA, 2006](#)).

#### 2.4.3.1 Sistema de controle - maleta

Para a bateria do sistema de controle, em formato de maleta, buscou-se no mercado o tipo de bateria mais compacto possível de forma a atender a carga dimensionada, o modelo mais adequado encontrado foi o modelo de baterias de notebook, que é de íons de lítio.

De acordo com o dimensionamento, a potência consumida é de 75Wh. Por questões de segurança será considerada uma descarga máxima de 80%, sendo assim a capacidade da bateria será:

Capacidade em Wh

$$75/0,8 = 93,75Wh \quad (2.17)$$

A capacidade necessária para esse sistema é de 93,75 Wh. Foi selecionada uma bateria da fabricante Dell, de 9 células e capacidade de 97 Wh, com as características a seguir:

Peso: 508,02 g

Dimensões

- Profundidade: 71,79 mm
- Altura: 20,00 mm
- Largura: 214,00 mm

Na Figura 54 é apresentada a bateria selecionada para a maleta.



Figura 54 – Bateria selecionada para o sistema de controle. Fonte: ([DELL, 2020](#))

#### 2.4.3.2 Sistema da base de lançamento

A capacidade calculada para o sistema da base de lançamento foi de 3,33 Ah. De acordo com o fabricante a capacidade da bateria deve ser mantida entre 50% - 60%, por segurança e de forma a prolongar a vida útil do equipamento. Considerando então uma descarga máxima de 40% a capacidade da bateria será:

Capacidade em Ah

$$3,33/0,4 = 8,33Ah \quad (2.18)$$

A capacidade necessária para esse sistema é de 8,33 Ah, a bateria selecionada deve ter capacidade de 9 a 10 Ah. Como mencionado anteriormente, as baterias mais comuns no mercado são de chumbo-ácido e de lítio. Dessa forma, buscou-se fabricantes que possuíssem os dois tipos de bateria, com a capacidade necessária para o sistema, para realizar uma comparação e selecionar a mais adequada.

Durante as pesquisas encontrou-se informações mais completas do fabricante *Unipower*, esse fabricante possui um modelo de bateria de chumbo-ácido de 12V e 9Ah e um modelo de lítio, de 12V e 10Ah. Ambas as baterias possuem as mesmas dimensões (100mm × 151mm × 65mm), porém, a bateria de chumbo-ácido pesa 2,5 kg enquanto a bateria de lítio pesa 1,5 kg. Como o sistema deve ser portátil é importante que ele seja o mais leve e compacto possível, dessa forma foi escolhido o modelo de lítio, que é mais

leve e tem maior capacidade. O fabricante *Unipower* trabalha com um tipo específico de baterias de íons de lítio, as baterias de lítio ferro fosfato.

A bateria selecionada é a Bateria Lítio Ferro Fosfato - LiFePO4, modelo UPLFP12-10. Na Figura 55 é apresentada a bateria selecionada para a base de lançamento.



Figura 55 – Bateria selecionada para a base de lançamento.

Fonte: ([UNIPOWER, 2017](#))

#### 2.4.4 Regulador de tensão

Como as fontes de tensão são de 12V, serão utilizados módulos “*step down*” para regular as tensões direcionadas para alguns componentes do sistema. No projeto, será utilizado o módulo regulador de tensão modelo LM2596 apresentado na figura 56, pois este possui uma ampla faixa de tensões de entrada e pode ser regulado para uma tensão específica de saída com uma boa eficiência ([INSTRUMENTS, 1999](#)).

A faixa de tensão utilizada será de 5V, de acordo com a necessidade de cada dispositivo eletrônico no sistema.

#### 2.4.5 Funcionamento do sistema de alimentação

A partir da definição de todos os equipamentos é possível visualizar o funcionamento de cada sistema de alimentação.



Figura 56 – Regulador de tensão modelo LM2596.

O diagrama em blocos do sistema de controle pode ser observado na Figura 57.

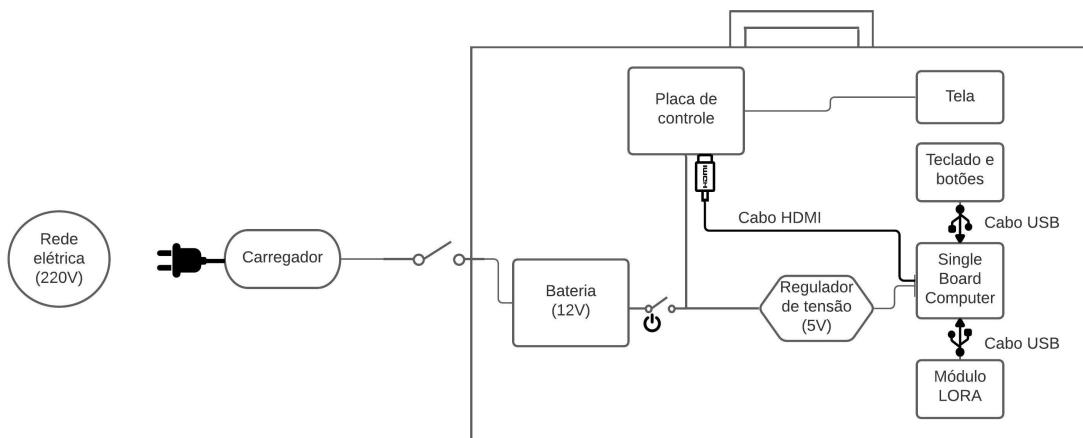


Figura 57 – Diagrama em blocos do sistema de controle - maleta.

Nesse sistema a bateria alimenta diretamente a placa de controle da tela e o módulo regulador de tensão. Nesse ponto de alimentação está inserido um botão interruptor, de forma a ligar ou desligar o sistema como um todo.

O regulador de tensão, por sua vez, alimenta o *Single Board Computer* que se conecta ao teclado e ao módulo LORA via cabo USB, além disso, o *Single Board Computer* se conecta a placa de controle da tela via cabo HDMI.

O diagrama em blocos do sistema da base de lançamento pode ser observado na Figura 58.

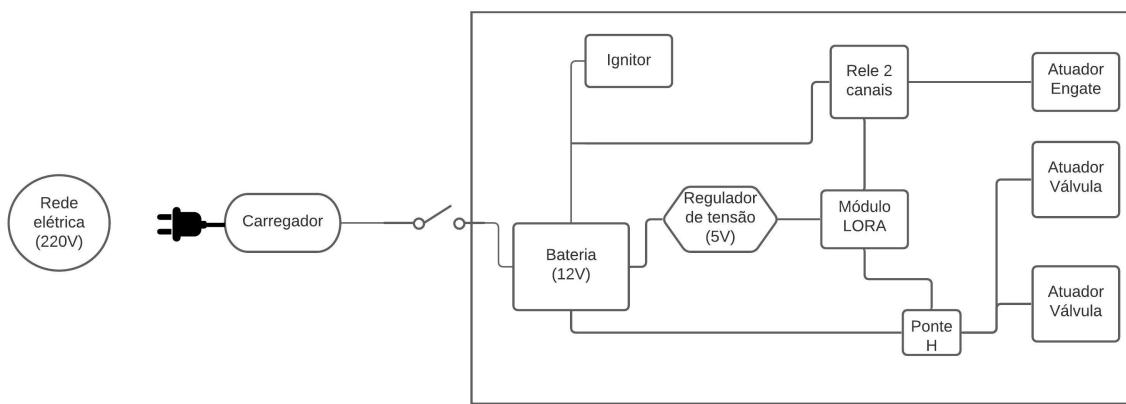


Figura 58 – Diagrama em blocos da base de lançamento.

No sistema da base de lançamento a bateria alimenta diretamente o ignitor, o circuito ponte H, o módulo relé 2 canais e o módulo regulador de tensão. Nesse sistema, não foi inserido o botão liga/desliga, pois os componentes serão ativados por meio do sistema de controle.

Os atuadores das válvulas são alimentados por meio do circuito ponte H, o atuador do engate é alimentado por meio do relé 2 canais, o relé e o circuito ponte H estão conectados com o módulo LORA, que é alimentado por meio do módulo regulador de tensão.

É possível observar ainda, em ambos os sistemas, o esquema de carregamento da bateria, a conexão entre o carregador e a bateria está representada por um interruptor, pois essa conexão não é fixa, e será realizada apenas nos momentos de carregamento de cada bateria. A conexão será feita por meio de um conector *Jack*, presente em cada uma das estruturas.

#### 2.4.6 Carregador de bateria

A solução inicial para o sistema consistia em realizar o carregamento da bateria *off grid*, ou seja, sem conexão com a rede elétrica, a partir do uso de placas fotovoltaicas. Porém, ao analisar as condições de operação do sistema, em especial o tempo de operação, que é previsto para no máximo 2 horas, concluiu-se que a solução mais adequada seria realizar o carregamento *on grid*, conectado à rede elétrica, a partir de um carregador de bateria, a ser projetado.

Dessa forma, as baterias, tanto da maleta quanto da base, serão levadas com carga completa até o local de lançamento, todo o sistema poderá ser alimentado a partir delas, e, ao retornar para um local com conexão à rede elétrica, as baterias poderão ser

recarregadas, e o sistema estará pronto para o próximo uso.

Como as duas baterias são de Íon-Lítio, será projetado um único carregador que seja compatível com as especificações técnicas das duas baterias usadas no projeto, a tensão de saída deve ser no máximo de 14,6V e a corrente máxima de saída 10A.

#### 2.4.6.1 Fonte de Alimentação

A fonte de alimentação será a responsável por entregar a tensão e a corrente necessária para carregar as duas baterias do sistema, como o carregador será ligado à rede elétrica, foi projetado um circuito capaz de converter corrente alternada (rede elétrica) para corrente contínua (usada no projeto) e fazer a redução de tensão (no caso, de 220V para 30V). Para isso, foi inserido um transformador e um retificador de onda completa.

##### Transformador

Um transformador é constituído basicamente de dois enrolamentos onde o fluxo magnético, variável, produzido em um age sobre o outro. O enrolamento no qual a fonte é aplicada é o primário do transformador e o enrolamento onde a carga é conectada é o secundário ([KOSOW, 1982](#)).

Para o projeto, deseja-se a utilização de um transformador de tensão (com *center-tapped*), que será responsável por abaixar a tensão. Em nosso caso, a tensão de entrada será a tensão fornecida pela rede, que é de 220V alternada, e a tensão de saída será a tensão desejada para o funcionamento do projeto, que será de 30V, ainda alternada na saída do transformador.

##### Retificador de onda completa

Como a tensão na saída do transformador é alternada é necessário um retificador para torná-la contínua, o Retificador de onda completa consiste no uso de 2 diodos acoplados ao transformador que contenha *center-tapped*, para garantir a retificação de onda completa.

Os diodos são dispositivos eletrônicos que permitem a passagem de corrente elétrica em apenas um sentido. Eles só permitem a passagem de corrente elétrica quando esta é polarizada diretamente, ou seja, quando o polo positivo da fonte entra em contato com o polo positivo do diodo ([WENDLING, 2011](#)). No circuito, o diodo funciona de acordo com a figura 59

#### 2.4.6.2 Circuito de carregamento

O carregador de baterias de lítio íon é um dispositivo limitador de tensão similar ao carregador de baterias de chumbo-ácido. A diferença está em uma maior tensão por célula, uma tolerância de tensão menor e a ausência de carga de flutuação ou pulsante

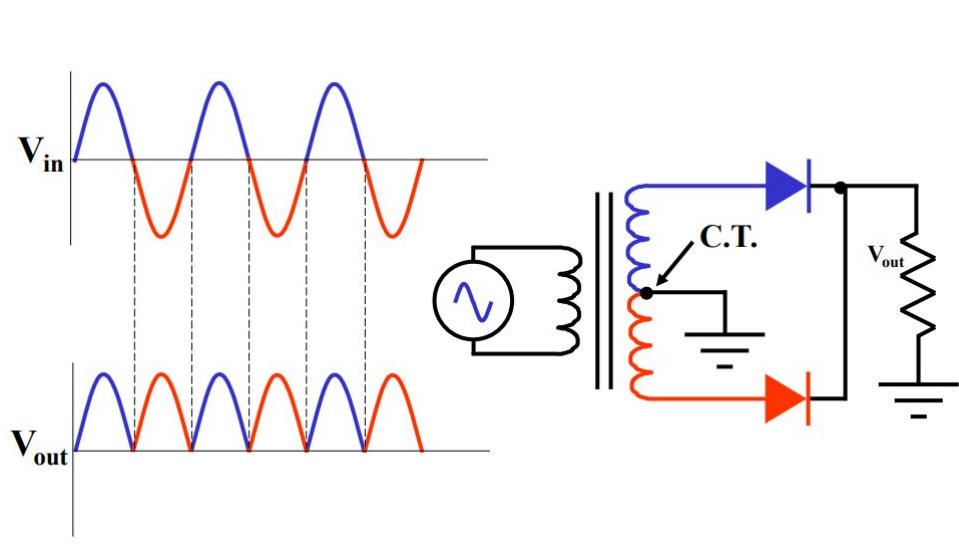


Figura 59 – Esquemático de um retificador de onda completa. Fonte: ([WENDLING, 2011](#))

quando a carga completa é alcançada ([MICHELINI, 2020](#)).

O tempo de carga de todas as baterias de Lítio-Íon, quando carregadas a uma corrente inicial de 1 C, é de aproximadamente 3 horas. A bateria permanece fria durante a carga. A carga completa é alcançada depois que a tensão alcança o limiar de tensão superior e a corrente ter caído e se igualado a 3% da corrente de carga nominal. Na figura 60, é mostrada a curva de carga de uma bateria de Lítio íon.

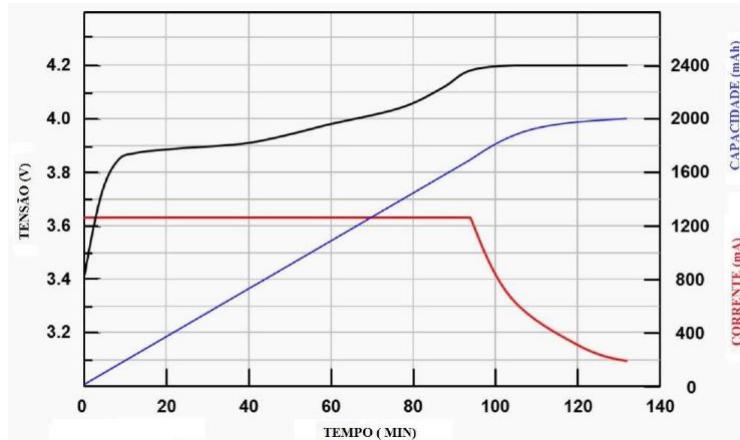


Figura 60 – Curva de carga da bateria de Lítio íon. Fonte: ([MICHELINI, 2020](#))

Baterias de lítio íon são projetadas para operar seguramente dentro da sua tensão normal de operação, mas tornam-se cada vez mais instáveis se carregadas em voltagens maiores. Por esse motivo, é importante que haja circuitos internos de controle de tensão que interrompem a bateria em subtensão ou sobre tensão ([MICHELINI, 2020](#)).

Foi criado, usando o software Proteus, o circuito de carregamento das baterias (já inserida a fonte de alimentação). O apêndice C contém o desenho do circuito criado. Nas

figuras 61 e 62 são apresentados os testes de simulação do circuito contendo as medições de tensão e corrente.

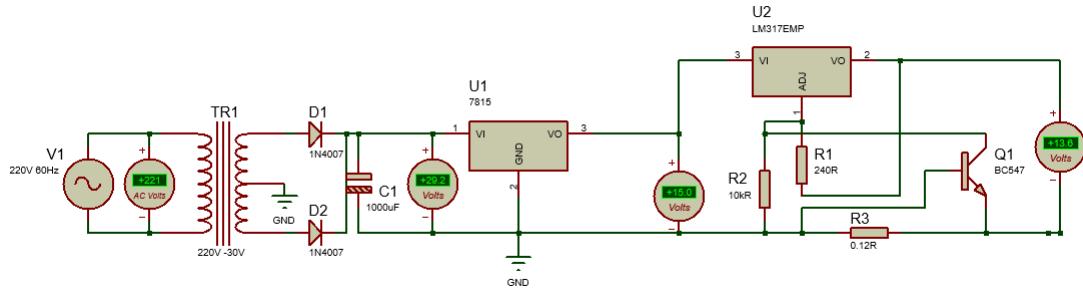


Figura 61 – Medição de tensão no circuito carregador. Fonte: (WENDLING, 2011)

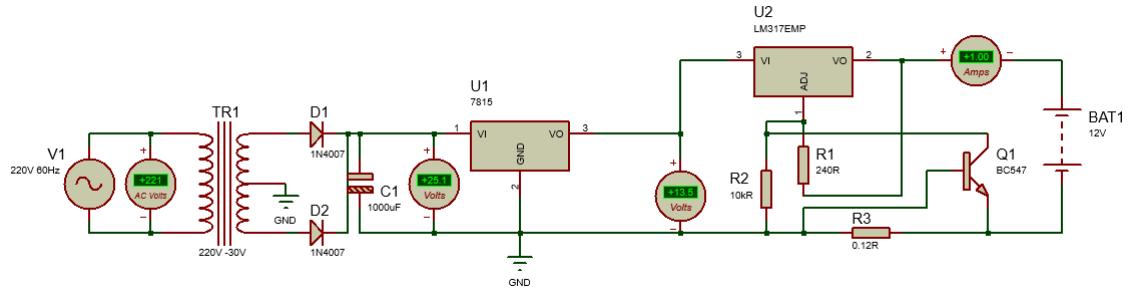


Figura 62 – Medição de corrente no circuito carregador.

Observando as medições, é possível comprovar que, ao final do circuito, a bateria recebe uma tensão de 13.6V e uma corrente de 1A, capaz então de recarregá-la até 12V. O circuito de carregamento faz o controle da tensão para manter a carga, caso, depois de cheia, se a bateria perder a carga, o carregador reativa-se até ficar novamente com a carga completa. Desse modo, a bateria pode estar ligada de forma permanente ao carregador, mantendo a carga completa sem nenhum dano a bateria ou ao circuito.

#### 2.4.7 Dimensionamento dos condutores

Para questões de dimensionamento dos condutores, o projeto será separado em três partes: carregador, maleta e base. Para determinar o diâmetro da seção transversal dos condutores utilizados no projeto, foi usada a norma NBR 5410/2004 (ABNT, 2004). Segundo a norma, é preciso levar em conta dois parâmetros para decidir o diâmetro dos condutores: seção mínima de acordo com o método de instalação e capacidade de condução de corrente. A seção final dos condutores é dada pela maior seção entre os dois parâmetros encontrados.

O primeiro parâmetro é obtido por meio de uma análise das condições apresentadas pela norma, de acordo com o tipo de linha e utilização do circuito. No nosso caso, serão

utilizados fios de cobre. Na tabela 47 da norma, são mostrados valores mínimos para a seção, a depender da utilização do circuito. De lá, foram tirados os seguintes dados:

- Circuito carregador - Tipo: Circuitos de força - Seção mínima:  $2,5mm^2$ ;
- Circuito maleta - Tipo: Linhas flexíveis para qualquer outra aplicação - Seção mínima:  $0,75mm^2$
- Circuito base - Tipo: Linhas flexíveis para qualquer outra aplicação - Seção mínima:  $0,75mm^2$

O segundo parâmetro leva em conta a corrente de projeto corrigida. Dessa forma, para cada parte do sistema geral, ter-se-á uma seção específica de condutor, uma vez que cada ramo apresenta uma potência diferente. A corrente de projeto corrigida é calculada segundo a equação abaixo:

$$I_c = \frac{P}{V \times f_p \times FCA \times FCT} \quad (2.19)$$

Onde:

- $I_c$  corrente de projeto corrigida;
- $P$  potência requerida;
- $V$  Tensão requerida;
- $f_p$  fator de potência;
- $FCA$  fator de correção de agrupamento;
- $FCT$  fator de correção de temperatura.

Os fatores de correção a serem adotados para a determinação da corrente demandada em cada seção do circuito foram:

- Considerando que o lançamento acontece durante o dia em locais abertos, será considerada para a maleta e a base uma temperatura de  $40^\circ\text{C}$ , um pouco mais alta que a ambiente, para segurança do projeto. De acordo com a tabela 40 da norma esta temperatura retorna um valor de  $FCT = 0.91$  ;

- Será desconsiderado o agrupamento dos circuitos, levando o fator de correção por agrupamento a um valor unitário;

- Será considerado um fator de potência unitário.

Para cada parte do projeto, a corrente corrigida será:

- Circuito carregador Para o fluxo rede elétrica - fonte:

$$I_c = \frac{1927,65W}{220V \times 1 \times 1 \times 1} = 8,762A \quad (2.20)$$

Pela NBR 5410 tabela 37 a seção adequada é  $0,5mm^2$

Para o fluxo fonte - bateria:

$$I_c = \frac{60W}{30V \times 1 \times 1 \times 1} = 2A \quad (2.21)$$

Pela NBR 5410 tabela 37 a seção adequada é  $0,5mm^2$

- Circuito maleta

$$I_c = \frac{97W}{12V \times 1 \times 1 \times 0.91} = 8,88A \quad (2.22)$$

Pela NBR 5410 tabela 37 a seção adequada é  $0,5mm^2$

- Circuito base

$$I_c = \frac{113,86W}{12V \times 1 \times 1 \times 0.91} = 10,42A \quad (2.23)$$

Pela NBR 5410 tabela 37 a seção adequada é  $0,75mm^2$

Após comparar os valores calculados com os do parâmetro de seção mínima baseados na norma, é mostrado na tabela 4 a seção final dos condutores em cada uma das partes.

Círcuito	Seção dos condutores ( $mm^2$ )
Carregador	2,5
Maleta	0,75
Base	0,75

Tabela 4 – Dimensionamento dos condutores do projeto.

## 2.4.8 Plano de construção

### 2.4.8.1 Carregador

Para construir o carregador de baterias, que poderá ser utilizado para recarregar as baterias dos dois sistemas projetados, deve ser seguido o projeto de circuito especificado no Apêndice C. Os componentes estão descritos no projeto e na Tabela 14 com os custos de cada um.

A partir do desenho do circuito, o usuário deverá gerar uma placa de circuito impresso, onde os componentes devem ser inseridos e conectados utilizando o aparelho ferro de solda.

O fio de área de  $2,5mm^2$  deverá ser utilizado para realizar a conexão entre o *plug macho* (tomada) e a entrada do transformador, e, entre a saída do circuito e o *plug do conector DC Jack*.

#### 2.4.8.2 Sistema de controle e sistema da base de lançamento

Com base nos diagramas em blocos na Figura 57 e Figura 58, e do diagrama unifilar do sistema de controle e da base, Figura 87 e Figura 88 do Apêndice C, é possível identificar as ligações entre os componentes de forma a construir o sistema de alimentação para ambas as estruturas.

O fio de área  $0,75$  mm deverá ser utilizado para fazer as conexões elétricas entre os componentes. A bateria deverá ser ligada ao *conector DC Jack*, presente na estrutura, para que a conexão ao carregador possa ser realizada.

No sistema de controle, logo após a bateria, deve ser inserido o botão interruptor (chave gangorra).

## 2.5 Estrutura

Baseado nos requisitos estruturais apresentados no PC01 e atualizados na tabela 5, a solução de estrutura foi desenvolvida.

Requisito	Descrição
RFEST01	Ser de uso intuitivo para o usuário.
RFEST02	Uma estrutura física compacta e portátil, que dê suporte aos componentes internos da estação.
RFEST03	Material leve e resistente, capaz de proteger os componentes internos da estação de eventuais impactos e intempéries provenientes do ambiente e de seu deslocamento.
RFEST04	Uma segunda estrutura física compacta e portátil, voltada para o armazenamento do sistema de abastecimento.
RFEST05	Ter um sistema de transmissão de torque do atuador para a válvula-esfera do sistema de abastecimento.
RFEST06	Proteger o sistema eletrônico e não gerar interferência neste.
RFEST07	Estrutura interna acessível e de fácil manutenção.
RFEST08	Sistema de abastecimento baseado nos componentes definidos pelo cliente.

Tabela 5 – Requisitos de Estrutura

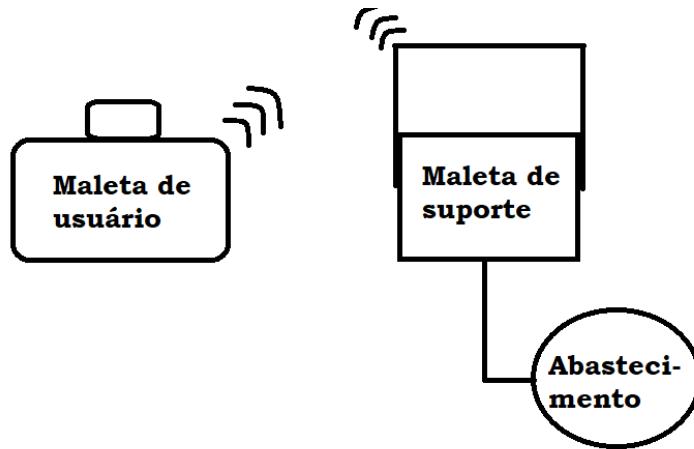


Figura 63 – Solução estrutural

O RGS necessita que todo o seu sistema seja portátil e suficiente para configurar e apoiar as missões de foguetes da CTR. Assim, durante sua concepção estrutural, o principal foco da equipe foi a mobilidade e a robustez para adequação às condições ambientais encontradas nos potenciais locais de lançamento e teste de foguetes. Por isso nossa solução estrutural deve ser equipada com todos os instrumentos necessários para o suporte eletrônico e de software responsáveis por rastrear e comandar o foguete durante o lançamento.

Dessa forma, nossa solução se divide em três frentes. A primeira é a maleta de usuário, onde ficarão os componentes eletrônicos e a interface de usuário de software (2.5.1.3). Depois tem-se a maleta de suporte, responsável por abrigar os componentes para o abastecimento e a ignição do foguete à distância (2.5.1.4). E, por fim, tem-se o sistema de abastecimento e ignição em si com seus componentes em uso integrados a outras partes do projeto (2.5.2). Na figura 63 pode-se ver como o trabalho estrutural foi dividido.

### 2.5.1 Maletas

A solução estrutural inicial era de desenvolver apenas uma estrutura em formato de maleta, visando que ela fosse o bastante para o uso e carregamento de toda a solução. Porém, depois foi visto que a solução proposta demandaria do cliente o uso de um cabo de energia, muito superior aos comerciais, se tornando um empecilho para a usabilidade do produto. Além de que um cabo elétrico de grandes dimensões possui perda ao longo de sua transmissão, assim foi optado por desenvolver uma solução totalmente segura e sem fios para o conjunto de controle e de abastecimento.

Fazendo-se então necessária a construção de uma segunda estrutura para comportar e transportar os elementos de abastecimento de modo que esse fique perto da base de lançamento, enquanto a outra estrutura fica em uma distância segura com o usuário.

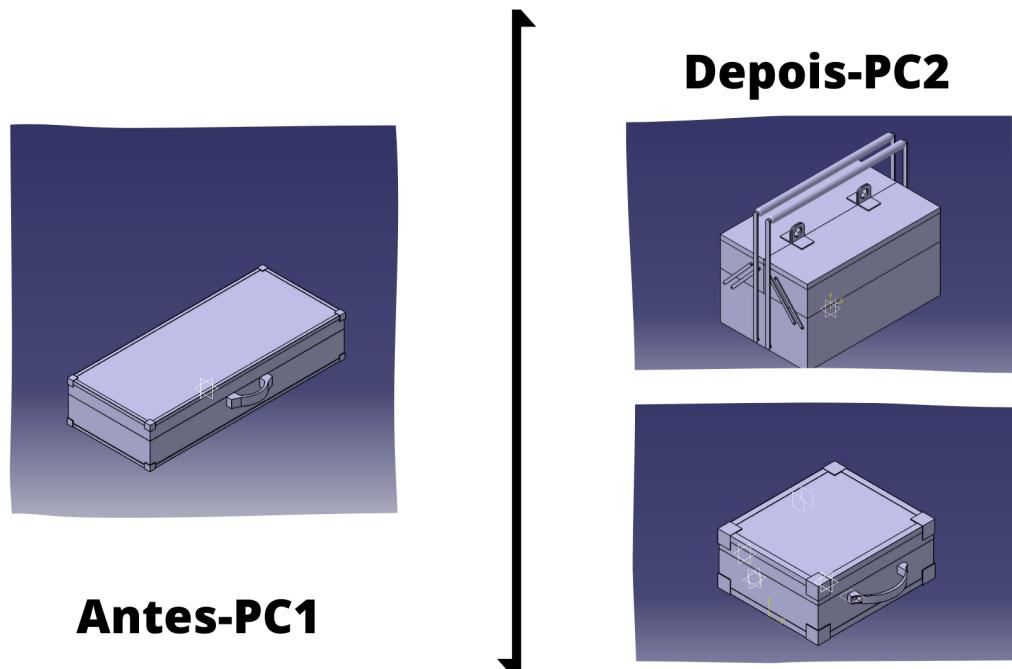


Figura 64 – Solução no PC1 e solução no PC2

### 2.5.1.1 Especificações de materiais

Durante a seleção de materiais, é necessária uma sistematização que permita analisar a vasta possibilidade de combinação de materiais que podem constituir determinado produto a fim de extrair um candidato vencedor, que cumpra com maior eficiência possível os requisitos da aplicação (WALTER, 2006).

Antes de apresentar a lista em si, é necessário evidenciar as características desejáveis para as estruturas que serão utilizadas na solução. Durante a etapa de escolha do material a ser utilizado, nem sempre é possível contemplar satisfatoriamente todos os aspectos necessários para aquela determinada finalidade. Por isso, tais aspectos são dispostos em ordem de relevância para o projeto, para que a escolha do material seja feita com embasamento teórico dentro da necessidade real do protótipo.

1. O fator mais relevante para a caixa da *ground station* é o correto funcionamento no local de lançamento. A caixa deve estabelecer, por meio de ondas eletromagnéticas, comunicação mútua com o foguete e com o sistema de abastecimento de propelente durante todas as etapas de lançamento. Portanto, o material escolhido **não deve gerar interferência** nos sistemas de comunicação.
2. A usabilidade e a ergonomia vem a seguir, responsáveis por garantir que o usuário consiga ler, de forma clara e precisa, todos os parâmetros relevantes para a missão e que o auxiliará na tomada de decisão. Assim, **o material utilizado deve ser moldável** para que embarque os componentes necessários e os disponha de maneira adequada, respeitando as suas diferentes geometrias.
3. O **custo** é o terceiro fator mais relevante, uma vez que a viabilidade de fabricação do protótipo está diretamente relacionada com seu valor final. Além do material ser acessível do ponto de vista financeiro, é desejável que ele permita agilidade em sua construção, dado que um material difícil de ser trabalhado pode gerar mais horas de trabalho, o que resulta no aumento do valor total da mão-de-obra e, por consequência, aumento do valor final do protótipo.
4. Como quarta prioridade, a caixa deve ser resistente de maneira que eventuais quedas ou impactos com outros objetos não venha a interferir o seu correto funcionamento. Materiais com boa **resistência mecânica** podem contemplar tal característica.
5. Por fim, a portabilidade se faz necessária devida à utilização da caixa ocorrer em lugares de acesso restrito. Logo, a caixa deve ser **leve e compacta** para facilitar o seu transporte.

