



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

## ***PocketQube para Educação Básica***

Autores: Andrew Souza, Blenda Rodrigues, Danyllo Lopes,  
Gabriel Manso, Ícaro Oliveira, Laura Sousa, Leonardo Julio,  
Miguel Pimentel, Rafael Ribeiro, Victor Baptista, Victor  
Gomide, William Silva

Orientadores: Alex Reis, José Felicio, Rhander Viana, Ricardo  
Chaim, Paolo Gessini

Brasília, DF

2020





# Listas de ilustrações

Figura 1 – Pontuação do PISA 2018 dos países latino-americanos para a área de ciência. Fonte OCDE.	8
Figura 2 – Pontuação do PISA 2018 dos países latino-americanos para a área de matemática. Fonte OCDE.	9
Figura 3 – Estrutura analítica do projeto.	13
Figura 4 – Diagrama de integrações.	13
Figura 5 – Gráfico de riscos	17
Figura 6 – Comparação entre alguns modelos de sensores.	18
Figura 7 – Diagrama de funcionamento de um microcomputador <i>Raspberry Pi</i> em um satélite.	20
Figura 8 – Esquemático de pinos <i>ESP32Lorawan</i> . Fonte: UsinaInfo.	22
Figura 9 – Modelo do sensor Bme280.	24
Figura 10 – Modelo do MICS-6814.	26
Figura 11 – Diagrama de blocos MPU6050	27
Figura 12 – MPU6050.	28
Figura 13 – Esquemático colorido mostrando os sensores do <i>Payload</i> .	29
Figura 14 – Esquemático padrão mostrando os sensores do <i>Payload</i> .	29
Figura 15 – Esquemático do PCB mostrando os sensores do <i>Payload</i> .	30
Figura 16 – Diagrama de Funcionamento: telemetria, rastreamento, e comando.	31
Figura 17 – Módulo do GPS NEO-6M.	33
Figura 18 – Diagrama: Sistema de funcionamento de uma Ground Station	34
Figura 19 – Fluxograma do <i>EPS</i> . Fonte: Adaptado Céspedes e Escobar (2018).	37
Figura 20 – Arquitetura do subsistema de energia.	38
Figura 21 – Topologia de um sistema de potência.	45
Figura 22 – Diferentes técnicas de Regulação de Barramento aplicadas à topologias do tipo DET e PPT. Fonte: (PAULA; MAGALHÃES, 2019).	47
Figura 23 – Metodologia para dimensionamento do painel solar. Fonte: Adaptado de De (PAULA; MAGALHÃES, 2019) apud (WERTZ; LARSON, 1999).	50
Figura 24 – Dimensões da Célula XTE-SF Spectrolab. Fonte: Datasheet XTE-SF Spectrolab.	52
Figura 25 – Metodologia de cálculo para dimensionamento da bateria.	55
Figura 26 – Bateria de lítio polímero modelo SLPB 554374H da Kokam. Fonte: Kokam Fabricante.	56
Figura 27 – Especificações técnicas da célula de bateria SLP 554374H. Fonte: Kokam	57
Figura 28 – Característica de carga da bateria KOKAM SLPB554374H. Fonte: INPE.	60

Figura 29 – Taxa de descarga da bateria KOKAM SLPB554374H. Fonte: (THI-RION, 2009). . . . .	60
Figura 30 – Módulo conversor SD05CRMA. Fonte: DYKBmetered SD05CRMA. . . . .	61
Figura 31 – Conversor CC/CC – <i>Step Down</i> – LM2596. Fonte: Curto Circuito (2020). . . . .	63
Figura 32 – Diagrama do sistema de energia. . . . .	64
Figura 33 – Cabo Flexível Vermelho 20 AWG. Fonte: (ELETRÔNICA, 2020). . . . .	65
Figura 34 – Díodo 1N5819 tipo Schottky. Fonte (ELETRÔNICA, 2020). . . . .	67
Figura 35 – Esquemático do PCM da KOKAM. . . . .	68
Figura 36 – Configuração das células fotovoltaicas. . . . .	69
Figura 37 – String redundante para o painel solar do <i>PocketQube</i> para Educação Básica. . . . .	70
Figura 38 – Definição dos defeitos de teste. Adaptado de ECSS. . . . .	73
Figura 39 – Organização do <i>PocketQube</i> . . . . .	77
Figura 40 – Vista Isométrica <i>PocketQube</i> . . . . .	79
Figura 41 – Vista Frontal. . . . .	79
Figura 42 – Vista lateral. . . . .	80
Figura 43 – Vista Superior. . . . .	80
Figura 44 – Corte A-A. . . . .	81
Figura 45 – Resultado dos esforços do lançamento com uma carga de 200N. . . . .	83
Figura 46 – Simulação submetida à uma força de 200N. . . . .	85
Figura 47 – Estrutura submetida à vibração de 2209 Hz. . . . .	86
Figura 48 – Peça de acoplamento . . . . .	90
Figura 49 – <i>Pocketqube</i> acoplado ao drone . . . . .	91
Figura 50 – Diagrama de arquitetura. . . . .	95
Figura 51 – Dados enviados para a simulação em formato <i>JSON</i> . . . . .	96
Figura 52 – Diagrama de fluxo de dados. . . . .	98
Figura 53 – Diagrama de pacotes do servidor e cliente. . . . .	99
Figura 54 – Diagrama de fluxo de dados. . . . .	100
Figura 55 – Diagrama de sequência entre o sensor, broker e servidor. . . . .	101
Figura 56 – Diagrama de caso de uso . . . . .	102
Figura 57 – Diagrama NFR . . . . .	103
Figura 58 – Protótipo de alta fidelidade da tela de <i>dashboard</i> . . . . .	104
Figura 59 – Protótipo de alta fidelidade de detalhes dos sensores . . . . .	104
Figura 60 – Protótipo de alta fidelidade sobre informações do projeto . . . . .	105
Figura 61 – Protótipo de alta fidelidade da <i>launch screen</i> . . . . .	106
Figura 62 – Sistema de acoplamento do PocketQube ao drone Phantom 3. . . . .	108
Figura 63 – Subsistemas do PocketQube para Educação Básica. . . . .	108
Figura 64 – Estrutura do <i>PocketQube</i> com células solares. . . . .	109
Figura 65 – Estrutura do <i>PocketQube</i> com módulos acoplados. . . . .	110

Figura 66 – Diagrama de integração do PocketQube (A) . . . . .	110
Figura 67 – Diagrama de integração do PocketQube (B). . . . .	111
Figura 68 – Tela de principal . . . . .	112
Figura 69 – Dados dos sensores e informações sobre o satélite. . . . .	113
Figura 70 – Detalhes dos sensores . . . . .	113
Figura 71 – Informações tratadas e separadas em tópicos . . . . .	123
Figura 72 – Diagrama unifilar do sistema de potência e energia (EPS). . . . .	125
Figura 73 – Diagrama de blocos do sistema de potência e energia (EPS). . . . .	126
Figura 74 – Alocação do EPS dentro do PocketQube. . . . .	127
Figura 75 – Manual de Usuário (a) . . . . .	128
Figura 76 – Manual de Usuário (b) . . . . .	129
Figura 77 – Manual de Usuário (c) . . . . .	130
Figura 78 – Manual de Usuário (d) . . . . .	131
Figura 79 – Manual de Usuário (e) . . . . .	132
Figura 80 – Manual de Usuário (f) . . . . .	133
Figura 81 – Manual de Usuário (g) . . . . .	134
Figura 82 – Manual de Usuário (h) . . . . .	135
Figura 83 – Manual de Usuário (i) . . . . .	136
Figura 84 – Manual de Usuário (j) . . . . .	137
Figura 85 – Manual de Usuário (k) . . . . .	138
Figura 86 – Manual de Usuário (l) . . . . .	139
Figura 87 – Manual de Usuário (m) . . . . .	140
Figura 88 – Manual de Usuário (n) . . . . .	141
Figura 89 – Manual de Usuário (o) . . . . .	142
Figura 90 – Manual de Usuário (p) . . . . .	143
Figura 91 – Manual de Usuário (q) . . . . .	144
Figura 92 – Manual de Usuário (r) . . . . .	145
Figura 93 – Manual de Usuário (s) . . . . .	146
Figura 94 – Manual de Usuário (t) . . . . .	147
Figura 95 – Lista de Materiais usados no projeto . . . . .	148
Figura 96 – Vista Explodida . . . . .	148
Figura 97 – Chapa Base. . . . .	149
Figura 98 – Chapa . . . . .	149
Figura 99 – Chapa Base superior . . . . .	150
Figura 100 – Chapa Sistema de energia . . . . .	150
Figura 101 – Chapa lateral superior . . . . .	151
Figura 102 – Chapa base superior . . . . .	151
Figura 103 – Orelha . . . . .	152
Figura 104 – Estrutura da base . . . . .	152

# Sumário

<b>1</b>	<b>TERMO DE ABERTURA DO PROJETO . . . . .</b>	<b>7</b>
1.1	<b>Contextualização . . . . .</b>	<b>7</b>
1.2	<b>Justificativa . . . . .</b>	<b>8</b>
1.3	<b>Objetivos . . . . .</b>	<b>10</b>
1.3.1	Objetivo Geral . . . . .	11
1.3.2	Objetivos Específicos . . . . .	11
1.3.3	Lista É/Não É . . . . .	11
1.4	<b>Requisitos gerais para o projeto . . . . .</b>	<b>11</b>
1.5	<b>Estrutura Analítica do Projeto (EAP) . . . . .</b>	<b>13</b>
1.6	<b>Equipe . . . . .</b>	<b>14</b>
1.7	<b>Cronograma de atividades . . . . .</b>	<b>15</b>
1.8	<b>Custos do projeto . . . . .</b>	<b>16</b>
1.9	<b>Riscos . . . . .</b>	<b>17</b>
<b>2</b>	<b>SUBSISTEMAS . . . . .</b>	<b>18</b>
2.1	<b>Eletrônica . . . . .</b>	<b>18</b>
2.1.1	Problemática do projeto . . . . .	18
2.1.2	<i>On Board Data Handling (OBDH)</i> . . . . .	18
2.1.3	Descrição geral da <i>ESP32LoraWan</i> . . . . .	20
2.1.4	Utilidade para o projeto . . . . .	21
2.1.5	<i>Payload</i> . . . . .	22
2.1.5.1	Sensor de Umidade, Temperatura e Pressão . . . . .	22
2.1.5.2	Sensor de Qualidade do Ar . . . . .	25
2.1.5.3	Giroscópio e Acelerômetro . . . . .	26
2.1.6	Conexão do <i>Payload</i> com o <i>OBDH</i> . . . . .	28
2.1.7	Sistemas de Telemetria, Rastreamento e Comando (TT&C) . . . . .	30
2.1.8	Descrição geral do <i>GPS NEO-6M</i> . . . . .	31
2.1.9	Estação de solo . . . . .	33
2.1.10	Tecnologia <i>LoRa</i> . . . . .	34
2.1.10.1	<i>LoRaWAN</i> . . . . .	35
2.1.10.2	<i>Raspberry Pi</i> . . . . .	36
2.2	<b>Energia - <i>Electronic Power System (EPS)</i> . . . . .</b>	<b>37</b>
2.2.1	Visão geral do suprimento de energia e Requisitos . . . . .	38
2.2.2	Fonte de Energia . . . . .	38
2.2.2.1	Fonte de energia escolhida no contexto do projeto . . . . .	41

2.2.3	Armazenamento de Energia . . . . .	41
2.2.4	Regulação e Controle de Energia . . . . .	45
2.2.5	Distribuição de Energia . . . . .	47
2.2.6	Dimensionamento do EPS . . . . .	48
2.2.6.1	Dimensionamento do Subsistema de Armazenamento de Energia . . . . .	55
2.2.7	Dimensionamento do Subsistema de Regulação e Controle de Energia . . . . .	61
2.2.8	Distribuição de Energia e Redundâncias . . . . .	63
2.2.9	Tabela de custos do projeto para o EPS . . . . .	70
2.2.10	Materiais necessários para construção do EPS . . . . .	70
2.2.11	Diagramas do EPS . . . . .	71
2.2.12	Plano de testes e Validação . . . . .	71
2.2.12.1	Inspeção Visual . . . . .	72
2.2.12.2	Medição elétrica . . . . .	73
<b>2.3</b>	<b>Estrutura</b> . . . . .	<b>75</b>
2.3.1	Requisitos . . . . .	75
2.3.2	Objetivos Específicos . . . . .	75
2.3.3	Estrutura do <i>PocketQube</i> . . . . .	75
2.3.4	Materiais . . . . .	78
2.3.5	Desenho Técnico . . . . .	78
2.3.6	Testes e Validação . . . . .	81
2.3.6.1	Forças no lançamento . . . . .	82
2.3.6.2	Teste de impacto . . . . .	83
2.3.6.3	Vibração Aleatória . . . . .	85
2.3.7	Processo de Fabricação . . . . .	87
2.3.8	Sistema de lançamento . . . . .	87
2.3.9	Sistema de acoplamento ao Drone . . . . .	89
<b>2.4</b>	<b>Software</b> . . . . .	<b>92</b>
2.4.1	Contexto e Inovação . . . . .	92
2.4.2	Requisitos Funcionais e Não Funcionais . . . . .	93
2.4.3	Arquitetura do sistema - Servidor . . . . .	93
2.4.4	<i>Front-end</i> - Aplicativo <i>Mobile</i> . . . . .	98
2.4.5	Estrutura de Pacotes . . . . .	99
2.4.6	Diagramas . . . . .	100
2.4.7	Arquitetura da Informação . . . . .	103
<b>3</b>	<b>INTEGRAÇÃO</b> . . . . .	<b>107</b>
<b>3.1</b>	<b>Acoplamento de Subsistemas à Estrutura</b> . . . . .	<b>108</b>
<b>3.2</b>	<b>Comunicação - <i>PocketQube</i> e Estação de Solo</b> . . . . .	<b>111</b>
<b>3.3</b>	<b>Interface com o Usuário</b> . . . . .	<b>112</b>

<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>114</b>
<b>4 APÊNDICE</b>	<b>119</b>
<b>4.1 Apêndice 1 - Decisões da Arquitetura de Software</b>	<b>119</b>
4.1.1 Arquitetura cliente-servidor	119
4.1.2 Arquitetura microsserviços	120
4.1.3 <i>MQTT - Message Queue Telemetry Transport</i>	120
4.1.4 Experiência do Usuário e Decisão da Tecnologia do Cliente	121
<b>4.2 Apêndice 2 - Prova de Conceito (PDC)</b>	<b>122</b>
4.2.1 <i>Back-end</i> : comunicação <i>broker/server</i> e <i>server/front-end</i>	122
4.2.2 Simulação: comunicação satélite/ <i>broker</i>	122
4.2.3 Testes: verificação de contrato de comunicação do formato de dados	123
4.2.4 <i>Front-end</i> : comunicação <i>front-end/server</i>	123
<b>4.3 Apêndice 3 - Guia de acessos</b>	<b>124</b>
<b>4.4 Apêndice 4 - Diagramas do EPS</b>	<b>125</b>
<b>4.5 Apêndice 5 - Manual de Usuário</b>	<b>128</b>
<b>4.6 Apêndice 6 - Desenho Técnico dos componentes do <i>PocketQube</i></b>	<b>148</b>

# 1 Termo de Abertura do Projeto

## 1.1 Contextualização

Historicamente, dentro do contexto espacial, os satélites demonstram a capacidade tecnológica de um país, sendo símbolos do início da corrida espacial. E com a evolução tecnológica os satélites passaram a ganhar funções mais específicas no dia-a-dia da população global, tornando-se mais robustos, tanto em estrutura quanto em funcionalidade. O fato dos satélites serem objetos muito grandes no início da corrida espacial fazia com que o espaço fosse de exclusividade de grandes países e governos.

No primeiro momento, entre 1955 e 1975 a disputa ocorria entre os Estados Unidos e União Soviética, onde o objetivo entre esses países era garantir o primeiro acesso ao espaço de diferentes formas. Após esse período, nasceu uma cooperação que passou a ser uma chave de acesso ao espaço. A Inglaterra, com suporte dos americanos, foi a terceira nação a acessar o espaço para colocar em órbita seu primeiro satélite.

Durante o período de cooperações para acesso ao espaço, agências espaciais surgiram pelo mundo em diversos países, incluindo o Brasil, e essa movimentação começou a pavimentar o caminho para o que hoje é chamado de *New Space*, um movimento que busca tornar o espaço mais democrático e acessível através da comercialização do espaço como conhecemos.

O *New Space* utilizou de ferramentas espaciais para construir alguns pilares, e também possibilitou a países sem nenhuma tradição espacial ter o acesso ao espaço utilizando satélites miniaturizados e também satélites amadores. É exatamente neste ponto onde o presente trabalho entra, na possibilidade de se construir a miniatura de um *PocketQube*, voltado para a educação básica, com funcionalidade similar a de um satélite.

A proposta é que, assim como o processo de democratização do acesso ao espaço tenha acontecido ao redor do mundo, da mesma maneira o ensino sobre a construção e a funcionalidade, bem como operação de satélites miniaturizados, seja também estudado por alunos do ensino médio. Dessa forma, provocar nos alunos o desejo de conhecer mais sobre a corrida espacial, mas além disso, desenvolver neles habilidades no campo de ensino da Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática (STEM).

O desenvolvimento tecnológico avançado consequente dos interesses políticos e econômicos, além de agendas globais é o que vem produzindo transformações de longo alcance na esfera educacional em todas as modalidades educativas mundialmente (BALL, 2010). Entretanto, para acontecer desenvolvimento é necessário preparar estudantes com habilidades para a nova economia. E esse preparo se dá focando em soluções de problemas

e pensamento crítico, aliados ao ensino de Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática (STEM) ([DIBELLO, 2016](#)).

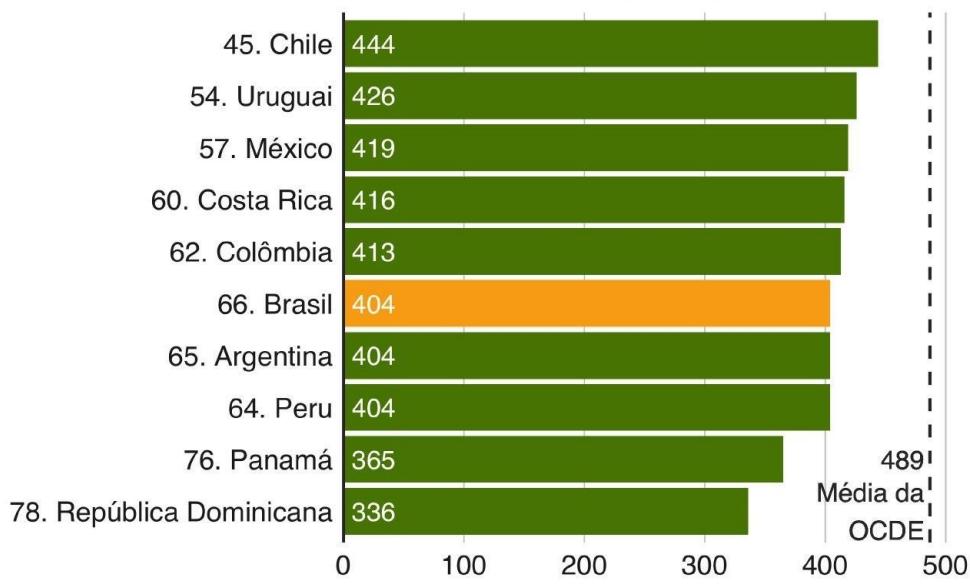
## 1.2 Justificativa

A educação no Brasil apresenta números alarmantes. Segundo o ranking do Programa Internacional de Avaliação de Alunos (PISA), os estudantes brasileiros estão estacionados em relação ao aprendizado nas áreas de ciência e matemática, onde esse mesmo desempenho historicamente está classificado entre as últimas posições, com média semelhante aos países menos desenvolvidos do ranking ([IDOETA, 2019](#)).

Para a qualidade da educação no Brasil quando comparada a outros países é péssima. ([SASSAKI et al., 2018](#)) Mesmo tendo Produto Interno Bruto (PIB) e renda per capita maior que desses países, esses dados podem ser traduzidos como: O investimento em educação no Brasil não apresenta bom desempenho, e a educação brasileira é falha. A Figura 1 apresenta a pontuação para a área de ciência dos países latino-americanos participantes do processo avaliativo do PISA 2018.

### Provas Pisa 2018: ciência

Resultados dos países latino-americanos participantes



Fonte: OCDE

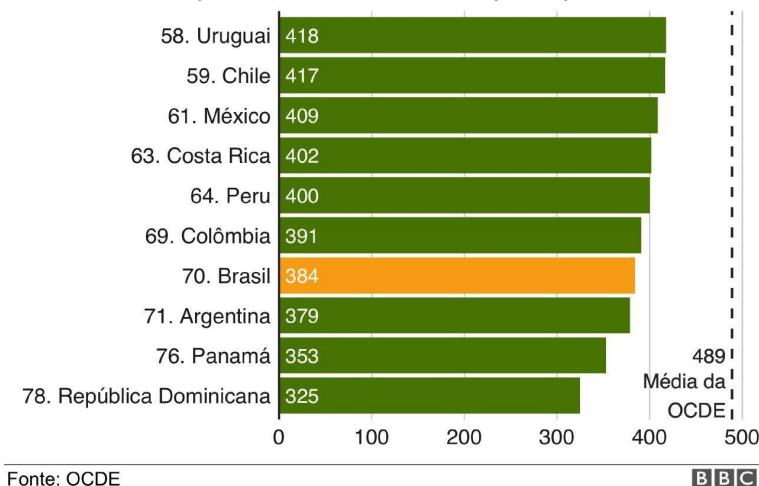
BBC

Figura 1 – Pontuação do PISA 2018 dos países latino-americanos para a área de ciência.  
Fonte OCDE.

Da mesma maneira e até com uma colocação ainda pior, o Brasil ficou na colocação 70<sup>a</sup> quando se tratou da área de matemática, como é possível ser observado na Figura 2.

### Provas Pisa 2018: matemática

Resultados dos países latino-americanos participantes



Fonte: OCDE

BBC

Figura 2 – Pontuação do PISA 2018 dos países latino-americanos para a área de matemática. Fonte OCDE.

Muitos fatores são apontados como causa desse desempenho, desde infraestrutura de ensino até mesmo ao modelo de ensino utilizado no Brasil, fatores que elevam a evasão na educação básica do Brasil, onde:

- 40% dos alunos da escola pública não possuem computador em casa; ([QUASE...](#), )
- 60% dos alunos do 9º ano não sabem calcular porcentagem; ([FREITAS, 2019](#))
- Somente 12% das escolas brasileiras têm laboratório de ciência; ([LEMANN, 2017](#))
- 80% alunos concluintes do ensino fundamental não aprenderam o adequado em matemática; ([QEDU, 2017](#))
- 82,7% das escolas que oferecem ensino médio contam com laboratórios de informática. ([QEDU, 2017](#))

Em geral, os estudantes não têm acesso a laboratórios mais específicos para cada área, exceto a computadores onde o acesso é limitado a poucos horários por semana. O ensino público não apresenta estímulos suficientes para o aprendizado de Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática (STEM).

No cenário internacional o ensino baseado em prática através do STEM associado à liberdade de pensamento e criação pela arte têm sido uma das principais ferramentas de engajamento educacional. ([HALLINEN, 2019](#)) O STEAM, STEM associado com Artes, é uma ferramenta educacional que consiste em 6 passos de aprendizado:

- Foco: Nesta etapa o aluno é questionado sobre problemas a serem resolvidos;

- Detalhamento: o aluno é instigado a pensar em possíveis soluções para o problema que foi questionado;
- Descoberta: o aluno explora soluções já existente e pensa em maneiras de criar novas soluções;
- Aplicação: o aluno começa a aplicar sua solução para os problemas propostos;
- Apresentação: o aluno expõe sua solução para o feedback dos outros estudantes;
- Conexão: os alunos fazem conexões dos feedbacks recebidos e trabalham em conjunto para criar uma solução geral ([INTEGRATION; STEAM, 2017](#)).

Durante esse ciclo, o estudante consegue se engajar em todos os passos do processo de aprendizado através de um pensamento mais orientado para solução de problemas, pensamento crítico e trabalho em equipe. Quando comparado com projeto de missão espacial, o STEAM e o planejamento de missão da Agência Espacial Europeia (ESA) compartilham muitos passos comuns. São eles: Investimento no conhecimento básico do espaço, contato com as primeiras ideias, design da missão, desenvolvimento de novas tecnologias, qualificação espacial, definição das estações de solo, centros espaciais, testagem do veículo espacial, lançamento e controle da missão e compartilhamento do conhecimento. ([ESA, 2019](#))

Do 4º ao 8º passo a ideia é voltada para criação de estrutura física para o desenvolvimento dos projetos espaciais de altíssimo porte, ou seja, veículos espaciais para missões do espaço profundo ou satélites com *payload* enorme.

Quando introduzido na realidade do *New Space* os passos 4 até 8 são substituídos por processos em menor escala e colaborativos, chegando ao ponto se tornarem produtos de prateleira.

Dessa forma, associado à ideia do *New Space*, é que este trabalho se justifica: é possível trazer a realidade dos satélites para dentro de uma sala de aula, através da miniaturização dos projetos espaciais, ou seja, utilizando pequenos satélites, como o *PocketQube*, que são definidos por 1 unidade de cubo de 5cm de aresta. Os alunos receberão o kit modular para montarem seu próprio *PocketQube*, desde a estrutura física até a parte de energia, permeando vários dos conhecimentos da engenharia.

### 1.3 Objetivos

A seguir, são apresentados o Objetivo Geral, os Objetivos Específicos, bem como, a Lista É/Não É.

### 1.3.1 Objetivo Geral

Construir um simulador de satélite que será montado por alunos da educação básica no formato de um *PocketQube* que realizará uma missão meteorológica.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

A partir dos objetivos gerais, definiram-se os seguintes objetivos específicos:

- Lançar o *PocketQube* para a atmosfera acoplado a um drone;
- Mensurar dados de altitude, qualidade do ar, temperatura, pressão e umidade;
- Enviar dados coletados para o usuário.

### 1.3.3 Lista É/Não É

Foi descrito o que o projeto é e não é (Tabela 1), para guiar os próximos passos de definição mais específica de requisitos. Esta atividade auxilia o grupo a identificar o escopo, bem como as limitações do produto e o que realmente deve ser considerado ao longo do desenvolvimento do projeto.

É	Não é
É um simulador	Satélite orbital
Simulador de satélite	Balão meteorológico
Suspensão na atmosfera por um drone	Lançado em órbita
Simulador de satélite em formato <i>PocketQube</i>	Manual para montagem de um <i>PocketQube</i>
Posicionalmente controlado por um drone	Controlado por software corretor de trajetória
Realiza uma missão meteorológica	Capaz de capturar, transmitir ou enviar imagens
Estrutura suporta lançamento espacial	Capaz de operar em órbita

Tabela 1 – Lista É/Não É.

## 1.4 Requisitos gerais para o projeto

O grupo *PocketQube* para a educação básica propõe a criação de um kit modular de satélite miniaturizado para uma missão espacial. Também no projeto está incluso a criação de um *deployer*, e também um sistema de estação de solo.

Os alunos montarão o *PocketQube*, lançando-o na atmosfera através do acoplamento à um drone. Após isso os dados coletados serão acessados via aplicativo *mobile*

para posteriores trabalhos em qualquer área educacional, podendo serem usados a fins didáticos nas áreas de matemática, física, geografia e até mesmo biológica. Os dados compreendem altitude, qualidade do ar, temperatura, pressão e umidade.

Foram definidos os seguintes itens como requisitos gerais:

- Modularidade: O *PocketQube* deverá ser modularizado respeitando a facilidade nas montagens, o que implica em simplicidade para fazer a conexão dos sensores com a estrutura do satélite e a parte de suprimento de energia;
- Custo competitivo: Na escolha dos componentes do satélite, deve-se optar por componentes que satisfaçam todos os requisitos do projeto e possuam custo satisfatório para o contexto apresentado;
- Segurança: O consumidor final serão alunos de ensino médio e ensino fundamental, portanto o *PocketQube* necessita não ter partes pontiagudas, por exemplo, que possam causar danos de saúde para os usuários.
- Rapidez de montagem: É necessário que o processo de montagem possa ser executado durante o tempo de aula, sendo assim, o tempo de montagem não deve ultrapassar 2h.
- Facilidade de implementação: o *PocketQube* não deve depender dos recursos da escola para realizar suas funcionalidades. Deve ter boa mobilidade e facilidade de manuseio, sem a necessidade de equipamentos ou máquinas de manuseio/movimentação.
- Didática: a experiência de uso do produto deve ser simplificada, relacionando-a aos conteúdos já vistos pelo estudante, e evitando conceitos mais complexos, tais como cálculos de matemática avançada.
- Usabilidade: *PocketQube* e a plataforma de lançamento devem possuir formato ergonômico e superfície confortável;
- Modularidade: diversidade alta de *payloads*;
- *User eXperience*: A interface da estação de solo deve apresentar facilidade de uso e aprendizagem, disponibilizando os dados de forma clara e concisa, com um design agradável.
- Resistência: o produto deve ser resistente à falhas de manuseio, tais como queda de pequenas alturas e pressão feita pelas mãos.
- Autonomia de energia: deve ter autonomia para 2 horas de uso intermitente.

## 1.5 Estrutura Analítica do Projeto (EAP)

A Figura 3 apresenta a estrutura de acordo com a proposta definida.



Figura 3 – Estrutura analítica do projeto.

Com base na EAP, foi desenvolvido o diagrama de integrações do projetos, apresentado na Figura 4.

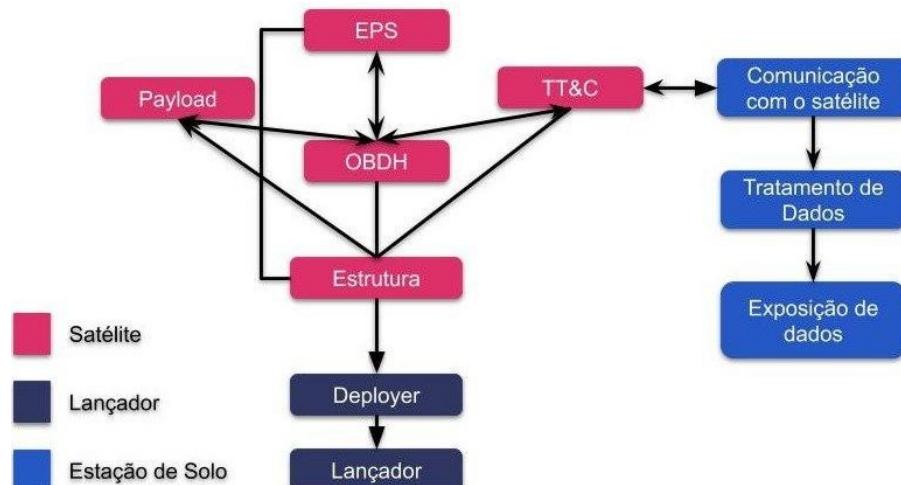


Figura 4 – Diagrama de integrações.

## 1.6 Equipe

A equipe que compõe o projeto, bem como cada função, foi definida como mostra a Tabela 2. Os coordenadores de frentes de trabalho foram divididos entre coordenação de software e coordenação de estrutura e energia.

Integrante	Engenharia	Cargo
Leonardo Julio	Aeroespacial	Diretor Geral
Victor Baptista	Aeroespacial	Desenvolvedor
Miguel Pimentel	Software	Coordenador Software
William Silva	Software	Desenvolvedor
Gabriel Manso	Software	Desenvolvedor
Ícaro de Oliveira	Software	Desenvolvedor
Victor Gomide	Software	Desenvolvedor
Andrew Souza	Software	Desenvolvedor
Rafael Ribeiro	Automotiva	Coordenador Estrutura e Energia
Danyollo Lopes	Energia	Desenvolvedor
Laura Sousa	Energia	Desenvolvedor
Blenda Rodrigues	Energia	Desenvolvedor

Tabela 2 – Integrantes e cargos atribuídos.

No decorrer do semestre os alunos Matheus Moreira da Silva Vieira e Bruno Paiva Alves, do curso de engenharia eletrônica, optaram por não seguir na disciplina Projeto Integrador 2. Sendo assim, o grupo PocketQube para Educação Básica não teve o suporte necessário da Engenharia Eletrônica no desenvolvimento final do projeto, fazendo com que os principais componentes da eletrônica neste relatório fossem ser referidos de maneira genérica:

- Placa Controladora: Refere-se ao desenvolvimento do sistema de on board data handling citado no relatório até o Ponto de Controle 2;
- Placa de missão: Refere-se à payload da missão que tem o foco de medir dados atmosférico como a temperatura, umidade e pressão atmosférica e também dados da qualidade do ar;
- Placa de determinação de atitude: Refere-se ao sistema que determina a posição do satélite em relação ao solo e em relação ao seu próprio corpo, tal componente é essencial em uma missão espacial;
- Estação de Solo: Componente do projeto responsável por fazer a comunicação entre o *PocketQube* e o servidor para apresentação do aplicativo.

## 1.7 Cronograma de atividades

O cronograma desenvolvido foi baseado no plano de ensino da disciplina. Com ele é possível organizar o desenvolvimento do projeto, bem como a distribuição das atividades por equipes. As tabelas abaixo demonstram os objetivos que deveriam ser alcançados em cada ponto de controle.

---

### Ponto de Controle 1

---

1. Definir um problema prático que possa ser resolvido utilizando conhecimentos multidisciplinares.
    - 1.1. Refinar o entendimento do problema a ser resolvido com conhecimentos de engenharias, seu escopo e abrangência;
    - 1.2. Refinar o problema a ser resolvido, a fim de identificar seus principais requisitos (ou objetivos) funcionais e não funcionais;
    - 1.3. Analisar a viabilidade técnica e financeira a partir de alguns requisitos básicos, como tempo, preço, desafios técnicos, etc.
  - 2 Conceber e detalhar os itens da arquitetura básica da solução a ser utilizada no projeto, envolvendo as diversas áreas de conhecimento;
    - 2.1 Descrever os requisitos a serem satisfeitos pelo projeto, assim como seus objetivos e regras de negócios
    - 2.2 Refinar a arquitetura da solução, considerando a identificação e descrição de todos os conteúdos teóricos a serem utilizados na solução
    - 2.3. Definir aspectos relacionados ao gerenciamento das atividades do projeto.
      - 2.3.1 Termo de Abertura do Projeto (TAP)
      - 2.3.2 Estrutura Analítica de Projeto (EAP)
      - 2.3.3 Tempo: Definição de atividades; Sequenciamento de atividades; Cronograma de atividades;
      - 2.3.4 Custos: Estimativa de custos e orçamentos para a realização do projeto;
      - 2.3.5 Recursos humanos: alocação dos recursos humanos nos subsistemas que compõe o projeto;
- 

Tabela 3 – Cronograma de atividades para o Ponto de Controle 1.

---

### Ponto de Controle 2

---

- 2.3.6 Riscos: Levantamento de riscos para a execução do projeto e avaliação do impacto; plano de contingências.
  3. Projeto de solução: modelagem e cálculos matemáticos, simulação, testes computacionais, etc.
    - 3.1 Desenhos mecânicos refinados
    - 3.2 Diagramas elétricos e eletrônicos do sistema
    - 3.3 diagramas de classes (se aplicado), diagramas de casos de uso, diagramas com protocolos de comunicação entre componentes do software
    - 3.4 plano de construção dos subsistemas
- 

Tabela 4 – Cronograma de atividades para o Ponto de Controle 2.

---

### Ponto de Controle 3

---

#### 4. Ciclo de Vida do Projeto

4.1 Lista de materiais completas, indicando as especificações detalhadas de cada material que compõe o projeto;

4.2 Plano de testes de subsistemas, para validação;

4.4 Plano de fabricação e montagem de subsistemas, com os respectivos desenhos técnicos detalhados.

4.5 Documentação completa e atualizada do projeto, incluindo diagrama de integração de subsistemas

4.6 Manual de montagem e uso da solução e plano de manutenções periódicas;

4.7 Vídeo de propaganda da solução, demonstrando a funcionalidade das soluções;

4.8 Link para download de repositórios com arquivos de trabalhos;

---

Tabela 5 – Cronograma de atividades para o Ponto de Controle 3.

## 1.8 Custos do projeto

Os custos foram levantados considerando cada frente de trabalho, bem como os materiais necessários para construção do *PockeQube*. A Tabela 6 apresenta o tipo de item escolhido, a quantidade que será utilizada do mesmo e também o valor unitário dentro do projeto e o valor total.

Item	Quantidade	Valor R\$	Total R\$
Placa Lora + Esp32 C/ Display	2	139,99	279,98
Oled Wifi Bluetooth 915MHz			
Sensor BME 280	1	25,00	25,00
Sensor Mics 6814	1	269,99	269,99
Sensor MPU 6050	1	16,90	16,90
Módulo Gps Ublox Gy-gps6mv2	1	62,99	62,99
Gy-neo6mv2 Arduino D			
Raspberry Pi3 Pi 3 Model B	1	419,00	419,00
Quadcore 1.2GHz			
Filamento Asa Branco 1,75mm	1	R 234,90	234,90
Poliuretano	1	140,00	140,00
Aluminio 6061-T6	1	35,95	35,95
Parafuso Allen M3	24	0,15	3,60
Porca	24	0,10	2,40
Bateria Kokam SLPB	1	132,24	132,24
Conversor DC/DC-Step	1	10,90	10,90
Down- LM2596			
Controlador de Carga			
SD05CRMA	1	54,72	54,72
Célula Solar Spectrolab XTE-SF	4	243,97	975,88
Total			2.664,45

Tabela 6 – Tabela de custos gerais do projeto.

## 1.9 Riscos

Após o andamento de 2 *milestones*, os riscos foram atualizados e a grande maioria teve um decréscimo no nível de risco ao projeto. Entretanto, devido a avaliação do PC1 como um todo, alguns riscos aumentaram. Dentre eles pode-se citar alguns: Probabilidade de aumento de conflito entre integrantes; atarafamento dos integrantes do grupo; e entrega perto do prazo final.

Segue o gráfico de avanço dos riscos em relação ao primeiro *milestone*, PC1.