Visto os aspectos desejáveis, é apresentado a seguir o estudo de possíveis materiais a serem utilizados no protótipo, bem como a escolha final de uso.

- **Medium Density Fiberboard - MDF**

O MDF é um material fabricado a partir da aglutinação de fibras de madeira com resina sintética – sendo as mais utilizadas à base de ureia formaldeído, tanino formaldeído e melamina ureia formaldeído – posteriormente submetidas à prensagem em altas temperaturas ([GOMES et al., 2017](#)). Sua composição permite que ondas eletromagnéticas possam fluir através dela.

Sua superfície é plana e lisa, oferece alta usinabilidade para encaixar, entalhar, cortar, parafusar, perfurar e moldurar, além de reduzir o uso de tintas, vernizes e ótima aceitação de revestimentos ([CAMPOS; LAHR, 2002](#)).

O custo varia de acordo com a espessura da chapa. O valor do metro quadrado de uma chapa de 3 mm é R\$36,81. Já uma chapa de 6 mm custa R\$62,50 o metro quadrado. Por possuir boa trabalhabilidade ([ELEOTÉRIO; FILHO; JÚNIOR, 2000](#)), o processo de construção pode apresentar satisfatória rapidez.

As características mecânicas específicas do material variam de acordo com o tipo de fibra e resina utilizadas. Em geral, são vantagens do MDF a alta relação entre resistência mecânica e massa específica, homogeneidade e ausência de defeitos como nós e desvios de grão ([ELEOTÉRIO; FILHO; JÚNIOR, 2000](#)).

De acordo com Silva e Gonçalves ([SILVA; GONÇALVES, 2007](#)), os MDF são projetados para serem fabricados com densidades entre 0,5 e 0,8 g/cm<sup>3</sup>.

Na tabela 6 é apresentado algumas das principais propriedades físicas e mecânicas de painéis MDF confeccionados com madeira de *Eucalyptus grandis*.

Densidade	0,695 g/cm <sup>3</sup>
Módulo de elasticidade	3776 MPa
Módulo de ruptura	36,1 MPa
Resistência a tração	1,01 MPa

Tabela 6 – Propriedades do MDF

- **Polímero Reforçado com Fibra de Vidro - PRFV**

É um material composto por uma matriz de resina sintética termofixa, como a Resina Epóxi, reforçada com estreitos filamentos flexíveis de vidro, cujo principal constituinte é a sílica ([PIERIN et al., 2005](#)). O PRFV não gera interferência na comunicação com os sistemas.

Possui razoável manuseabilidade, pode ser cortado, perfurado e moldado, porém caso a caixa seja composta por várias peças o encaixe entre elas pode dificultar o processo de montagem.

O processo de fabricação é lento pois é necessária a fabricação do PRFV em si, ou seja, não é vendido o PRFV pronto para uso e sim os filamentos de vidro e a resina.

Além disso, o PRFV deve ser confeccionado em um molde que deve ser previamente fabricado com o formato da peça final. O custo de material suficiente para produzir um metro quadrado de PRFV é de R\$52,90.

De acordo com Lin et al (1996), conforme citado por Pierin (PIERIN et al., 2005), os PRFV exibem alta resistência mecânica, porém problemas de deformabilidade e instabilidade, devido à sua baixa elasticidade e rigidez, são os maiores inconvenientes deste material.

De acordo com CALLISTER JR. (CALLISTER, 2000), a densidade do PRFV varia entre  $1,5 \text{ g/cm}^3$  podendo chegar até próximo de  $3 \text{ g/cm}^3$  dependendo dos materiais utilizados.

#### • Polímero Reforçado com Fibra de Carbono - PRFC

Similar ao PRFV, o PRFC utiliza como reforço fibras compostas principalmente de carbono que resultam da pirólise de fibras plásticas, como a poliacrilonitrila (PAN).

O processo de fabricação do PRFC é análogo ao processo de fabricação do PRFV. O material para produzir um metro quadrado PRFC custa R\$421,43.

Segundo Galli (GALLI, 2016) as fibras de carbono são normalmente empregadas em aplicações que requerem elevadas propriedades mecânicas (alta resistência mecânica e alto módulo de elasticidade) associadas a uma baixa densidade.

Densidade	$1,78 \text{ g/cm}^3$
Módulo de elasticidade	$380 \text{ MPa}$
Módulo de ruptura	$124,5 \text{ MPa}$
Resistência a tração	$102,9 \text{ MPa}$

Tabela 7 – Propriedades do PRFC

#### • Poli Ácido Lático - PLA

O PLA é um polímero termoplástico feito através da extração do milho, trigo ou cana de açúcar passando por várias etapas de produção. Sua composição permite o correto funcionamento dos sistemas de comunicação.

O PLA é um material comumente usado em prototipagem rápida onde uma impressora 3D deposita o material partindo de dados provenientes de sistemas de desenho assistido por computador (CAD). Sua alta fluidez e baixa contração durante o processo de extrusão permite a produção de peças com alta precisão dimensional e bom acabamento superficial.

O filamento de PLA para impressão 3D tem valor médio de R\$140,00 o kg com a possibilidade e facilidade de poder encontrá-lo em diversas cores. O valor de processamento do PLA para projetos com baixas unidades é muito elevado, tornando inviável seu processamento por injeção ou *vacuum forming* e impressão 3D.

De acordo com Simões et al. ([SIMÕES; VIANA; CUNHA, 2009](#)), o PLA é um material rígido e resistente, difícil de deformar ou flexionar, possui alta dureza, que o torna com baixa resistência ao impacto. É um material indicado para produção de protótipos que não sejam submetidos às condições de altos esforços mecânicos, atritos ou altas temperaturas.

Densidade	$1,24 \text{ g/cm}^3$
Módulo de elasticidade	$2690 \text{ MPa}$
Módulo de ruptura	$53,32 \text{ MPa}$
Resistência a tração	$50,0 \text{ MPa}$

Tabela 8 – Propriedades do PLA

#### • Acrilonitrila Butadieno Estireno - ABS

Para Vossen ([VOSSEN, 2009](#)), o ABS é um termoplástico que consiste em uma fase de borracha (butadieno) dispersa em uma matriz de SAN (copolímero de acrilonitrila Estireno), também denominado terpolímero.

A acrilonitrila confere estabilidade ao calor e resistência química e à flexão; o butadieno é responsável pela resistência ao impacto e tenacidade; já o estireno por sua vez é responsável pelo brilho, rigidez e fácil processamento. Devido à suas propriedade e baixo custo o ABS se tornou um material bastante utilizado por várias indústrias. O ABS pode ser Processado por injeção, extrusão e sopro.

O valor do ABS depende da forma em que você o deseja, o kg do ABS granulado custa em média R\$ 16,80 já o kg do filamento (399 m) de ABS para impressão varia de R\$50,00 a R\$100,00. O valor de processamento do ABS para projetos com baixas unidades é muito elevado, tornando inviável seu processamento por injeção ou *vacuum forming* e impressão 3D.

Assim as propriedades do ABS dependem do teor de cada componente, mas em geral o ABS apresenta boa resistência térmica e ao impacto, alta estabilidade dimensional, alta rigidez, alta dureza, baixa absorção de umidade, etc. ([JÚNIOR; JÚNIOR; HEMKEMEIER, 2014](#))

Densidade	$1,05 \text{ g/cm}^3$
Módulo de elasticidade	$1335,9 \text{ MPa}$
Módulo de ruptura	$29,0 \text{ MPa}$
Resistência a tração	$62,0 \text{ MPa}$

Tabela 9 – Propriedades do ABS

A partir dos dados apresentados para os diferentes materiais, é possível chegar às seguintes conclusões: os materiais selecionados para o estudo são caracterizados por

não gerarem interferência; assim, o próximo aspecto a ser analisado é o usinabilidade e geometrias que o material pode assumir com poucos processos. Nesse quesito, os materiais com fibras se tornam menos atraentes por sua complexa usinabilidade. Já no quesito custo os materiais mais comerciais possuem melhor custo benefício como é o caso do MDF. Porém, as características mecânicas e físicas são o fator decisivo para a escolha do material, com a menor densidade entre os materiais selecionados e o maior módulo de elasticidade o MDF, se saiu na frente nos dois últimos quesitos analisados. Apesar da sua baixa resistência a tração, o fato de o sistema desenvolvido não estar sujeito a esse tipo de carga faz que ele se torne ainda mais atrativo. Logo, o material escolhido para a confecção do protótipo é o **MDF**.

Walter sinaliza que a dinâmica de Seleção de Materiais e Processos de Fabricação devem ser flexíveis a ponto de permitir sua utilização em etapas desde o *Design Conceitual* ao Projeto para Manufatura ([WALTER, 2006](#)).

Tratando-se de um projeto de engenharia, foi definida a escolha de mais de um material, já que suas partes possuem funções diferentes. Assim a carcaça da caixa será feita em com um material de revestimento (cf. [2.5.1.2](#)), o que permite um acabamento melhorado e uma proteção em caso de eventual contato com líquidos. Enquanto que os componentes estruturais serão feitos em MDF feito de madeira de eucalipto, visto que a mesma segue o enquadramento para construção de painéis de uso estrutural determinado pela especificação NBR 15316-2 (). Assim combinando diferentes materiais, tem-se uma diminuição dos custos de produção, diminuição do peso e aumento das propriedades mecânicas se comparado aos polímeros.

### 2.5.1.2 Material para revestimento da caixa

Para aumentar a resistência do material que forma as estruturas da estação de controle, recomenda-se o seu revestimento com material polimérico (i.e. borracha), de modo a aumentar sua resistência à abrasão, impacto, cortes e pressão. Em aplicações industriais, alguns desses polímeros são desenvolvidos para ser aplicados em condições extremas, a temperaturas muito altas ou em locais com presença de ácidos concentrados, o que foge do escopo do uso no projeto, de proteger a estação de intempéries ambientais e a choques mecânicos moderados, ou seja, queda de uma altura não superior a de uma pessoa carregando a maleta nas mãos: 1 a 1,5 m.

- **Borracha de Etileno Propileno Terpolímero - EPDM**

Material bastante usado para resistência térmica, mas também por sua dureza e por sua impermeabilidade à água.

- **Borracha de Estireno Butadieno - SBR**

Boa resistência à abrasão e resistência moderada a agentes atmosféricos (luz solar, oxigênio). Baixa resistência a ácidos fortes, solventes e a altas temperaturas (acima de 85°C), o que extrapola a usabilidade esperada do material.

- **Borracha de Poliisopreno - IR**

Propriedades muito próximas a da borracha natural. Grande resistência a abrasão, rasgo, mas baixa resistência a agentes atmosféricos (luz solar, oxigênio), que afetam seu envelhecimento.

Propriedade	EPDM	SBR	IR
Dureza Shore A	40-90	30-95	15-100
Tensão de Rotura (MPa)	7-18	7-21	15-25
Resistência elétrica (ohms/cm <sup>2</sup> )	$2 \times 10^{16}$	$10^{15}$	$10^{15}$
Limites de temperatura (°C)	-55 a 130	-45 a 85	-50 a 80
Preço (R\$/m <sup>2</sup> )	140,00	80,00	100,00

Tabela 10 – Propriedades material de revestimento

A partir dos dados apresentados na tabela 10 é possível ver que o material para revestimento com o melhor custo benefício é o **SBR**, assim esse se torna o material escolhido para o revestimento.

#### 2.5.1.3 Maleta 01 - GCS

A maleta GCS é responsável por enviar o sinal de lançamento do foguete e colher os dados de telemetria deste. Dessa forma, ela tem que armazenar alguns componentes essenciais para que consiga realizar essa função e o usuário consiga analisar e colher os dados obtidos. Para armazenar todos esses componentes, foi pensado em uma maleta com *design* mais robusto, porém, compacta. Suas especificações podem ser verificadas no Apêndice E.

Como pode ser observado na figura 65, em sua base ficarão armazenados os componentes eletrônicos e de energia, tais como fontes, baterias, reguladores, etc. Ainda em sua base, para proteger os componentes eletrônicos e o usuário tem-se um fundo falso que serve como meio de acesso aos componentes eletrônicos para manutenções e serve também de nicho para o teclado. Já em sua parte superior, a maleta conta com um outro fundo falso que permite acesso à tela de 9" e à base da antena.

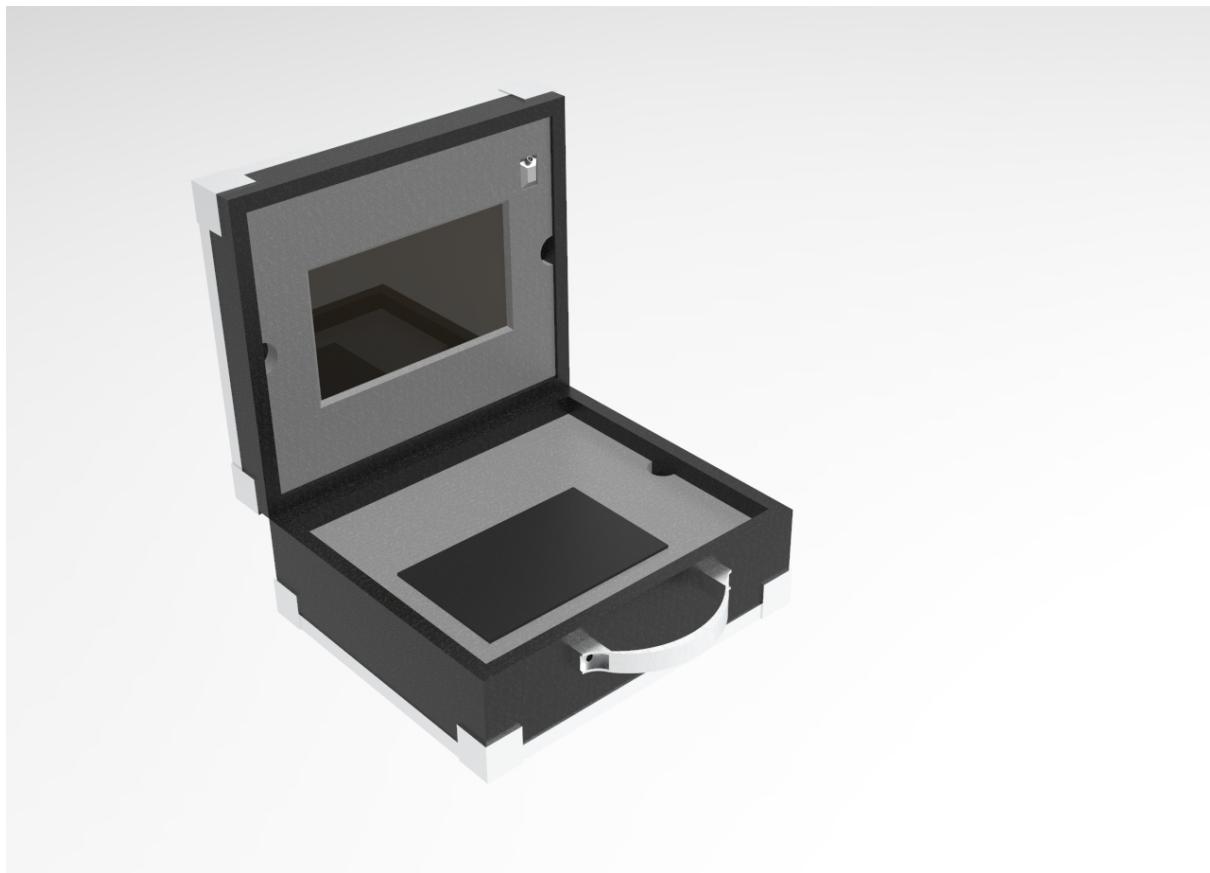


Figura 65 – Maleta 01 - GCS

A disposição dos equipamentos eletrônicos, bem como o interior da base da GCS, podem ser observados na figura 66.



Figura 66 – Disposição dos equipamentos eletrônicos

O peso da maleta GCS será de aproximadamente 4,539 kg. Essa estimativa foi realizada utilizando a ferramenta *Measure Inertia* do software CATIA. Os dados obtidos no programa podem ser observados na figura 67.

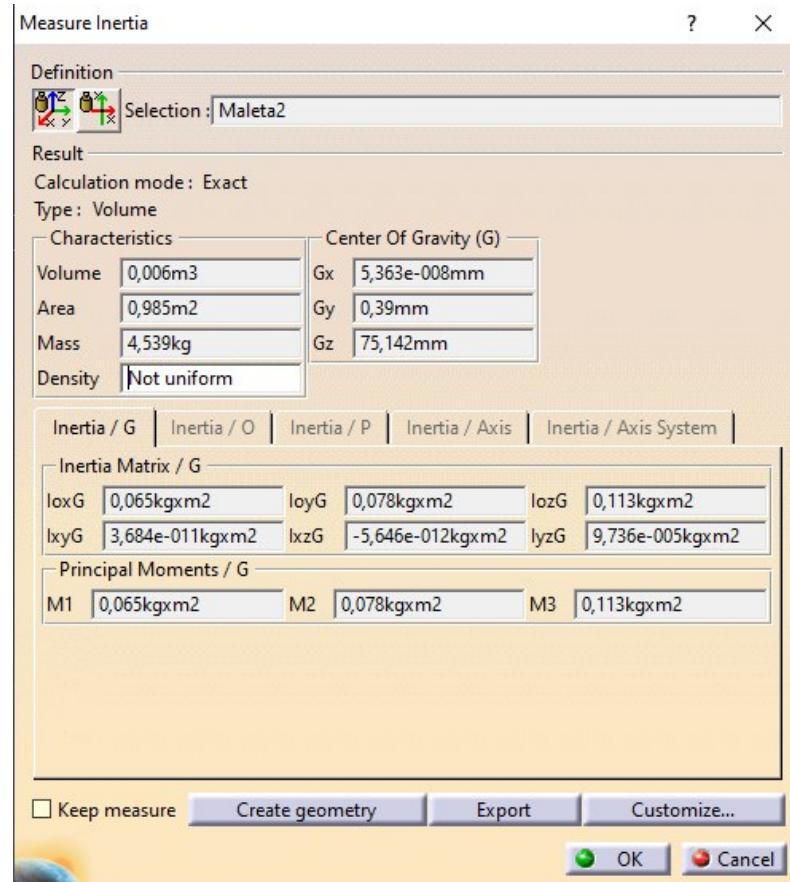


Figura 67 – Resultados obtidos para a estimativa de peso da maleta GCS

#### 2.5.1.4 Maleta 02 - Abastecimento

A maleta de abastecimento tem como função transportar os atuadores, as válvulas, a mangueira de abastecimento e a bateria que proporcionará a energia necessária para o funcionamento dos mesmos. Dessa forma, a maleta teve seu design inspirado em uma caixa de ferramentas.

A maleta possuirá dois níveis. A base irá acomodar a mangueira e a bateria, fazendo que este seja o espaço com maior área útil na maleta (430x280x150 mm). Já o nível superior é composto por duas áreas de armazenamento simétricas (430x140x80 mm), com o objetivo de acomodar os motores e as válvulas como pode ser observado na figura 68. É possível observar as especificações para a produção da maleta no Apêndice E.



Figura 68 – Maleta 02 - Abastecimento

Na figura 69 é possível observar que o peso estimado para a maleta de abastecimento foi de 8,474 kg. O peso desta maleta foi estimado por meio da ferramenta *Measure Inertia* do software CATIA.

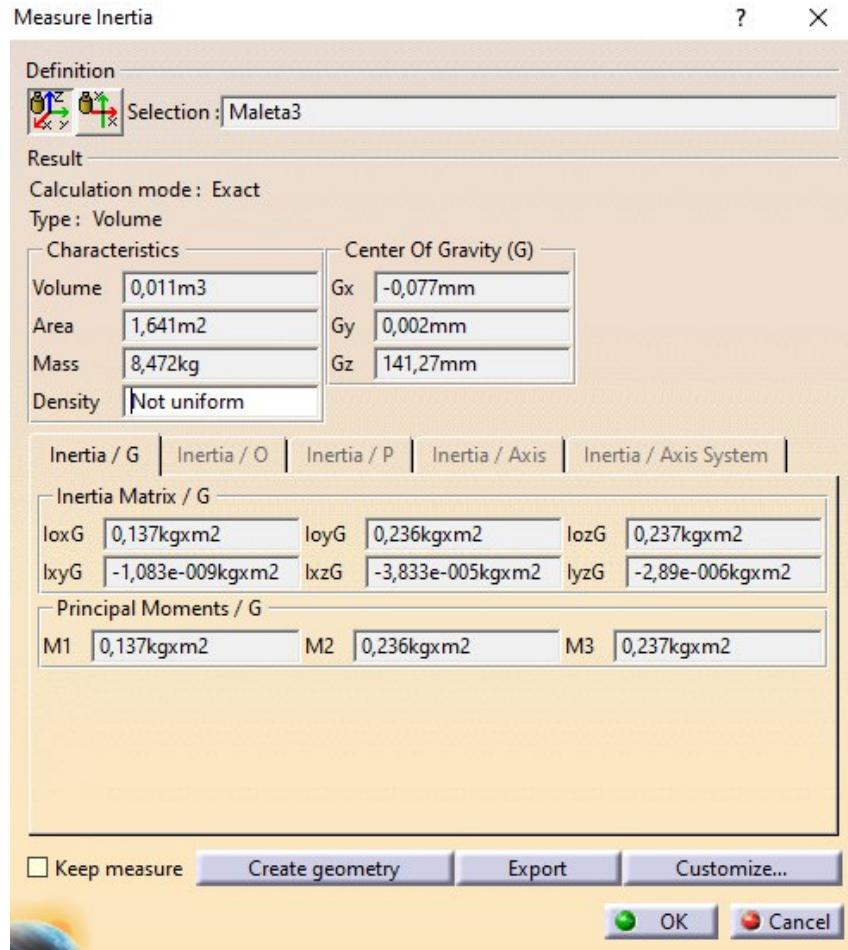


Figura 69 – Resultados obtidos para a estimativa de peso da maleta GCS

#### 2.5.1.5 Simulações de Impacto

Tanto a maleta da estação de controle quanto a maleta do sistema de alimentação são estruturas que receberão pouca ou nenhuma carga (exceto o próprio peso) durante o seu funcionamento, ou mesmo o seu transporte. Porém, durante sua utilização, é possível que essas estruturas sofram algum impacto, em particular um impacto resultante de uma queda durante seu carregamento pelo usuário, ou a partir de uma mesa durante o seu uso. Nesse sentido, foi feita uma simulação, pelo Método de Elementos Finitos (FEM), com uso do software Ansys, dessa situação.

Para a realização dessa simulação, foi considerada uma situação em que ambos os objetos atingem o solo a partir de uma condição inicial de repouso ( $v_0 = 0$ ), em queda livre por uma altura  $h = 1m$ , sofrendo aceleração gravitacional constante de  $g = 9,81m/s^2$ . Utilizando-se da equação de Torricelli (FREEDMAN, 2008):

$$v^2 = v_0^2 + 2gh \quad (2.24)$$

chegamos à velocidade a qual o objeto chega ao tocar o solo ( $v = 4,4229m/s$ ), velocidade esta que servirá de *input* para a simulação.

A geometria utilizada para a simulação considerou as dimensões escolhidas para o desenho final de ambas as estruturas, desconsiderando seus componentes internos, uma vez que se visa a análise do material escolhido para a estrutura (MDF), bem como para o revestimento (SBR). Ambos os objetos foram colocados em colisão com uma superfície plana de  $1m^2$  de área e  $0,2m$  de espessura, sendo atribuído o material concreto para essa superfície. A malha utilizada foi de elementos quadriculados de  $0,015m$  de aresta. Os materiais escolhidos (MDF e SBR) foram incluídos à biblioteca Ansys de materiais com as seguintes características ([MATERIALS, 2020](#)) ([MAKEITFROM.COM, 2020](#)):

- MDF

- Densidade:  $750kg/m^3$
- Módulo de Elasticidade:  $4GPa$
- Razão de Poisson: 0,25
- Módulo de Cisalhamento:  $1,6GPa$

- SBR

- Densidade:  $940Kg/m^3$
- Módulo de Elasticidade:  $6MPa$
- Razão de Poisson: 0,48
- Módulo de Cisalhamento:  $2,03MPa$

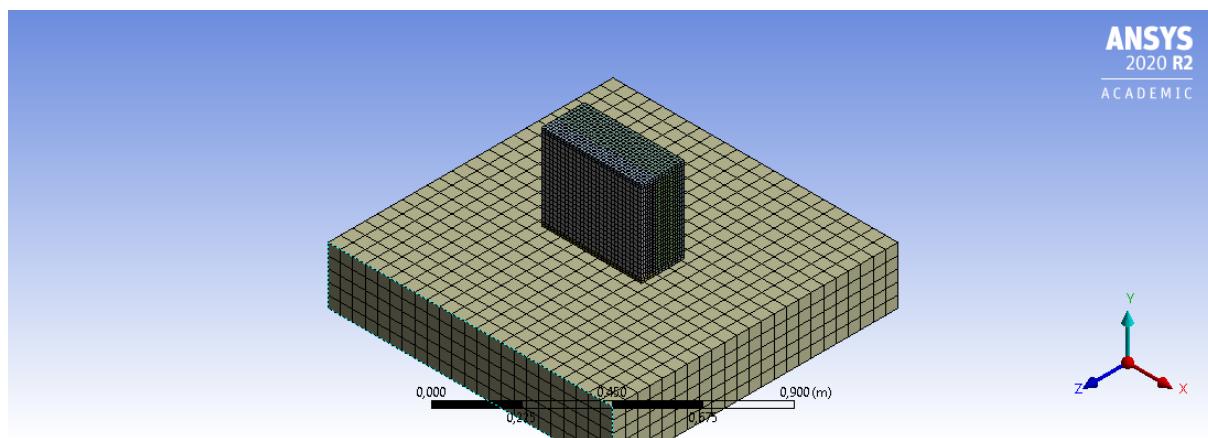


Figura 70 – Malha da maleta da estação de controle

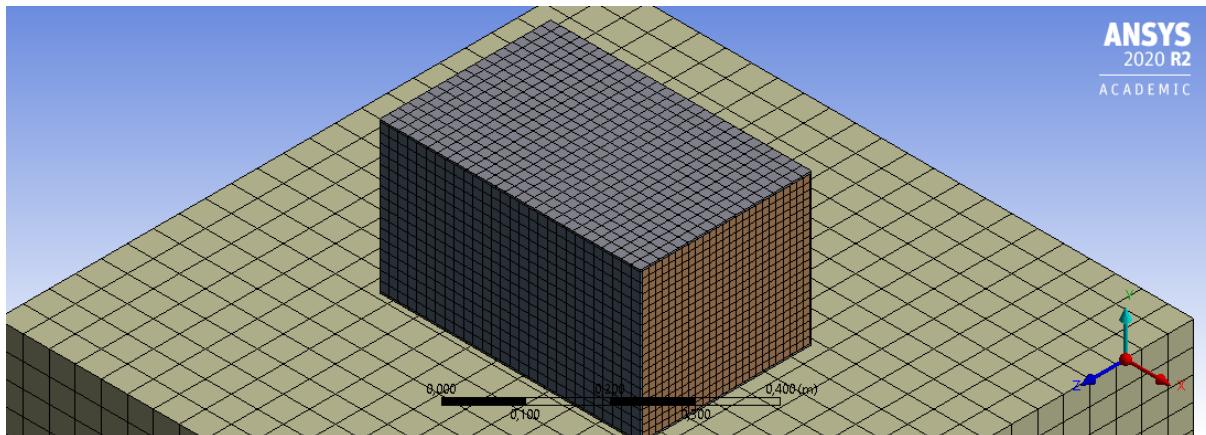


Figura 71 – Malha da maleta do sistema de alimentação com revestimento

Para cada uma das duas maletas (com e sem revestimento), foram simuladas três situações de queda: queda direta, quando a maleta com a face inferior; queda lateral, quando a maleta cai com a face lateral voltada para baixo; e queda inclinada, quando a maleta cai "de quina", com inclinação de  $45^\circ$  nos eixos X e Z. Foram colhidos os resultados da tensão normal no sentido do eixo Y, da tensão de cisalhamento no plano XZ e da deformação. A seguir, alguns exemplos de resultados da simulação. Os resultados completos encontram-se no Apêndice F.