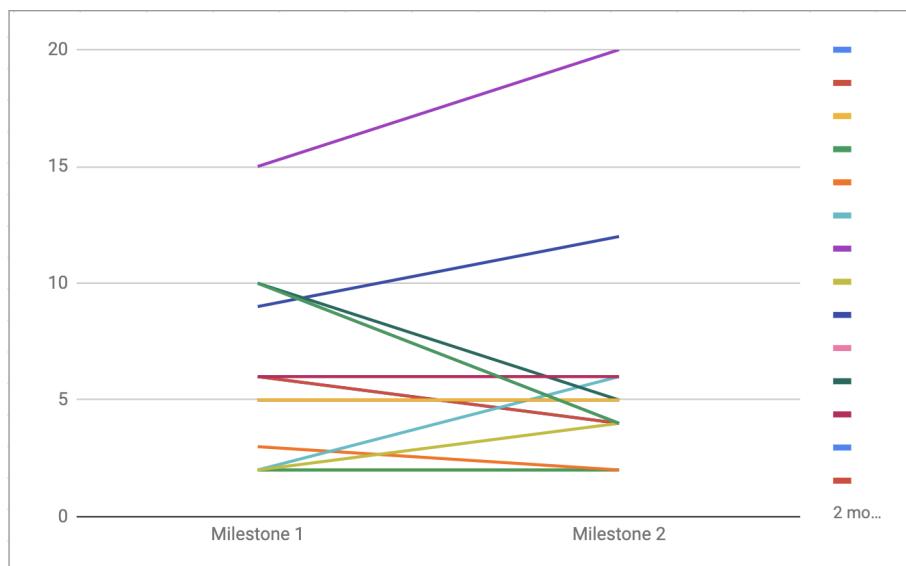


Figura 5 – Gráfico de riscos

Para visualizar todos os riscos do projeto, priorizados segue o link abaixo:

[https://docs.google.com/spreadsheets/d/1F9aQM6hXdaxNnZgQnCSxOQqUrg74\\_TRH9QDkEPjodU4/edit?usp=sharing](https://docs.google.com/spreadsheets/d/1F9aQM6hXdaxNnZgQnCSxOQqUrg74_TRH9QDkEPjodU4/edit?usp=sharing)

## 2 Subsistemas

### 2.1 Eletrônica

#### 2.1.1 Problemática do projeto

Os componentes eletrônicos são essenciais para a validação do projeto, visto que, ao se lançar o *PocketQube*, tanto na atmosfera quanto em ambiente espacial, há a necessidade de aferir diversos dados para a sua manutenção. Além disso o *PocketQube* terá a missão de recolher algumas informações para cumprir seu objetivo.

O subgrupo de eletrônica tem por objetivo trabalhar com o sistema embarcado de dados, carga útil, comunicação, tanto do *PocketQube* quanto da estação de solo, como apresentado no diagrama abaixo.

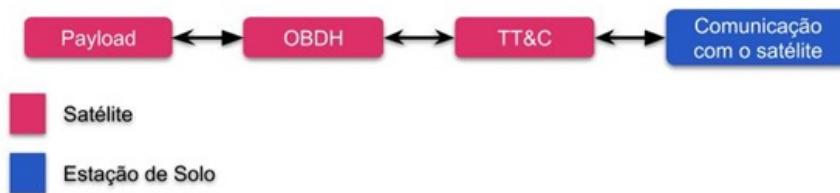


Figura 6 – Comparação entre alguns modelos de sensores.

#### 2.1.2 *On Board Data Handling (OBDH)*

O OBDH de um satélite funciona como o cérebro do satélite, pois através dele é feito todo o processamento das informações enviadas pela estação de solo. Os comandos dados pela missão, em missões espaciais robustas, o OBDH é responsável por:

- Recepção, correção e decodificação de comandos dos Sistemas de Telemetria, Rastreamento e Comando (TT&C);
- Envio de comando para os *payloads* e para o Electronic Power System (EPS), e sistema de controle de satélites;
- Armazenamento de comandos para tempo definido;
- Armazenamento de comando para posição definidas;
- Medição de valores discretos como temperatura, voltagem e outros;
- Coletar informações de barramento de dados seriais;
- Carregamentos de dados medidos em tempo real;

- Pré processamento de dados dos *payloads*;
- *Downlink* dos dados de telemetria pela TT&C;
- Gerenciamento e distribuição do sinal de hora.

Ou seja, ele atua como um diretor geral de um satélite. Pensando em modelos simplificados de satélites e voltando para educação o modelo pode ser trabalhado com microprocessadores ou microcomputadores.

Competições educacionais de satélite, como a *ESA Cansat Competition*, recomendam o uso de *Arduino UNO* para OBDH da missão espacial, que cabe perfeitamente no modelo de *Cansat*, 350mg de volume. Mas em sistemas menores como um *PocketQube* pode existir uma integração mais complexa, devido a relação direta com a estrutura do *PocketQube*.

Inicialmente o subgrupo de eletrônica levantou a possibilidade de utilizar uma *ESP32*. Nesse caso, no primeiro levantamento foi feito um comparativo entre o *Arduino*, *ESP32* e uma *Raspberry Pi*, já pensando em possibilidades para a estação de solo. Durante as comparações, foram feitas algumas análises em como seria a arquitetura do *OBDH* e as atribuições de cada computador de bordo. Caso fosse um microcomputador, como uma *Raspberry Pi*, o controle de criação de tarefas de coleta de dados poderia ser realizado no próprio *PocketQube*.

Porém isso continuaria demandando um servidor para tratar os dados na *Ground Station*. Com o microprocessador, essa gerência de tratamento de dados poderia ser feito no próprio servidor, com os microprocessadores servindo “*dummy components*”, apenas coletando e transmitindo os dados para a *Ground Station*. Foi utilizado como referência a iniciativa OpenOrbiter, que demonstra o funcionamento de um microcomputador *Raspberry Pi* em um satélite, como pode ser observado na Figura 7.

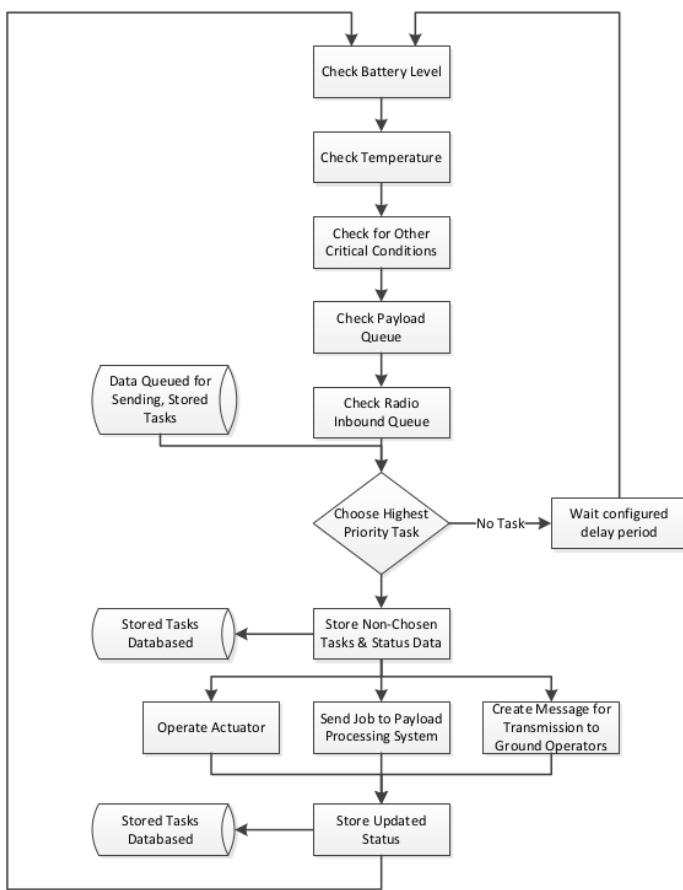


Figura 7 – Diagrama de funcionamento de um microcomputador *Raspberry Pi* em um satélite.

A definição de utilização seguirá os critérios definidos no escopo do projeto, principalmente na questão da integração do sistema e da facilidade de utilização do mesmo.

### 2.1.3 Descrição geral da *ESP32LoraWan*

Da fabricante chinesa *Espressif Systems*, a *ESP32Lorawan* é a solução mais integrada para aplicativos de *Wi-Fi + Bluetooth* da indústria com menos de 10 componentes. A *ESP32LoraWan* integra o interruptor da antena, *RF balun*, amplificador de potência, amplificador de recepção de baixo ruído, filtros, e módulos de gerenciamento de energia.

A solução ocupa uma área mínima de Placa de Circuito Impresso (PCB). *ESP32LoraWan* é projetado para aplicativos móveis e Internet das Coisas (IoT). Tem muitos recursos dos *chips* de baixo consumo de última geração, incluindo controle de *clock* de alta resolução, modos de energia e escalonamento de energia dinâmico. Apresenta um Coprocessador de Ultra-Baixo Consumo (ULP Coprocessor), que permite delegar algumas tarefas (simples) para execução enquanto os processadores principais estão desligados. Ele possui suporte a SPI, UART e I2C (protocolos relativamente comuns), como também

suporte a InfraVermelho (IR) e SDIO (para interface com cartão de memória), e começa a se diferenciar, tendo CAN, Ethernet, DAC, Sensor de Toque, e I2S, que é uma interface de comunicação útil para comunicar com dispositivos de áudio ([ESPRESSIF, 2019](#))

Segue o comparativo de microcontroladores que são utilizados normalmente em projetos e justifica porque será utilizado a *ESP32 Lora Wan* na tabela 7.

ESP32LoraWan	Características
Alimentação	2,2V - 3,3V DC
Corrente de Consumo	Média de 80mA
Conversores ADC (Analógico para Digital)	18 ADC com 12-bit de resolução (4096 bits)
Conversores DAC (Digital para Analógico)	2 DAC com 8-bit de resolução (256 bits)
Bluetooth	Bluetooth Low Energy v4.2 (BLE)
Frequência de Operação	80MHz - 240MHz
Interfaces de Módulos	SPI, SDIO, LED PWM, Motor PWM, I2S e IR
Memória FLASH	4MB
Memória RAM/SRAM	520KB
Memória ROM/EEPROM	448KB
Pinos de I/O	34 pinos com 16 PWM
Processador	Xtensa® Dual-Core 32-bit LX6
Sensores Embutidos	Temperatura, Efeito Hall e Toque Capacitivo
Temperatura de Operação	Entre -40°C e +85°C
Temporizadores	4 Timers de 64-bit
Dimensões	52 x 25 x 6 mm

Tabela 7 – Componentes da ESP32LoraWan.

#### 2.1.4 Utilidade para o projeto

Para a escolha do microcontrolador foram considerados alguns modelos: *Arduino*, *ESP* e *Raspberry*. Uma característica que é essencial para o projeto é o tamanho que a placa vai ocupar no *PocketQube*. A *ESP32* possui dimensões 52 mm x 25 mm x 6 mm. A menor placa entre as opções estudadas e, consequentemente a mais leve: 12,5 g. Outro motivo é a possibilidade de utilizar as bibliotecas do *Arduino* já que possui suporte no *Arduino IDE* além de ter conexão bluetooth e wifi. Isso ajudará os alunos a conhecerem soluções complexas feitas com ferramentas relativamente simples.

É possível observar na figura 8 o esquemático de pinos da *ESP32*:

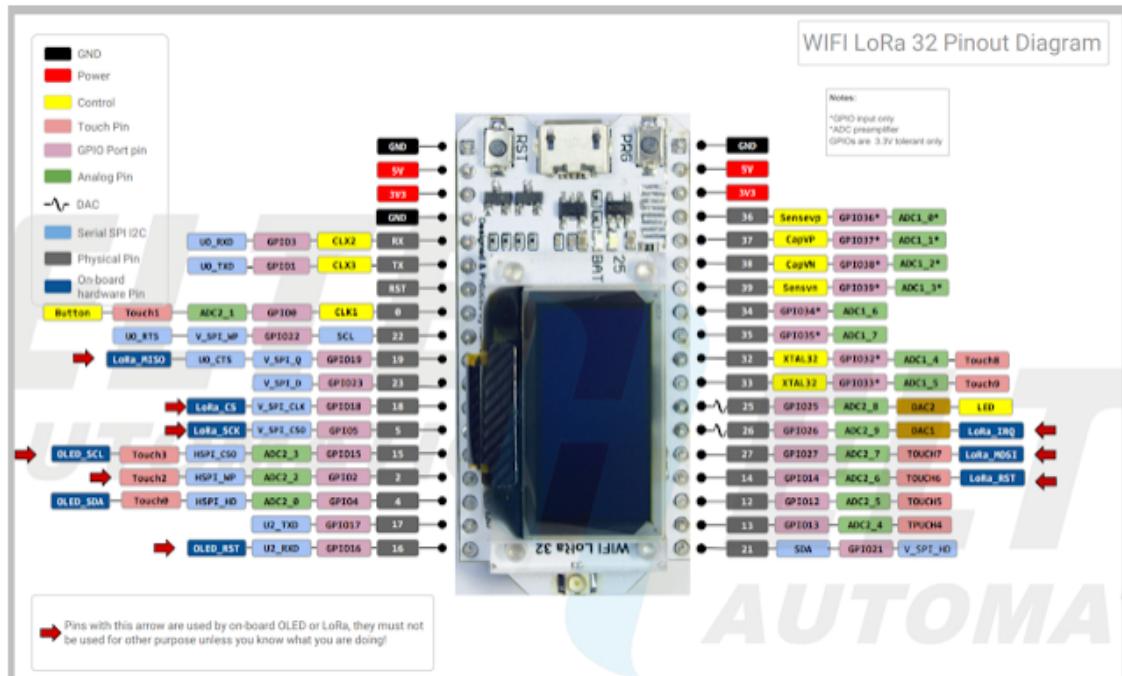


Figura 8 – Esquemático de pinos *ESP32Lorawan*. Fonte: UsinaInfo.

## 2.1.5 Payload

O *payload* é responsável pela coleta de dados na missão do satélite, como OBDH funciona como cérebro a carga útil funciona com os sentidos humanos, podendo ser os olhos, a mão da missão entre outros pontos. Ele tem como objetivo medir todos os dados que o objetivo do satélite tem que atingir.

### 2.1.5.1 Sensor de Umidade, Temperatura e Pressão

Em missões meteorológicas, é essencial que ocorra medições de umidade e temperatura, para isso deve-se adicionar ao *payload* sensores capazes de realizar tais medições. Um sensor de temperatura e umidade é um equipamento capaz mensurar a umidade relativa do ar e a temperatura. Segue tabela 8 de comparação com sensores e depois o texto a seguir mostra a descrição geral do sensor escolhido para o grupo.

Modelos	DHT11	AM2302	HDC1080	Bme280
<b>Dimensões (mm)</b>	23 x 12 x 5	25 x 15 7	20 x 11 x 2	15,5 x 11,5 x 2,5
<b>Corrente</b>	200uA a 500mA	2,5mA	-	2,7 $\mu$ A
<b>Alimentação</b>	3-5VDC	3-5VDC	2,7 à 5,5VDC	1,8 a 3,6VDC
<b>Precisão de medição temperatura</b>	$\pm$ 2.0 °C	$\pm$ 0,5 °C	$\pm$ 0.2°C	0,01°C
<b>Faixa de medição temperatura</b>	0° a 50°C	-40° a +80°C	-40° a +105°C	-40 à 85 °C
<b>Faixa de medição umidade</b>	20 a 90% UR	0 a 100% UR	0 a 100% UR	0 a 100%
<b>Precisão medição umidade</b>	$\pm$ 5,0% UR	$\pm$ 2,0% UR	$\pm$ 2%	0,00008
<b>Tempo de resposta</b>	2s	2s	5s	1s

Tabela 8 – Comparaçao entre sensores.

O BME280 é um sensor digital combinado de umidade, pressão e temperatura com base em princípios de detecção comprovados. O módulo do sensor está alojado em um pacote LGA com tampa de metal extremamente compacto. O módulo dispõe de superfície de 12 x 15 mm e uma altura de 2,3 mm e ainda 1,4 g. Suas pequenas dimensões e seu baixo consumo de energia permitem a implementação em dispositivos movidos a bateria, como aparelhos, módulos *GPS* ou relógios.

O BME280 atinge alto desempenho em aplicações que requerem medição de umidade e pressão. Essas aplicações emergentes de controle de automação residencial, navegação interna, condicionamento físico e refinamento do *GPS* exigem alta precisão. O sensor de umidade fornece um tempo de resposta altamente rápido e preciso para aplicações rápidas de reconhecimento de contexto e alta precisão geral em uma ampla faixa de temperatura.

O sensor de pressão é um sensor de pressão barométrica absoluta com precisão e resolução extremamente altas e ruído drasticamente menor do que o *Bosch Sensor-tec BMP180*. O sensor de temperatura integrado foi otimizado para o menor ruído e a maior resolução. Sua saída é usada para compensação de temperatura dos sensores de pressão e umidade e também pode ser usada para estimativa da temperatura ambiente ([ESPRESSIF, 2017](#)). A figura 9 mostra o modelo Bme280.

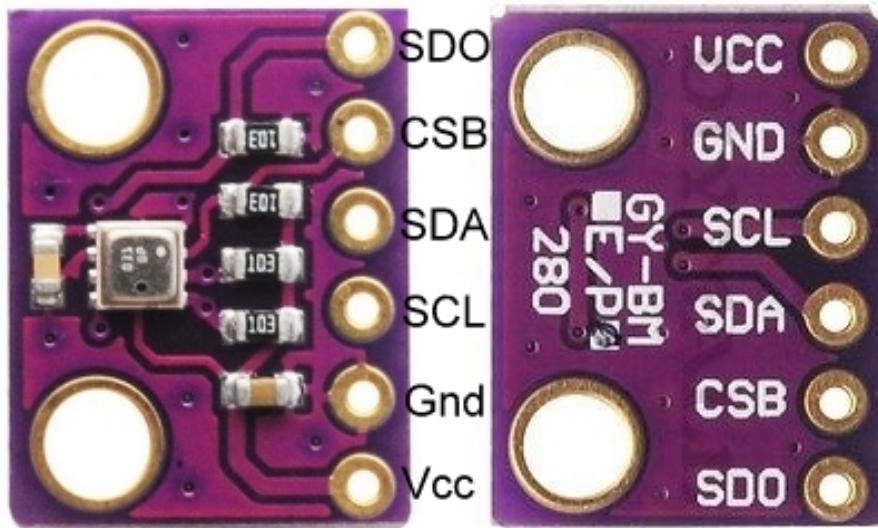


Figura 9 – Modelo do sensor Bme280.

O BME280 é importante para o projeto primeiramente por ter dimensões pequenas, usar pouca carga de energia para ser acionado e calcular temperatura, pressão e umidade. É bastante preciso para o que é necessário para o projeto. O Sensor BME280 é bem simples, contando com somente com 4 fios, sendo 2 para alimentação (que são os pinos VCC e GND) e 2 para comunicação I2C (SCL e SDA). A Tabela 9 demonstra as principais características do sensor citado, a imagem dele e sua interligação com o microcontrolador usado. Todos os dados deste sensor são calculados pela diferença de corrente quando há antes de ser calculado e depois de calculado.

Bme280	Características
Dimensões (mm)	15,5 x 11,5 x 2,5
Corrente	2,7 \mu A
Alimentação	1,8 a 3,6VDC
Precisão de medição de temperatura	0,01°C
Faixa de medição de temperatura	-40 à 85 °C
Faixa de medição de umidade	0 a 100%
Faixa de medição de pressão	300-1100hPa
Precisão de medição de umidade	0,00008
Tempo de resposta	1s
Interface de comunicação	SPI e I2C

Tabela 9 – Especificações do sensor BME280

### 2.1.5.2 Sensor de Qualidade do Ar

O sensor de qualidade do ar é usado para medições atmosféricas e gestão de poluição atmosférica. O aluno usará esse sensor para ver a qualidade do ar que ele respira no local em que ele está. O sensor escolhido foi o *mics6814* o qual será apresentado na tabela 10.

Modelos	MQ-135	Mics6814
Voltagem do circuito	5V ± 0,1	5V ± 0,1
Voltagem de aquecimento	5V ± 0,1	5V ± 0,1
Resistência de carga	Ajustável	Ajustável
Resistência do aquecedor	33Ω ± 5%	33Ω ± 5%
Consumo de aquecimento	<800mW	<100mW

Tabela 10 – Modelos de sensores de qualidade do ar.

O Sensor de Qualidade do Ar *MICS-6814*, também conhecido por Sensor de Gás *MICS-6814* é um dispositivo eletrônico capaz de monitorar a qualidade do ar em diferentes ambientes. O sensor consegue detectar com precisão a concentração de Monóxido de carbono (CO), Dióxido de nitrogênio (NO2), Amônia (NH3), Metano (CH4), Propano (C3H8), Etanol (C2H5OH), Hidrogênio (H2) e Iso-butano (C4H10).

Um grande diferencial desse modelo de sensor é a possibilidade de medir a concentração de três gases de forma simultânea, possuindo canais exclusivos para cada um deles (Monóxido de carbono (CO), Dióxido de nitrogênio (NO2) e Amônia (NH3)) ([SEN-SORTECH, 2020](#)).

Todos os dados deste sensor são calculados pela diferença de resistência do sensor para determinar qual gás vai ser calculado e quantas partículas por milhão tem o mesmo. A tabela 11 apresenta dados do sensor descrito. A figura 10 apresenta o modelo de sensor escolhido para o projeto.

MICS-6814	Características
Dimensões	(7 x 5 x 1.5 mm)
Voltagem de funcionamento	5V DC
Consumo de corrente com acionamento	26 a 32 mA
Temperatura de operação (sem nevar ou chover)	-40 até 120°C
Interface de comunicação	I2C
Faixa de medição de CO	1 - 1000ppm
Faixa de medição de NO <sub>2</sub>	0.05 - 10ppm
Faixa de medição de C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	10 - 500ppm
Faixa de medição de H <sub>2</sub>	1 - 1000ppm
Faixa de medição de NH <sub>3</sub>	1 - 500ppm
Faixa de medição de CH <sub>4</sub>	1000ppm
Faixa de medição de C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	1000ppm
Faixa de medição de C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	1000ppm

Tabela 11 – Sensor Mics-6814.

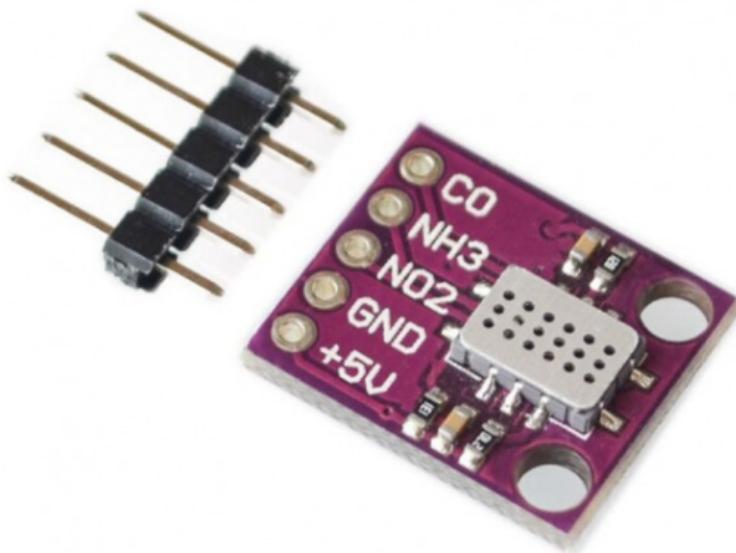


Figura 10 – Modelo do MICS-6814.

Existem também outros sensores de gases, mas foi escolhido esse pois atende a necessidade do projeto, principalmente para calcular o nível de hidrogênio na atmosfera. Está em estudo a colocação de outros sensores, que não comprometam os gastos do projeto e sobrecarregamento do sistema em si.

#### 2.1.5.3 Giroscópio e Acelerômetro

Será colocado um sensor de giroscópio e acelerômetro para ter mais funcionalidade do sistema do satélite.

Os dispositivos Microprocessing Unit (MPU) fornecem a primeira solução de processador de movimento de 6 eixos integrada do mundo que elimina o giroscópio e acelerômetro associado a soluções discretas. Os dispositivos combinam um giroscópio de 3 eixos e um acelerômetro de 3 eixos no mesmo molde de silício junto com um *Digital Motion Processor (DMP)* integrado capaz de processar algoritmos de fusão de sensores de 9 eixos complexos usando o *MotionFusion*.

Isto significa que é possível acessar magnetômetros externos ou outros sensores por meio de um barramento I2C mestre auxiliar, permitindo que os dispositivos reúnam um conjunto completo de dados do sensor sem intervenção do processador do sistema.

Para rastreamento preciso de movimentos rápidos e lentos, o MPU6050 apresenta um giroscópio programável com escala de  $\pm 250, 500, 1000, 2000^{\circ}/s$  e um acelerômetro de  $\pm 2, \pm 4, \pm 8, \pm 16g$  e tensão de Operação de 3 a 5V ([INVENSENSE, 2013](#)).

Foi estudado mais três tipos de sensores semelhantes ao MPU 6050: Itg3200 + Adxl345, o GY-BMI160 e o Mpu 9250 que é da mesma marca do módulo escolhido.

O primeiro é o menor dos três, medindo 22x17x1 mm, e seu custo foi de R\$ 98,99. O concorrente companheiro da marca foi o mais barato dos três custando R\$ 58,50, porém, possui maiores dimensões tornando menos viável sua utilização para o projeto. O MPU6050 foi escolhido por suas dimensões (20x16x1mm) e peso (2,6 g), por seu valor econômico (R\$ 17,00) e facilidade de implementação.

A figura 11 abaixo mostra o diagrama de blocos. Em seguida a figura 12 o próprio MPU 6050 e por último a tabela 12 apresenta os dados do sensor.



Figura 11 – Diagrama de blocos MPU6050

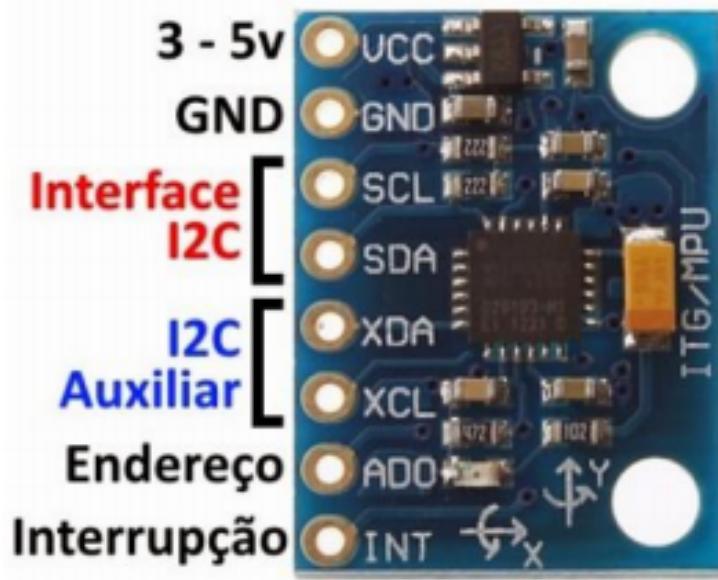


Figura 12 – MPU6050.

MPU-6050	Características
Dimensões (mm)	2 x 1,6 x 0,1
Alimentação	3-5VDC
Corrente	5µA a 3.9 mA
Faixa do Giroscópio	±250, 500, 1000, 2000°/s
Faixa do Aceleração	±2, ±4, ±8, ±16g
Interface de comunicação	I2C

Tabela 12 – Sensor MPU-6050.

### 2.1.6 Conexão do *Payload* com o *OBDH*

Seguem abaixo os esquemáticos com os sensores os quais vão ser trabalhados no *Payload*, o qual o azul é o *MPU6050*, que é o giroscópio e o acelerômetro, o roxo é o *bme 280*, o qual calcula temperatura, umidade e pressão e o azul com uns furos é o *Misc6814*, o qual é o sensor de qualidade de ar que calcula alguns gases (Monóxido de carbono (CO), Dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>) e Amônia (NH<sub>3</sub>)).

E por último, branco, o microcontrolador a *ESP32LoraWan*, o qual os dados dos sensores vão para este e aparecerão no visor o que está sendo pedido. Este esquemático significa como vai ser a interligação entre sensor-microcontrolador.

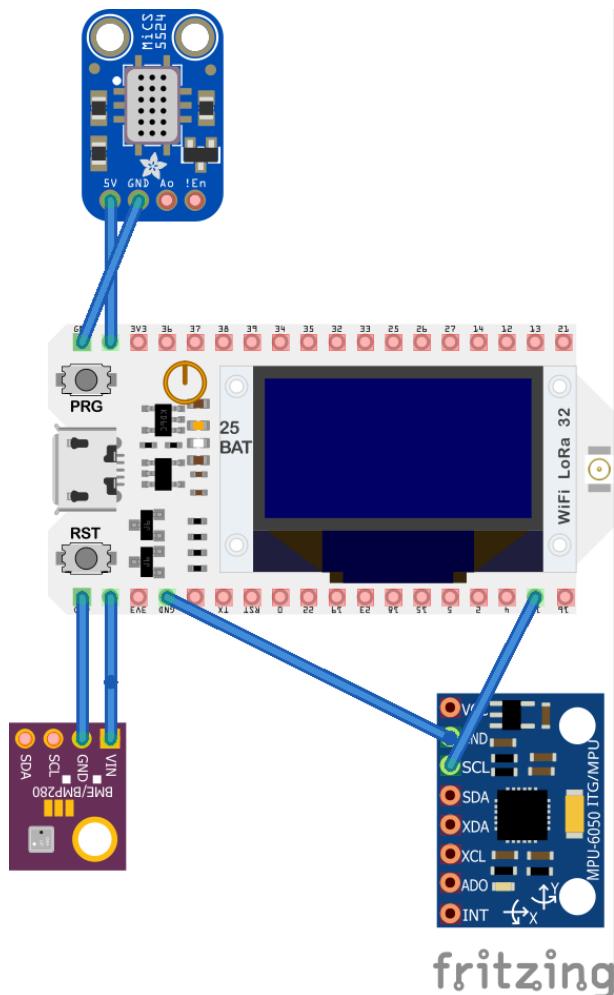


Figura 13 – Esquemático colorido mostrando os sensores do *Payload*.

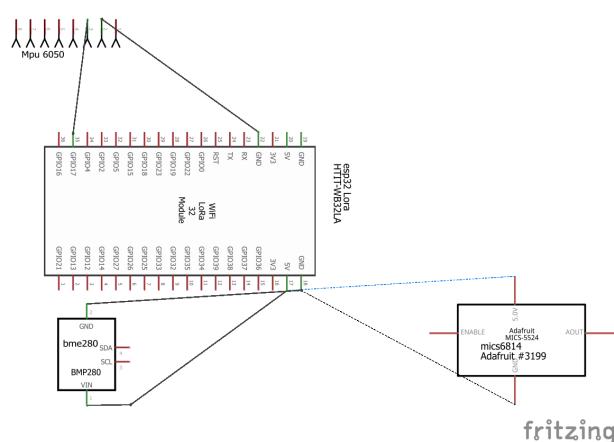


Figura 14 – Esquemático padrão mostrando os sensores do *Payload*.

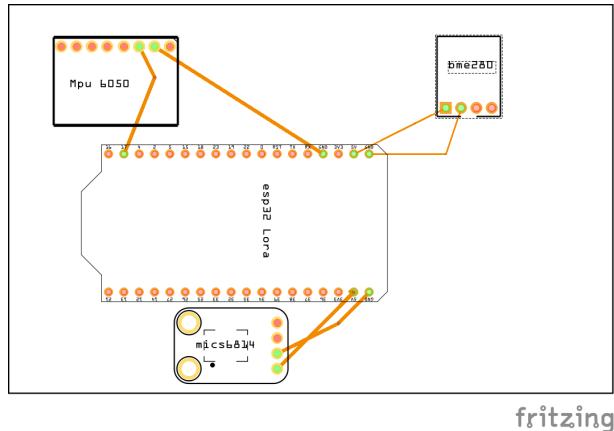


Figura 15 – Esquemático do PCB mostrando os sensores do *Payload*.

### 2.1.7 Sistemas de Telemetria, Rastreamento e Comando (TT&C)

Os TT&C de um objeto espacial fornece a conexão de telecomunicações mais vital entre um satélite e a estação terrestre. Os sistemas TT&C fornecem o *uplink* para comando, *downlink* para monitorar os vários parâmetros por meio de telemetria e as informações de rastreamento necessárias para o satélite monitorar sua posição em órbita.

A Conexão é fornecida usando uma estação de solo e sistemas de recepção de dados de rastreamento e telecomando a bordo, decodificador de bordo e transmissor de telemetria. A ligação de TT&C de um satélite é de suma importância, desde o momento do seu lançamento até o final da missão.

Os sistemas de telemetria de um satélite com qualificação espacial são grandes e complexos, levando a criação de salas para o monitoramento de satélites. Para satélites educacionais será levantado sistemas simplificados, já que a transmissão de dados ocorrerá em menores distâncias e sistemas menos complexos. A figura 16 apresenta o diagrama TT&C.

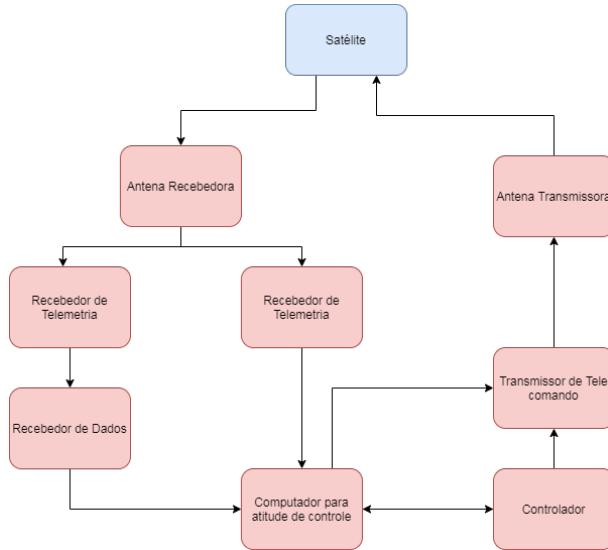


Figura 16 – Diagrama de Funcionamento: telemetria, rastreamento, e comando.

Em satélites educacionais que não passaram pelo mesmo sistema de TT&C, necessita-se de um tipo de sensor que atue como Sistema de Posicionamento Global (GPS) e microcontroladores.

**Sensor de localização (*GPS*):** O sistema de localização pode estar associado ao satélite ou ao lançador, isso vai depender do modelo de lançamento que será escolhido ao longo do projeto. Mas adotando as possibilidades de *GPS*.

Depois de muito estudo e muita discussão foi definido que será usado o Módulo *GPS NEO-6M V2* sem antena, o qual será descrito abaixo.

### 2.1.8 Descrição geral do *GPS NEO-6M*

A série de módulos *NEO-6* é uma família de receptores *GPS* autônomos apresentando o *u-blox 6* de alto desempenho motor de posicionamento. Esses receptores flexíveis e econômicos oferecem inúmeras opções de conectividade em uma miniatura. Embalagem de 16 x 12,2 x 2,4 mm e 9 g.

Sua arquitetura compacta e opções de alimentação e memória tornam os módulos *NEO-6* ideal para dispositivos móveis operados por bateria com custos e restrições de espaço muito pequenos. O *GPS NEO-6M* suporta diferentes modos de energia. Esses modos representam estratégias de como controlar os mecanismos de aquisição e rastreamento a fim de obter o melhor desempenho possível ou bom desempenho com consumo de energia otimizado.

Durante uma inicialização a frio, um receptor no modo de desempenho máximo implanta continuamente o mecanismo de aquisição para pesquisar todos os satélites. Assim que o receptor tiver uma posição fixa (ou se houver informações de pré-posicionamento

disponíveis), o mecanismo de aquisição continua a ser usado para pesquisar todos os satélites visíveis que não estão sendo rastreados. Depois que uma posição pode ser calculada e um número suficiente de satélites está sendo rastreado, o mecanismo de aquisição é desligado, resultando em uma economia significativa de energia.

O mecanismo de rastreamento localiza continuamente os satélites adquiridos e outros satélites disponíveis ou emergentes. Um fator interessante é que mesmo que o mecanismo de aquisição seja desligado, os satélites continuam a ser adquiridos.

No estudo feito para a escolha do módulo *GPS* do projeto foram considerados dois modelos: *GY-GPSV3-NEO M8N* e o *GPS NEO-6M*. Por suas especificações, os dois demonstram desempenho semelhantes, porém o primeiro dispõe de superfície de 36 x 25 mm contra 16 x 12,2 do segundo. Foi escolhido esse *GPS* por possuir um baixo consumo de energia e além de ser pequeno o que se faz ideal para satélites e, consequentemente para o projeto. Segue abaixo a tabela 13 dos valores do sensor.

GPS GY-NEO6MV2 com Antena	Características
Dimensões (mm)	35 x 25 x 25mm
Corrente	45 mA
Alimentação	3,3VDC
Precisão horizontal de localização	5m
Precisão de velocidade	0.1 m/s
Altitude	50.000m
Velocidade	500 m/s
Temperatura de operação	-40°C à 85°C
Taxa de transmissão de dados	9600bps

Tabela 13 – GPS GY-NEO6MV2.

A figura 17 apresenta o modelo do Módulo do *GPS NEO-6M*.



Figura 17 – Módulo do GPS NEO-6M.

Os Microcontroladores usados no sistema de TT&C tanto no *PocketQube* quanto na estação de solo são os mesmos já citados anteriormente. Usa-se o mesmo microcontrolador dos sensores para o sistema de telemetria do satélite. O sistema de TT&C tem por base seguir o mesmo protocolo de comunicação que será definido no *Gateway*.

### 2.1.9 Estação de solo

A estação de solo é o que permite o envio de comandos para o *PocketQube* e também para receber os dados durante a missão, ou seja, parte crucial durante a missão meteorológica. O sistema da estação pode ser dividido em três grandes processos;

- *Gateway*;
- Tratamento de dados (*Back-End*);
- Disponibilização dos dados (*Front-End*).

Na estação de solo o sistema de blocos representado abaixo pela figura 18 mostra o funcionamento de uma estação de solo.

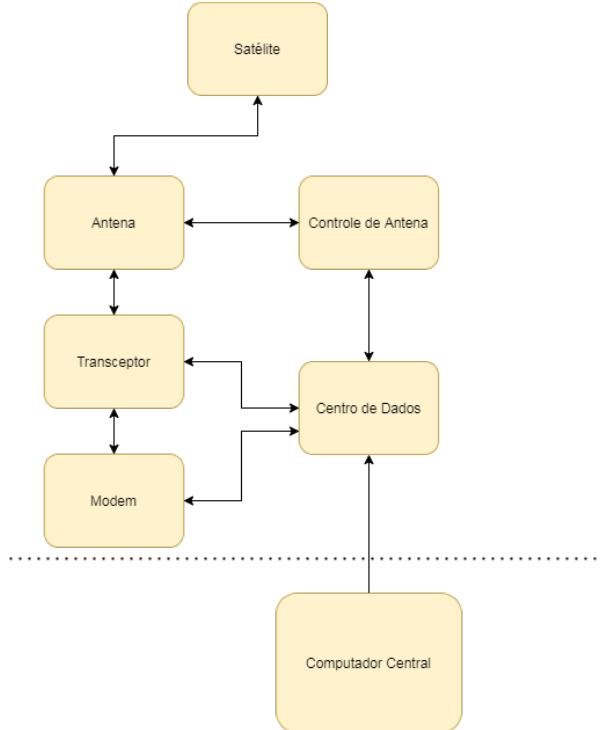


Figura 18 – Diagrama: Sistema de funcionamento de uma Ground Station

Os componentes eletrônicos relativos ao segmento de solo de um satélite educacional necessita de um sistema de comunicação entre o *PocketQube* e computador central, para receber dados e enviar comandos para o *PocketQube*. Portanto para os microcontroladores exigidos serão analisados os mesmos componentes da OBDH, pois o sistema de TT&C em conexão com o *OBDH*.

### 2.1.10 Tecnologia LoRa

*LoRa* é uma tecnologia de radiofrequência que permite comunicação a longas distâncias com consumo baixo de energia. Baseia-se em uma rede com topologia estrela, similar a uma rede de telefonia celular. Os módulos enviam e recebem dados de Gateways específicos (similar às redes Wi-Fi, mas com alcance muito maior), que os encaminham via conexão Internet Protocol (IP) para servidores locais ou remotos.