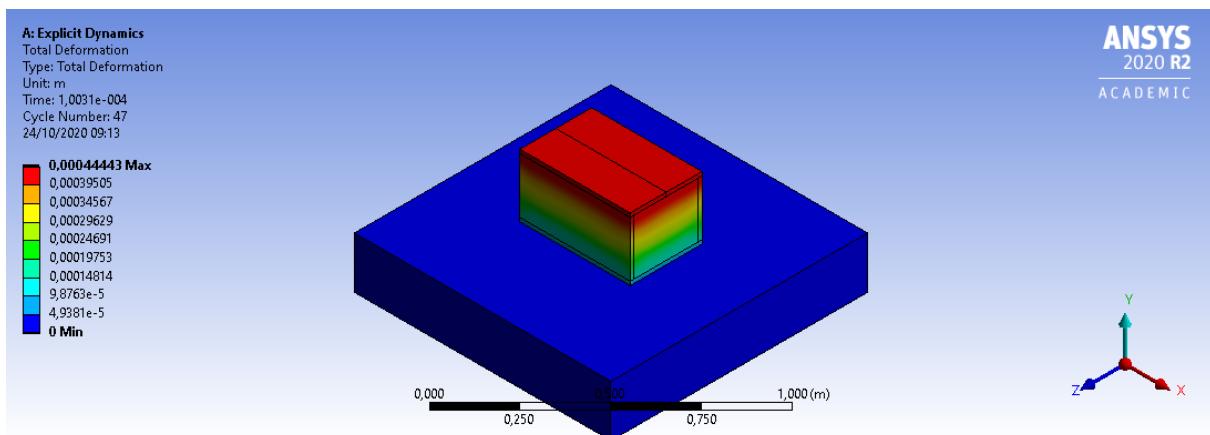


Figura 72 – Deformação da maleta do sistema de alimentação

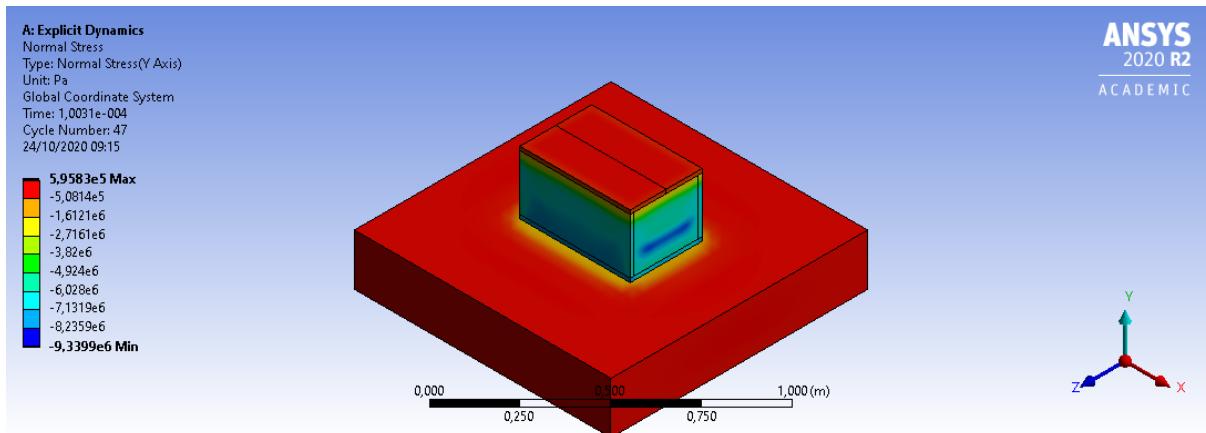


Figura 73 – Tensão normal no eixo Y da maleta do sistema de alimentação

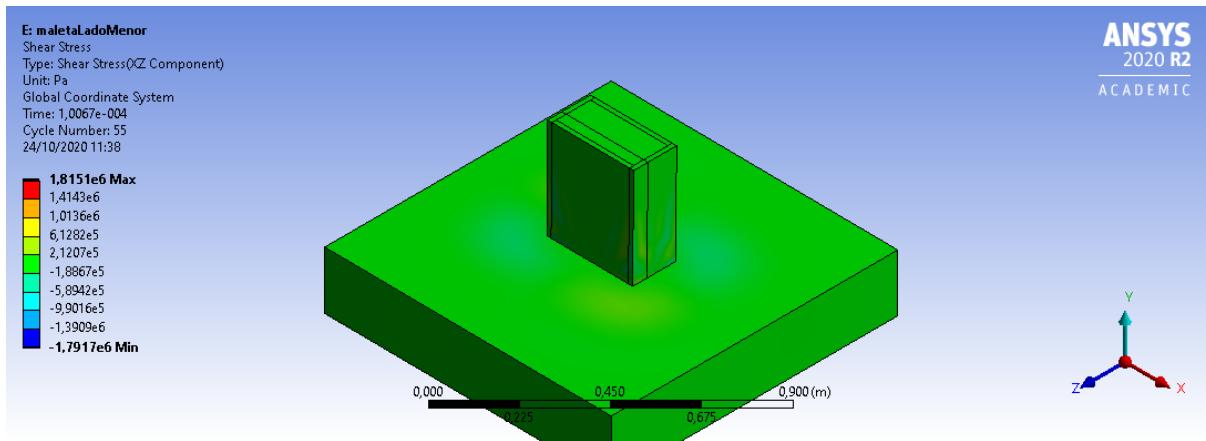


Figura 74 – Tensão de cisalhamento no plano XZ da maleta da estação de controle

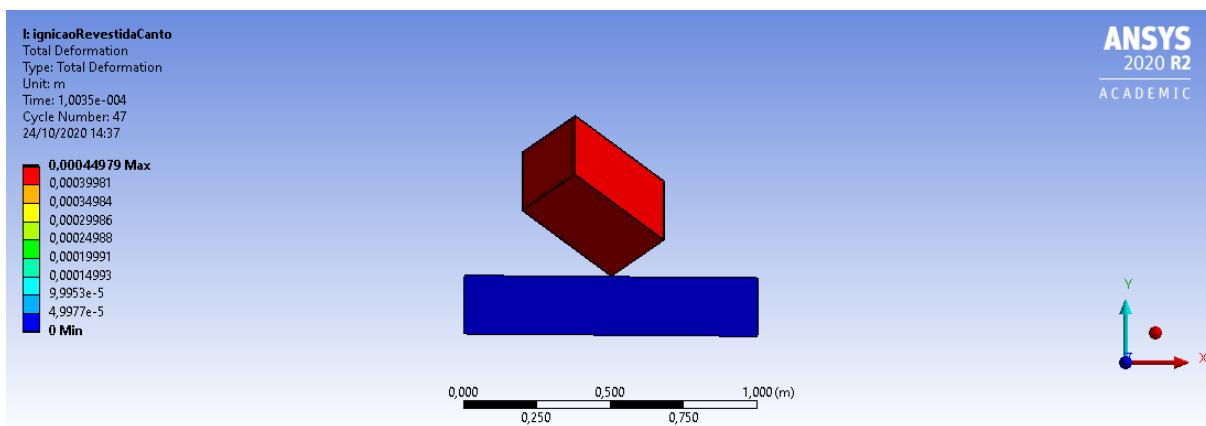


Figura 75 – Deformação da maleta do sistema de alimentação revestida

A seguir, a tabela com as tensões máximas e mínimas encontradas em cada simulação, as quais são identificadas por qual maleta se refere (sistema de alimentação ou estação de controle), se é tensão normal ou de cisalhamento, e se a queda foi direta, lateral ou inclinada.

Simulação	Tensão Máxima (MPa)	Tensão Mínima (MPa)
alimentacaoNormalYDireta	0,59583	-9,3399
alimentacaoNormalYLateral	0,37206	-9,3967
alimentacaoNormalYInclinada	3,3523	-12,223
alimentacaoCisalhamentoXZDireta	0,81508	-0,81508
alimentacaoCisalhamentoXZLateral	1,9612	-1,9596
alimentacaoCisalhamentoXZInclinada	0,26139	-0,38643
alimentacaoRevestidaNormalYDireta	0,028364	-8,0259
alimentacaoRevestidaNormalYLateral	2,059	-7,0118
alimentacaoRevestidaNormalYInclinada	0,0089829	-0,23426
alimentacaoRevestidaCisalhamentoXZDireta	0,67153	-0,67265
alimentacaoRevestidaCisalhamentoXZLateral	1,8155	-1,85
alimentacaoRevestidaCisalhamentoXZInclinada	0,040217	-0,011293
controleNormalYDireta	0,71074	-10,227
controleNormalYLateral	0,32924	-9,2306
controleNormalYInclinada	3,3956	-14,927
controleCisalhamentoXZDireta	1,8516	-1,864
controleCisalhamentoXZLateral	1,8151	-1,7917
controleCisalhamentoXZInclinada	0,15228	-0,3387
controleRevestidaNormalYDireta	0,28413	-9,2949
controleRevestidaNormalYLateral	0,14364	-9,1736
controleRevestidaNormalYInclinada	0,015917	-0,28447
controleRevestidaCisalhamentoXZDireta	1,9844	-2,0515
controleRevestidaCisalhamentoXZLateral	2,1266	-2,0978
controleRevestidaCisalhamentoXZInclinada	0,040660	-0,028875

Tabela 11 – Tensões máximas e mínimas em cada simulação

#### 2.5.1.6 Plano de construção

Uma vez que os materiais e as dimensões das maletas foram definidos, foi elaborado o passo a passo para a construção destas.

1. Primeiro deverá ser feita a parte externa de cada maleta. Para isso as chapas de MDF deverão ser cortadas de acordo com as dimensões externas de cada caixa. Um motor-serra deverá ser utilizado para tal finalidade (ou deverá ser feita a encomenda dos cortes para a empresa fornecedora com as dimensões definidas).
2. Após isso, será feita a aplicação do material de revestimento nas chapas cortadas. Com o auxílio de cola apropriada para aplicação do material.
3. O terceiro passo é pregar as chapas de MDF com parafusos e isolar suas quinas com silicone.

4. O quarto passo é a colocação das partes internas da maleta de suporte.
5. Deve-se ainda pensar nas partes destinadas a passagem dos fios elétricos e eletrônicos.
6. O último passo é a colocação de dobradiças que conectem as partes, aplicação das alças bem como os protetores de quina.

## 2.5.2 Abastecimento

No presente trabalho, o sistema de abastecimento é todo o conjunto que engloba o sistema de alimentação e os processos necessários para que o oxidante líquido seja transferido para o foguete de forma remota, segura e no momento indicado pelo usuário. Pode-se ainda citar os processos ocorridos para a ignição como apresentado em [2.4.1](#).

### 2.5.2.1 Fluxo de trabalho

A seguir é apresentado um fluxograma do sistema de alimentação, figura [76](#). Logo em seguida é caracterizado os componentes do sistema, desde os pré estabelecidos pelo cliente, até os definidos pelo grupo.

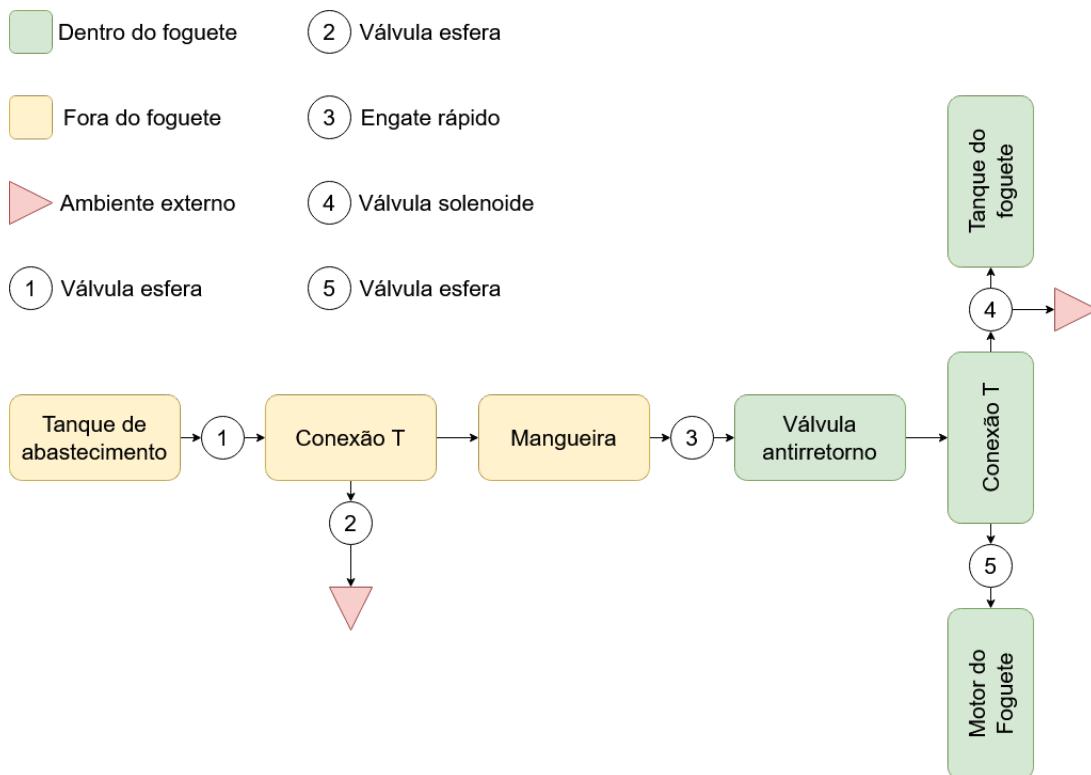


Figura 76 – Fluxograma do sistema de alimentação

Com base no projeto desenvolvido pelo cliente (TEAM, 2020), o funcionamento do sistema de abastecimento ocorre em etapas, cada uma das correspondendo ao estados das válvulas, se estão abertas ou fechadas conforme a ação desejada, figura 76.

1. **Etapa 1 - Estado inicial:** todas as válvulas estarão fechadas, ou seja, o sistema estará em repouso, de modo a evitar qualquer vazamento antes do início do processo de abastecimento;
2. **Etapa 2 - Resfriamento do tanque do foguete:** abertura das válvulas 1 e 4, de modo a realizar a passagem de um fluxo inicial do fluido oxidante, com a finalidade de resfriar o tanque do foguete e otimizar seu abastecimento. O tempo de resfriamento fica a critério do usuário, e a etapa é encerrada com o fechamento das duas válvulas;
3. **Etapa 3 - Abastecimento do tanque:** abertura da válvula 1, com posterior abertura e fechamento intermitente da válvula 4 para alívio da pressão interna do tanque do foguete durante seu abastecimento. O fluido oxidante é transportado, devido a fenômenos termodinâmicos, em estado de mistura (líquido e gás), e no tanque do foguete a sua fase gasosa deverá ser expulsa pela válvula 4, até o nível definido pelo usuário, este é controlado pela célula de carga que mede a variação de peso do foguete. Com base nos dados fornecidos pela célula de carga, o usuário avaliará se o tanque se encontra cheio, encerrando a etapa com o fechamento da válvula 1 e, caso aberta, da válvula 4;
4. **Etapa 4 - Alívio de pressão da mangueira:** abertura da válvula 2 para expurgo do fluido oxidante que se encontra no interior da mangueira, de modo a equalizar sua pressão interna com a pressão ambiente, de modo a ser possível realizar seu desacoplamento do foguete. A existência de uma válvula anti-retorno na linha de abastecimento impede que o fluido contido no tanque do foguete seja também expurgado nessa fase;
5. **Etapa 5 - Desacoplamento da mangueira:** acionamento do engate rápido, por meio de um atuador linear, de modo a desacoplar e afastar a mangueira do foguete. Essa etapa encerra o processo de abastecimento, e o foguete está preparado para o lançamento;
6. **Etapa 6 - Ignição do foguete:** após o acionamento do ignitor junto ao combustível no motor do foguete, por meio do comando da estação de controle, é feita a abertura da válvula 5, que injetará o fluido oxidante do tanque do foguete na câmara de combustão no interior do motor. Assim o encontro desse fluido com o combustível e o calor gerado pelo ignitor iniciará a combustão principal, e o foguete iniciará sua decolagem.

Como mencionado, durante o transporte do fluido oxidante do tanque de abastecimento para o tanque do foguete, fenômenos termodinâmicos ocorrem, como a queda de temperatura provocada pela passagem do fluido conforme ele vai reduzindo a pressão à qual estava submetido no cilindro comercial (por volta de 50 bar). Em alguns casos, esse fenômeno é desejável, como para o resfriamento do tanque do foguete, em outros, ele pode apresentar um problema, como o congelamento de válvulas e atuadores que não estejam nas especificações adequadas. Do mesmo modo, a atuação das válvulas ocorrerá em situações em que o fluido estará a grande pressão, o que impede o manuseio delas manualmente, seja por necessidade, seja por questões de segurança. Ademais, não é recomendado o uso de mangueiras muito longas para o abastecimento, devido à perda do fluido durante seu transporte.

A solução proposta é o acoplamento de dois atuadores rotativos nas válvulas 1 e 2, os quais receberão um comando remoto de abertura e fechamento a partir da estação de controle. Para tanto, será necessário tanto o dimensionamento das opções comerciais para atuadores, desde o torque gerado por cada um dos modelos até sua natureza – se eletrônico ou pneumático, quanto o desenvolvimento de uma estrutura de suporte e adaptação entre esses atuadores e as válvulas e conexões do sistema de alimentação, a qual também deverá observar as características (variação de temperatura e pressão) do processo de abastecimento.

Deve-se atentar ao fato de que o cliente pediu uma mudança de escopo onde ficou decidido que o dispositivo mecânico responsável pelo desacoplamento e remoção física da mangueira do foguete, a etapa 5 do sistema, representado por 3 na figura 76, será desenvolvida por eles. Cabendo à equipe apenas desenvolver a solução responsável por enviar o comando de desengate a partir da estação de controle. Eles ainda demandaram que esse sistema será baseado em um servo motor ou um motor como usado pelo grupo na solução de válvulas.

### 2.5.2.2 Caracterização dos componentes

Nessa seção estão apresentadas as características específicas dos componentes do sistema de abastecimento.

- **Tanque de abastecimento:** É um cilindro comercial fornecido pela empresa distribuidora de óxido nitroso. A válvula esfera, item 1 da figura 76, deverá ser conectada no bocal de saída desse cilindro, com uso de adaptador caso necessário.  
Informações Técnicas: Cilindro de aço para 10 litros ou 7,0 Kg de óxido nitroso;  
Altura: 70 cm; Diâmetro: 20 cm; Peso aproximado: 15 Kg.
- **Válvula esfera macho-fêmea 1/2 polegada NPT:** É uma válvula de abertura de 90°. Seu manipulo deverá ser retirado e a haste ligada à esfera de aber-

tura/fechamento será conectada ao mecanismo eletromecânico de abertura.

Informações Técnicas: Anexo [A](#)

- **Conecotor em T macho-fêmea-macho 1/2 polegada NPT:** São adaptadores em pontos de bifurcação do sistema hidráulico.

Informações Técnicas: para conexões pneumáticas os Tee e cotovelos são forjados em latão, Liga UNS - C37700 - TM, que proporcionam maior dureza e resistência contra golpes, choques mecânicos e vibrações, com absoluta inexistência de porosidade e trincas. A pressão de trabalho precisa ser compatível com as especificações do tubo utilizado.

- **Tubo flexível 1/2 polegada de aço inox com tramas de aço:** É necessário por não reagir com o óxido nitroso, como ocorre com a borracha, comum nas mangueiras convencionais.
- **Engate rápido 3/4 polegada NPT:** É uma conexão composta por duas peças (macho e fêmea) e um anel de segurança. Somente movendo o anel é que as duas peças podem ser desconectadas.
- **Válvula anti-retorno macho-fêmea 3/4 polegada NPT:** É uma válvula de sentido único, ligada ao engate rápido da mangueira e o conector T que liga o tanque ao motor dentro do foguete. Evita que o óxido nitroso volte no sentido do tanque de abastecimento.

No anexo [A](#) é apresentada mais informações técnicas de cada um dos elementos descritos nessa seção.

#### 2.5.2.3 Atuador

O dimensionamento do atuador exige conhecimento do torque necessário para abrir a válvula esfera. Um estudo feito por Silva, aponta que o torque inicial necessário para abrir uma válvula esfera sob pressão de óxido nitroso é de 2 N.m.

Assim a solução para a abertura e fechamento de válvulas por comando remoto é a utilização de um motor de 12 Volts acoplado com um sistema de caixa redutora conectado a válvula. O sistema de caixa redutora possui a função de aumentar o torque do motor elétrico, diminuindo a velocidade de rotação.

A proposta é utilizar um motor de para-brisa que já possui uma caixa redutora acoplada a ele.

O óxido nitroso se apresenta em uma mistura líquido-vapor, com pressão de aproximadamente 57 bar a temperatura ambiente de 25°C. Admitindo uma margem de segu-

rança, decidiu-se impor o critério de que a válvula deve suportar pressões de pelo menos 68 bar e temperaturas mínimas de até -20°C.

O atuador deve-se ter um torque mínimo que vai depender da válvula a ser utilizada, pode ser pesquisada o torque necessário para abrir a partir de dados do fabricante. No *datasheet* da válvula escolhida é mostrado um torque de aproximadamente 1,5 N.m. e tempo de resposta de aproximadamente 2 segundos. Com base nesse torque, foram selecionadas duas opções

O Motor de vidro elétrico de carro: necessita ponte H ( R\$25) para realizar abertura e fechamento. Posição intermediária difícil de se obter, não há precisão na posição do motor.

Informações técnicas: Voltagem 12V; Consumo 1,3A; Força 9,12 N.m / 93Kg.cm; Valor de R\$60.

Servo motor Ds3218: consegue ajustar bem a posição, possui um maior controle de vazão. Consumo bem menor que o motor. É mais caro e gera menos torque, precisaria-se de dois servos para cada válvula, para trabalhar com segurança.

Informações técnicas: Voltagem 7.2 V; Consumo 100 mA; Força 2,19 N.m / 22.3 Kg.cm; Valor R\$135

Assim, a escolha do atuador permeia o subnúcleo de energia, pois os valores de corrente são bem diferentes. Além disso, é necessário delimitar o preço, pois na verdade há no mercado válvulas esféricas com atuadores elétricos pronto para uso, entretanto, como a pressão de trabalho é alta e a temperatura é baixa, o fluido no nosso projeto exige uma válvula robusta, que por sua vez exige um motor tão robusto quanto para abrir as válvulas, o custo de uma pronta é muito elevado de R\$1000 cada.

Com isso apresentado, a escolha foi do motor de vidro elétrico de carro que tem seus aspectos técnicos apresentados no anexo A.

#### 2.5.2.4 Oxido Nitroso

A escolha do óxido nitroso como parte do par propelente é justificada pelas vantagens que esse gás industrial traz devido às suas características. Como já mencionado, esse gás é auto pressurizante, podendo ser armazenado a altas pressões (por volta de 50bar) a temperatura ambiente (20°C), o que dispensa a necessidade de sistemas de pressurização e expulsão do tanque para o motor do foguete (necessitando apenas a abertura da válvula para o início da ignição). Além disso, é um gás comercial de fácil aquisição, relativamente barato em comparação a outros propelentes, é não tóxico, facilmente armazenável e de baixa inflamabilidade na ausência de seu par combustível (VASQUEZ, 2017).

Abaixo algumas características físico-químicas importantes para o uso dessa subs-

tância (VASQUEZ, 2017):

Massa molar	$44,013\text{kg/mol}$
Ponto de ebulação	$-88,5^\circ\text{C}$
Ponto de fusão	$-90,8^\circ\text{C}$
Temperatura crítica	$36,4^\circ\text{C}$
Pressão crítica	$72,45\text{bar}$
Pressão de vapor ( $20^\circ\text{C}$ )	$50,8\text{bar}$
Condutividade térmica ( $0^\circ\text{C}$ )	$14,57\text{mW}/(\text{m.K})$
Entalpia de formação	$82\text{kJ/mol}$

Tabela 12 – Características físico-químicas do óxido nitroso

Para fins do presente trabalho, a temperatura do gás é o parâmetro mais importante, uma vez que ela pode afetar o funcionamento do sistema de alimentação. Como dito, o óxido nitroso é armazenado à alta pressão e à temperatura ambiente. Isso significa que, quando é aberta a válvula do cilindro de abastecimento, ocorre uma queda de pressão do gás enquanto ele passa pelo sistema de alimentação, o que incorre numa queda de temperatura brusca, o cliente relatou que experiências passadas mostraram risco de congelamento de válvulas caso estas não fossem capazes de trabalhar a baixas temperaturas.

#### 2.5.2.5 Metodologia

A simulação do sistema de abastecimento foi feita no software *Simulink/Matlab* pois se trata de uma ferramenta confiável e conhecida no ramo de engenharia. A robustez do software se torna aliada uma vez que possui blocos nativos que representam fisicamente cada um dos componentes, permitindo uma maior agilidade na montagem e modelagem do problema.

O projeto do sistema de alimentação foi desenvolvido usando-se o *Simscape Fluids*, uma ferramenta do *Matlab/Simulink*, onde ele fornece bibliotecas de componentes para modelagem e simulação de sistemas de fluidos, incluindo modelos de bombas hidráulicas, válvulas, atuadores, dutos e trocadores de calor. Para o abastecimento de combustível do foguete iremos usar o componentes de válvulas, atuadores e dutos integrado com as bibliotecas do *Simscape Eletric*, um análogo a aquele para sistemas elétricos.

O uso dessa ferramenta se da pois a mesma ajuda no desenvolvimento de sistemas de controle, onde é possível se testar o desempenho em nível de sistema. Com isso a principal biblioteca utilizada é a de Modelos Hidráulicos, na qual está-se presente os blocos hidráulicos básicos de temperatura constante seguindo-se as técnicas de modelagem apresentadas.

A seguir são apresentadas as etapas essenciais para construir e simular um modelo físico de sistema. A figura 79 mostra o passo a passo para esse desenvolvimento.



Figura 77 – Etapas de simulação

1. Etapa 1: Criar um novo modelo
2. Etapa 2: Montar a rede física, para modelar o sistema, adiciona-se blocos das bibliotecas *Simscape* a um modelo e, em seguida, os conecta a uma rede física.
3. Etapa 3: Ajuste os parâmetros do bloco e as metas variáveis
4. Etapa 4: Adicionar fontes, definir sinais de entrada.
5. Etapa 5: Adicionar sensores, para medir as quantidades da rede física.
6. Etapa 6: Conectar ao *Simulink* com blocos de interface
7. Etapa 7: Simular o modelo
8. Etapa 8: Ver os resultados da simulação

A simulação matemática no ambiente do software foi ajustada com os parâmetros da tabela 13 e os demais, por se tratarem de parâmetros que não alteram significativamente o resultado, foram deixados os valores padrão do programa.

Para as propriedades do fluído segue-se o que foi apresentado na seção 2.5.2.4. Assim mesmo o óxido nitroso se apresentando como uma mistura líquido-vapor, com pressão de aproximadamente 57 bar a temperatura ambiente de 25°C (NIST, 2020), foi assumido

que o escoamento do óxido nitroso se dá na fase líquida e a uma temperatura constante. Dado a complexidade de se fazer a modelagem e simulação como um escoamento em duas fases (líquido e vapor), como é o caso real.

Densidade do óxido nitroso (a 25°C)	$750 \text{ kg/m}^3$
Viscosidade cinemática (líquido)	$0,0639 \times 10^6 \text{ m}^2/\text{s}$
Volume de óxido nitroso	$7 \text{ L}$
Diâmetro das tubulações	$2 \text{ cm}$

Tabela 13 – Parâmetros da simulação de abastecimento

#### 2.5.2.6 Modelagem matemática

Para a solução do nosso problema é necessária a criação de um adaptador para as válvulas do sistema de abastecimento. Esse sistema tem por objetivo transportar o propelente líquido do tanque de abastecimento para o tanque do foguete. Assim uma simulação que se aproxime do sistema eletromecânico desenvolvido, foi feita como meio de verificar sua usabilidade.

A seguir serão apresentados os blocos usados para o nosso sistema.

- Caracterização do fluído combustível - *Custom Hydraulic Fluid*

O primeiro passo é caracterizar o fluido combustível que deverá ser transportado, deve-se atentar ao fato de que essas propriedades serão consideradas constantes durante o tempo de simulação. Para o nosso caso o cliente especifica o uso do óxido nitroso, por isso esse é o fluido que trabalharemos aqui, assim suas propriedades são apresentadas na seção 2.5.2.4.

Este bloco atribui propriedades de fluido para todos os componentes montados no *loop*.

Os parâmetros utilizados são: densidade; viscosidade cinemática (líquido); módulo de compressibilidade, assim se o escoamento for incompressível; quantidade relativa de ar preso.

As variáveis necessárias são: volume do fluido; nível do fluido.

- Tanque de abastecimento - *Tank*

Cilindro comercial fornecido pela empresa distribuidora do óxido nitroso. A válvula esfera deverá ser conectada no bocal de saída desse cilindro, com uso de adaptador caso necessário.

O bloco do Simulink indicado possui um sinal de saída que indica o volume de fluido no tanque e um sinal de entrada que é a porta de conservação hidráulica associada à

entrada do tanque. A perda de carga pode ser inserida por meio do valor de *pipeline pressure loss coefficient*.

Tanque com pressão constante, leva em conta a mudança no nível do fluido e por isso é fornecida a área de seção transversal do tanque.

Os parâmetros necessários são: pressurização; nível do fluido; diâmetro da tubulação de entrada; coeficiente de perda de pressão do duto.

- Válvula esfera - *Ball Valve*

Este bloco modela a redução de fluxo devido a uma válvula de esfera em uma rede hidráulica. Possui duas portas hidráulicas sendo uma associada a entrada e outra associada saída da válvula. Possui uma porta de entrada de sinal físico que indica o deslocamento capaz de alterar o fluxo do fluido que passa pela válvula.

Os parâmetros necessários são: diâmetro da esfera; diâmetro do orifício; coeficiente de descarga; *leakage area*; área interna entre as entradas da válvula.

As variáveis necessárias são: queda de pressão; quociente de vazão.

- Conexão T - *T-junction*

O bloco representa uma junção em T que consiste em um trecho principal e uma ramificação que se une ao trecho principal em um ângulo especificado. A junção como uma resistência hidráulica é especificada por seis coeficientes de perda de pressão que caracterizam a relação pressão-vazão para cada conexão possível para o fluxo direto e reverso. O bloco apresenta três entradas/saídas hidráulicas (A, B, A1) que representam o fluxo do fluido.

Os parâmetros de geometria da válvula são: diâmetro do tubo principal; diâmetro do tubo de ramificação; especificação de transição laminar; razão de pressão de fluxo laminar.

A perda de pressão possui os seguintes coeficientes que podem ser alterados: coeficiente de perda de pressão AB; coeficiente de perda de pressão BA; coeficiente de perda de pressão A-A1; coeficiente de perda de pressão A1-A; coeficiente de perda de pressão A1-B; coeficiente de perda de pressão B-A1

- Ambiente externo - *Hydraulic Reference*

O bloco de referência hidráulica representa uma conexão com a pressão atmosférica.

O bloco possui apenas uma porta de conservação hidráulica.

- Mangueira - *segmented Pipeline*

Este bloco representa a perda de pressão do fluido em tubulações hidráulicas com seções transversais circulares como um conjunto de segmentos de tubos idênticos, conectados em série. Cada segmento de tubo leva em consideração as propriedades

resistivas, de inércia de fluido e compressibilidade de fluido. Possui duas portas hidráulicas sendo uma associada ao fluxo de entrada e outra associada ao fluxo de saída da tubulação.

Os parâmetros necessários são: diâmetro interno do tubo; comprimento do tubo; número de segmentos; comprimento equivalente agregado de resistências locais; altura de rugosidade da superfície interna; margem superior do fluxo laminar; margem inferior do fluxo turbulento; tipo de parede de tubo; coeficiente de pressão estática de diâmetro; constante de tempo do processo viscoelástico; relação de calor específico; pressões iniciais nos nós do modelo; pressão inicial; vetor de pressão inicial; taxa de fluxo inicial.

- Válvula anti-retorno - *Check Valve*

Este bloco representa uma válvula de retenção hidráulica com o objetivo de permitir o fluxo em uma direção e bloqueá-lo na direção oposta. A válvula permanece fechada enquanto a diferença de pressão através da válvula é inferior à pressão de abertura da válvula. Quando a pressão de abertura é atingida, o membro de controle de fluxo é forçado a sair de sua sede, criando assim uma passagem entre a entrada e a saída. Se vazão e pressão forem altas o suficiente, a área é aumentada ainda mais até que o membro de controle alcance sua máxima abertura. Possui duas portas hidráulicas sendo uma associada ao fluxo de entrada e outra associada ao fluxo de saída da válvula.

Os parâmetros necessários são: área máxima de passagem; pressão de fissura; pressão máxima de abertura; coeficiente de vazão; especificação de transição laminar; razão de pressão de fluxo laminar; número crítico de Reynolds; área de vazamento; dinâmica de abertura; constante de tempo de abertura; área inicial;

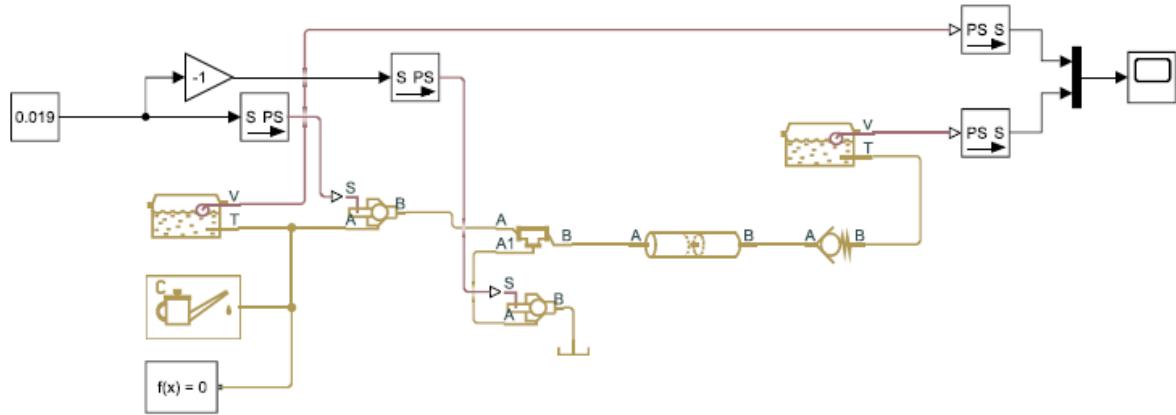


Figura 78 – Diagrama hidráulico

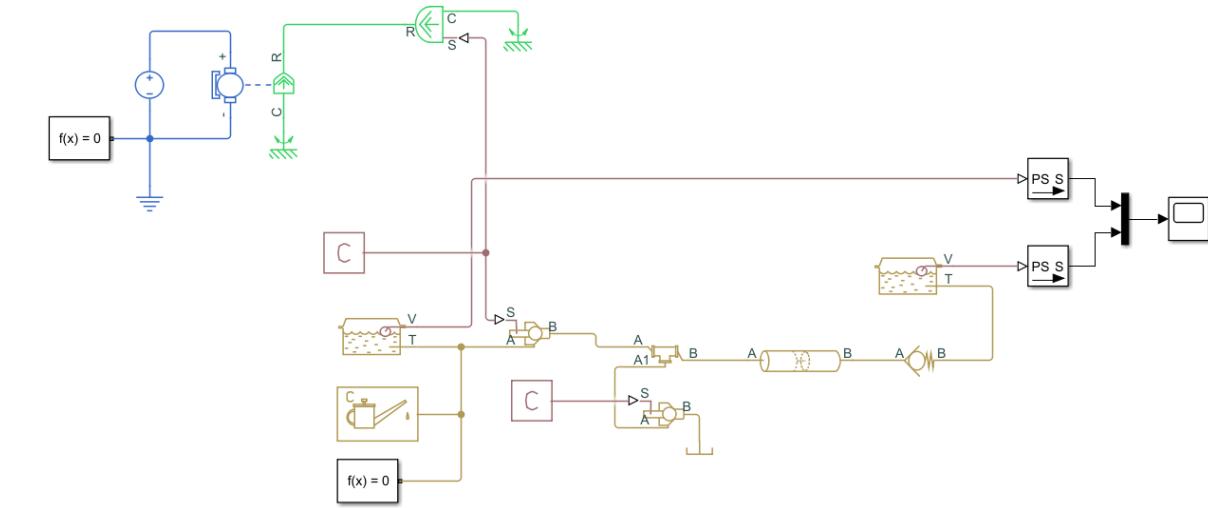


Figura 79 – Diagrama eletromecânico

## 2.6 Custos

<b>Estrutura</b>					
Material	Preço	Quantidade	Frete	Loja	Total
Alça	RS 15,00	1	RS 17,90	Mercado Livre	RS 32,90
Cantoneira de alumínio	RS 17,00	3	RS 26,90	Mercado Livre	RS 77,90
Protetores de Canto	RS 20,00	1 (pack de 8 un.)	RS 9,00	Mercado Livre	RS 29,00
Total estrutura	-	-	-	-	RS 0
<b>Energia</b>					
Bateria de lítio 12V/97Wh (Dell)	RS 718	1	RS 0,00	Dell	RS 718
Bateria de lítio 12V/10Ah (Unipower)	RS 517,5	1	RS 0,00	Unipower	RS 517,5
Plug macho (tomada)	RS 11,29	1	RS 9,90	Leroy Merlin	RS 21,19
Conecotor DC Jack + Plug	RS 9,99	2	RS 52,90	Mercado Livre	RS 72,88
Regulador de tensão (LM2596)	RS 13,21	2	RS 23,23	Baú da Eletrônica	RS 49,65
Resistor 0R12 5%	RS 0,38	1	-	Baú da Eletrônica	RS 0,38
Resistor 1KR 5%	RS 0,15	1	-	Baú da Eletrônica	RS 0,15
Resistor 240R 5%	RS 0,04	1	-	Baú da Eletrônica	RS 0,04
Transistor NPN - BC547	RS 0,15	1	-	Baú da Eletrônica	RS 0,15
Regulador de Tensão Ajustável LM317	RS 0,49	1	-	Baú da Eletrônica	RS 0,49
Regulador de Tensão L7812	RS 1,25	1	-	Baú da Eletrônica	RS 1,25
Capacitor Eletrolítico 1000uF	RS 3,29	1	-	Baú da Eletrônica	RS 3,29
Diodo 1N4007	RS 0,10	2	-	Baú da Eletrônica	RS 0,20
Chave Gangorra KCD3-101 2 Terminais Preta	RS 1,52	1	-	Baú da Eletrônica	RS 1,52
Cabo flexível 0,75 mm (metro)	RS 0,94	10	-	Baú da Eletrônica	RS 9,40
Cabo flexível 2,5 mm (metro)	RS 2,09	5	RS 29,40	Eletromac	RS 39,85
Transformador Trafo 110/220V para 30V 1A	RS 45,99	1	RS 23,87	Hunion	RS 69,86
Total energia	-	-	-	-	RS 1505,80

Tabela 14 – Custos do Projeto

<b>Eletrônica/Software</b>					
Material	Preço	Quantidade	Frete	Loja	Total
Regulador de tensão (LM2596)	RS 13,21	3	RS 23,23	Baú da Eletrônica	RS 62,86
Placa Lora + Esp32 c/ Display Oled Wifi Bluetooth 915mhz	RS 149,99	3	RS -	Mercado Livre	RS 449,97
Módulo Rele 2 Canais - 5v/10A	RS 16,60	2	RS 21,11	Mercado Livre	RS 54,31
Módulo Gps Gy-gps6mv2	RS 36,00	1	RS 31,90	Mercado Livre	RS 67,90
Módulo Micro SD-CARD	RS 8,90	1	RS 23,90	Mercado Livre	RS 32,80
Sensor de Pressão BMP280	RS 13,50	1	RS 21,11	Curto circuito	RS 34,61
Driver Motor Ponte H L298n	RS 17,70	1	RS 21,11	Curto circuito	RS 38,81
Módulo Conversor Nível Lógico 5V/3.3V - Bidirecional	RS 7,40	1	RS 31,90	Mercado Livre	RS 39,30
Célula De Carga 50 Kg Sensor De Peso + Placa Hx711	RS 21,68	2	RS 31,90	Mercado Livre	RS 75,26
Nvidea Jetson Nano Developer Kit	RS 1542,05	1	RS 37,51	Submarino	RS 1579,56
Lcd 9 Polegadas P/ Cubieboard E Raspberry Pi Hdmi Vga Av	RS 320,00	1	RS -	Mercado Livre	RS 320,00
Teclado 7"59 Teclas Sem Fio Bluetooth 3.0 Slim Teclado C/ Touch	RS 202,0	1	RS -	Mercado Livre	RS 202,00
Total software/eletrônica	-	-	-	-	RS2956,82

Tabela 15 – Custos do Projeto

## Referências

- ABNT. Nbr 5410/2004 instalações elétricas de baixa tensão. 2004. Citado na página 80.
- ABRAS, C. et al. User-centered design. *Bainbridge, W. Encyclopedia of Human-Computer Interaction. Thousand Oaks: Sage Publications*, v. 37, n. 4, p. 445–456, 2004. Citado na página 20.
- ADAFRUIT. *Adafruit BMP280 Library*. <<https://www.arduinolibraries.info/libraries/adafruit-bmp280-library>>. Citado na página 47.
- ALBUQUERQUE, A. R. R. de; MARQUES, M. L. Sobre os fundamentos da arquitetura da informação. *Perspectivas em Gestão & Conhecimento*, Centro de Ciências Sociais Aplicadas, v. 1, n. 1, p. 60–72, 2011. Citado na página 25.
- AMERSHI, S. et al. Software engineering for machine learning: A case study. In: IEEE. *2019 IEEE/ACM 41st International Conference on Software Engineering: Software Engineering in Practice (ICSE-SEIP)*. [S.l.], 2019. p. 291–300. Citado na página 29.
- ANATEL. *Resolução nº 726*. 2020. <<https://www.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/2020/1411-resolucao-726#art2>>. Citado na página 42.
- ARDUCORE. *CONVERSOR DE NÍVEL LÓGICO BIDIRECIONAL I2C 5V - 3,3V*. <[https://www.arducore.com.br/conversor-de-nivel-logico-bidirecional-i2c-5v-33v?utm\\_source=Site&utm\\_medium=GoogleMerchant&utm\\_campaign=GoogleMerchant&gclid=Cj0KCQjwuL8BRCXARIAGiC51Am94Hsu8alxmoi6kZd8pwH8wmpaU8iJm7gpokCFdDvda745KR0AO8aAlx5EAvkB](https://www.arducore.com.br/conversor-de-nivel-logico-bidirecional-i2c-5v-33v?utm_source=Site&utm_medium=GoogleMerchant&utm_campaign=GoogleMerchant&gclid=Cj0KCQjwuL8BRCXARIAGiC51Am94Hsu8alxmoi6kZd8pwH8wmpaU8iJm7gpokCFdDvda745KR0AO8aAlx5EAvkB)>. Citado na página 60.
- ARDUINOMEGA. *Sensor de Pressão e Temperatura BMP280*. Postado no site Arduinomega <[https://www.ardinomega.com.br/sensor-de-pressao-e-temperatura-bmp280?utm\\_source=Site&utm\\_medium=GoogleMerchant&utm\\_campaign=GoogleMerchant&gclid=Cj0KCQjwqr7BRDIARIACwGad68AEoWjak1QuELo5fhFWaW\\_s0QIs4hG7icQj33YHxmeyIdL28RjwaAiXaEALw\\_wkB](https://www.ardinomega.com.br/sensor-de-pressao-e-temperatura-bmp280?utm_source=Site&utm_medium=GoogleMerchant&utm_campaign=GoogleMerchant&gclid=Cj0KCQjwqr7BRDIARIACwGad68AEoWjak1QuELo5fhFWaW_s0QIs4hG7icQj33YHxmeyIdL28RjwaAiXaEALw_wkB)>. Citado na página 46.
- AUTOCODE. *Vue.js*. 2020. Disponível em: <<https://br.vuejs.org/>>. Citado na página 34.
- BARREIROS, N. Análise e construção de um geolocalizador via wi-fi bssid com transmissão lora. *Centro de Tecnologia e Urbanismo Departamento de Engenharia Elétrica - Universidade Estadual de Londrina*, 2019. Citado na página 42.
- BRITO, F. F. F. V. d. *Usabilidade e Design de Interfaces para uma Aplicação Web da Premium Minds*. Tese (Doutorado), 2016. Citado na página 26.
- CALLISTER, W. *Ciência E Engenharia de Materiais: Uma Introdução* . [S.l.]: Grupo Gen-LTC, 2000. Citado na página 88.
- CAMPOS, C. I.; LAHR, F. A. R. Mdf—processo de produção, propriedades e aplicações. *Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos materiais*, 2002. Citado na página 87.

CAPELARI, N. S. B. Telemetria aeronáutica com envio de dados meteorológicos e informações para correção diferencial de sistemas de radiolocalizaçā. USP, 2012. Citado na página 40.

CIA, A. *Use o BMP280 para medir temperatura, pressão e altitude.* 2017. Postado no Blog Arduino e Cia <<https://www.arduinoecia.com.br/bmp280-pressao-temperatura-altitude/>>. Citado na página 47.

COMPOSE, D. *Docker compose.* 2020. <<https://docs.docker.com/compose/>>. Citado na página 37.

DEBIAN. *Arquitetura ARM 64.* 2020. <<https://www.debian.org/releases/stable/arm64/>>. Citado na página 37.

DELL. *Bateria de íon de lítio Dell de 9 células e 97 Wh.* 2020. Postado no site Dell <[https://www.dell.com/pt-br/work/shop/bateria-de-%C3%ADon-de-l%C3%ADtio-dell-de-9-c%C3%A9lulas-e-97-wh/apd/312-1325/acess%C3%B3rios-para-computador?gacd=9690632-15009-5761040-276815260-0&dgcl=ST&cid=7170000069469182&&gclid=CjwKCAjwzvX7BRAeEiwAsXExo1tUtxG7TskeXvhD9t6GB40hSrkh73XjtvFgADb8d0CpZXn\\_qSzcBoCvIQQAvD\\_BwE&gclsrc=aw.ds#compatibility\\_section/](https://www.dell.com/pt-br/work/shop/bateria-de-%C3%ADon-de-l%C3%ADtio-dell-de-9-c%C3%A9lulas-e-97-wh/apd/312-1325/acess%C3%B3rios-para-computador?gacd=9690632-15009-5761040-276815260-0&dgcl=ST&cid=7170000069469182&&gclid=CjwKCAjwzvX7BRAeEiwAsXExo1tUtxG7TskeXvhD9t6GB40hSrkh73XjtvFgADb8d0CpZXn_qSzcBoCvIQQAvD_BwE&gclsrc=aw.ds#compatibility_section/)>. Citado 2 vezes nas páginas 3 e 74.

DGS. 2010. Drone ground station AeroExpo <<https://www.aeroexpo.online/prod/birdpilot/product-181429-23018.html>>. Citado na página 53.

DOCKER. *Docker.* 2020. <<https://docs.docker.com/get-started/overview/>>. Citado na página 37.

EDUFER. *Tabela de fio Níquel-Cromo ou Nicromo (NiCr) para resistores.* 2020. Disponível em: <<https://www.edufer.com.br/tabela-fio-niquel-cromo/>>. Citado na página 70.

ELEOTÉRIO, J. R.; FILHO, M. T.; JÚNIOR, G. B. Propriedades físicas e mecânicas de painéis mdf de diferentes massas específicas e teores de resina. *Ciência Florestal*, SciELO Brasil, v. 10, n. 2, p. 75–90, 2000. Citado na página 87.

ELETROGATE. *Célula De Carga 50Kg - Sensor De Peso.* 2020. Postado no site Eletrogate <[https://www.eletrogate.com/celula-de-carga-50-kg-sensor-de-peso?utm\\_source=Site&utm\\_medium=GoogleMerchant&utm\\_campaign=GoogleMerchant&gclid=CjwKCAjw19z6BRAYEiwAmo64LcZIEQEjZFYQXPnvLeAYCDDhxvi6jvKI2Sg8c3\\_C1I7Mikh\\_wJV4OhoCuL0QAvD\\_BwE](https://www.eletrogate.com/celula-de-carga-50-kg-sensor-de-peso?utm_source=Site&utm_medium=GoogleMerchant&utm_campaign=GoogleMerchant&gclid=CjwKCAjw19z6BRAYEiwAmo64LcZIEQEjZFYQXPnvLeAYCDDhxvi6jvKI2Sg8c3_C1I7Mikh_wJV4OhoCuL0QAvD_BwE)>. Citado na página 50.

ENGINEERING, O. *Célula de Carga.* 2020. Posted on OMEGA Engineering Company Blog. Citado na página 49.

FILIPEFLOP. *Driver Motor Ponte H L298n.* <<https://www.filipeflop.com/produto/driver-motor-ponte-h-l298n/>>. Citado na página 60.

FILIPEFLOP. *Módulo Conversor HX711 para Sensor de Peso.* Postado no site FilipeFLop <<https://www.filipeflop.com/produto/modulo-conversor-hx711-para-sensor-de-peso/>>. Citado na página 51.

- FILIPFLOP. *Módulo Relé 5V 2 Canais.* <<https://www.filipflop.com/produto/modulo-rele-5v-2-canais/>>. Citado na página 61.
- FREEDMAN, H. D. Y. R. A. *Física I: Mecânica.* [S.l.]: Pearson, 2008. Citado na página 95.
- GALLI, C. A. Caracterização das propriedades mecânicas de compósitos de matriz de epóxi com fibras de carbono unidirecionais. *Escola Politécnica-UFRJ*, 2016. Citado na página 88.
- GAMMA, E. *Design Patterns - Elements of Reusable Object-Oriented Software.* [S.l.]: Addison-Wesley Professional; 1<sup>a</sup> Edição, 1994. Citado na página 34.
- GOMES, J. W. et al. Absorção de água e propriedades mecânicas de compósitos poliméricos utilizando resíduos de mdf. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v. 27, p. 48–55, 2017. Citado na página 87.
- GUIMARAES, F. *Ponte H – O que é e como funciona.* 2018. <<http://mundoprojetado.com.br/ponte-h-o-que-e-e-como-funciona/>>. Citado na página 59.
- GURU, R. *Chain of Responsibility design pattern.* 2020. Disponível em: <<https://refactoring.guru/pt-br/design-patterns/chain-of-responsibility>>. Citado 2 vezes nas páginas 2 e 35.
- HAENDCHEN, O. d. O. B. J. D. H. Uso de mapas mentais para a especificação de requisitos. *Revista Científica do Alto vale do Itajaí*, 2015. Citado na página 28.
- IBM. *LoopBack.* 2020. Disponível em: <<https://loopback.io/>>. Citado 3 vezes nas páginas 2, 34 e 35.
- INFORMAÇÃO, V. T. da. *GPS - O que é, como funciona.* 2020. Postado no Blog Só Física <<https://www.sofisica.com.br/conteudos/curiosidades/gps.php>>. Citado na página 48.
- INSTRUMENTS, T. Lm2596 - power converter 150-khz, 3-a step-down voltage regulator. 1999. Citado na página 75.
- ISKANDAR, T. e. a. F. Comparison between client-side and server-side rendering in the web development. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, IOP, v. 801, n. 3, p. 2–3, 2020. Citado na página 33.
- JÚNIOR, J. S.; JÚNIOR, N. B.; HEMKEMEIER, M. Aspectos ambientais da substituição de componentes em fibra de vidro por componentes em abs (acrilonitrila butadieno estireno) em uma indústria de produção de carrocerias de ônibus. *Ciência & Engenharia*, v. 23, n. 2, p. 33–38, 2014. Citado na página 89.
- KOSOW, I. L. *Máquinas elétricas e transformadores.* [S.l.]: Porto Alegre, 1982. Citado na página 78.
- LI, X.; LIU, Z.; JIFENG, H. A formal semantics of uml sequence diagram. In: IEEE. *2004 Australian Software Engineering Conference. Proceedings.* [S.l.], 2004. p. 168–177. Citado na página 37.

LILLEY, M.; BARKER, T.; BRITTON, C. The development and evaluation of a software prototype for computer-adaptive testing. *Computers & Education*, Elsevier, v. 43, n. 1-2, p. 109–123, 2004. Citado na página 27.

LIMA, C. B. de. *Técnicas de Projetos Eletrônicos com os Microcontroladores AVR*. [S.l.]: Edição do autor - Clube de Autores, 1<sup>a</sup> ed., 2010. Citado na página 66.

MAKEITFROM.COM. *Medium Density Fiberboard (MDF)*. 2020. Disponível em: <<https://www.makeitfrom.com/material-properties/Medium-Density-Fiberboard-MDF>>. Citado na página 96.

MATERIALS, A. *Emulsion Polymerised Styrene Butadiene Rubber (E-SBR) – Mechanical, Electrical and Cure Properties and Resistance to Fluids*. 2020. Disponível em: <[https://www\\_azom\\_com/properties.aspx?ArticleID=1844](https://www_azom_com/properties.aspx?ArticleID=1844)>. Citado na página 96.

MATTEDE, H. *O que são sensores e quais as suas aplicações?* 2020. Postado no Blog Mundo da Elétrica <<https://www.mundodaeletrica.com.br/o-que-sao-sensores-e-quais-as-suas-aplicacoes>>. Citado na página 45.

MEHL, E. L. D. M. Conceitos fundamentais sobre placas de circuito impresso. 2013. Citado na página 67.

MERCADOLIVRE. *Mini Teclado com touchpad*. 2020. Postado no site Mercado Livre <[https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1629472172-7-59-teclas-sem-fio-bluetooth-30-slim-teclado-c-touch-JM?matt\\_tool=90090532&matt\\_word=&gclid=CjwKCAjw-5v7BRAmEiwAJ3DpuEIA3zUnH1-pQ9CdpKBJ\\_a\\_O-GrK\\_dkUvQwuyvCY3ExUd9skerb0nBoCZjAQAvD\\_BwE](https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1629472172-7-59-teclas-sem-fio-bluetooth-30-slim-teclado-c-touch-JM?matt_tool=90090532&matt_word=&gclid=CjwKCAjw-5v7BRAmEiwAJ3DpuEIA3zUnH1-pQ9CdpKBJ_a_O-GrK_dkUvQwuyvCY3ExUd9skerb0nBoCZjAQAvD_BwE)>. Citado na página 55.

MERCADOLIVRE. *Tela LCD 9 polegadas*. 2020. Postado no site Mercado Livre <[https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-704386851-lcd-9-polegadas-p-cubieboard-e-raspberry-pi-hdmi-vga-av-JM?matt\\_tool=86155663&matt\\_word=&gclid=Cj0KCQjwzbv7BRDIARIsAM-A6-2A5fInhBXmCxRuSVtPT9VCEHUFbCudZt89O5xE9jhrGr5QU4IkElEawcB](https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-704386851-lcd-9-polegadas-p-cubieboard-e-raspberry-pi-hdmi-vga-av-JM?matt_tool=86155663&matt_word=&gclid=Cj0KCQjwzbv7BRDIARIsAM-A6-2A5fInhBXmCxRuSVtPT9VCEHUFbCudZt89O5xE9jhrGr5QU4IkElEawcB)>. Citado na página 54.

MICHELINI, A. Baterias de lítio. Sistemas e Tecnologia Aplicada Ind. Com. LTDA., 2020. Citado 2 vezes nas páginas 3 e 79.

MOZILLA. *Ajax*. 2020. Disponível em: <<https://developer.mozilla.org/pt-BR/docs/Web/Guide/AJAX>>. Citado na página 33.

MOZILLA. *Promise*. 2020. Disponível em: <[https://developer.mozilla.org/pt-BR/docs/Web/JavaScript/Reference/Global\\_Objects/Promise](https://developer.mozilla.org/pt-BR/docs/Web/JavaScript/Reference/Global_Objects/Promise)>. Citado na página 34.

NIST. *Propriedades termofísicas de sistemas fluidos*. 2020. <<https://webbook.nist.gov/chemistry/fluid/>>. Citado na página 106.

NODE. *Serial Port*. 2020. Disponível em: <<https://serialport.io/>>. Citado na página 36.

NVIDIA. *Nvidia Jetson Nano Developer Kit*. 2020. Postado no site Nvidia <<https://developer.nvidia.com/embedded/jetson-nano-developer-kit>>. Citado na página 56.

- OLIVEIRA, E. *Como usar com Arduino – Conversor de Nível Lógico 3.3V / 5V.* <<https://blogmasterwalkershop.com.br/arduino/como-usar-com-arduino-conversor-de-nivel-logico-3-3v-5v/>>. Citado na página 60.
- OPENJS. *Documentação do Electron.* 2020. Disponível em: <<http://www.electronjs.org/>>. Citado na página 33.
- ORTIZ THALES T. ALMEIDA, A. E. F. L. H. M. K. C. F. M. Caracterização de desempenho de uma rede lora em ambientes urbanos: Simulação vs. prática. *Universidade Federal do Rio de Janeiro, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 3Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca*, 2019. Citado na página 43.
- PASSOLD F.POSSA, P. R. Recarregador inteligente de baterias. Conferência Internacional de Aplicações Industriais, Recife, PE, 2006. Citado na página 73.
- PEREIRA, M. *Calibração de Sensores na prática.* 2020. <<https://www.embarcados.com.br/calibracao-de-sensores-na-pratica/>>. Citado na página 57.
- PIERIN, I. et al. Estudo de estabilidade de perfis pultrudados de materiais prfv. Florianópolis, SC, 2005. Citado 2 vezes nas páginas 87 e 88.
- RADIOENGE. Manual de utilização módulo loramesh. 2018. Citado na página 45.
- RIBEIRO, J. M. T. Uma aplicação da tecnologia lora em um ambiente hospitalar. 2019. Citado na página 43.
- ROBOCORE. *Módulo GPS GY-NEO6MV2 com Antena.* 2020. Postado no site RoboCore.net <[https://www.robocore.net/loja/sensores/modulo-gps-gy-neo6mv2-com-antena?gclid=Cj0KCQjwqrb7BRDIARIIsACwGad5podJqlfjI28dQa5-f1IDrr-LuDgXl38V4OW2dWrA7-xkroNyn68aAj93EALw\\_wcB](https://www.robocore.net/loja/sensores/modulo-gps-gy-neo6mv2-com-antena?gclid=Cj0KCQjwqrb7BRDIARIIsACwGad5podJqlfjI28dQa5-f1IDrr-LuDgXl38V4OW2dWrA7-xkroNyn68aAj93EALw_wcB)>. Citado na página 48.
- SACHDEVA, Z. *Event Loop in Javascript.* 2019. Posted on Medium <<https://medium.com/@zubin.2406/event-loop-in-javascript-873ef2bddb7c>>. Citado 2 vezes nas páginas 31 e 32.
- SEMICONDUCTOR, A. 24-bit analog-to-digital converter (adc) for weigh scales hx711 - data sheet. Avia. Citado na página 50.
- SENSORTEC, B. Bmp280 digital pressure sensor - datasheet. Bosh Sensortec, 2018. Citado na página 46.
- SHAMS, R. Developing machine learning products better and faster at startups. *IEEE Engineering Management Review*, IEEE, v. 46, n. 3, p. 36–39, 2018. Citado na página 29.
- SHUDA A.J. RIX, M. B. E. Module-level monitoring of solar pv plants using wireless sensor networks. 2017. Citado na página 44.
- SILVA, J. M. C. F. Andréia da. Proteção de placas eletrônicas em ambientes agressivos. 2013. Citado na página 66.

- SILVA, S. A. M. D.; GONÇALVES, R. Avaliação da distribuição da densidade em mdf a partir da técnica da onda de ultra-som. *Scientia Forestalis/Forest Sciences*, p. 19–26, 2007. Citado na página 87.
- SIMÕES, C.; VIANA, J.; CUNHA, A. Mechanical properties of poly ( $\varepsilon$ -caprolactone) and poly (lactic acid) blends. *Journal of Applied Polymer Science*, Wiley Online Library, v. 112, n. 1, p. 345–352, 2009. Citado na página 89.
- SONGLE. *SRD-12VDC-SL-C Datasheet Songle Relay*. <[https://img.filipeflop.com/files/download/Datasheet\\_Rele\\_5V.pdf](https://img.filipeflop.com/files/download/Datasheet_Rele_5V.pdf)>. Citado na página 61.
- STMICROELECTRONICS. *L298 DUAL FULL-BRIDGE DRIVER - Datasheet*. 2020. <[https://img.filipeflop.com/files/download/Datasheet\\_L298\\_Ponte\\_H.pdf](https://img.filipeflop.com/files/download/Datasheet_L298_Ponte_H.pdf)>. Citado na página 59.
- SUPERSTEEL. *Datasheet fio Níquel- Cromo*. 2020. <<http://www.supersteel.com.br/niquel-cromo/produto/fios-e-fitas/niquel-cromo/8020-nikrotal-80/>>. Citado na página 70.
- SUTTON, G. P. *Rocket Propulsion Elements*. 9th ed.. ed. [S.l.]: Wiley, 2016. Citado na página 15.
- SYSTEMS, E. Esp32 series - datasheet. SHANGHAI, 2020. Citado na página 42.
- TEAM, C. R. *CDR: Foguete Daedalus 2*. 2020. No prelo. Solicitação ao autor: capitalrocketteam@gmail.com. Citado na página 101.
- TELECO. *WLAN X Sistemas Móveis Celulares: Faixas de Frequências*. 2020. <[https://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialwlanx/pagina\\_3.asp](https://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialwlanx/pagina_3.asp)>. Citado na página 43.
- UBLOX. Neo-6 u-blox 6 gps modules - data sheet. Ublox. Citado na página 48.
- UNIPOWER. Bateria lítio ferro-fosfato lifepo4 - uplfp12-30. São Paulo, Brasil, 2017. Citado na página 75.
- VANGUNDY, A. B. Brain writing for new product ideas: an alternative to brainstorming. *Journal of Consumer Marketing*, MCB UP Ltd, 1984. Citado na página 21.
- VASQUEZ, R. A. *PROPELLOR HÍBRIDO COMPACTO DE QUEIMADUAL E INJEÇÃO VORTICAL USANDO PARAFINA EÓXIDO NITROSO*. 2017. <Http://mtc-m21b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m21b/2017/05.23.03.35/doc/publicacao.pdf>. Citado 2 vezes nas páginas 104 e 105.
- VIDAL, V. *Balança digital com Arduino e célula Strain Gauge – Revisada*. 2017. <<https://blog.eletrogate.com/balanca-digital-com-arduino-aprenda-a-usar-a-celula-de-carga/#:~:text=Passos%20para%20Calibra%C3%A7%C3%A3o%20%3A,10%2C100%2C1000%2C10000%20respectivamente%20ou>>. Citado na página 57.
- VOSSEN, C. A. *Nanocompósitos de ABS/PA e argilas organofílicas*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2009. Citado na página 89.
- WALTER, Y. O conteúdo da forma: Subsídios para seleção de materiais e design. 2006. Citado 2 vezes nas páginas 86 e 90.

- WENDLING, M. *Retificadores*. 2011. <<https://www.feg.unesp.br/Home/PaginasPessoais/ProfMarceloWendling/3---retificadores.pdf>>. Citado 4 vezes nas páginas 3, 78, 79 e 80.
- WIKIPEDIA. *Adapter*. 2020. Disponível em: <[https://sourcemaking.com/design\\_patterns/adapter](https://sourcemaking.com/design_patterns/adapter)>. Citado 2 vezes nas páginas 2 e 37.
- WILSON, C. *Interview techniques for UX practitioners: A user-centered design method*. [S.l.]: Newnes, 2013. Citado na página 20.
- YANDONG, W.; KEZHENG, H. Development of life originated artificial designer system. In: IEEE. *Third International Conference on Information Technology and Applications (ICITA '05)*. [S.l.], 2005. v. 1, p. 319–324. Citado na página 30.
- ZHO, Z. T. W. Lora-hybrid: A lorawan based multihop solution for regional microgrid. 2019. Citado na página 44.