Suas principais aplicações são sistema de IoT como sensores e monitores remotos (pressão, luz, *on-off*, temperatura), sobretudo aqueles operados a bateria, de mensagens curtas e em alguns casos em locais de difícil acesso. Dependendo das condições de instalação pode-se conseguir em áreas urbanas 3-4 km de alcance, e em áreas rurais, até 12 km (ou mais).

*LoRa* é o que pode-se chamar de camada física de comunicação (assim como os fios em um sistema cabeados). LoRa é baseada em uma técnica conhecida por "*chip spread spectrum modulation*", utilizada há décadas sobretudo em sistemas militares e de radar,

por possibilitar longo alcance e grande imunidade a ruídos, mas que sempre envolveu sistemas muito críticos quanto à estabilidade de frequência e altos custos. Com o avanço tecnológico tornou-se viável usar estas mesmas técnicas usando cristais e outros componentes mais baratos, sendo que a tecnologia *LoRa* é a primeira implementação de baixo custo desenvolvida para uso comercial.

*LoRaWAN* é o nome dado ao protocolo que define a arquitetura do sistema bem como os parâmetros de comunicação usando a tecnologia *LoRa*. O protocolo *LoRaWAN* implementa os detalhes de funcionamento, segurança, qualidade do serviço, ajustes de potência visando maximizar a duração da bateria dos módulos, e os tipos de aplicações tanto do lado do módulo quanto do servidor. O LoRaWan vai ser o sistema de comunicação integrado com a *ESP32* para se obter a conexão satélite-solo.

#### 2.1.10.1 *LoRaWAN*

A união entre o LoRa e o *ESP32* resultou na placa *Wi-Fi LoRa ESP32*. Esta é uma plataforma completa de hardware e software voltada para prototipagem IoT, pois conta com *Wi-Fi*, *Bluetooth* e o *LoRa*.

A Placa *Wi-Fi LoRa ESP32* possui um *Display OLED* de 0,96" 128X64 que permite exibir em tempo real diversas informações, logo, toda depuração de informações pode ser verificada sem o uso de uma ferramenta externa. Ao lado do display há um conector padrão *U.FL* 2mm para conexão da antena. Na parte debaixo da placa há um conector *JST* para conexão de uma bateria *Li-Ion* ou *Li-Po* de 3.7V/1000mAh para alimentação do módulo. A frequência de operação do LoRa na Placa *Wi-Fi LoRa ESP32* pode ser de 433MHz, 868MHz ou 915MHz. No mercado há placas que operam somente em 433MHz, placas que operam somente em 868MHz ou 915MHz, e placas que funcionam tanto em 868MHz quanto em 915MHz.

Foi utilizada uma placa fabricada pela *Heltec* e que opera tanto em 868MHz quanto em 915MHz. Um dos diferenciais na utilização da Placa *Wi-Fi LoRa ESP32* é a possibilidade de conectar módulos e sensores na placa para obtenção de dados ou execução de ações, e tudo poderá ser obtido ou acionado através da comunicação *LoRa*. Além disso, há como fazer a interface para que as informações obtidas através do *LoRa* possam ser acessadas via *Bluetooth* ou via *Wi-Fi* e posteriormente serem disponibilizadas na internet, seja através do protocolo *TCP/IP*, *MQTT* ou *IFTTT*, por exemplo.

Depois de enviar os dados para a *LoRa ESP32* do solo, será mandada para uma *Raspberry Pi* para coletar os dados e armazenar numa fila pelo protocolo de Transporte de Telemetria de Fila de Mensagens (*MQTT*), para então ser colocado num sistema.

### 2.1.10.2 *Raspberry Pi*

A *Raspberry Pi Compute Module 3+ (CM3 +)* é uma gama de *DDR2-SODIMM* compatível mecanicamente com Sistema Em Módulos (SOMs) contendo processador, memória, *eMMC Flash* (em variantes não *Lite*) e suporte a circuitos de alimentação. Esses módulos permitem que um designer aproveite o *hardware Raspberry Pi* e pilha de *software* em seus próprios sistemas e formatos personalizados. Além disso, esses módulos têm Entrada e Saída (IO) extra interfaces, além do que está disponível nas placas *Raspberry Pi* modelo A/B, abrindo mais opções para o designer.

## 2.2 Energia - *Electronic Power System* (EPS)

O subsistema de suprimento energético - *Electrical Power System* (EPS) - é de grande importância, se não vital, para o desenvolvimento de qualquer projeto de satélite, sendo ele o responsável por garantir a geração, armazenamento, regulação e controle, e distribuição de energia para todos os outros subsistemas integrados. (SULLIVAN, 1989) afirma que o sistema de suprimento de energia corresponde a aproximadamente 20% da massa total do sistema de um satélite.

Os nanosatélites operam com demandas reduzidas de energia dadas as suas restrições de massa e área, limitando as fontes energéticas e volume de baterias (MAHDI; JAAFER; ABD, 2014). Isso faz com que o EPS de qualquer projeto desse porte deva ser eficiente e flexível, ou seja, é necessário que o design do subsistema de energia atenda a todos os requisitos de potência do projeto e, ao mesmo tempo, possa ser reutilizado em outras missões, sem que este tenha que ser remodelado (HOLLWEG, 2016).

A partir dos painéis solares a energia elétrica é entregue ao módulo de potência e lá é condicionada, transferida e distribuída aos outros usuários do nanosatélite de acordo com suas necessidades de consumo. O banco de baterias é necessário para que haja o armazenamento desta energia. É preciso compreender, também, que os sistemas de um satélite podem não funcionar o tempo todo ou ao mesmo tempo, então é preciso que a energia entregue seja gerenciada a fim de otimizá-la e garantir a vida útil do equipamento (CÉSPEDES; ESCOBAR, 2018).

Na Figura 19 é possível observar pelo fluxograma, de forma geral, como se dará o sistema EPS para o *PocketQube*.

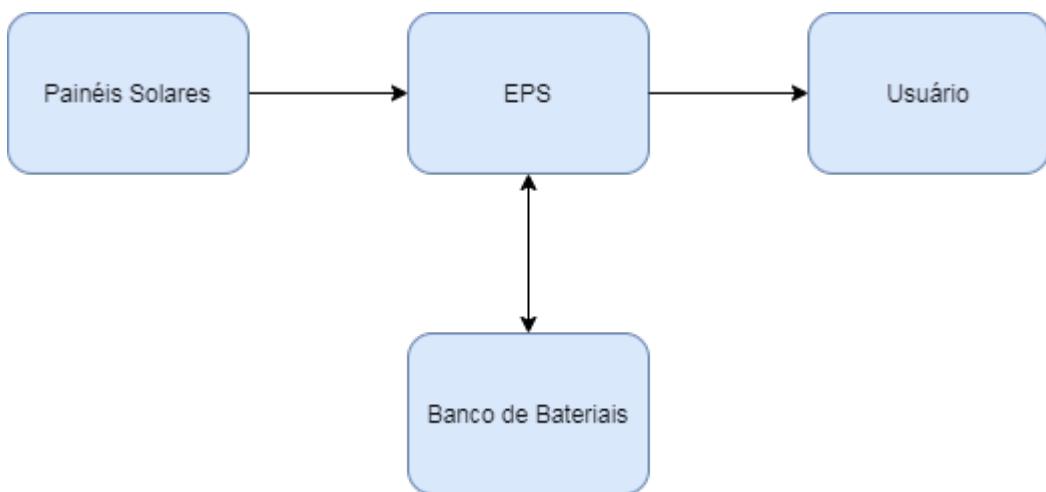


Figura 19 – Fluxograma do EPS. Fonte: Adaptado Céspedes e Escobar (2018).

Dessa forma, levando em consideração os requisitos do projeto e orientações baseadas em extenso referencial bibliográfico, foi definida a arquitetura do subsistema de

energia (Figura 20) que engloba quatro funções fundamentais para o desenvolvimento do projeto, dentre elas: fonte de energia, armazenamento de energia, regulação e controle de energia e distribuição de energia.

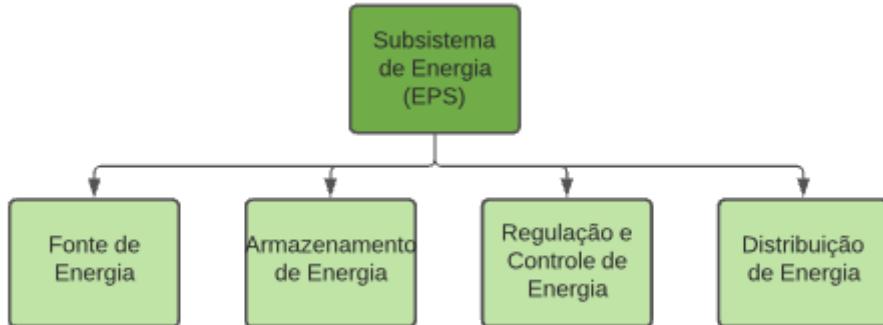


Figura 20 – Arquitetura do subsistema de energia.

### 2.2.1 Visão geral do suprimento de energia e Requisitos

(FERRIANI et al., 2006) considera que o sistema de potência dos satélites deve exercer várias funcionalidades, dentre elas ser capaz de produzir energia suficiente e eficiente, além de confiável. Por isso, os seguintes requisitos deverão ser atendidos para o projeto em questão na área do suprimento de energia:

- Produzir energia através de células fotovoltaicas, suficiente para que o satélite funcione adequadamente;
- Armazenar energia elétrica em baterias para que o satélite continue funcionando durante a noite ou em penumbra (sombras);
- Ter proteções elétricas para o sistema de distribuição e condicionamento de potência;
- Possuir sistemas de controle, regulação de fluxo de energia e condicionamento de temperatura.

A definição dos principais requisitos de EPS do PocketQube para Educação Básica foi feita adaptado de (WERTZ; LARSON, 1999).

### 2.2.2 Fonte de Energia

Dentre os elementos que compõe um *EPS*, a fonte de energia consiste em um componente gerador, e se mostra primeiramente como um ponto de partida para alimentação do sistema. O seu uso em satélites se dá, principalmente, em missões com maior previsão de duração ou em casos onde um suprimento de energia dependente exclusivamente de baterias resultaria em aumento expressivo no peso final do projeto.

Os principais requisitos para esse componente consistem, essencialmente, em suas capacidades de gerar energia em diversos ciclos orbitais, suportar cargas elétricas e recarregar as baterias (WERTZ; LARSON, 1999). Nesse tópico, são levantados os principais tipos de componentes geradores e posteriormente, a partir de uma análise comparativa, se propõe a utilização daquele que mais se adequa ao escopo do projeto.

As principais fontes de energia utilizadas em satélites serão apresentadas abaixo. Em um estudo aprofundado, (WERTZ; LARSON, 1999), elencam as quatro principais fontes geradoras de energia utilizadas em satélites, bem como suas principais características, sendo elas: Células Solares Fotovoltaicas, Fontes de Energia Estática, Fontes de Energia Dinâmicas e Células a Combustível. A seguir, são apresentadas suas principais características e aplicações em satélites.

- Células Solares Fotovoltaicas

Essa fonte de energia baseia no efeito fotovoltaico para converter a radiação solar em energia elétrica para o sistema. É mais comumente aplicada em satélites em órbitas terrestres geossíncronas e, devido à sua confiabilidade, é a mais indicada para missões com potência menor que 15 kW, consideradas baixa potência.

Entretanto, apesar de sua facilidade de aplicação, as células solares fotovoltaicas não são recomendadas para missões à planetas externos, devido a diminuição da radiação solar disponível, e nem para missões de mais longa duração, devido à degradação natural dos painéis.

Fatores inerentes a missões espaciais, tais como sombreamento, temperatura e vida da missão ou fatores genéricos como custos e riscos, são decisivos para a elaboração de um projeto solar para esse tipo de aplicação.

- Fontes de Energia Estática

Esse tipo de componente gerador parte de uma fonte térmica (geralmente Plutônio-238 ou Urânio-235) para conversão direta em energia elétrica, utilizando os conceitos termoelétrico e/ou termiônico. O tipo de fonte de energia estática mais utilizado em aplicações espaciais é o Par Termoelétrico, onde o gradiente de temperatura proveniente do decaimento lento da fonte radioativa é convertido em energia elétrica, com uma eficiência média de 5 a 8%.

Já a conversão a partir do conceito termiônico, possui uma eficiência de 10 a 20%, e se baseia na diferença de temperaturas entre dois eletrodos (emissor e coletor) mantidos vedados na presença de um gás ionizado. O eletrodo mais quente, emissor, emite elétrons através do espaço até o eletrodo mais frio, o coletor, onde eles se condensam e retornam ao emissor através da carga elétrica conectada externamente.

A aplicação desse tipo de fonte de energia implica em um sistema mais robusto e termicamente isolado, de forma a se conter as altas temperaturas necessárias para uma conversão eficiente.

- **Fontes de Energia Dinâmica**

Assim como as fontes de energia estáticas, as fontes dinâmicas também utilizam uma fonte de calor para conversão em energia elétrica e necessitam de uma estrutura mais robusta. Entretanto, nesse caso, o sistema se baseia em um ciclo termodinâmico (Brayton, Stirling ou Rankine), utilizando um trocador de calor, para acionar um motor e realizar o processo de conversão.

Dentre as principais fontes de calor utilizadas por esse tipo de componente, tem-se radioisótopos, reação de fissão nuclear controlada e a energia solar concentrada. Nos casos de aplicação do último tipo, é utilizado sal eutético fundido para manter o calor latente e fornecer energia nos períodos de sombreamento, o que não é necessário nos outros tipos, uma vez que os mesmos fornecem calor de forma contínua.

Outro fator importante na implementação de um sistema de geração por fonte de energia dinâmica é a escolha do ciclo termodinâmico mais apropriado para o sistema, podendo ser empregados os ciclos de Stirling, Rankine ou Brayton, com eficiências de 15 a 35%.

- **Células a Combustível**

Geralmente utilizadas em missões tripuladas, as células a combustível utilizam a energia dissipada em uma reação de oxidação para gerar eletricidade. Apesar dessa fonte utilizar geradores independentes, esses necessitam de reposição de reagentes, sendo a relação de reposição diretamente proporcional à duração da missão.

O tipo mais comum utilizado em aplicações espaciais é a célula baseada em Hidrogênio-Oxigênio, devido à sua potência específica alta, baixa massa de reagentes e subproduto útil (água). A eficiência desse tipo de componente varia entre 50 a 80%, dependendo do consumo de alta ou baixa corrente.

Dentre as principais vantagens desse tipo de componente gerador, destacam-se, além da sua eficiência, a sua confiabilidade, tempo de inicialização, desligamento instantâneo, possibilidade de reversão da reação, e sua longa vida útil. Outro fator importante na sua utilização em missões tripuladas é a geração de água potável, que chega a 0,36 kg/kWh.

Aliada a outros tipos de fontes geradoras, que possam suprir a demanda de energia durante o período de reversão (e, consequentemente, baixa carga elétrica), essa tecnologia pode ser utilizada em quaisquer missões de longa duração.

### 2.2.2.1 Fonte de energia escolhida no contexto do projeto

Baseando-se nos estudos de (PATEL, 2004), (WERTZ; LARSON, 1999), (CÉS-PEDES; ESCOBAR, 2018), (PAULA; MAGALHÃES, 2019), (SANCHEZ-SANJUAN et al., 2016) e (HOLLWEG, 2016), bem como, nas características e implicações de cada tipo de fonte de energia citada previamente e no contexto ao qual o projeto está submetido (destacando-se aqui o caráter educacional, a baixa demanda de potência, as aplicações para o lançamento atmosférico e as limitações de peso e tamanho), entende-se que as células solares fotovoltaicas se apresentam como a opção mais adequada para alimentação do sistema.

### 2.2.3 Armazenamento de Energia

O sistema de armazenamento de energia pode ser feito com uso de baterias primárias e secundárias. As baterias primárias funcionam com a conversão de energia química em elétrica, mas não conseguindo fazer o processo reverso, ou seja, não podem ser recarregadas. Já as baterias secundárias convertem energia química em elétrica no momento da descarga, e energia elétrica em energia química durante a carga, podendo ser recarregáveis (PAULA; MAGALHÃES, 2019), (WERTZ; LARSON, 1999).

Para um projeto de satélite educacional, as baterias utilizadas deverão ser secundárias, pois dependendo da trajetória, elas poderão ser recarregadas e serão utilizadas nos momentos de sombreamento ou eclipse (FERRIANI et al., 2006).

A potência excedente gerada pelos painéis solares - única fonte de geração de energia viável em nanosatélites - em momentos de exposição à radiação solar é armazenada nas baterias secundárias e utilizada pelos outros subsistemas do satélite em momentos de pico de consumo e/ou períodos de eclipse. Estes picos de consumo podem ser atingidos quando houver maior demanda por parte dos demais subsistemas, como por exemplo, no caso de comunicação com a estação de solo.

De acordo com (PATEL, 2004), (WERTZ; LARSON, 1999), (PAULA; MAGALHÃES, 2019), (SANCHEZ-SANJUAN et al., 2016) e (HOLLWEG, 2016), as baterias secundárias utilizadas em nanosatélites e que estão dominando o espaço são Níquel-Cádmio (NiCd), Níquel-Hidrogênio (NiH<sub>2</sub>), Níquel-metal-hidreto (NiMH), Lítio-íon (Li-Ion) e Lítio-polímero (Li-poly), sendo Li-Ion e Li-poly as mais utilizadas.

A tabela 14 a seguir, adaptado de SAFT (2008), apresenta as baterias utilizadas no mercado e suas respectivas aplicações. Dentre elas, as baterias apropriadas para satélites são Li-Ion, cobalto e níquel, as de NiH<sub>2</sub> e NiCd.

Tipo de Bateria	Mísseis	Outros	Lançadores	Satélites	Armas
Lítio-íon (Cobalto)	x	x	x		x
Lítio-íon (Níquel)		x	x		x
Lítio- Cloreto de Tionila		x	x		
Lítio - Dióxido de Enxofre		x			
Lítio - Dióxido de Manganês		x	x		
Níquel - Hidrogênio					x
Níquel - Cádmio			x		x
Óxido de Prata-Zinco (secundária)					
Óxido de Prata - Alumínio					
Cloreto de Prata - Magnésio					x
Óxido de Prata - Zinco (Primária)		x			x

Tabela 14 – Baterias e suas respectivas aplicações no mercado. Fonte: SAFT (2008).

Segundo o relatório ([RADU et al., 2018](#)), documento que orienta na construção de *PocketQubes*, materiais inflamáveis, tóxicos e potencialmente perigosos não devem ser utilizados, sendo um dos requisitos de segurança para as pessoas que manuseiam o equipamento. As baterias de Li-Ion e *Li-poly* seguem esta especificação. Além disso, outros critérios que devem ser avaliados antes de escolher a bateria para o nanosatélite são:

- Dimensão das células individuais - flats ou circulares;
- Longevidade - ciclo de vida máximo;
- Saída de tensão;
- Capacidade;
- Massa.
- Baterias de NiCd e NiH2

As baterias de níquel-cádmio são baterias já utilizadas no mercado e, por isso, sua tecnologia já é bastante madura. Contudo, sua densidade energética acaba sendo menor

que as baterias mais recentes. Elas são utilizadas desde 1950 e seu uso está em declínio devido os problemas ambientais, sendo substituídas por baterias de NiMh e Li-Ion.

Um fator importante é que é necessário descarregá-las completamente, ou então elas irão criar o efeito memória, que são a formação de cristais nas placas das células. São baterias que preferem carga rápida e pulsada ao invés de cargas lentas e contínuas. A introdução de baterias com maior densidade energética e metais menos tóxicos está fazendo com que esta bateria perca espaço do mercado para modelos mais atuais, como já citadas as NiMh e Li-Ion. Para as baterias de NiCd:

### **Vantagens**

- Carga rápida e simples;
- Muitos ciclos de carga e descarga, podendo chegar a 1000 ciclos;
- A depender da condição de armazenamento, pode ter uma vida longa;
- Desempenho bom em baixa temperatura e se sobrecarregada;
- Menor preço se comparado aos das outras baterias.