# Apêndices



# APÊNDICE A – Diagrama de Sequencias

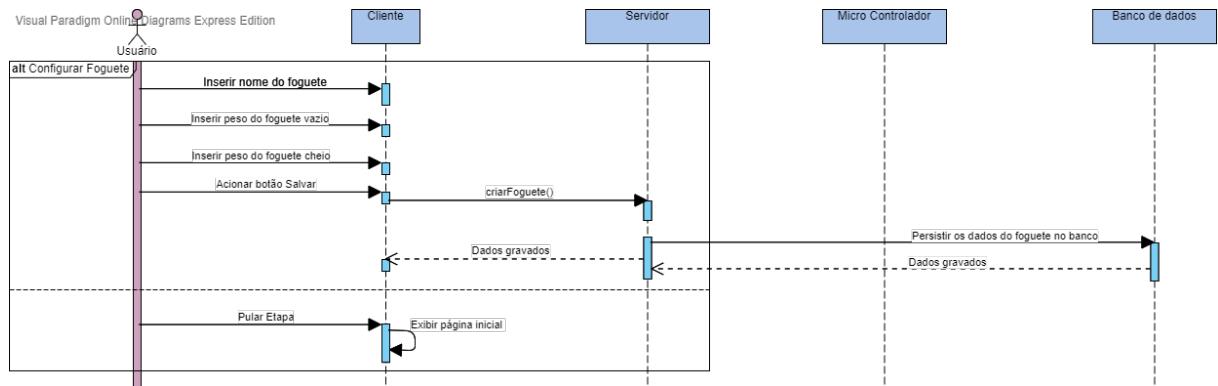


Figura 80 – Diagrama de sequencia representando o cadastro de foguetes. Fonte: Autor

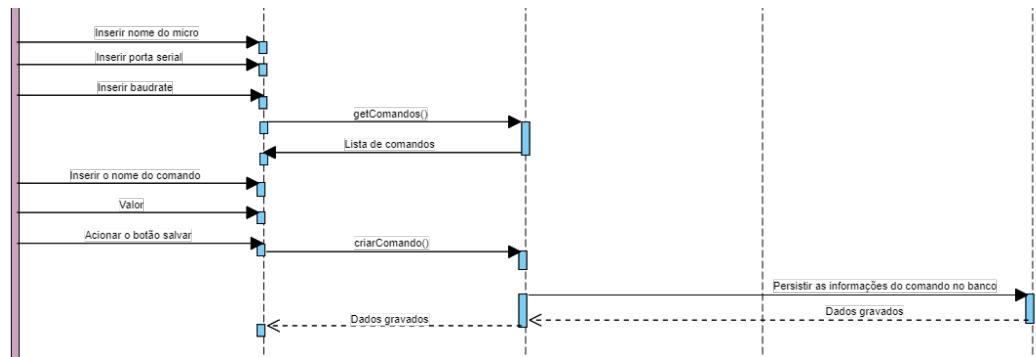


Figura 81 – Diagrama de sequencia representando o cadastro de micro. Fonte: Autor

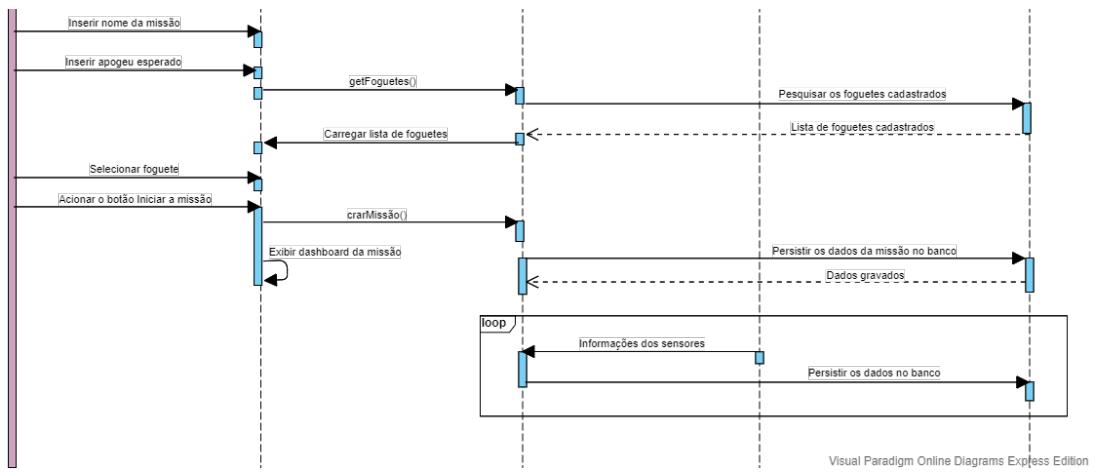


Figura 82 – Diagrama de sequencia representando o processo da missão. Fonte: Autor

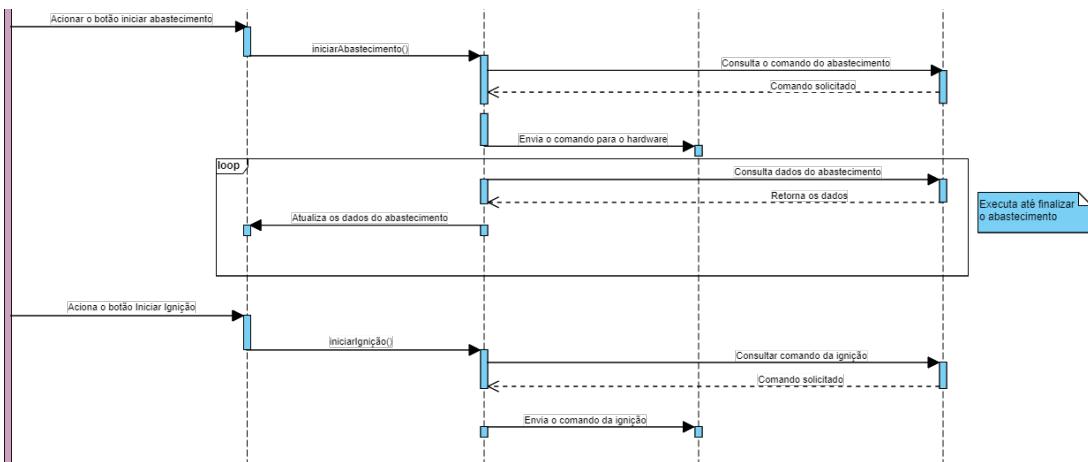


Figura 83 – Diagrama de sequencia representando o processo de abastecimento. Fonte: Autor

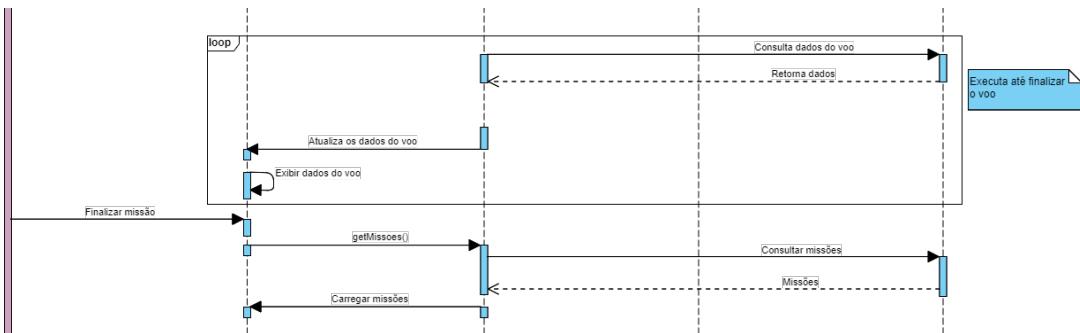


Figura 84 – Diagrama de sequencia representando o processo de finalizar a missão. Fonte: Autor

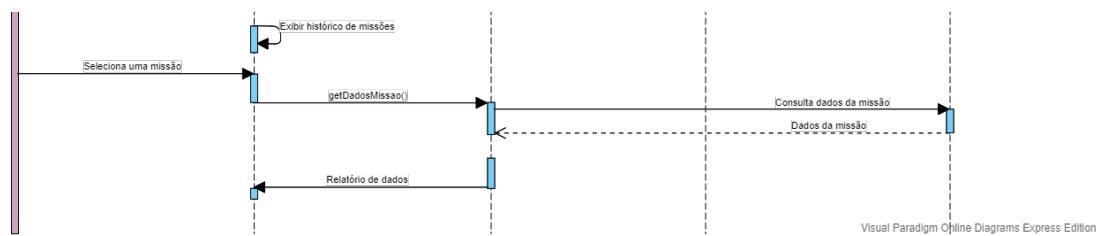


Figura 85 – Diagrama de sequencia representando o processo de histórico. Fonte: Autor



# APÊNDICE B – Diagrama de blocos do sistema Versão Inicial

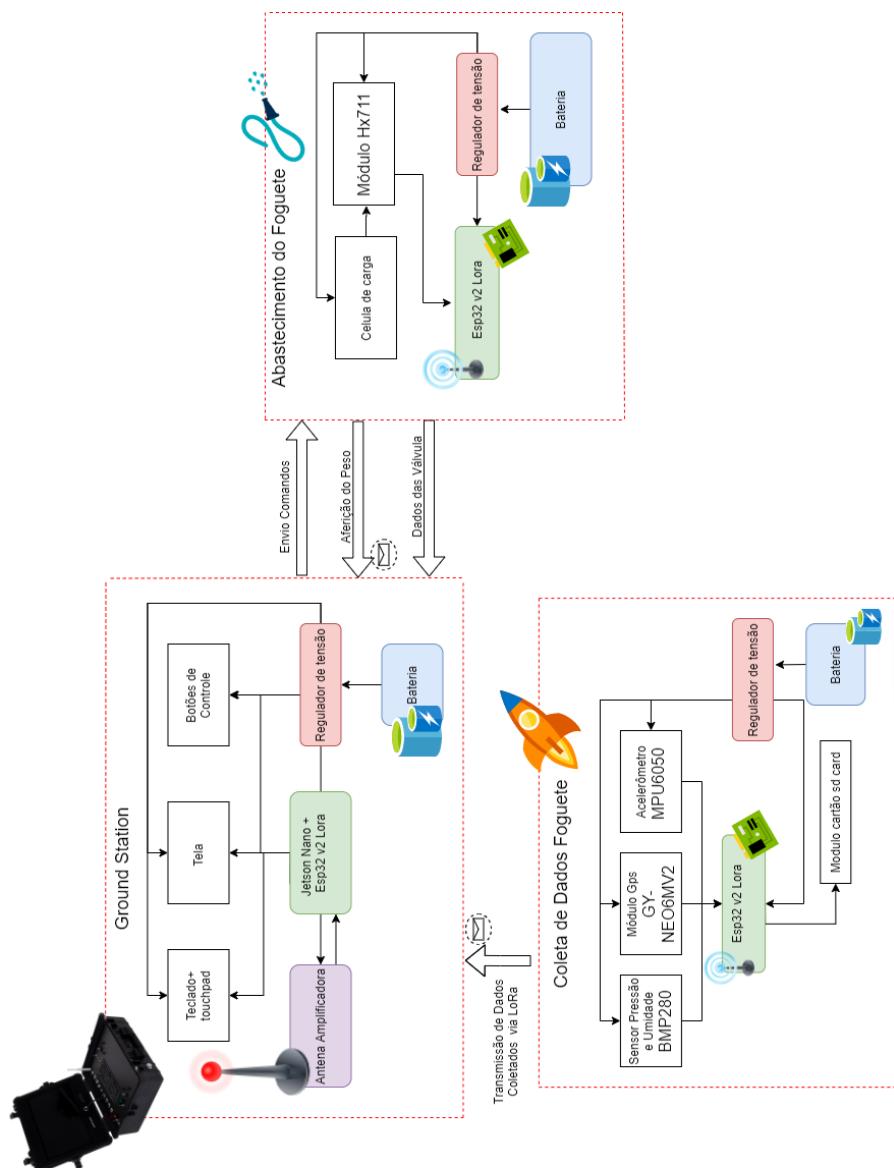


Figura 86 – Diagrama de blocos do projeto. Fonte: Autor



# APÊNDICE C – Diagramas elétricos

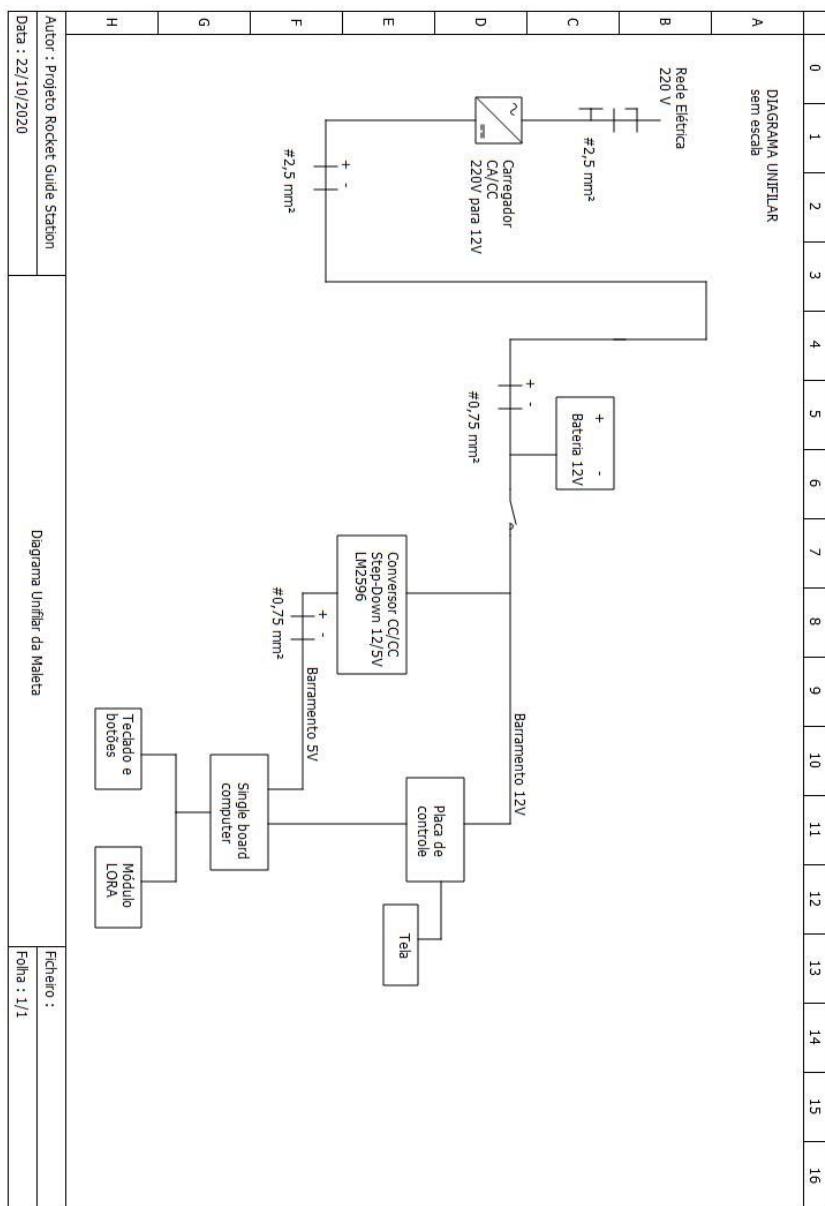


Figura 87 – Diagrama unifilar GCS

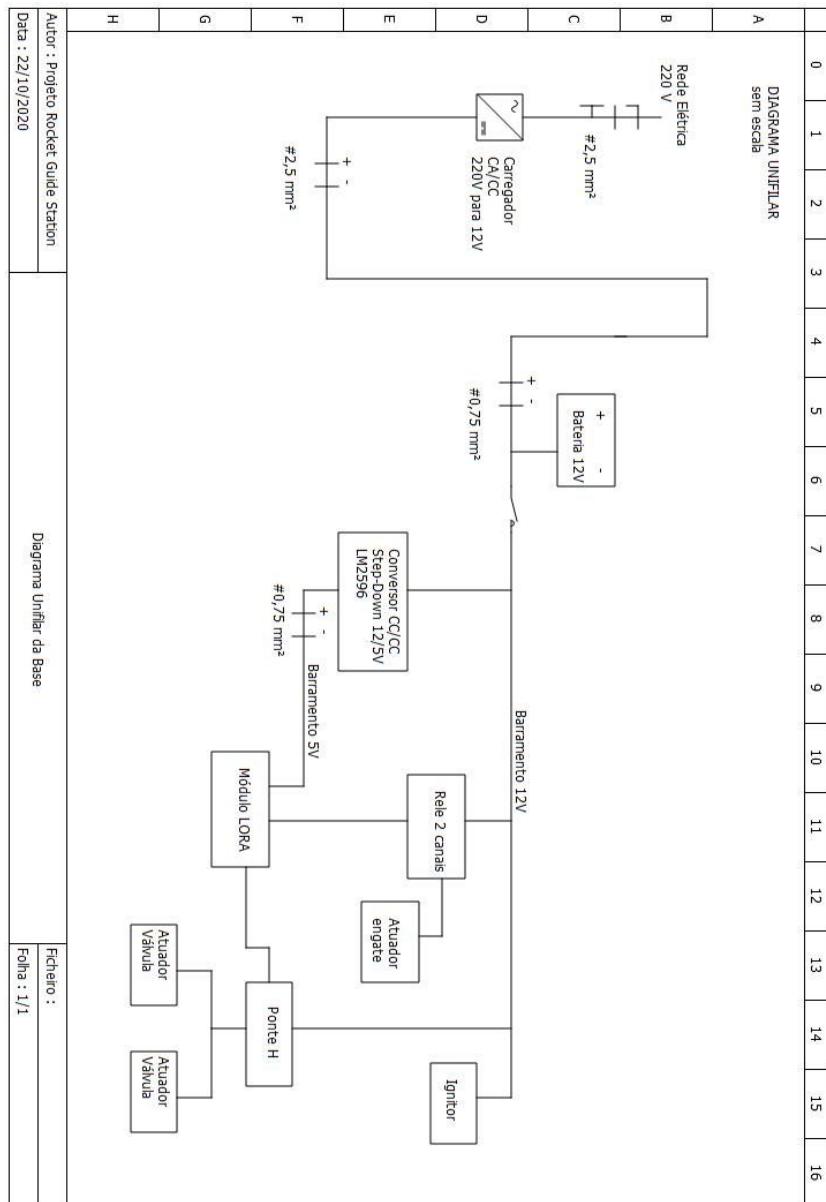
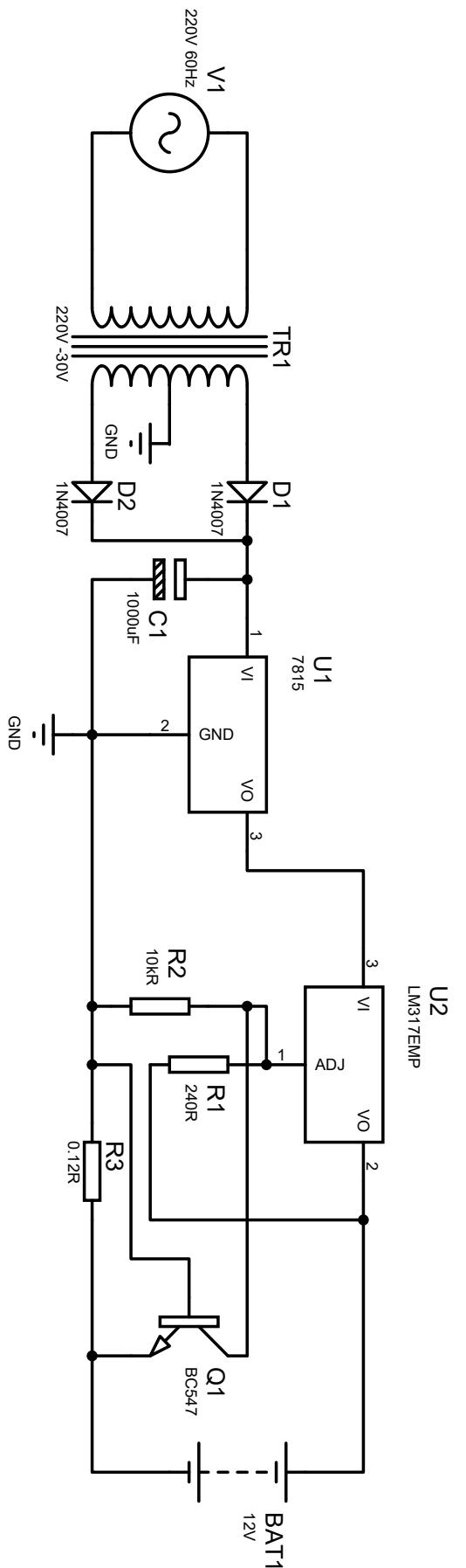


Figura 88 – Diagrama unifilar abastecimento



FILE NAME:	Fonte e Carregador de Bateria
DESIGN TITLE:	
PATH:	
BY: Projeto Rocket Guide Station	REV: INICIAL
DATE: 23/10/2020	PAGE: 1 of 1
TIME: 19:02:30	9



## APÊNDICE D – Esboço inicial e CAD

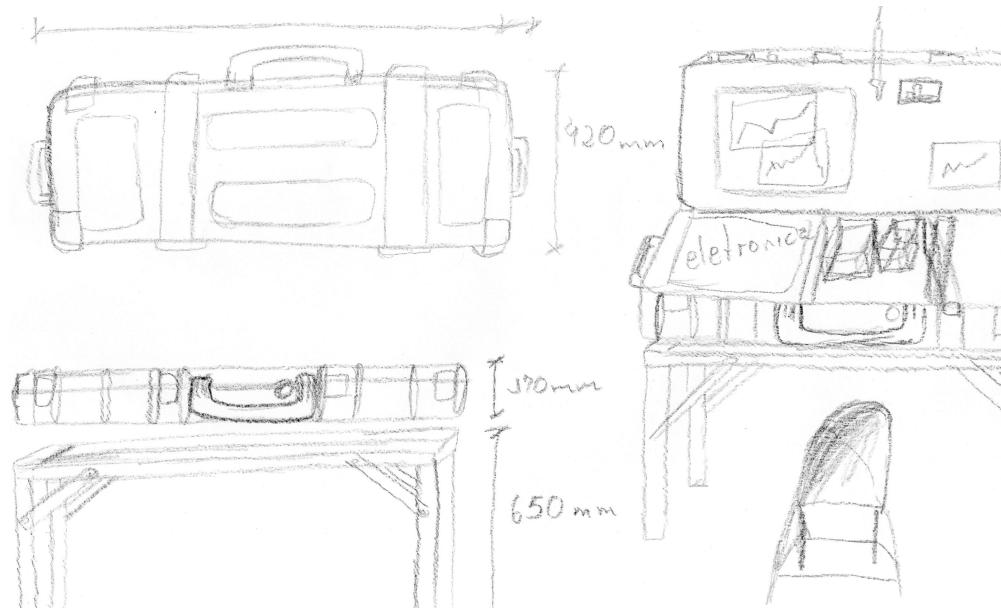
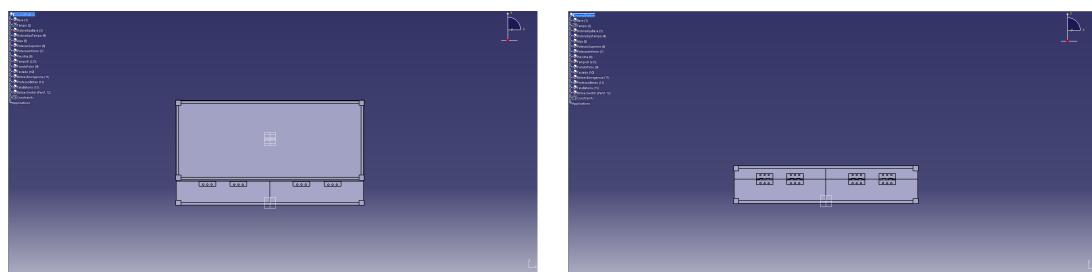