### **Desvantagens**

- Baixa densidade energética (aprox. 40 Wh/kg). Efeito memória;
- Metais tóxicos - existem países limitando a sua produção, por exemplo;
- Necessário sempre ser carregada, pois possui uma alta taxa de autodescarga.

As baterias de níquel-hidrogênio (NiH<sub>2</sub>) começaram a ser vastamente utilizadas no armazenamento de energia aeroespacial a partir dos anos 90. A partir de 1993, começou a ser utilizada em satélites de órbita geossíncrona (GEO) e sua primeira utilização pela NASA foi na missão do Telescópio Espacial Hubble de Órbita Terrestre Baixa (LEO), em 1990 ([DUNLOP, 1993](#)) . Algumas são as vantagens e desvantagens dessa bateria:

### **Vantagens**

- Bastante conhecida em aplicações aeroespaciais;
- Não possui efeito memória.

### **Desvantagens**

- Baixa tensão de saída (1,2V).

- Baterias de Li-Ion e Li-poly

As baterias de lítio-Íon e lítio-polímero podem ser consideradas iguais, porém com algumas sutis peculiaridades que as diferenciam. A diferença está no tipo de eletrólito utilizado pelas baterias de lítio polímero.

Desde a sua utilização nos anos 70, era utilizado eletrólito de polímero seco nas baterias de lítio-íon - película plástica- o que fazia com que a bateria desse ser aquecida a 60°C para que o fluxo de corrente ocorresse. Então, para que essa bateria fosse condutora a temperatura ambiente, um eletrólito gelificado foi adicionado e, embora a maioria dessas baterias seja a base de cobalto, ela pode ser feita em diversos sistemas, como li-cobalto-NMC, li-fosfato, etc.

No que concerne às diferenças entre as baterias de lítio-Ion e lítio-poly, as duas possuem cátodo e ânodo semelhantes e uma mesma quantidade de eletrólito. No entanto, as de lítio polímero apresentam uma energia específica elevada e sua fabricação pode levar a uma bateria mais fina - cerca de 20% mais leves. Dessa forma, pode-se elencar as principais vantagens e desvantagens das baterias de lítio-polímero:

### Vantagens

- Menor espessura;
- Flexibilidade em relação aos formatos, ou seja, não existe um padrão de fabricação;
- 20% mais leve;
- Mais segura e resistente à sobrecarga;
- Não possui válvula de pressão - o aumento da pressão faz com que a célula comece a inchar, o que tende a não ocorrer caso a bateria seja utilizada e carregada de forma adequada;
- Sem efeito de memória;
- Maior intervalo de temperatura de operação que baterias de NiCd ou NiH2.

### Desvantagens

- Menor densidade energética e contagem de ciclos, quando comparada à bateria de Li-Ion (aprox. maior que 100 Wh/kg) - ainda sim, é três vezes melhor que NiCad e NiH2 ([PAULA; MAGALHÃES, 2019](#)) ([ROCHA, 2010](#));
- Custo de produção - o fato do circuito de controle ser menor acaba por encarecer a produção.

A seguir, é apresentado a tabela com os principais elementos a serem comparados entre estas baterias.

Bateria	Tensão [V]	Temp Operação [°C]	Dens Energética [Wh/Kg]	Vida útil (ciclos)
NiCd	1.2	-40 a 55	35 - 40	300 - 700
NiH2	1.4	0 a 50	64	1500 - 6000
Li-Íon	4	-20 a 50	150	+1000
Li-Poly	3,7	0 a 60	150 - 200	300 - 500

Tabela 15 – Comparativo entre elementos principais das baterias estudadas. Adaptado de ([OLIVEIRA, 2018](#)), ([MAGALHÃES, 2014](#)), ([JEPPESEN; THOMSEN, 2001](#)) e ([TRINDADE, 2006](#)).

## 2.2.4 Regulação e Controle de Energia

A fase de regulação e controle de energia está intimamente condicionada ao componente gerador do sistema em questão. A técnica mais apropriada à um projeto depende da fonte que o alimenta como, por exemplo, fontes de energia estática e dinâmica, que são reguladas por transferência direta (DET - *Direct Energy Transfer*). Já os projetos alimentados por células fotovoltaicas são regulados por rastreamento de potência de pico (PPT – *Power Point Tracking*) ([WERTZ; LARSON, 1999](#)).

Apesar de existirem mais de 500 topologias distintas para *EPS*, essas duas classificações principais abrangem as topologias mais utilizadas, referindo-se à configuração do sistema, no que diz respeito ao fornecimento de energia aos componentes, sendo que numa arquitetura DET a energia gerada é fornecida diretamente às cargas e o excesso é dissipado. Já na arquitetura PPT, ou MPPT (Maximum Power Point Tracking), é utilizado um conversor CC-CC responsável por executar um algoritmo que determinará qual o ponto de operação em tempo real ([WERTZ; LARSON, 1999](#)).

A Figura 21 apresenta a topologia geral de um sistema de potência.

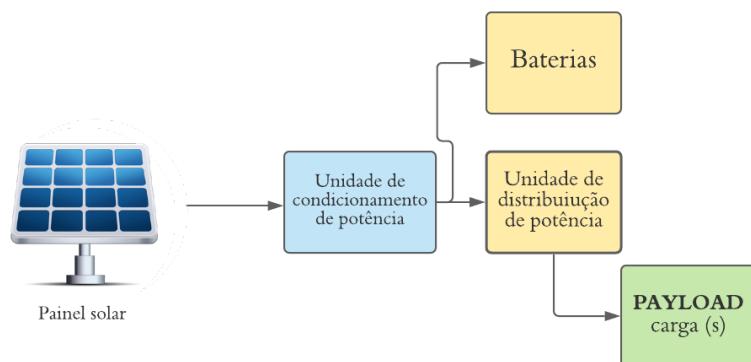


Figura 21 – Topologia de um sistema de potência.

Em ambos os tipos de arquitetura, vários métodos são utilizados para regulação do barramento principal que conecta o EPS aos demais subsistemas. A seguir, serão listados os tipos de regulação de barramentos utilizados em EPS e suas principais características, segundo (PAULA; MAGALHÃES, 2019):

- Barramento Não Regulado (BU)

Visa simplificar o projeto do *EPS*, otimizando o sistema de energia centralizada e delegando às cargas a regulação da energia do barramento.

- Barramento Regulado (BR)

Aqui, ao contrário do anterior, o objetivo é a otimização do design dos componentes e simplificação da interface, e a regulação da energia do barramento é feita centralizadamente.

- Barramento Semi-regulado (BS)

Utiliza os dois métodos anteriores paralelamente, empregando dois barramentos principais, junto a um componente gerador independente, aumentando a oferta de energia.

- Barramento Quase-regulado (BQ)

Tem configuração semelhante ao Barramento Não Regulado, porém utiliza também um regulador de carga para a bateria (*Battery Charger Regulator – BCR*)

- Barramento Híbrido (BH)

Utilizado em missões LEO para suprir as falhas existentes entre os barramentos regulados e não regulados.

A figura 22 a seguir apresenta as diferenças entre as configurações dos barramentos para os tipos de topologias DET e PPT.

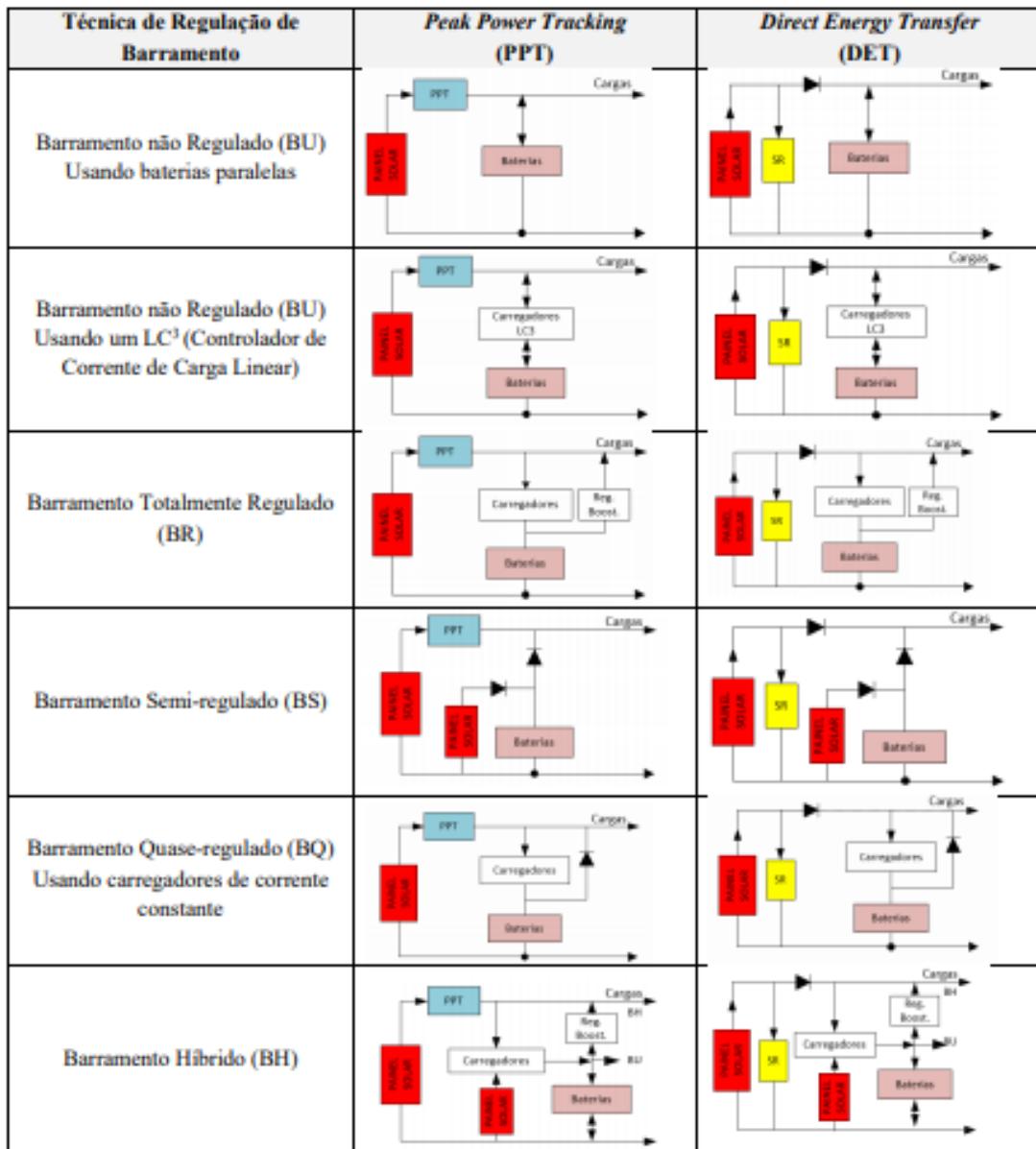


Figura 22 – Diferentes técnicas de Regulação de Barramento aplicadas à topologias do tipo DET e PPT. Fonte: ([PAULA; MAGALHÃES, 2019](#)).

Dessa forma, considerando os diferentes modelos de regulação expostos, bem como a literatura de ([JEPPESEN; THOMSEN, 2001](#)), ([HOLLWEG, 2016](#)), ([WERTZ; LARSON, 1999](#)), ([PAULA; MAGALHÃES, 2019](#)), entende-se que a topologia ideal para o Projeto PocketQube para educação básica seria do tipo PPT (*Power Point Tracking*). A topologia específica, bem como a técnica de regulação de barramentos, será a de Barramento não regulado (BU).

## 2.2.5 Distribuição de Energia

O sistema de distribuição da energia elétrica (*Power Distribution Unit* - PDU) consiste em cabos, barramentos de energia, componentes de proteção contra falhas e

chaves para ligar e desligar as cargas (dispositivos de segurança). Como subsistemas e cargas úteis trabalham com tensões diferenciadas, o barramento de distribuição pode precisar de regulagem para elevar ou diminuir a tensão, por meio de conversores DC-DC.

Os sistemas de distribuição de energia são centralizados ou descentralizados, dependendo da localização dos conversores. Na distribuição descentralizada os conversores estão alocados em cada carga separadamente, enquanto a abordagem centralizada regula a energia para todas as cargas de espaçonaves dentro do barramento principal. A distribuição descentralizada requer um barramento não regulado porque os conversores distribuídos regulam a potência. Uma vantagem do sistema centralizado é não ter a necessidade de projetar o *EPS* para diferentes aplicações (WERTZ; LARSON, 1999).

Em CubeSat geralmente a rede de distribuição de energia para as cargas é feita de forma centralizada, sem o uso de disjuntores, devido às restrições de espaço.

## 2.2.6 Dimensionamento do EPS

No presente tópico, serão elencadas as restrições e metodologias para o dimensionamento dos quatro subsistemas que compõe o EPS: Geração, Armazenamento, Regulação e Controle e Distribuição. Adicionalmente, serão apresentados os mecanismos de redundância, bem como os diagramas de potência e a interface elétrica do EPS.

- Requisitos e Restrições

A tabela 16, que é uma estimativa da demanda de potência para o PocketQube para Educação Básica, foi desenvolvida a partir dos dados de demanda energética dos componentes do PocketQube onde, adicionalmente, foi estabelecida uma margem de 20% para estimativa de potência total, de acordo com (PAULA; MAGALHÃES, 2019), referente as perdas inerentes à distribuição e aos consumos internos do EPS.

Subsistema	Equipamento	Tensão típica [V]	Corrente [mA]	Potência [mW]
EPS	ESP32 (1)	0	0	
Payload	BME 280 da Bosh (2)	3,6	0,0036	0,01296
MICS 6814	(3) RED sensor	2,4	32	76,8
MICS 6814 (3)	OX sensor	1,7	26	44,2
MICS 6814 (3)	NH3 sensor	2,2	30	66
OBDH	ESP32	3,3	80	264
ADS	MPU 6050 (4)	1,8	3,8	6,84
2-5	GPSNEO6M (5)	2	10	20
TTC WiFi	LoRa 32 (V2) (6)	3,3	50	165

Tabela 16 – *PowerBudget* do *PocketQube* para a Educação Básica.

É preciso que haja um balanço positivo de carga na bateria para que garanta o funcionamento do *PocketQube* durante todos os seus modos de operação. Isso significa que a energia gerada vai depender do fluxo de energia solar, eficiência da bateria, além da fonte alimentação e área efetiva das células solares (MAHDI; JAAFER; ABD, 2014).

O *PocketQube* para a Educação Básica será lançado a partir de um drone do tipo *Phantom 3* e, devido a isso, o tempo de missão real será menor ou igual à autonomia de voo do drone, que é de aproximadamente 30 minutos. Dessa forma, será considerado um tempo de missão de 1h, de forma a se dimensionar o sistema de alimentação com autonomia superior ao necessário, garantindo o fornecimento durante todo o período de voo. Para o projeto preliminar de dimensionamento do *EPS* serão utilizados os seguintes parâmetros e constantes:

- Constante solar ( $J_0$ ) de 1367 W/m<sup>2</sup>;
  - Tempo de missão ( $T_m$ ) de 1 hora;
  - Potência consumida durante o período de luminosidade ( $P_d$ ) que é igual a potência consumida durante os períodos de eclipse ( $P_e$ ), de 771,42 mW;
  - Constante de degradação inerente ( $I_d$ ) é de 0,77.
- 
- Dimensionamento do Subsistema de Geração de Energia

Os painéis fotovoltaicos para satélites em órbita terrestre precisam ser projetados a fim de que atendam aos requisitos de carga dos outros subsistemas, principalmente nos períodos de sunlight e eclipse (WERTZ; LARSON, 1999). E para que eles sejam dimensionados é preciso levar em consideração certos fatores, como características das células, design de matriz solar, cálculos de dimensionamento, configurações, regulação e ambientes de radiação e térmicos.

Alguns problemas relacionados aos painéis solares devem ser levados em consideração no seu dimensionamento, como nível de potência demandado (pico e média), temperaturas de operação, sombreamento, ambiente de radiação, iluminação ou orientação, vida útil da missão, área do painel, massa e seu custo (WERTZ; LARSON, 1999). Por isso, a metodologia utilizada para o dimensionamento dos painéis do *PocketQube* para a Educação Básica está no processo a seguir (figura 23).

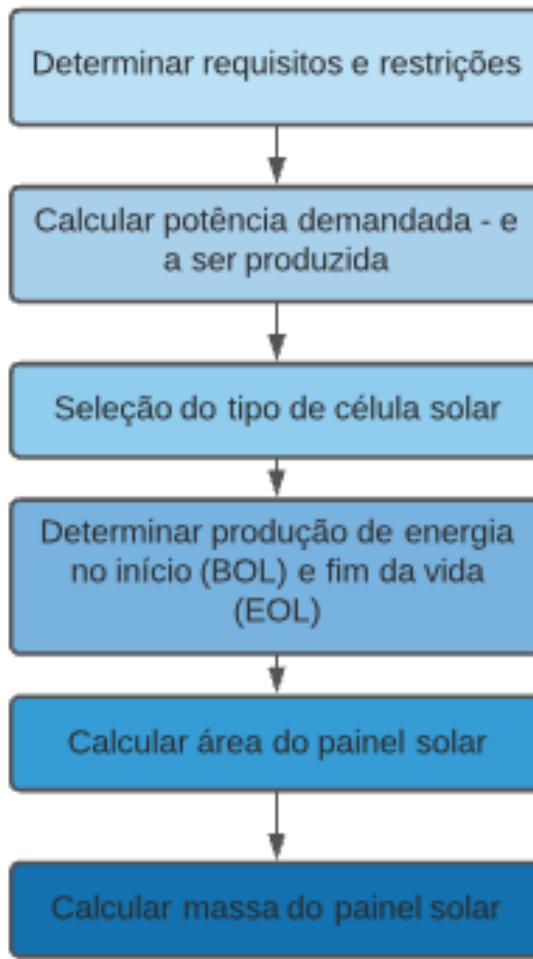


Figura 23 – Metodologia para dimensionamento do painel solar. Fonte: Adaptado de De (PAULA; MAGALHÃES, 2019) apud (WERTZ; LARSON, 1999).

Uma vez que os requisitos e restrições já foram previamente definidos juntamente com o Power Budget, o próximo passo consiste na determinação da potência necessária para o devido funcionamento de todos os sistemas do simulador.

- Potência produzida pelo painel solar

Para determinação da potência a ser produzida pelo sistema de geração, serão utilizadas as seguintes equações:

$$P_{sa}(DET) = \frac{\frac{PeTe}{X_e} + \frac{PdTd}{X_d}}{T_d} = [Watt] \quad (2.1)$$

$$P_{sa}(PPT) = \frac{\frac{PeTe}{X_e} + \frac{PdTd}{X_d}}{T_d} = [Watt] \quad (2.2)$$

Onde,

P<sub>sa</sub> = Potência a ser gerada pelo painel solar;

P<sub>e</sub> = Potência necessária durante o período de eclipse;

T<sub>e</sub> = Tempo total de eclipse;

X<sub>e</sub> = Eficiência da topologia de regulação durante o período de eclipse;

P<sub>d</sub> = Potência necessária para operação durante o sunlight;

T<sub>d</sub> = Tempo total de *sunlight* e

X<sub>d</sub> = Eficiência da topologia de regulação durante o *sunlight*.

Cabe destacar que, para o caso do *PocketQube* para a Educação Básica, as potências necessárias durante os períodos de eclipse (P<sub>e</sub>) e luminosidade (P<sub>d</sub>) serão numericamente iguais, uma vez que todos os componentes e subsistemas estarão ativos permanentemente, independente da luminosidade.

Outro ponto importante diz respeito às estimativas de eficiência para os diferentes tipos de topologia. Para as topologias do tipo DET, utiliza-se X<sub>e</sub> = 0,65 e X<sub>d</sub> = 0,85. Já para as topologias PPT, tem-se X<sub>e</sub> = 0,60 e X<sub>d</sub> = 0,80.

Para os tempos totais de eclipse e luminosidade, será adotada a estimativa padrão para LEO (Low Earth Orbit) de 70% de sunlight e 30% de eclipse, uma vez que essa estimativa é a que mais se aproxima do contexto do projeto.

Assim, tem-se que:

$$P_{sa}(DET) = \frac{\frac{0,77142*18}{0,65} + \frac{0,77142*42}{0,85}}{42} = 1,41[Watt] \quad (2.3)$$

$$P_{sa}(PPT) = \frac{\frac{0,77142*18}{0,60} + \frac{0,77142*42}{0,80}}{42} = 1,51[Watt] \quad (2.4)$$

- Seleção do tipo de célula solar

Para determinação da célula solar utilizada, foram comparados cinco modelos de duas fabricantes diferentes: os modelos XTE-SF, XTE-LILT, XTE-H e XTJ-Prime da Spetrolab e o modelo 4G32C Advanced da AzurSpace. Após a comparação dos diferentes parâmetros, aplicações e dimensões, optou-se pelo modelo XTE-SF (tabela 17) da Spetrolab, modelo padrão recomendado para aplicações em órbitas baixas, com eficiência de 32,2% em BOL e dimensões de 3,97x6,91cm.

Parâmetros ( $J_0 = 1367 \text{ W/m}^2$ )	Valores no BOL
Eficiência	32,2%
$V_{oc}$ (V)	2.750
$J_{sc}$ ( $\text{mA/cm}^2$ )	18.6
$V_{mp}$ (V)	2.435
$J_{mp}$ ( $\text{mA/cm}^2$ )	17.8
$E_{pvt}$	25 W/Kg

Tabela 17 – Características da Célula Solar XTE-SF de 27 cm<sup>2</sup>. Fonte: Datasheet XTE-SF Spectrolab.

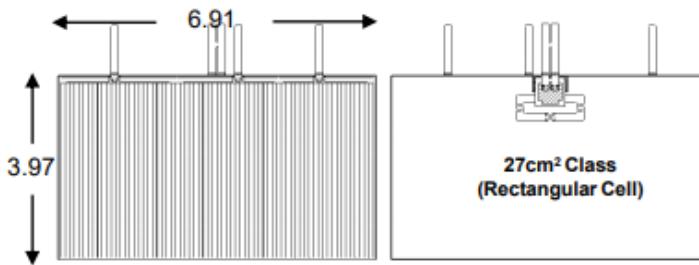


Figura 24 – Dimensões da Célula XTE-SF Spectrolab. Fonte: Datasheet XTE-SF Spectrolab.

- Potência de saída por unidade de área do painel solar

A potência de saída ( $P_o$ ) será determinada pela multiplicação entre a eficiência da célula solar e a constante solar, conforme a equação abaixo:

$$P_o\left(\frac{DET}{PPT}\right) = (\eta(\text{célula}) * J_0) = [\text{W/m}^2] \quad (2.5)$$

Assim, temos que, para a célula XTE-SF cuja eficiência é igual a 32,2% e considerando a constante solar de 1367 W/m<sup>2</sup>, a potência de saída é calculada como:

$$P_o\left(\frac{DET}{PPT}\right) = (0,322 * 1367) = 440,174[\text{W/m}^2] \quad (2.6)$$

- Potência necessária BOL e EOL

Em uma missão com duração prolongada, a potência de saída no início de vida da missão (PBOL) sofre uma perda, em relação à potência no fim da vida (PEOL), devido a degradação inerente das placas solares. Porém, considerando o contexto desse projeto, onde o tempo da missão do simulador é consideravelmente menor que uma missão espacial real que possui parâmetros de operação diferentes para BOL e EOL, será adotado, para fins de dimensionamento, uma potência de saída necessária no fim da vida (PEOL) igual a potência de saída necessária no início da vida (PBOL), que será determinada por:

$$PBOL\left(\frac{DET}{PPT}\right) = Po * Id * \cos \theta = [W/m^2] \quad (2.7)$$

Onde,

PBOL = potência de saída necessária para o começo de vida.

Po = potência de saída.

Id = degradação inerente.

$\theta$  = erro de apontamento do painel solar com relação a incidência de raio solar.

Assim, é possível calcular:

$$PBOL\left(\frac{DET}{PPT}\right) = 440,174 * 0,77 * \cos(50) = 327,06[W/m^2] \quad (2.8)$$

- Estimativa de área do painel solar

Para dimensionar a área total necessária de células solares para atender a demanda do PocketQube (Asa), será utilizada a razão entre a Potência produzida pela célula solar (Psa) e a Potência de saída do fim de vida (PEOL). Desta maneira a área total é calculada abaixo:

$$Asa(DET) = \left(\frac{Psa}{PEOL}\right) = \left(\frac{1,41}{327,06}\right) = 0,004311m^2 = 43.11cm^2 \quad (2.9)$$

$$Asa(PPT) = \left(\frac{Psa}{PEOL}\right) = \left(\frac{1,51}{327,06}\right) = 0,004616m^2 = 46.16cm^2 \quad (2.10)$$

- Estimativa de massa do painel solar

Para estimar a massa total necessária de células solares(Msa), toma-se a razão entre a potência a ser gerada (Psa) e a performance específica do painel (Epvt), definida pelo datasheet da XTE-SF como 25 W/Kg. Assim:

$$Msa(DET) = \left(\frac{1}{Epvt}\right) * Psa = \left(\frac{1}{25}\right) * 1,41 = 0,0564Kg = 56,4g \quad (2.11)$$

$$Msa(PPT) = \left(\frac{1}{Epvt}\right) * Psa = \left(\frac{1}{25}\right) * 1,51 = 0,0604Kg = 60,4g \quad (2.12)$$

- Dimensionamento do painel solar

A seguir serão determinadas a quantidade de células ligadas em série (*strings*) e a quantidade de strings em paralelo necessárias para alimentação do *PocketQube*. Para isso, serão utilizados, além dos valores calculados acima, os dados fornecidos pelo datasheet da placa XTE-SF da *Spectrolab* ([SPECTROLAB, 2018](#)). Primeiramente, a quantidade total de células solares necessárias será determinada por:

$$N(DET) = \left( \frac{P_{sa}}{P_{cell}} \right) \quad (2.13)$$

$$N(PPT) = \left( \frac{P_{sa}}{P_{cell}} \right) \quad (2.14)$$

Onde,

$N$  = número de células solares necessárias.

$P_{cell}$  = potência da célula solar - 1,088 W para a XTE-SF.

$P_{sa}$  = potência do painel solar.

Assim, tem-se:

$$N(DET) = \frac{P_{sa}}{P_{cell}} = \frac{1,41}{1,088} = 1,534 \approx 2\text{células} \quad (2.15)$$

$$N(PPT) = \frac{P_{sa}}{P_{cell}} = \frac{1,51}{1,088} = 1,642 \approx 2\text{células} \quad (2.16)$$

Entretanto, considerando o contexto do *PocketQube*, algumas adequações se fazem necessárias. Ao contrário de satélite reais orbitais, que possuem recursos como o sistema de controle de altitude, responsável por rotacionar o satélite mudando a orientação das faces, o simulador proposto não contará com autonomia de giro, o que pode ser um empecilho na orientação das células fotovoltaicas em direção ao sol.

Assim exposto, seguindo a literatura e buscando a mitigação do problema, o simulador terá suas 4 faces laterais equipadas com células fotovoltaicas, de forma a se aumentar o aproveitamento da radiação solar disponível gerando energia para todos os sistemas que o compõe.

Por fim, considerando a implementação de 4 células fotovoltaicas, a arquitetura proposta consiste na instalação de 2 *strings* ligadas em paralelo, compostas por 2 células ligadas em série, atingindo dessa forma a tensão necessária para o correto funcionamento dos sistemas.

### 2.2.6.1 Dimensionamento do Subsistema de Armazenamento de Energia

O dimensionamento da bateria consiste na seleção da célula, na determinação da quantidade de células necessárias, no cálculo de capacidade de armazenamento e na estimativa de sua massa (Figura 25).

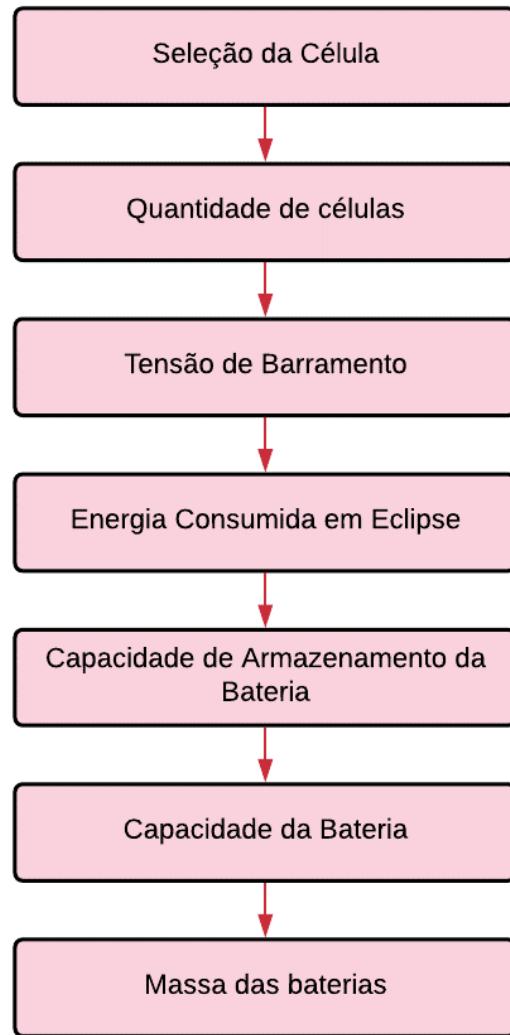


Figura 25 – Metodologia de cálculo para dimensionamento da bateria.

A partir da seleção de qual célula será utilizada no projeto, é possível determinar a quantidade de células necessárias a partir da tensão de barramento, de acordo com a equação a seguir (WERTZ; LARSON, 1999) (ORABY et al., 2014). Para este projeto, foi escolhida a bateria de Li-poly dadas as suas vantagens e cumprimentos com os requisitos propostos.

A bateria SLPB 554374H (figura 26) da Kokam é classificada como *Super Lithium Polymer Battery*, o que significa maior densidade energética, dissipação de calor, alta

densidade de potência gravimétrica e volumétrica, excelente equilíbrio entre potência e energia, ciclo mais longo e vida útil do calendário, baixa impedância e baixa geração de calor, eficiência energética de alta carga / descarga, peso leve, sem efeitos de memória e baixas taxas de autodescarga.



Figura 26 – Bateria de lítio polímero modelo SLPB 554374H da Kokam. Fonte: Kokam Fabricante.

As especificações da célula escolhida estão na figura [27](#) a seguir.

<span style="color: red;">●</span> <b>Typical Capacity<sup>1)</sup></b>		<b>1.25 Ah</b>
<span style="color: red;">●</span> <b>Nominal Voltage</b>		<b>3.7 V</b>
<span style="color: red;">●</span> <b>Charge Condition</b>	<b>Max. Current</b>	<b>2.5 A</b>
	<b>Voltage</b>	<b>4.2V ± 0.03 V</b>
<span style="color: red;">●</span> <b>Discharge Condition</b>	<b>Continuous Current</b>	<b>18.75 A</b>
	<b>Peak Current</b>	<b>37.50 A</b>
	<b>Cut-off Voltage</b>	<b>2.7 V</b>
<span style="color: red;">●</span> <b>Cycle Life</b>		<b>&gt; 500 Cycles</b>
<span style="color: red;">●</span> <b>Operating Temp.</b>	<b>Charge</b>	<b>0 ~ 40 °C</b>
	<b>Discharge</b>	<b>-20 ~ 60 °C</b>
<span style="color: red;">●</span> <b>Dimension</b>	<b>Thickness (mm)</b>	<b>5.4 ± 0.2</b>
	<b>Width (mm)</b>	<b>42.5 ± 0.5</b>
	<b>Length (mm)</b>	<b>73.5 ± 0.5</b>
<span style="color: red;">●</span> <b>Weight (g)</b>		<b>32.0 ± 1.0</b>

Figura 27 – Especificações técnicas da célula de bateria SLP 554374H. Fonte: Kokam

A bateria do sistema consiste em células individuais conectadas em série e a quantidade de células necessárias é dada pela tensão de barramento (WERTZ; LARSON, 1999). A equação a seguir é utilizada para obter estes dados (ORABY et al., 2014). Levando em consideração que o componente que demanda maior tensão exige 3.6 V de saída, tem-se:

$$N(\text{batcell}) = \frac{V(\text{buss})}{V(\text{batcell})} = \frac{3,6V}{3,7V} = 0,97 \approx 1\text{ célula} \quad (2.17)$$

Onde,

$N(\text{batcell})$  = número de células utilizadas na bateria.

$V(\text{bus})$  = Maior tensão demandada.

$V(\text{batcell})$  = tensão nominal da bateria.

A tensão de barramento é, então, calculada por:

$$V(\text{batmed}) = N \cdot V_{\text{cell}} = 1 \cdot 3,7 \text{ V}$$

$$V(\text{batmed}) = 3,7 \text{ Vdc}$$

Onde,

$V(\text{batmed})$  = tensão de barramento - em V.

$N$  = número de células.

$V(\text{cell})$  = tensão nominal da bateria.

A depender da órbita que o *PocketQube* irá se posicionar é necessário saber qual será a sua órbita em eclipse. Isso significa que a energia gerada pelos painéis solares deverão ser direcionadas para o carregamento do banco de baterias para que o sistema continue funcionando nos períodos de eclipse. Então, essa energia consumida pelo *PocketQube* durante esse período é calculada pela potência de consumo e o tempo de eclipse.

$$Ee = Pe * Te \quad (2.18)$$

$$Ee = 0,7714 \text{ W} * 0,4475 \text{ h} = 0,3452 \text{ Wh}$$

Onde,

$Ee$  = energia consumida no período de eclipse - em Wh.

$Pe$  = potência demandada pelo sistema.

$Te$  = tempo de eclipse.

A capacidade de armazenamento da bateria pode ser calculada considerando a profundidade de descarga da bateria (*Deep of Discharge* - DoD) - referente à quantidade de carga retirada da bateria num ciclo típico de funcionamento, expressa em percentagem da capacidade nominal desta -, número de células de bateria e eficiência de transmissão entre a bateria e a carga.

$$Cr = \frac{Ee}{DoD * N * \eta_{bat}} \quad (2.19)$$

$$Cr = \frac{0,3452Wh}{0,30 * 1 * 0,9} = 1,27Wh$$

Onde,

$Cr$  = capacidade de armazenamento da bateria - em Wh.

$Ee$  = energia consumida no período de eclipse.

$DoD$  = profundidade de descarga - 30

$\eta_{bat}$  = eficiência de transmissão entre bateria e carga - 0,9

É possível obter a capacidade da bateria em Ah - Ampere-hora- pela equação a seguir.

$$Cr1 = \frac{Cr}{V(batmed)} \quad (2.20)$$

$$Cr1 = \frac{1,27W}{3,7V} = 343,24mA\cdot h$$

Onde,

$Cr_1$  = capacidade da bateria - em Ah.

$Cr$  = capacidade de armazenamento da bateria.

$V(batmed)$  = tensão de barramento

Agora, para dimensionar a massa das baterias, é necessário saber o valor de densidade de energia específica - em Wh/Kg - e a capacidade de armazenamento da bateria calculada anteriormente.

$$M(bat) = \frac{Cr}{Ed} \quad (2.21)$$

$$M(bat) = \frac{1,27Wh}{100\frac{Wh}{Kg}} = 0,0127Kg = 12,7g$$

Onde,

$M(bat)$  = estimativa de massa das baterias - em Kg.

$Cr$  = capacidade de armazenamento da bateria.

$Ed$  = densidade de energia específica - em Wh/kg.

A tabela 18 a seguir apresenta os dados calculados para o armazenamento de energia do *PocketQube*.

Armazenamento de Energia	
Célula	SLP 554374H da Kokam 1,25 Ah/3,7 V
Nbatcell	1 célula
Vbatmed [V]	3,7
Ee [Wh]	0,3452
Cr [Wh]	1,278
Cr1 [mAh]	343,24
Mbat [kg]	0,0127

Tabela 18 – Configurações do sistema de armazenamento de energia.

A taxa de descarga da bateria a uma corrente máxima de 1,12A a 4,2V é 0,9C. Pela figura 28 é possível avaliar as características de carga das baterias da KOKAM. É visto que mesmo quando a tensão da bateria atinge 4,2V elas permanecem sem estar totalmente carregadas. Dessa forma, utiliza-se o controlador de carga MPPT para que essa tensão seja regulada.

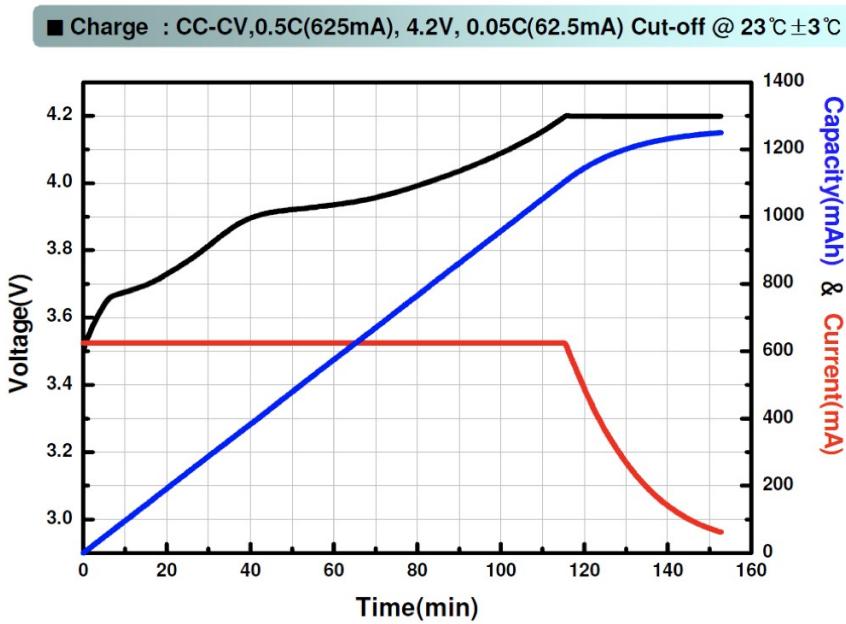


Figura 28 – Característica de carga da bateria KOKAM SLPB554374H. Fonte: INPE.

A figura 29 apresenta uma taxa de descarga máxima da bateria selecionada. A taxa de descarga da bateria a uma corrente máxima de 1,12A a 4,2V é 0,9C. Essa taxa, também chamada de C Rate, é o quanto de capacidade a bateria possui para fornecer energia de maneira constante. Isso significa dizer que a bateria da KOKAM SLPB554374H pode fornecer até 0,9 vezes a taxa nominal de corrente.