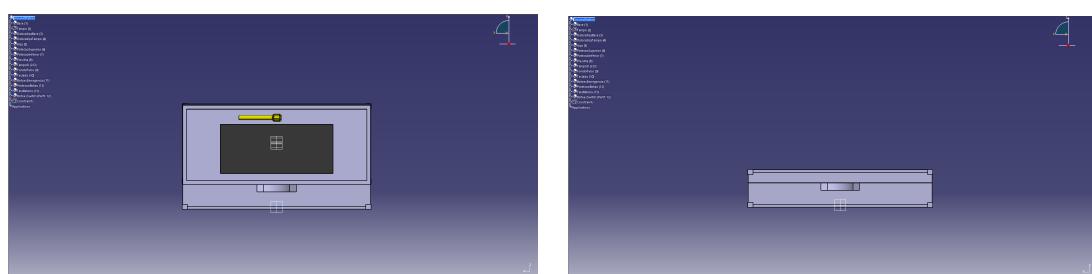
Figura 89 – Esboço inicial



(a) aberto

(b) fechado

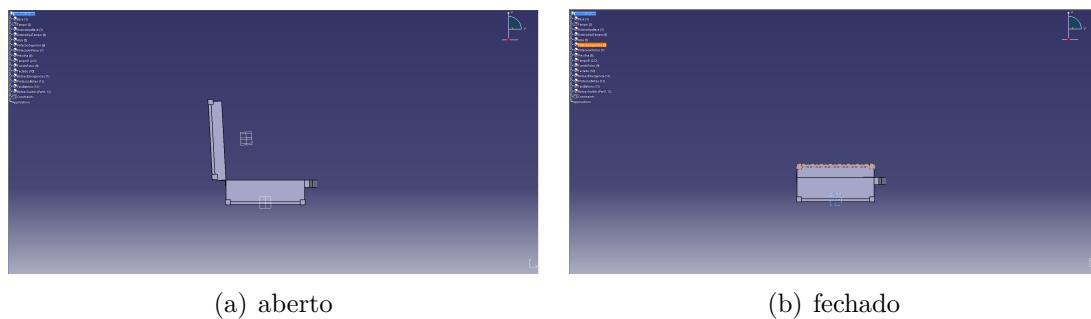
Figura 90 – CAD da maleta verso



(a) aberto

(b) fechado

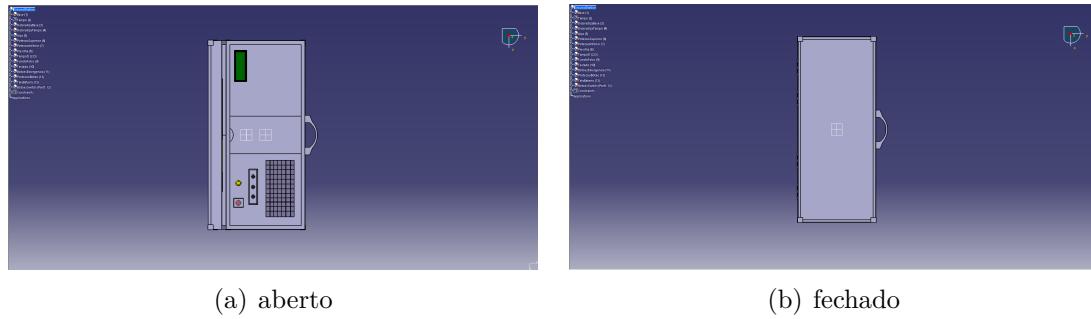
Figura 91 – CAD's da maleta frente



(a) aberto

(b) fechado

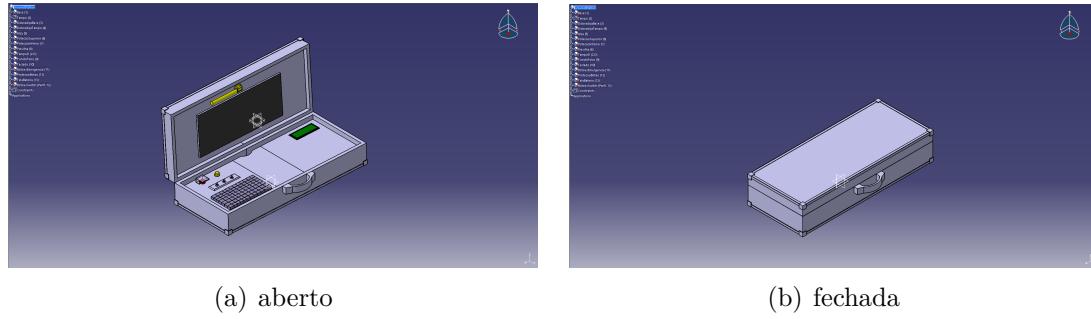
Figura 92 – CAD's da maleta lateral



(a) aberto

(b) fechado

Figura 93 – CAD's da maleta superior

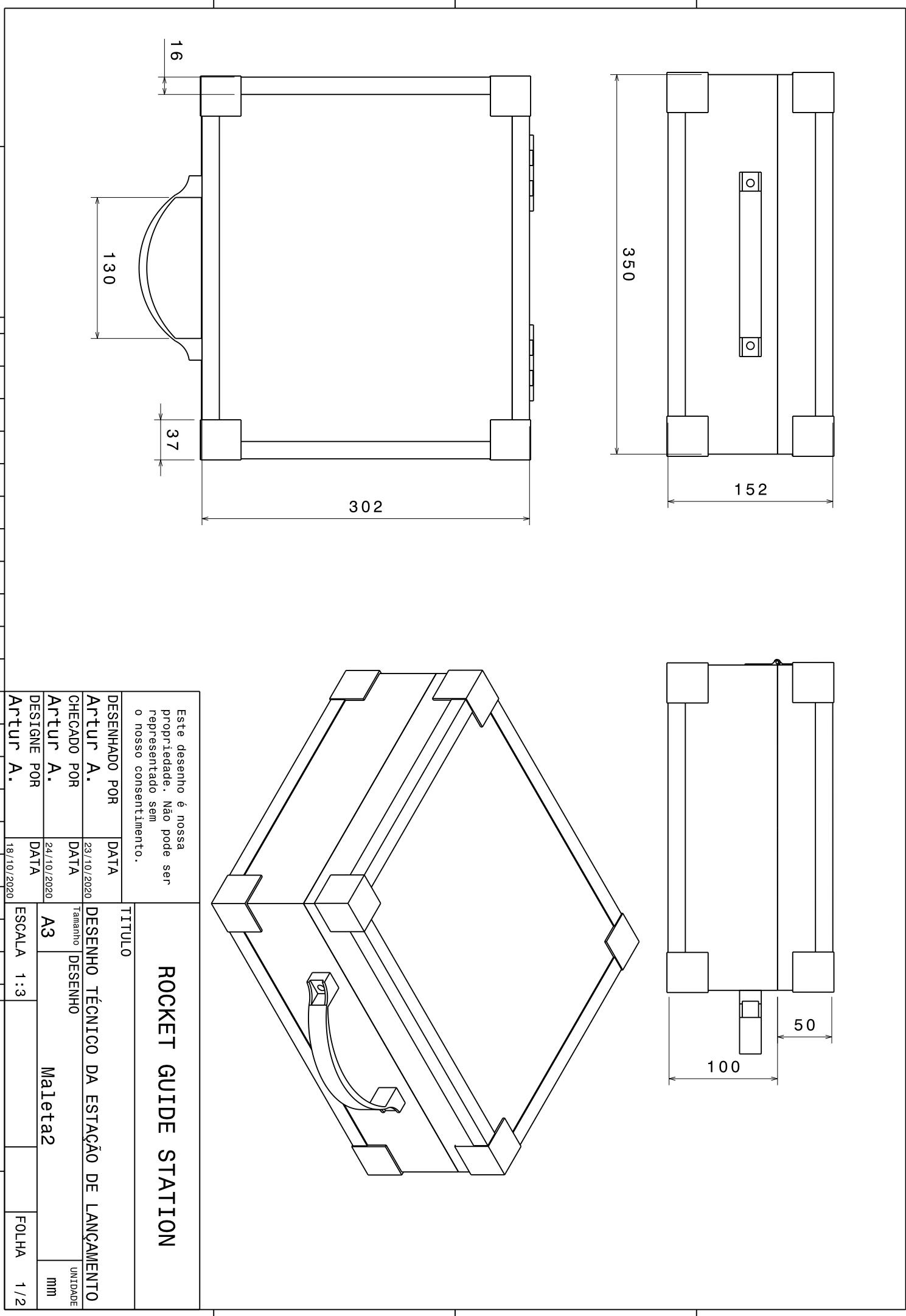


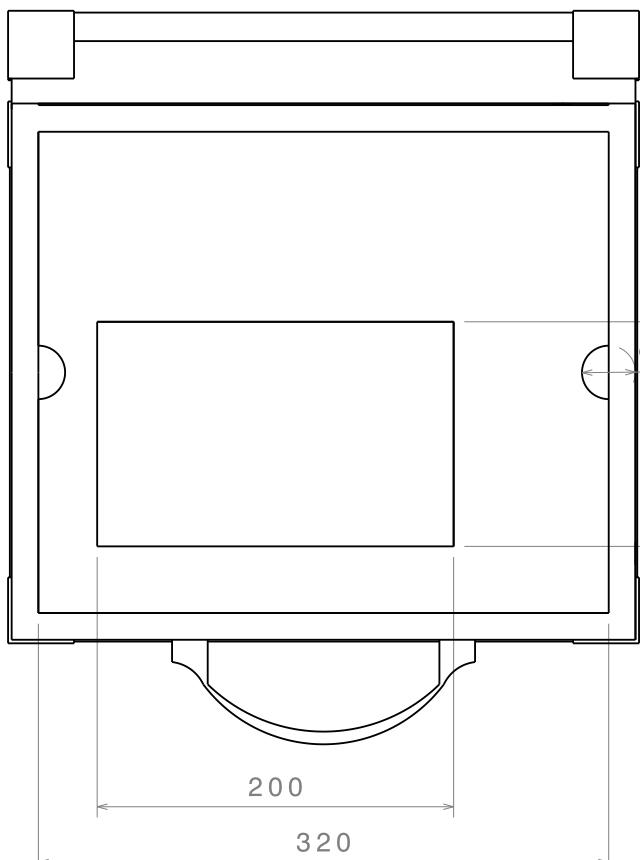
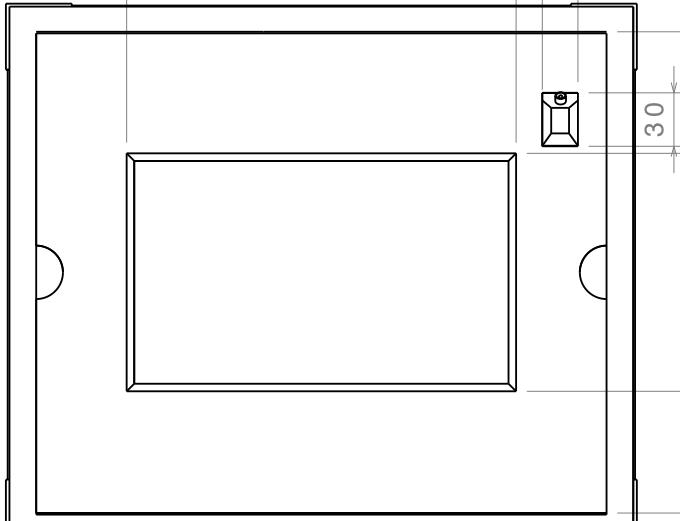
(a) aberto

(b) fechada

Figura 94 – CAD's da maleta isométrica

## APÊNDICE E – Desenhos Técnicos





Este desenho é nossa  
propriedade. Não pode ser  
representado sem  
o nosso consentimento.

DESENHADO POR  
**Artur A.**

DATA  
23/10/2020

CHECADO POR  
**Artur A.**

DATA  
24/10/2020

DESIGNE POR  
**Artur A.**

DATA  
18/10/2020

## ROCKET GUIDE STATION

TÍTULO  
DESENHO TÉCNICO DA ESTAÇÃO DE LANÇAMENTO

Tamanho DESENHO UNIDADE

A3 Maleta2 mm

ESCALA 1:3 FOLHA 2/2

1

2

3

4

1

1

८

6

446

430

43  
04

∅ 25

A technical line drawing of a cabinet with two doors. The cabinet has a rectangular frame with a horizontal top rail and vertical side panels. Two doors are attached to the right side panel. Each door features a vertical handle on its left side and a central vertical strip near the bottom. The height of the cabinet is indicated by a vertical dimension line on the left side, labeled '446'.

A technical drawing of a rectangular panel. The overall width is indicated by a dimension line at the top right with a value of 43. The overall height is indicated by a dimension line on the left side with a value of 430. A vertical line on the right side indicates a height of 40 from the bottom edge to the top edge of a central rectangular cutout. Inside this cutout, there is a circular hole labeled with a diameter of  $\varnothing 25$ .

This technical drawing illustrates a mechanical assembly with the following dimensions:

- Total width: 350
- Total height: 280
- Left vertical dimension: 150
- Top horizontal dimension: 150
- Middle horizontal dimension: 80
- Right vertical dimension: 15
- Right horizontal dimension: 12

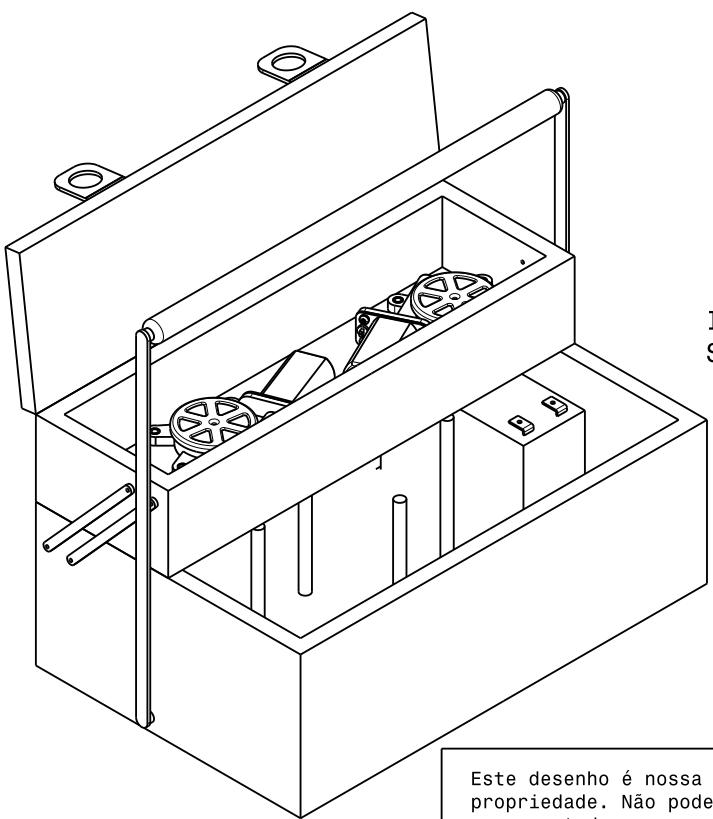
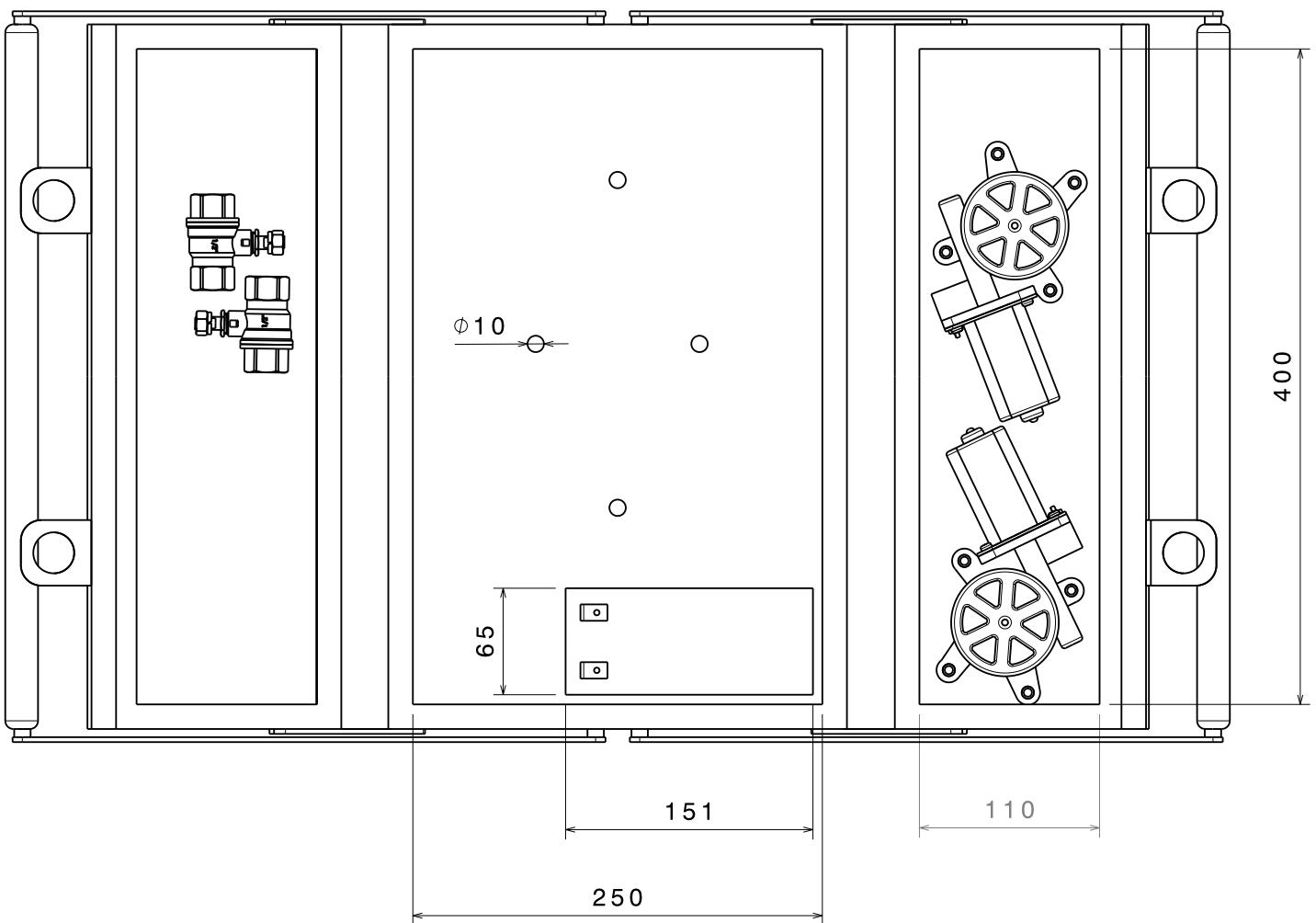
Key features include:

- Two parallel U-shaped metal components at the bottom.
- Two diagonal metal components connecting the top of the U-shaped components to a central vertical support.
- A central vertical support structure with a horizontal slot and a protruding rectangular component.
- Two circular holes labeled  $\phi 20$  on the right side.
- An angle of 26° indicated between one of the diagonal components and the horizontal.
- Small circles at the ends of the diagonal components, likely indicating bolt holes.

Este desenho é nossa propriedade. Não pode ser representado sem o nosso consentimento.

# ROCKET GUIDE STATION

<p>Este desenho é nossa propriedade. Não pode ser representado sem o nosso consentimento.</p> <h2 style="text-align: center;">ROCKET GUIDE STATION</h2>					
DESENHADO POR	DATA	TÍTULO			
<b>Artur A.</b>	23/10/2020	DESENHO TÉCNICO DA MALETA DE ABASTECIMENTO			
CHEGADO POR	DATA	Tamanho	DESENHO		UNIDADE
<b>Artur A.</b>	24/10/2020	A3	Maleta De Abastecimento		mm
DESIGNE POR	DATA	ESCALA	1:3		FOLHA
<b>Artur A.</b>	18/10/2020				1 / 2



Isometric view  
Scale: 1:4

Este desenho é nossa propriedade. Não pode ser representado sem o nosso consentimento.

DESENHADO POR  
**Artur A.**

DATA  
23/10/2020

CHECADO POR  
**Artur A.**

DATA  
24/10/2020

DESIGNE POR  
**Artur A.**

DATA  
18/10/2020

## ROCKET GUIDE STATION

### TITULO

DESENHO TÉCNICO DA MALETA DE ABASTECIMENTO

TAMANHO	DESENHO	UNIDADE
A3	Maleta3	mm

ESCALA 1:3

FOLHA 2/2



## APÊNDICE F – Simulação de Impacto

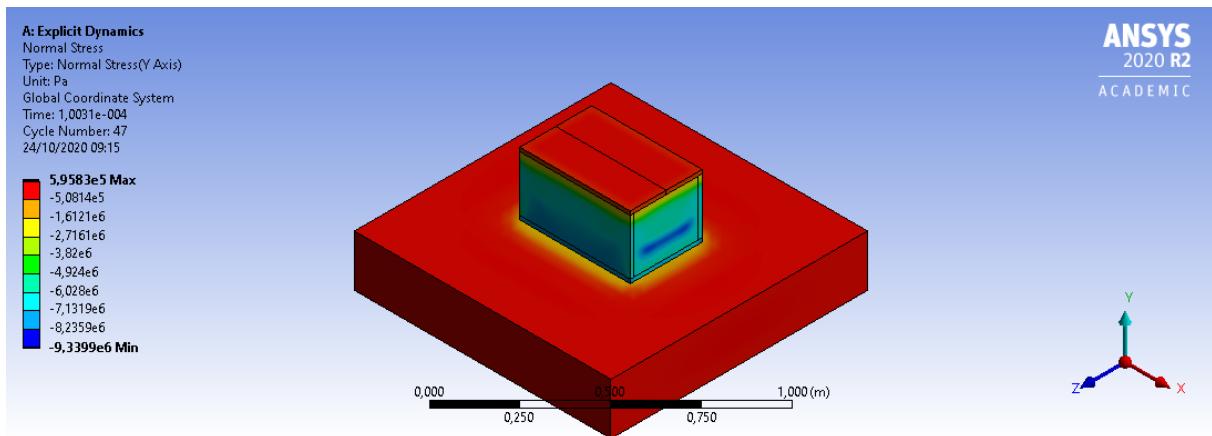


Figura 95 – Tensão normal no eixo Y da maleta do sistema de alimentação em queda direta

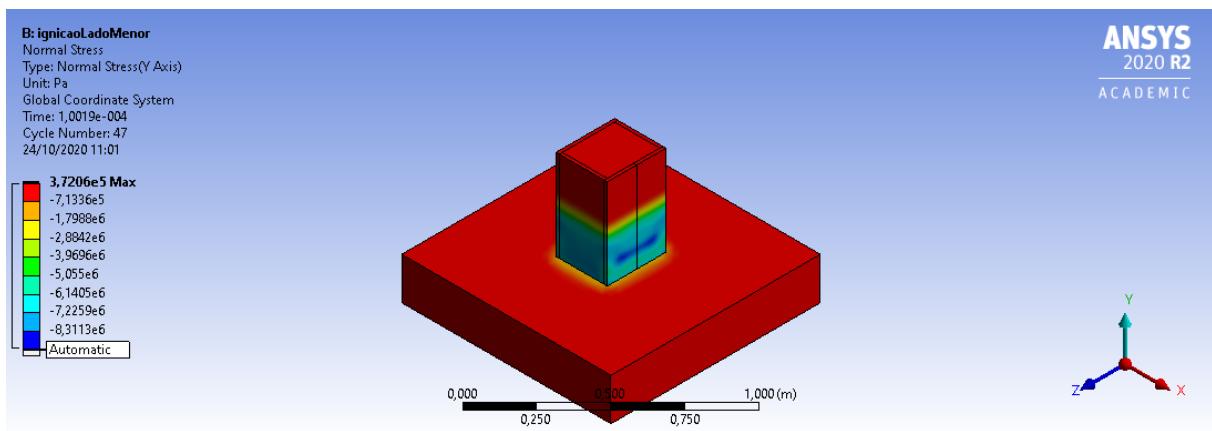


Figura 96 – Tensão normal no eixo Y da maleta do sistema de alimentação em queda lateral

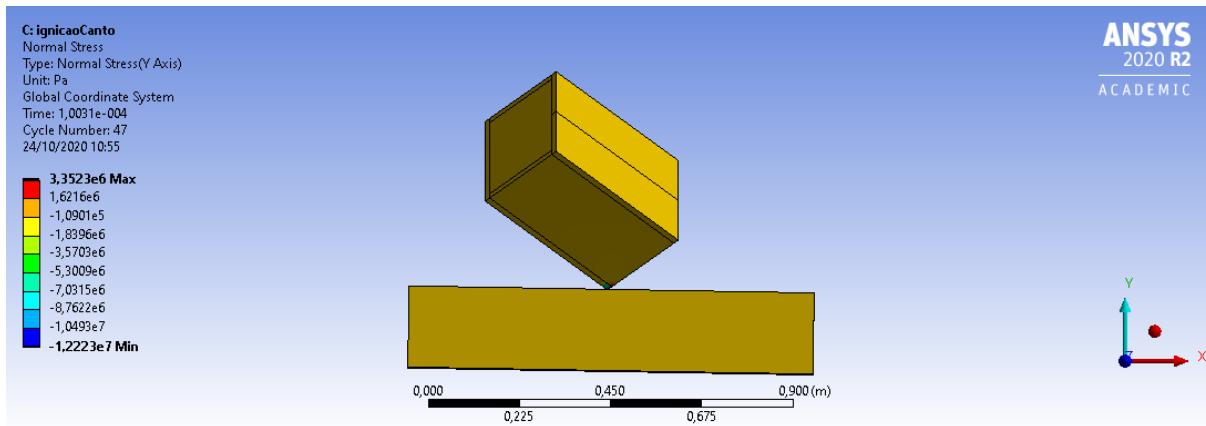


Figura 97 – Tensão normal no eixo Y da maleta do sistema de alimentação em queda inclinada

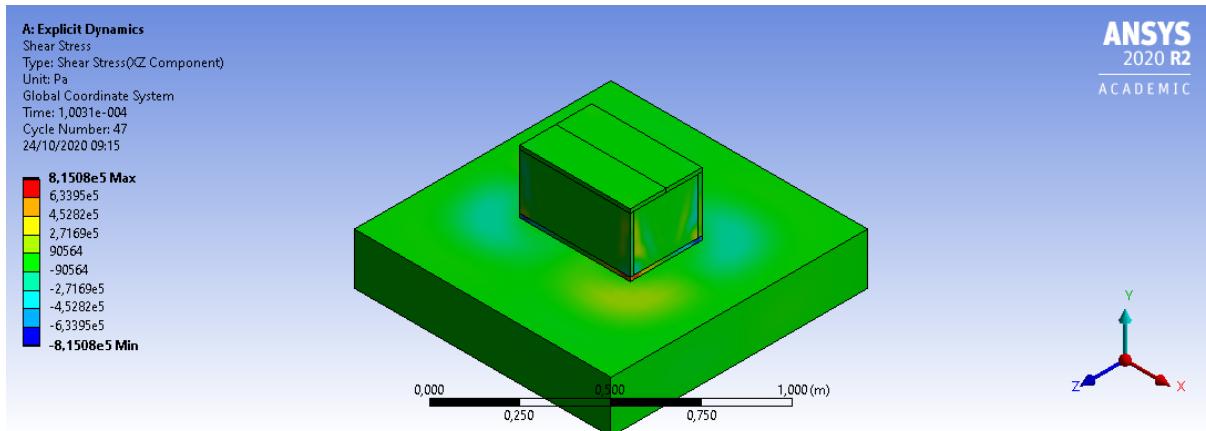


Figura 98 – Tensão de Cisalhamento no plano XZ da maleta do sistema de alimentação em queda direta

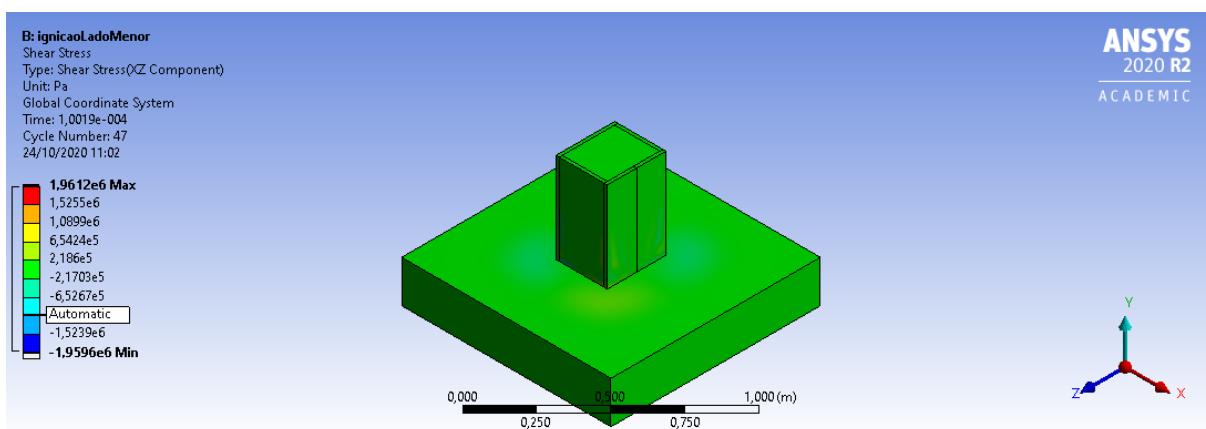


Figura 99 – Tensão de Cisalhamento no plano XZ da maleta do sistema de alimentação em queda lateral

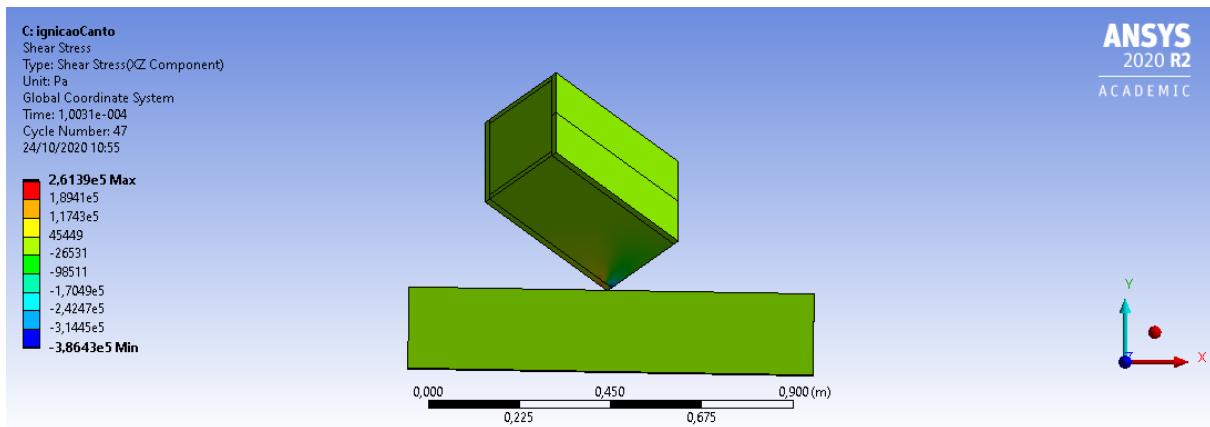


Figura 100 – Tensão de Cisalhamento no plano XZ da maleta do sistema de alimentação em queda inclinada

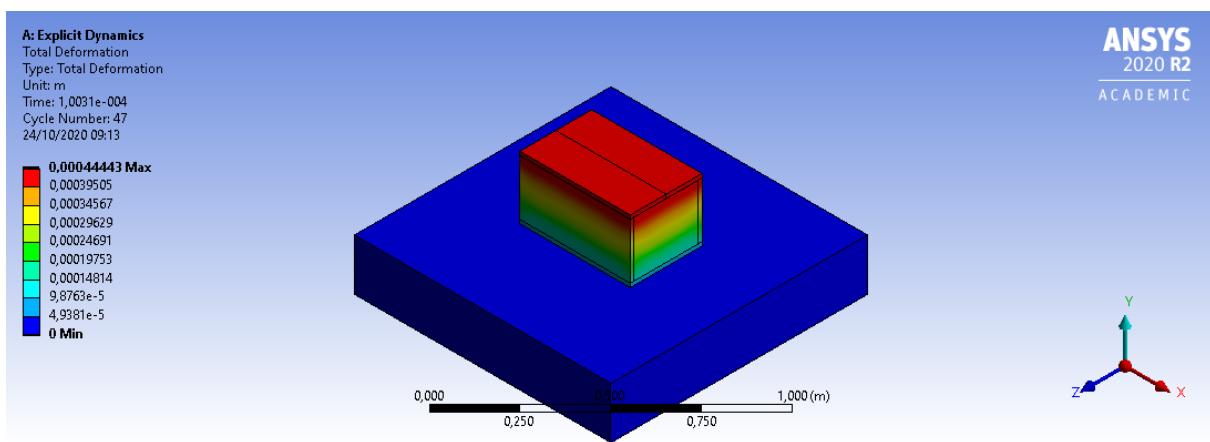


Figura 101 – Deformação da maleta do sistema de alimentação em queda direta

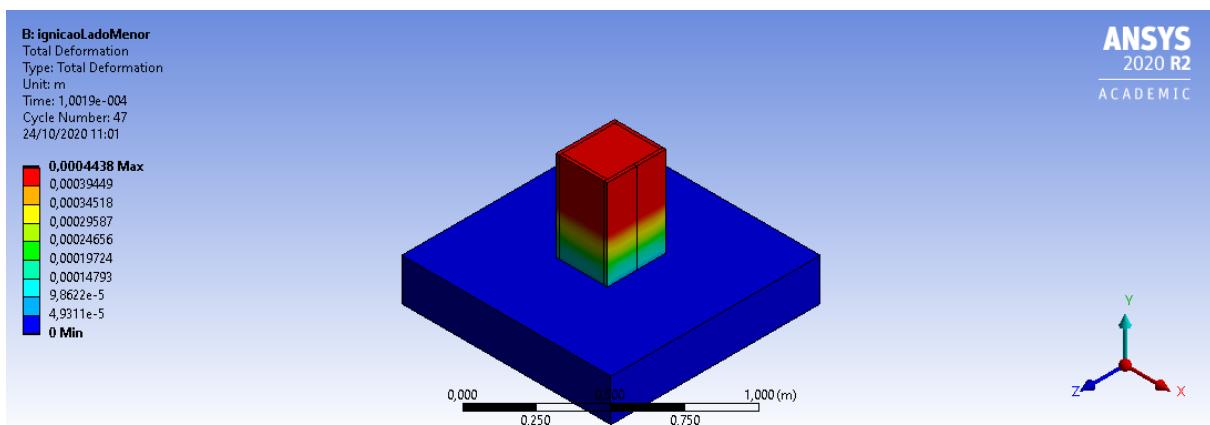


Figura 102 – Deformação da maleta do sistema de alimentação em queda lateral

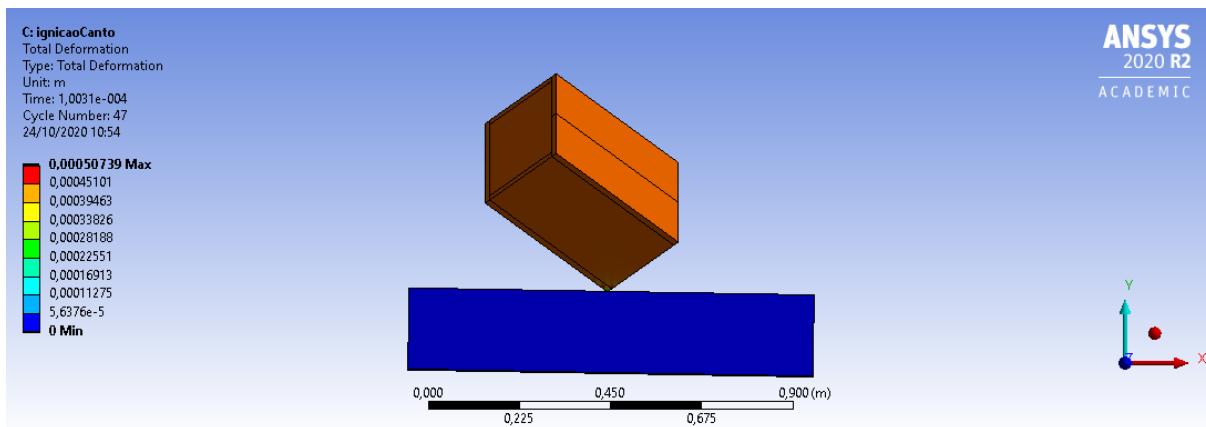


Figura 103 – Deformação da maleta do sistema de alimentação em queda inclinada

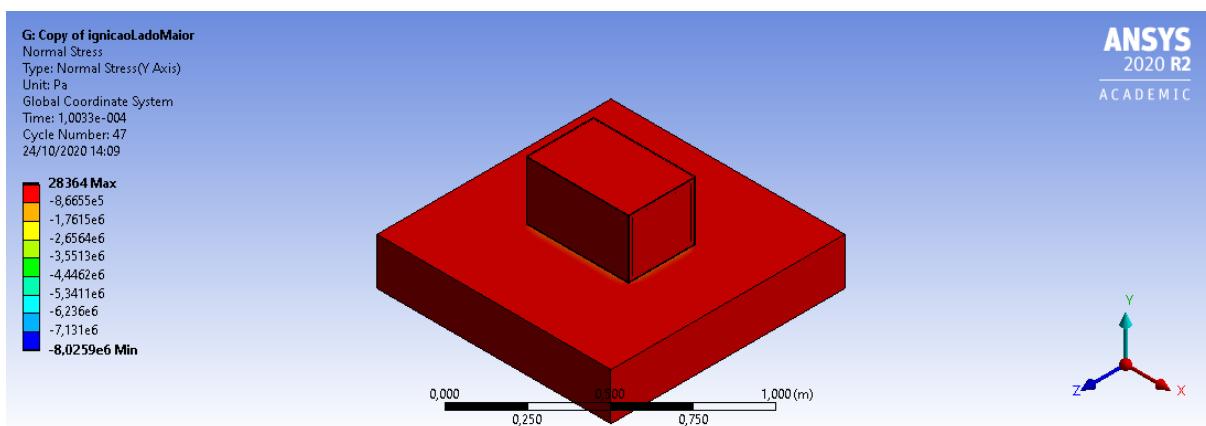


Figura 104 – Tensão normal no eixo Y da maleta do sistema de alimentação revestida em queda direta

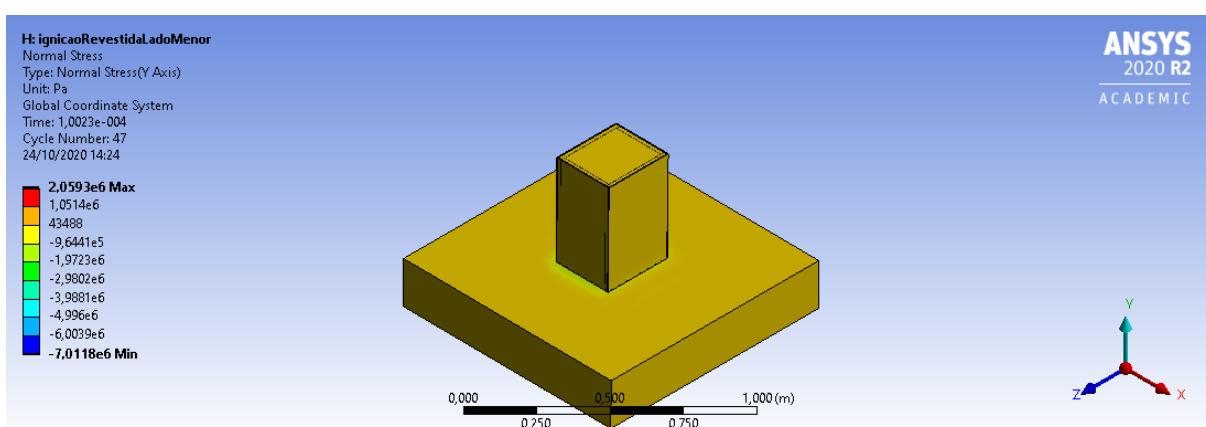


Figura 105 – Tensão normal no eixo Y da maleta do sistema de alimentação revestida em queda lateral

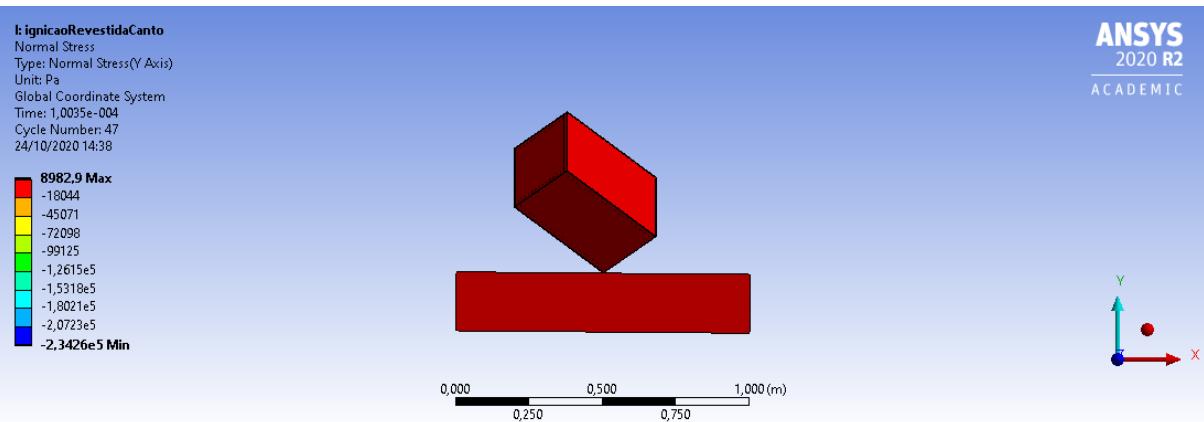


Figura 106 – Tensão normal no eixo Y da maleta do sistema de alimentação revestida em queda inclinada

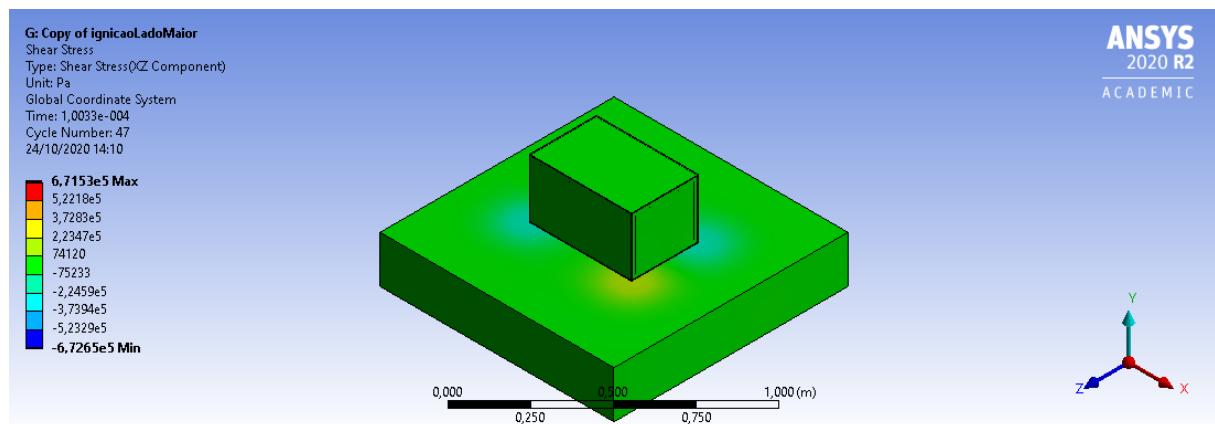


Figura 107 – Tensão de cisalhamento no plano XZ da maleta do sistema de alimentação revestida em queda direta

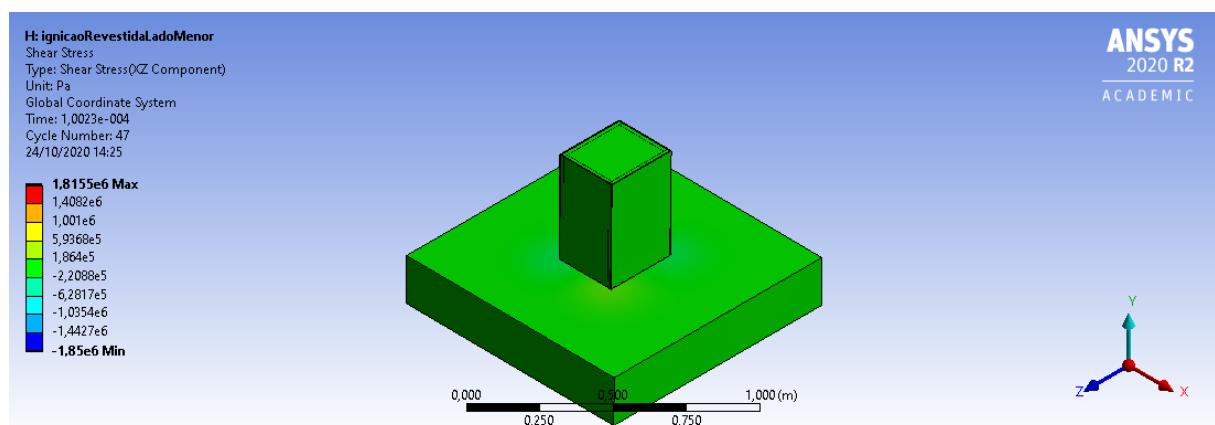


Figura 108 – Tensão de cisalhamento no plano XZ da maleta do sistema de alimentação revestida em queda lateral

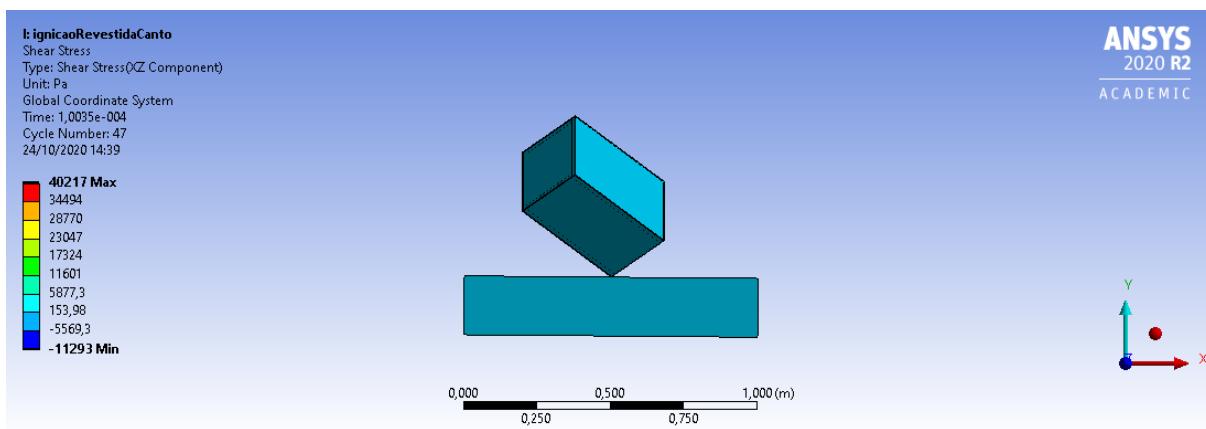


Figura 109 – Tensão de cisalhamento no plano XZ da maleta do sistema de alimentação revestida em queda inclinada

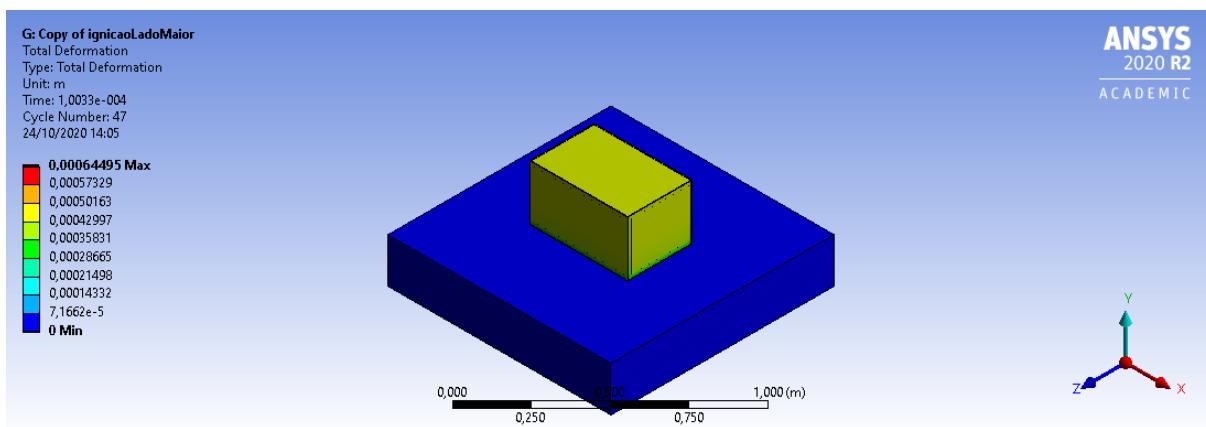


Figura 110 – Deformação da maleta do sistema de alimentação revestida em queda direta

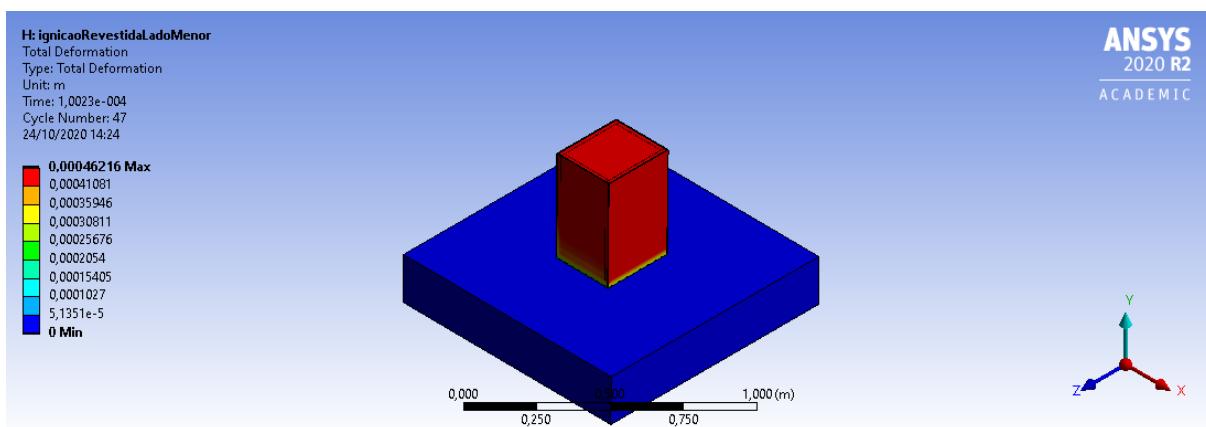


Figura 111 – Deformação da maleta do sistema de alimentação revestida em queda lateral

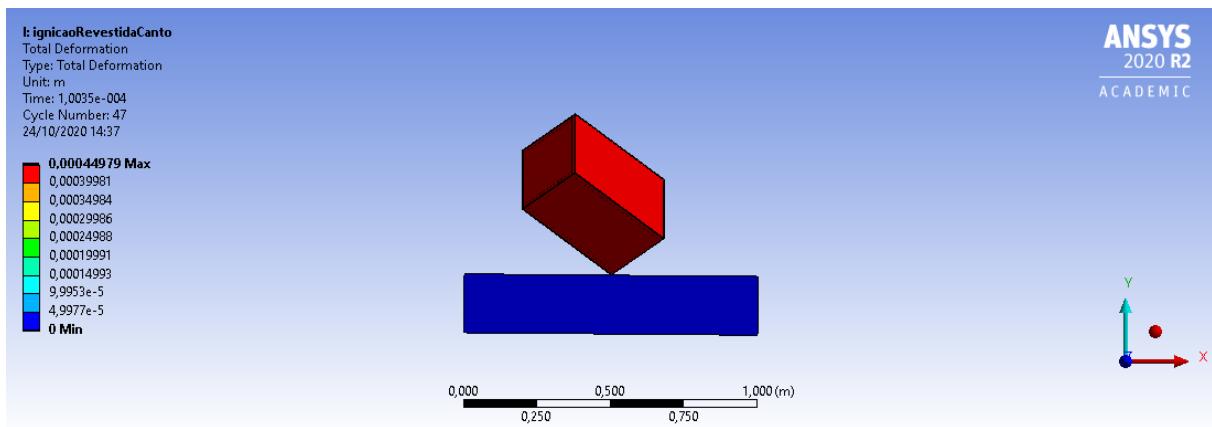


Figura 112 – Deformação da maleta do sistema de alimentação revestida em queda inclinada

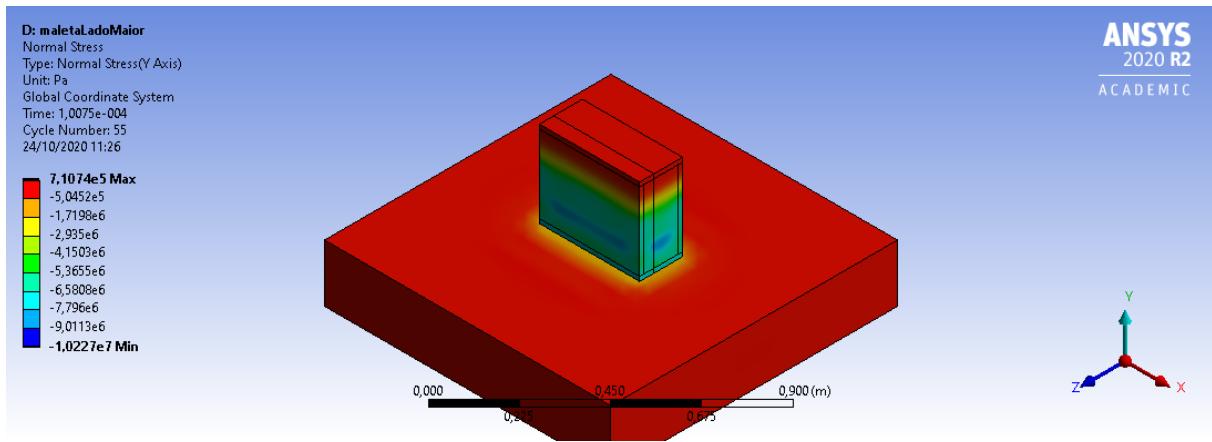


Figura 113 – Tensão normal no eixo Y da maleta do sistema de controle em queda direta

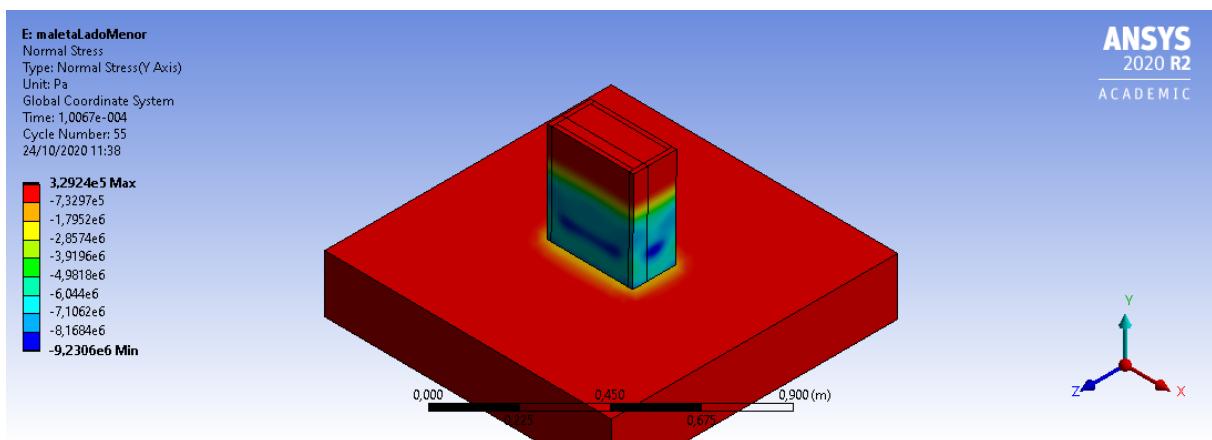


Figura 114 – Tensão normal no eixo Y da maleta do sistema de controle em queda lateral

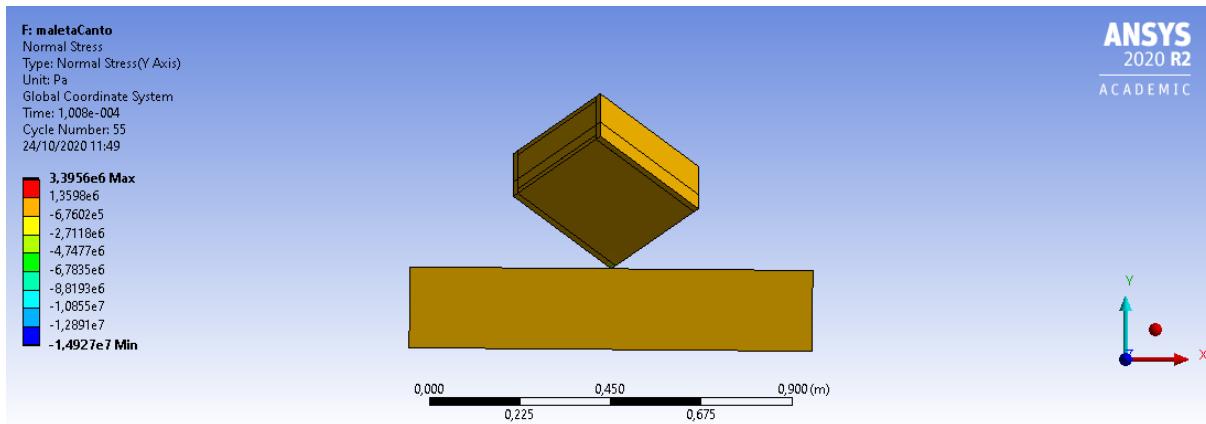


Figura 115 – Tensão normal no eixo Y da maleta do sistema de controle em queda inclinada

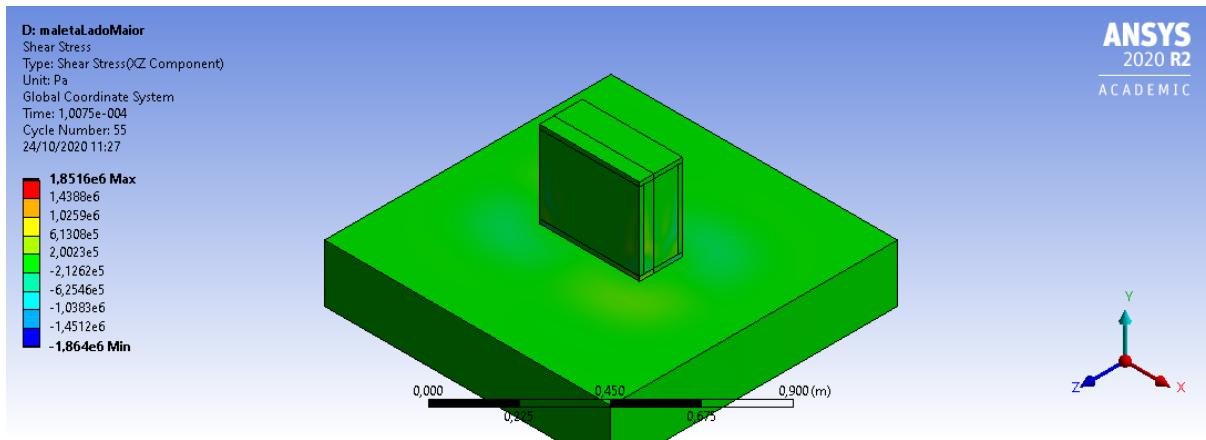


Figura 116 – Tensão de cisalhamento no plano XZ da maleta do sistema de controle em queda direta

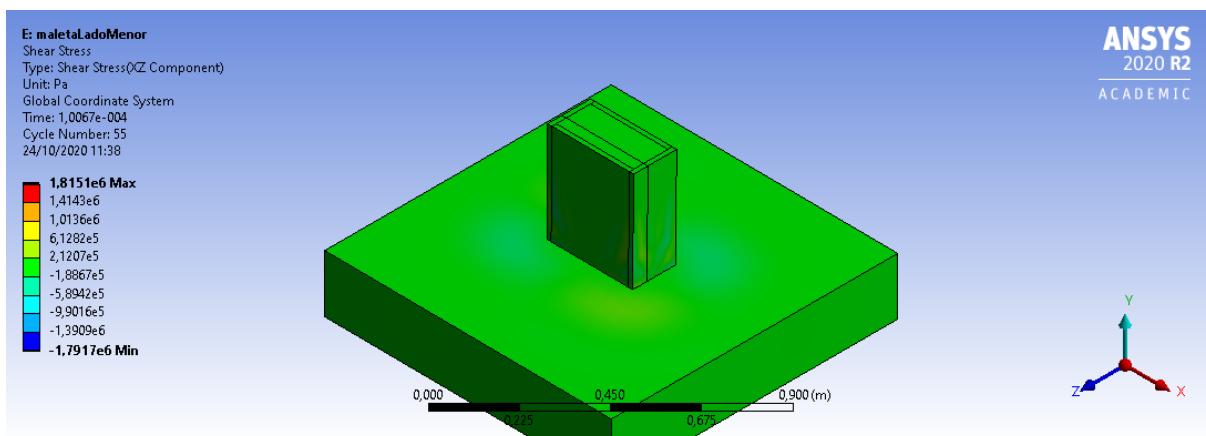


Figura 117 – Tensão de cisalhamento no plano XZ da maleta do sistema de controle em queda lateral

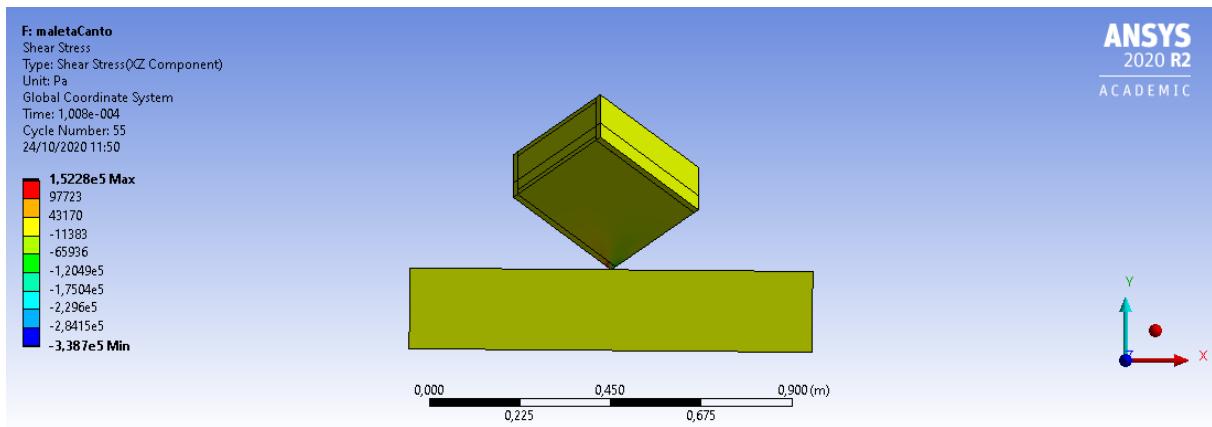


Figura 118 – Tensão de cisalhamento no plano XZ da maleta do sistema de controle em queda inclinada

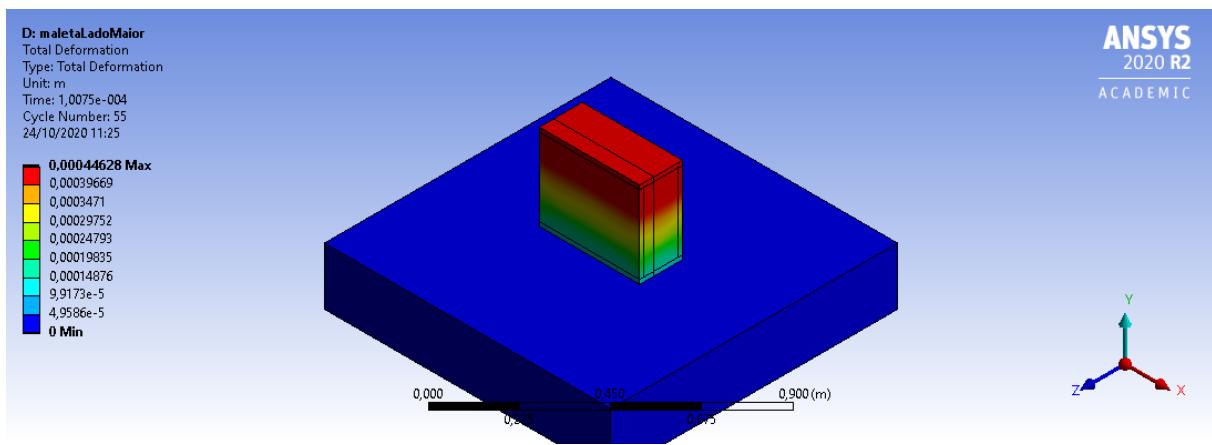


Figura 119 – Deformação da maleta do sistema de controle em queda direta

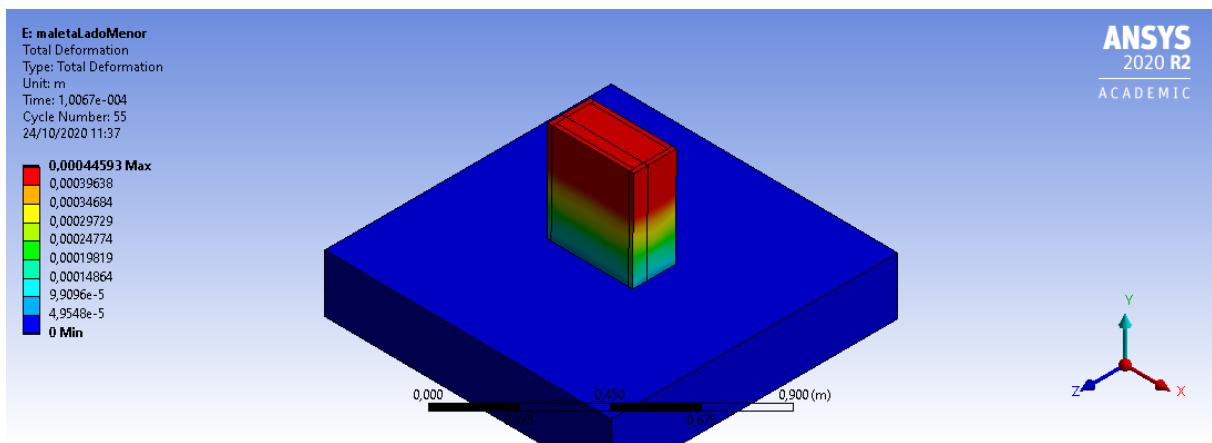


Figura 120 – Deformação da maleta do sistema de controle em queda lateral

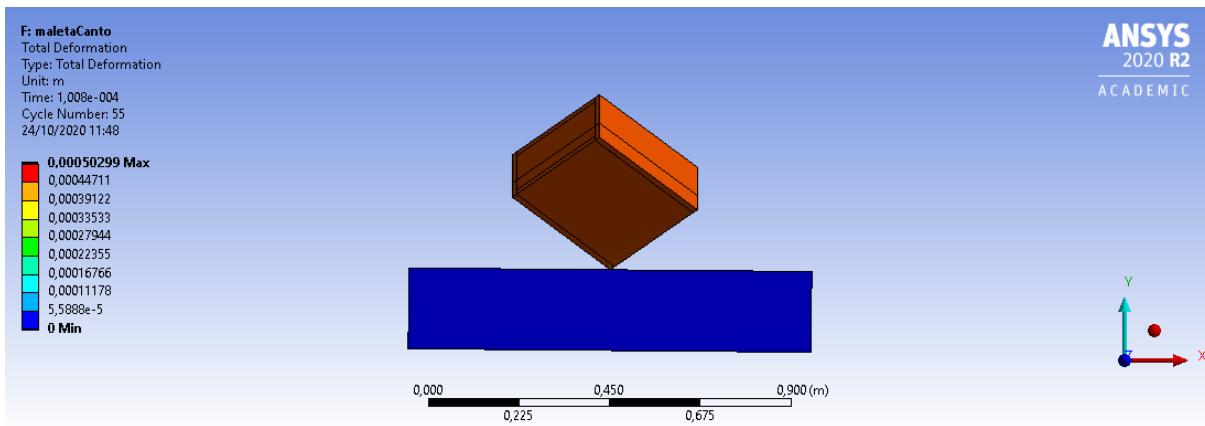


Figura 121 – Deformação da maleta do sistema de controle em queda inclinada

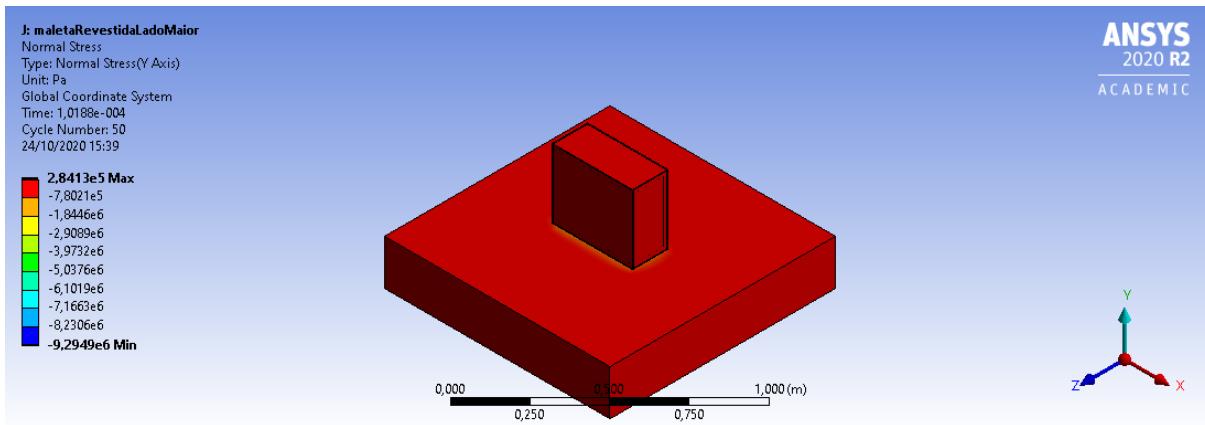


Figura 122 – Tensão normal Y da maleta revestida do sistema de controle em queda direta

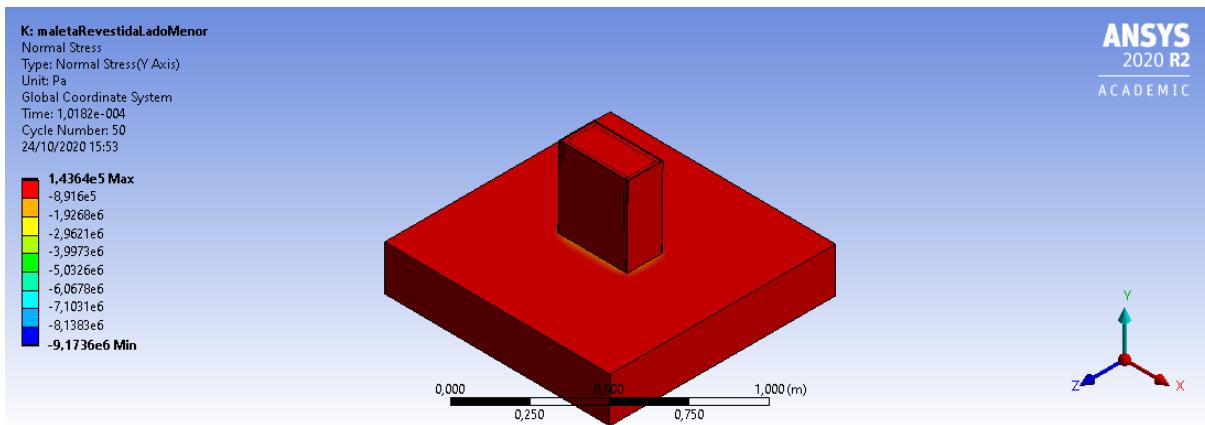


Figura 123 – Tensão normal Y da maleta revestida do sistema de controle em queda lateral

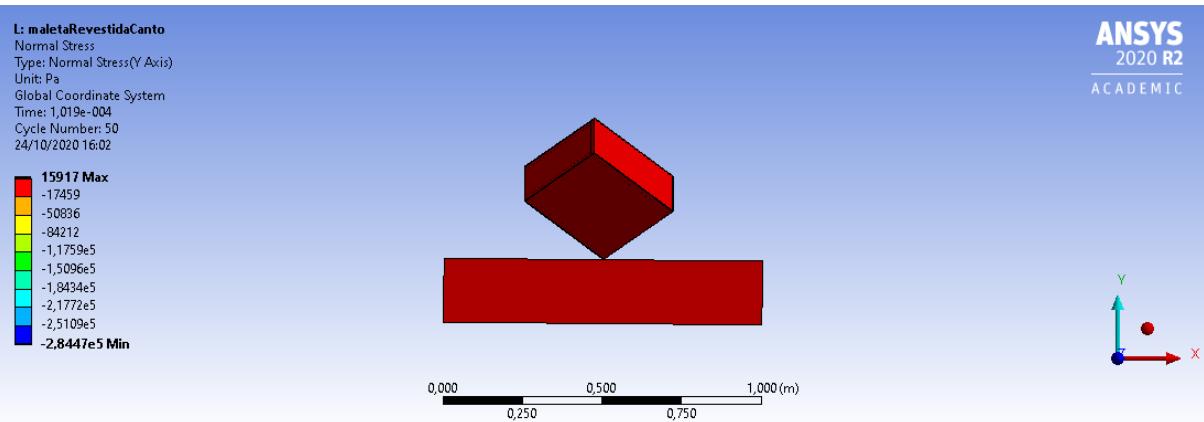


Figura 124 – Tensão normal Y da maleta revestida do sistema de controle em queda inclinada

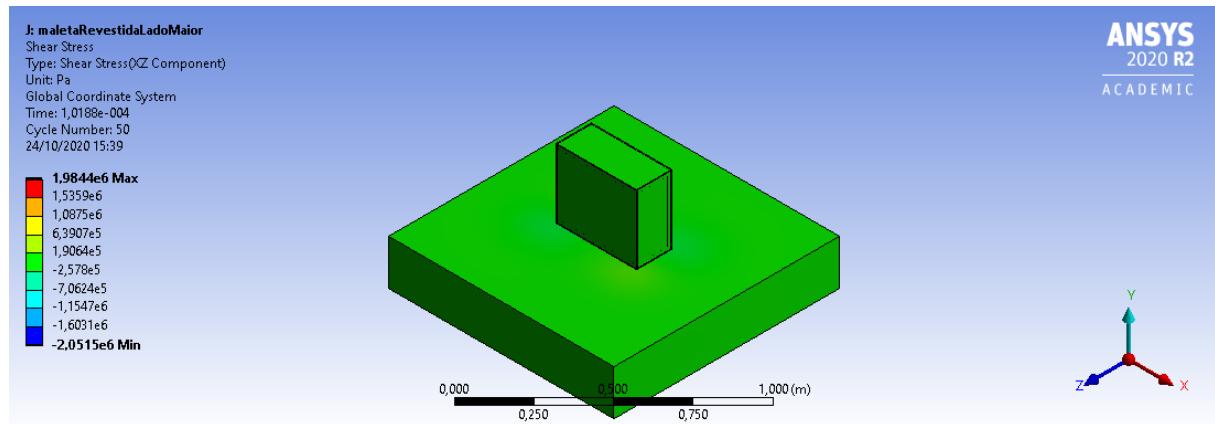


Figura 125 – Tensão de cisalhamento no plano XZ da maleta revestida do sistema de controle em queda direta

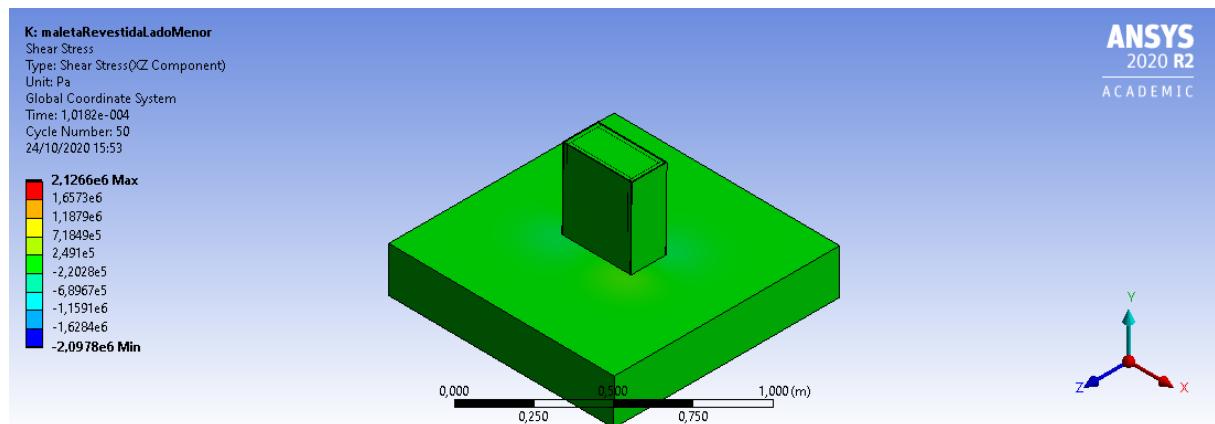


Figura 126 – Tensão de cisalhamento no plano XZ da maleta revestida do sistema de controle em queda lateral

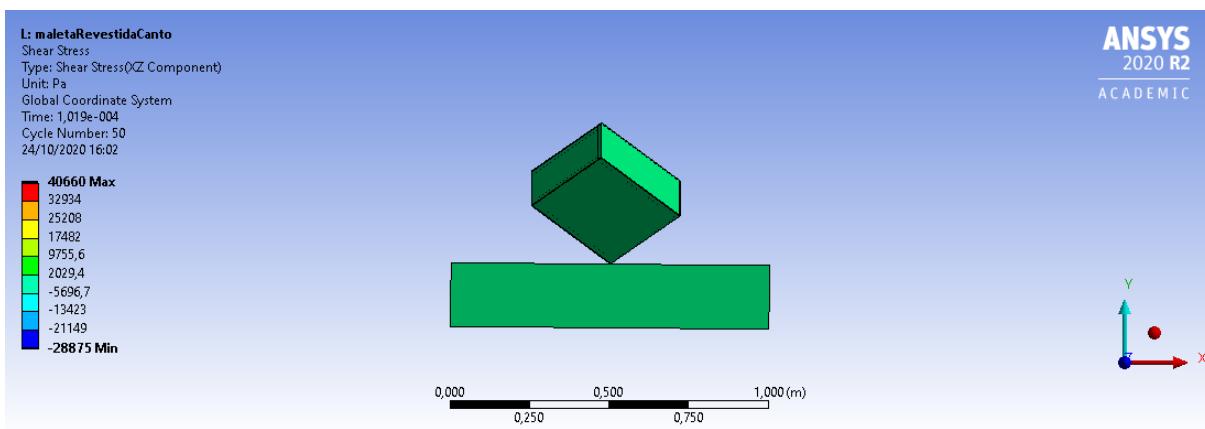


Figura 127 – Tensão de cisalhamento no plano XZ da maleta revestida do sistema de controle em queda inclinada

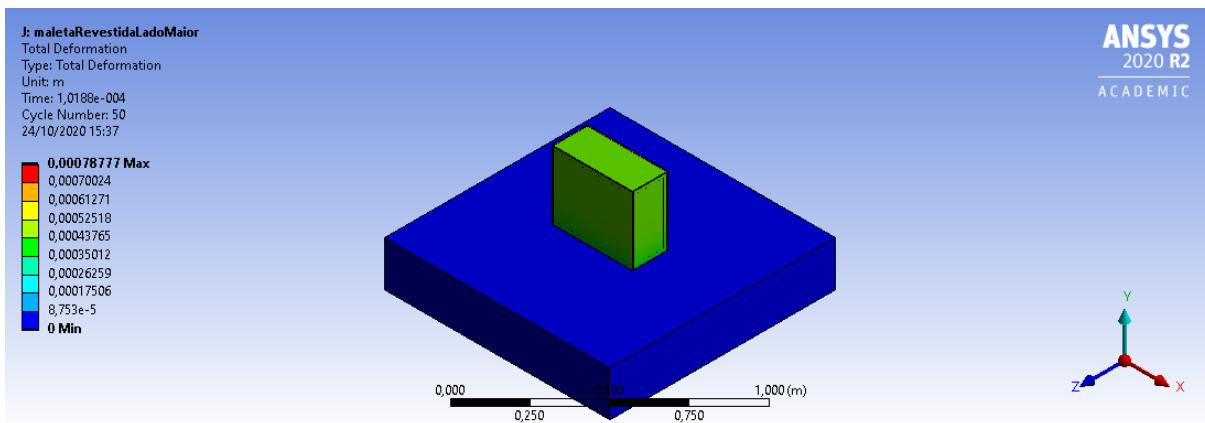


Figura 128 – Deformação da maleta revestida do sistema de controle em queda direta

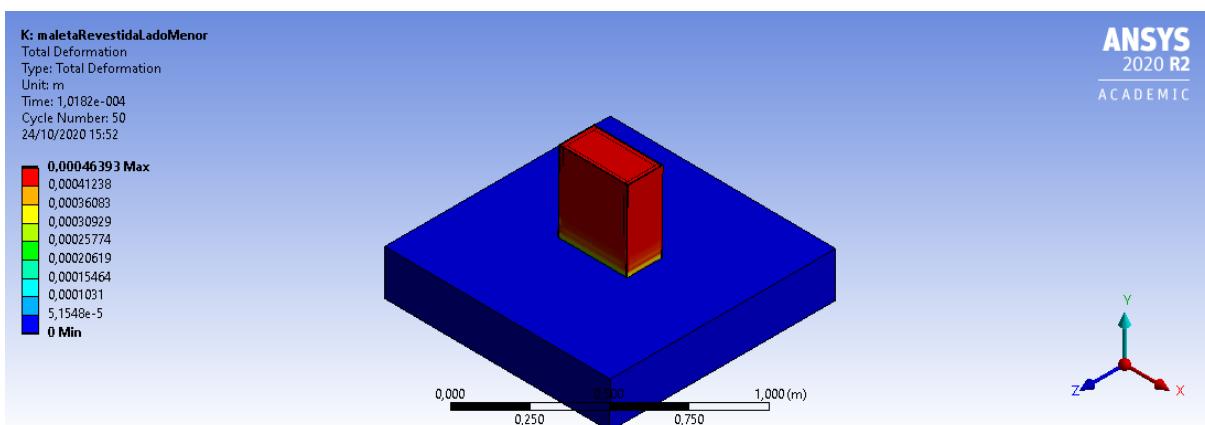


Figura 129 – Deformação da maleta revestida do sistema de controle em queda lateral

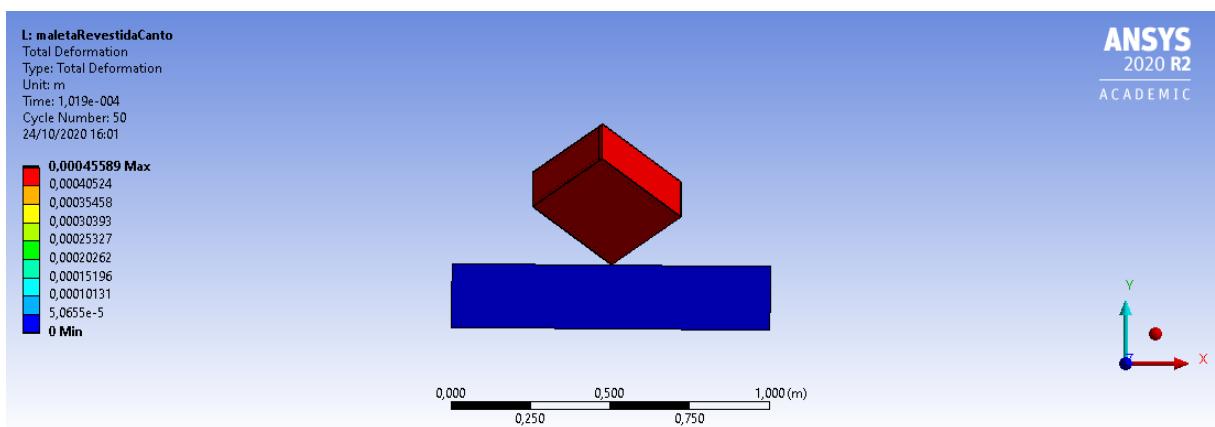


Figura 130 – Deformação da maleta revestida do sistema de controle em queda inclinada



# APÊNDICE G – Registro de alterações

Tópico de Referência	Descrição da Alteração
Seção 2.2.2	Estudo sobre as dificuldades de aplicar Aprendizado de Máquina no projeto.
Seção 2.3.2.3	Adição de mais uma célula de carga para medição do peso do foguete.

Tabela 16 – Lista de alterações significativas do projeto.



# APÊNDICE H – Autoavaliação

- **Nome: Augusto Moreno Vilarins**

- Refinamento da definição do produto
- Levantamento de requisitos
- Storytelling
- Protótipo de baixa fidelidade
- Wireframe
- Reuniões de alinhamento com o cliente
- Protótipo de média fidelidade
- Auxílio na elaboração do documento do Ponto de Controle 2

- **Nome: Artur Cardoso de Almeida**

- Dimensionamento da estrutura da Maleta 01 - GCS.
- Dimensionamento da estrutura da Maleta 02 - Abastecimento.
- Criação dos CADS das maletas.
- Criação dos desenhos técnicos das estruturas.
- Alinhamento sobre a disposição dos componentes da central de controle com o grupo de eletrônica.
- Renderização da maleta GCS e da maleta de abastecimento.
- Pesquisa de custo para fabricação da maleta.
- Auxílio na escrita do documento do Ponto de Controle 2 .

- **Nome: Diogo Filipe Sens**

- dimensionamento dos atuadores de abertura das válvulas.
- Levantamento das características dos materiais escolhidos para a estrutura das maletas.
- Pesquisa e escolha dos materiais para revestimentos das maletas.
- Simulação por métodos de elementos finitos do choque das maletas em queda de 1m.
- Alinhamento do diagrama lógico do sistema de alimentação.
- Revisão geral do documento.

- **Nome: Douglas Alves Brandão**

- Definição dos requisitos da estrutura utilizada no protótipo.
- Definição dos possíveis materiais a serem utilizados na construção da Ground Station.
- Auxílio na elaboração dos CADs da maleta.
- Detalhamento das características dos materiais a serem utilizados na construção da Ground Station.
- Auxílio na modelagem do sistema de abastecimento.
- Auxílio na simulação do sistema de abastecimento no software Simulink/Matlab.
- Definição dos parâmetros do sistema de abastecimento.
- Auxílio na elaboração do documento do Ponto de Controle 2.

- **Nome: Gustavo Cavalcante Linhares**

- Gerenciamento e acompanhamento das atividades do grupo de eletrônica
- Detalhamento da solução de hardware da interface do usuário
- Alinhamento com os gerentes sobre as soluções tomadas e sobre o desenvolvimento do projeto
- Alinhamento entre eletrônica, sub áreas do projeto e o Stakeholder sobre as soluções que possuem impacto no trabalho em mais de um grupo dentro do projeto
- Criação de diagrama esquemático e PCB da central de controle
- Alinhamento sobre a disposição dos componentes da central de controle com o grupo de estrutura
- Revisão da documentação do PC2

- **Nome: Francisco Matheus Fernandes Gomes**

- Diagramas esquemático do circuito dentro do foguete e confecção do projeto de PCB do mesmo.
- Criação do diagrama de blocos do abastecimento do projeto e no auxílio do diagrama geral.
- Auxílio na edição e revisão do Ponto de Controle 2.
- Auxílio na definição da solução e fluxo de projeto do subgrupo da Eletrônica.
- Pesquisa das bibliotecas necessárias para implementação do uso da comunicação LoRa

- Auxílio na definição da solução de acionamento e controle eletrônico das válvulas internas e externas ao foguete.

- **Nome: Gabriela Alves da Gama**

- Todo o desenho da arquitetura do software
- Ajustes no que foi pensado até o PC1
- Auxílio dos diagramas no documento
- Documentação de toda a arquitetura
- Pesquisa sobre o funcionamento do JavaScript a nível de Backend
- Pesquisa sobre comunicação entre client e server
- Pesquisa de qual melhor arquitetura para o projeto
- Planejamento da construção da parte técnica do software
- Pesquisa sobre as melhores ferramentas
- Decisão sobre as ferramentas que serão usadas no desenvolvimento

- **Nome: Isaque Alves de Lima**

- Gerenciamento de riscos do projeto;
- Direcionamento nas reuniões;
- Apoio no alinhamento entre as áreas do projeto;
- Auxílio na edição e revisão do Ponto de Controle 2;
- Alinhamento e acompanhamento das atividades do projeto;
- Justificativa de não usar Aprendizado de Máquina;
- Definição da arquitetura;
- Diagrama de representação da arquitetura;
- Diagrama de sequência da solução;
- Modelagem dos dados (Conceitual e Lógico);
- Atualização das metas e restrições da arquitetura;
- Revisão das atividades de software.

- **Nome: João Henrique Egewarth**

- Gerenciamento e acompanhamento das atividades do grupo de software;
- Reuniões com clientes;
- Auxílio na edição e revisão do Ponto de Controle 2;

- Alinhamento e acompanhamento das atividades do projeto;
- Refinamento da definição do produto;
- Levantamento de requisitos;
- Mapa de requisitos;
- Wireframe;
- Protótipo de média fidelidade;
- Revisão das atividades de software;
- Argumentação teórica sobre as atividades de produto propostas;
- Storytelling;
- Criação de arte para apresentação.

- **Nome: Luísa Prospero de Carvalho silva**

- Auxilio na elaboração do documento do Ponto de Controle 2.
- Alinhamento da solução com o grupo de eletrônica.
- Confecção do diagrama eletro-mecânico do sistema de alimentação.
- caracterização técnica dos componentes de abastecimento.
- Modelagem do sistema de abastecimento.
- Simulação do sistema de abastecimento no software Simulink/Matlab.
- Auxílio na definição dos parâmetros do sistema de abastecimento.
- definição da metodologia e dos blocos a serem usados na simulação hidráulica.
- Gerenciamento e acompanhamento das atividades do grupo de estrutura e energia.
- Alinhamento com os gerentes sobre as soluções tomadas e sobre o desenvolvimento do projeto.
- Revisão da documentação do PC2.
- Definição da solução e fluxo de projeto do subgrupo de estrutura.
- Pesquisa das bibliotecas necessárias para implementação da simulação mecanica.
- Auxílio na definição da solução de acionamento das válvulas externas ao foguete.

- **Nome: Milena Martins Magalhães**

- Dimensionamento das baterias para alimentação dos sistemas
- Pesquisa de fabricantes e modelos de baterias

- Definição das baterias
- Pesquisa do carregador de bateria
- Confecção do circuito do carregador no Proteus
- Simulação do circuito do carregador no Proteus
- Dimensionamento dos condutores
- Auxílio na edição e revisão do documento do Ponto de Controle 2

- **Nome: Misael de Souza Andrade**

- Criação do Diagrama esquemático do circuito da base de lançamento e confecção do projeto de PCB do mesmo.
- Definição dos protocolos de comunicação e pinagem entre os sensores e micro-controladores.
- Pesquisa das bibliotecas necessárias para implementação do uso dos sensores.
- Auxílio na definição da solução de acionamento e controle eletrônico das válvulas internas e externas ao foguete.
- Auxílio na definição da solução e fluxo de projeto do subgrupo da Eletrônica.
- Auxílio na edição e revisão do Ponto de Controle 2.

- **Nome: Thainá Rodrigues Fernandes**

- Cálculo dos parâmetros do ignitor
- Dimensionamento das baterias para alimentação dos sistemas
- Pesquisa de fabricantes e modelos de baterias
- Definição das baterias
- Simulação do circuito do carregador no Proteus
- Atualização dos custos dos componentes do sistema de alimentação
- Elaboração dos diagramas em blocos dos sistemas de controle e da base
- Elaboração dos diagramas unifilares dos sistemas de controle e da base
- Auxílio na edição e revisão do documento do Ponto de Controle 2



## Anexos



## ANEXO A – Elementos do sistema de alimentação



(a) Tanque de abastecimento



(b) Tubo flexível

Figura 131 – Tanque de abastecimento e Tubo flexível



(a) Válvula esfera



(b) Válvula anti-retorno

Figura 132 – Válvulas



(a) Conector T



(b) Conector rápido

Figura 133 – Conectores

**Datasheet**

# Stainless Steel Manual Ball Valve

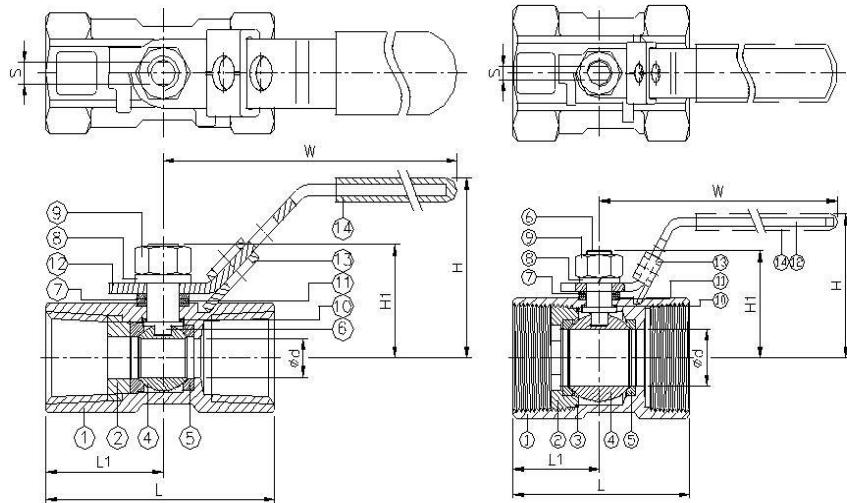
RS Stock number [499-2795](#)

**Features:**

Reduced-bore quarter-turn stainless steel ball valve.  
ASTM A351-CF8M cast stainless steel body, ball and spindle material 316, handle 304, RTFE ball seal  
Lockable operating lever with thermally insulating vinyl sleeve  
Blow-out proof stem with PTFE seal  
Maximum operating temperature 232°C (450°F)  
Anti-static Device (option)  
Locking device  
Thread Type – ASME B1.20.1 (NPT), DIN2999 & BS21, ISO7/1 & EN10226

**Specifications:**

Attachment Type: Threaded  
Ball Material: Stainless Steel  
Body Material: Stainless Steel  
Handle Material: Stainless Steel  
Maximum Working Pressure: 68 bar  
Thread Size: ½ in  
Thread Standard: BSPP  
Threaded Connection: ½ in BSPP


**Figure 1**

ITEM	PARTS	MATERIAL
1	BODY	ASTM A351-CF8M
2	RETAINER	ASTM A351-CF8M
3	BODY SEAL	PTFE
4	BALL	ASTM A351-CF8M
5	BALL SEAT	PTFE / RTFE
6	STEM	ASTM A276-316
7	FLAT WASHER	AISI 304
8	SPRING WASHER	AISI 304
9	STEM NUT	AISI 304
10	THRUST WASHER	PTFE
11	PACKING	PTFE
12	HANDLE	STAINLESS STEEL
13	LATCH LOCK	STAINLESS STEEL
14	HANDLE SLEEVE	PVC

**Measurements:**

DN	d	L	L1	H	H1	W	S	Torque (N-m)	Weight (kg)
15	9	56.5	29	40.6	26.1	94.7	5	1.2	0.2

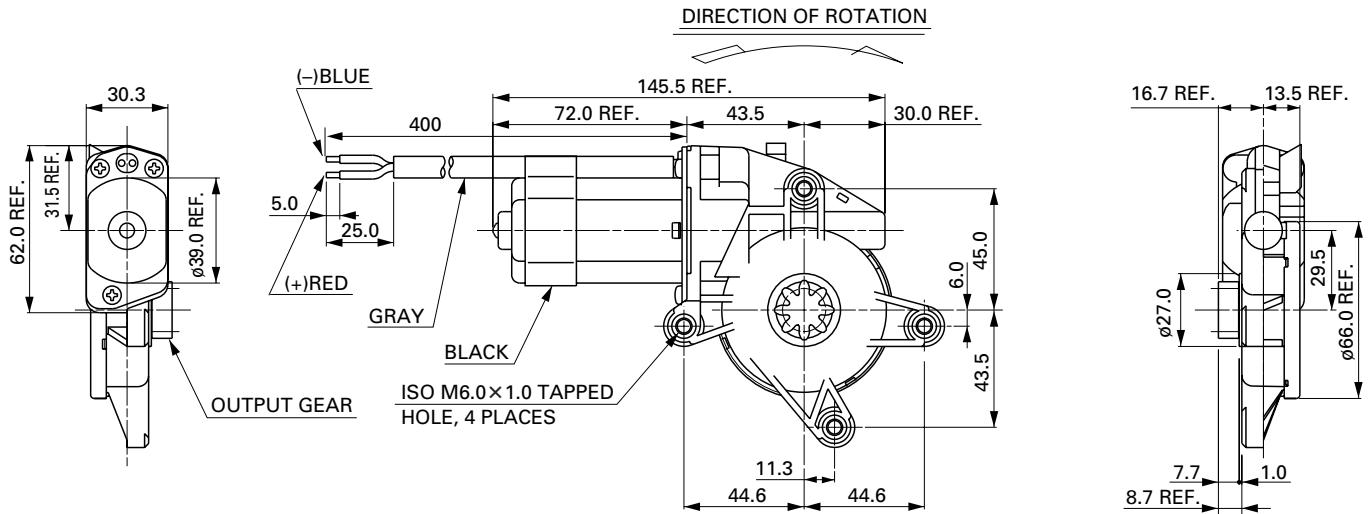
All measurements given in the above table are given in mm unless otherwise stated. These measurements are for Figure 1 above.



## Distinctive Features

- The drive motor is designed to be the compact sized motor offered for power window applications, measuring 29mm thick and 39mm across the diameter.
  - This motor is designed with water proof construction.

UNIT: MILLIMETERS



WEIGHT: 520g (APPROX)

JC/LC-578VA-4720

12.0V