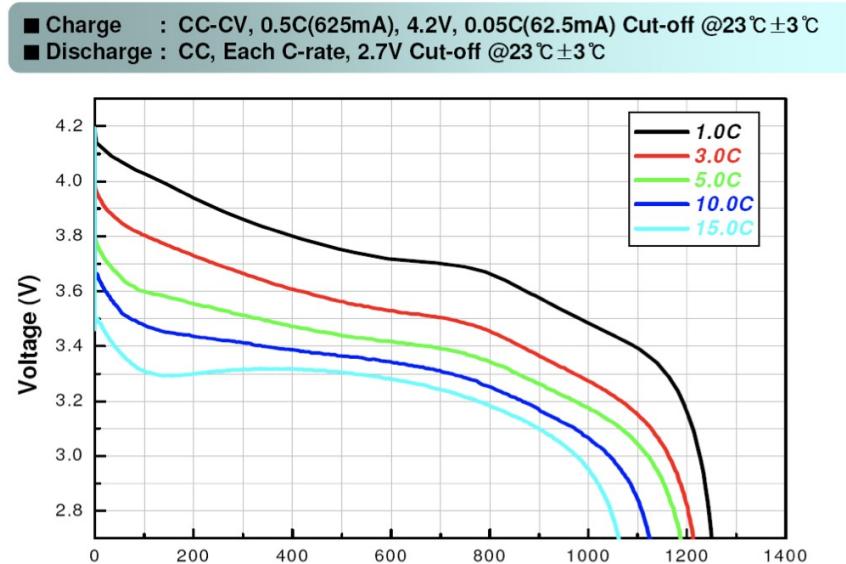


Figura 29 – Taxa de descarga da bateria KOKAM SLPB554374H. Fonte: (THIRION, 2009).

A temperatura de carregamento da bateria deve estar entre 0 °C e 45 °C ou pode

sofrer danos irreparáveis, como apresenta o datasheet da bateria selecionada, o que pode não ser um problema, pois o satélite irá operar a baixas altitudes ([THIRION, 2009](#)).

### 2.2.7 Dimensionamento do Subsistema de Regulação e Controle de Energia

Dentre as atribuições do subsistema de regulação e controle de energia, estão: controle da energia gerada nas células solares, regulação da tensão para os demais subsistemas e controle da carga das baterias ([WERTZ; LARSON, 1999](#)). Uma vez que sistemas alimentados por fontes fotovoltaicas geralmente utilizam topologias do tipo PPT para sua regulação, esse tópico será baseado na aplicação desse tipo de topologia ao contexto do *PocketQube*.

Um sistema com topologia do tipo PPT consiste em um arranjo não-dissipativo, uma vez que o controlador extrai da fonte a exata quantidade de energia necessária para a alimentação do sistema. Para implementação da topologia, faz-se necessária a utilização de um conversor CC/CC em série com o arranjo fotovoltaico. Esse conversor atua como um controlador de carga, na conversão da energia de entrada em uma energia equivalente de saída, porém com a tensão e corrente adequadas ao sistema e, adicionalmente, utiliza um algoritmo que rastreia o ponto de pico de potência e alterar, em tempo real, o ponto de operação das células.

Uma das variações do tipo de topologia PPT consiste no sistema MPPT (*Maximum Peak Power Tracking*). Sua implementação também requer a utilização de um controlador de carga, que através de um algoritmo MPPT, irá enviar em tempo real as alterações relativas ao ponto de operação das células fotovoltaicas.

Para escolha do conversor adequado, foi utilizado como parâmetro a corrente gerada pelo arranjo solar, que é a maior do sistema e igual a 0,96 mA. Dessa forma, propõe-se a utilização de um módulo com corrente e tensão de entrada iguais a 1A e 5V, respectivamente. A partir da análise de 2 modelos distintos, optou-se pela utilização do módulo conversor SD05CRMA (figura 30) que opera entre os limites de 3.2 a 18.5V, possui proteção contra sobrecarga das baterias e é indicado para uso conjunto com baterias Li-PO.

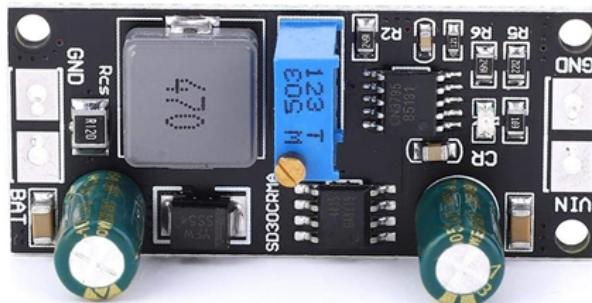


Figura 30 – Módulo conversor SD05CRMA. Fonte: DYKBmetered SD05CRMA.

Quanto à técnica de regulação por barramentos, optou-se pela simplificação do circuito uma vez consideradas as limitações de espaço e peso do simulador. Assim, é proposta a implementação de uma topologia não-regulada, onde a tensão direcionada para as cargas é a mesma da bateria, porém acrescida de um conversor CC/CC que possa condicionar a energia entregue a *ESP 32* aos parâmetros requeridos por ela.

O conversor utilizado será o Conversor CC/CC – *Step Down* – LM2596 (figura x). É um módulo eletrônico, mais precisamente um Conversor de Tensão, que tem como principal função converter um nível de tensão inicial em outro nível secundário. De forma geral, ele tem a função de regular a tensão de saída em relação a uma tensão de entrada.

Esse conversor usa o método do Conversor Chaveado ou Conversor Estático, que são circuitos que trabalham com a comutação de tensão em conjunto de um indutor e capacitor para fazer a regulagem da tensão de saída. O Conversor CC/CC tem vantagem sobre o Regulador Linear, principalmente pela eficiência na sua conversão, no qual tem perda típica de 12% da potência de entrada, enquanto o regulador linear pode perder até 50%. Existem ainda diversas topologias para utilização de conversor CC/CC, com objetivos variados como reduzir a tensão, elevar, inverter a polaridade, etc.

O Conversor CC/CC – *Step Down* – LM2596 é um conversor de tensão, que converte um nível de tensão contínua (CC) em outro nível de tensão contínua, denominado Conversor CC/CC ou Conversor CC , de topologia *Buck* (ou popularmente chamado de Conversor Step Down), que vai reduzir a tensão saída em relação de entrada. Esse Conversor CC/CC tem como base o Circuito Integrado LM2596, que suporta tensões de entrada de 4,5 à 40V, e consegue fornecer, de forma ajustável (através de um trimpot), de 1,2 à 36V com até 3A de carga, tendo um rendimento de até 90%. Dessa forma, a utilização deste modelo de conversor é necessária para aplicações onde é preciso de níveis de tensão menores que o da fonte.



Figura 31 – Conversor CC/CC – *Step Down* – LM2596. Fonte: Curto Circuito (2020).

## 2.2.8 Distribuição de Energia e Redundâncias

O *EPS* do *PocketQube* para Educação Básica possui painéis fotovoltaicos como entrada de energia. Um algoritmo MPPT é, então, conectado em série para que os painéis sejam operados com eficiência máxima, pois a potência máxima será entregue na tensão da bateria.

Uma das partes mais importantes do sistema de energia são os conversores CC/CC, onde a voltagem da bateria é convertida em voltagens necessárias dos componentes e da carga útil. A eficiência de conversão de um conversor CC/CC normalmente aumenta com o aumento do consumo de energia ([SIRIN, 2015](#))

O *Power Distribution Matrix* - PDM -, por sua vez, terá a função de fazer o gerenciamento da energia gerada pelo EPS. Isto é, irá distribuir a energia para os subsistemas quando demandada e, quando não necessária, ativará o modo '*sleep*'. Os dados referentes ao PDM estão disponíveis na seção 2.1.3.

(figura 32)

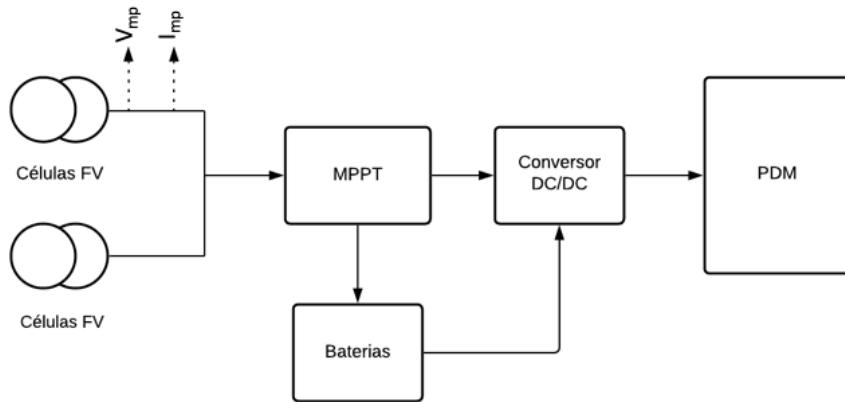


Figura 32 – Diagrama do sistema de energia.

- Cabeamento

As instalações e dimensionamento de fios e cabos elétricos de baixa tensão devem obedecer recomendações apresentadas pela NBR 5410/2004. De acordo com a NBR NM 280, são relacionados variados tipos de cabos isolados, como condutores sólidos, encordoados e flexíveis e que são apresentados na tabela 19. A escala métrica disponível na NBR 70 C apresenta também dados referentes à seção do fio - em mm<sup>2</sup>- e as respectivas amperagens (NAMBEI, 2020). Ainda de acordo com a NBR 5410 os fios serão vermelhos para saídas e entradas positivas e pretos para saídas e entradas negativas, respectivamente.

Classe 4 - Condutores Flexíveis		
Seção Nominal [mm <sup>2</sup> ]	Ampere	r [oms/mm]
0,50	6	3,9E-05
0,75	10	2,6E-05
1,00	12	1,95E-05
1,50	15,5	1,33E-05
2,50	21	7,98E-06
4,00	28	4,95E-06

Tabela 19 – Classe de condutores.

Para o projeto do EPS do *PocketQube* foi necessário calcular a queda de tensão para que a seção do fio fosse definida. Sabendo que a corrente máxima do sistema para carregamento da bateria é de 2,5 A foi escolhido Cabo Fio Flexível Vermelho de PVC 20 AWG cobre estanhado, seguindo a NT 003 (figura 33).



Figura 33 – Cabo Flexível Vermelho 20 AWG. Fonte: ([ELETRONICA, 2020](#)).

A queda de tensão em cada seção do sistema de EPS foi calculada. A resistência é obtida pelo produto da resistividade do condutor com o comprimento da seção do fio.

$$R = r * L \quad (2.22)$$

Onde,

$r$  = resistividade, em Ohms/mm

$L$  = comprimento, em mm.

A queda de tensão é calculada pelo produto da resistência dos cabos pela corrente.

$$SV = R * I \quad (2.23)$$

Onde,  $SV$  = Queda de tensão

$R$  = Resistência do fio, em Ohms/ $\text{mm}^2$

$I$  = Corrente nominal, em A.

Sabendo que a queda de tensão é dada em percentual, tem-se a equação:

$$SV\% = \frac{TS}{TE} * 100 \quad (2.24)$$

Onde,  $SV\%$  = Queda de tensão percentual  $TS$  = tensão de saída, em V.  $TE$  = tensão de entrada, em V.

Foram calculadas todas as quedas de tensão das seções dos fios entre cada componente e dispostos na tabela 20.

Queda de tensão				
Caminhos	Inputs		Outputs	
<b>Painel Solar - MPPT</b>	TE [V]	4,8	Potência [W]	4,60
	Corrente [A]	0,96	R [Ohms]	0,0027
	R [Ohms/mm]	3,9E-05	SV [V]	0,0026
	L [mm]	70	SV%	9,43
	SV Diodos [V]	0,45	TS [V]	4,3
<b>MPPT - Bateria</b>	TE [V]	4,21	Potência [W]	4,04
	Corrente [A]	0,96	R [Ohms]	0,0043
	R [Ohms/mm]	3,9E-05	SV [V]	0,0041
	L [mm]	110	SV%	3,25
			TS [V]	4,20
<b>Bateria - Conversor</b>	TE [V]	3,7	Potência [W]	3,55
	Corrente [A]	0,96	R [Ohms]	0,0039
	R [Ohms/mm]	3,9E-05	SV [V]	0,0037
	L [mm]	100	SV%	12,1
			TS [V]	3,69
<b>Conversor - PDM</b>	TE [V]	3,3	Potência [W]	3,16
	Corrente [A]	0,96	R [Ohms]	0,0005
	R [Ohms/mm]	3,9E-05	SV [V]	0,0004
	L [mm]	12	SV%	3,25
			TS [V]	-

Tabela 20 – Quedas de tensão das seções dos fios.

- Sistema de Proteção - Diodos

O relatório ECSS-E-ST-20-08C da *European Cooperation for Space Standardization* - ECSS apresenta requisitos para montagem de sistemas fotovoltaicos espaciais. Dentre os requisitos está incluso o uso de diodos de proteção externos. A razão é que as células solares de junção tripla requerem diodos de proteção conectados em paralelo a cada célula da cadeia de painéis solares, para evitar a operação inversa tensão (que pode danificar eletricamente a célula) desses dispositivos, em certas condições de operação. É importante que os diodos de proteção sejam integrados na rede elétrica de forma que não haja distúrbios no projeto da rede elétrica presente.

O diodo utilizado foi o retificador tipo barreira Schottky 1N5819 e é caracterizado por conduzir a uma tensão mais baixa que os diodos de silício comum. Outro fator de escolha foi a corrente de saída dos painéis solares, que é de 0,96A.



Figura 34 – Diodo 1N5819 tipo Schottky. Fonte ([ELETRÔNICA, 2020](#)).

Diodos 1N5819	
Corrente [A]	1A
Tensão reversa [V]	40V
Encapsulamento	DO-41

Tabela 21 – Especificação do diodo 1N5819 Schottky.

- Circuito de proteção da bateria

As baterias da KOKAM possuem um módulo de circuito de proteção (PCM) soldado nos terminais, cujo objetivo é proteger o equipamento de sobrecargas, descargas excessivas e sobrecorrentes. A faixa de temperatura operacional e de armazenamento deste módulo é de  $-10^{\circ}\text{C}$  a  $50^{\circ}\text{C}$  e  $-20^{\circ}\text{C}$  a  $60^{\circ}\text{C}$ , respectivamente. Espera-se que esta temperatura se mantenha na mesma temperatura das baterias, de  $0^{\circ}\text{C}$  a  $45^{\circ}\text{C}$ , pois o PCM estaria em contato direto com o equipamento selecionado ([THIRION, 2009](#)).

As características elétricas do PCM são mostradas na figura 35.

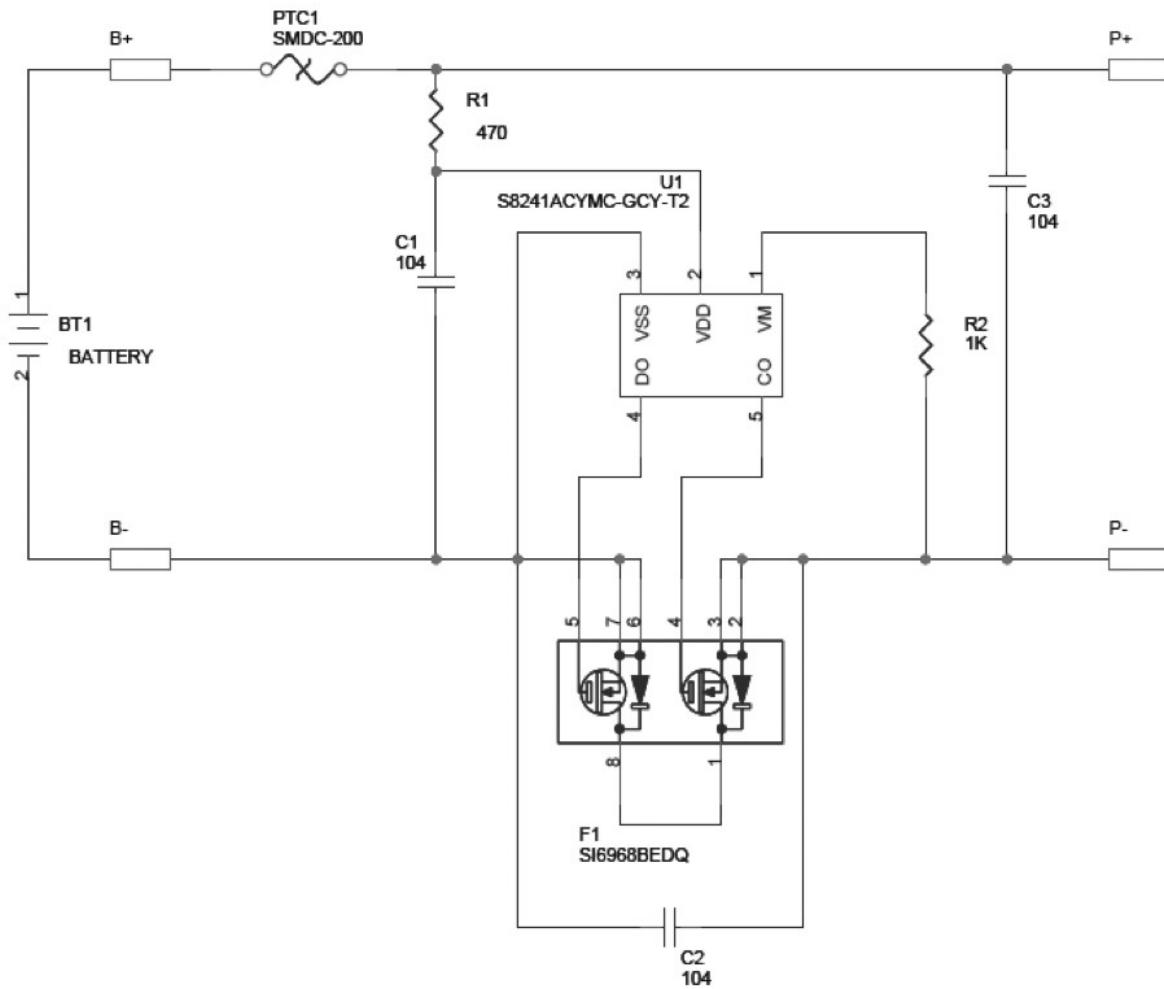


Figura 35 – Esquemático do PCM da KOKAM.

A tensão de carregamento da bateria é de 4,2V. No entanto, quando essa tensão atinge 4,275V, o PCM desconecta a bateria e reconecta numa tensão de 4,075V, evitando danos à bateria por carga excessiva. Em caso de descarga excessiva, o PCM, a bateria é desligada se atingir 2,6V e, então, restabelecida a conexão com tensão superior a 2,9V. Em caso de sobrecorrente haverá um fusível que irá derreter caso a corrente atingir entre 2A a 4A. A tabela 22 a seguir apresenta as características elétricas do PCM da KOKAM (THIRION, 2009).

Característica	
Elétrica	Tempo de atraso na liberação da proibição
Sobrecarga	$4.275 \pm 0.025\text{V}/\text{Cell}$ ; $4.075 \pm 0.050\text{V}/\text{Cell}$ ; 1.0sec $\pm 300\text{msec}$
Sobredescarga	$2.600 \pm 0.080\text{V}/\text{Cell}$ ; $2.900 \pm 0.100\text{V}/\text{Cell}$ ; $125 \pm 37\text{msec}$
Sobrecorrente	$3\text{A} \pm 1\text{A}$ (dependendo da voltagem da célula) carregando.

Tabela 22 – Características elétricas do PCM da KOKAM.

- Redundâncias

Os riscos no lançamento de um satélite são complexos e requer testes extensivos de espaçonaves de aplicação que são implantadas na órbita da Terra com a esperança de operação de vida útil prolongada. Esses perigos e dificuldades das operações espaciais aumentam a importância dos testes de duração. Ele também exige que o design dos satélites seja robusto e tenha níveis razoáveis de redundância, de modo que o serviço possa ser mantido se vários componentes falharem.

Sem essas precauções, um satélite de aplicação muito caro que requer talvez um investimento ainda maior para lançá-lo no espaço poderia ser perdido para a operadora do satélite e, portanto, exigir a substituição a um custo muito alto para a operadora do satélite ou para as empresas que seguraram o lançamento e operação do satélite. Portanto, o *PocketQube* para Educação Básica deverá apresentar redundâncias que garantam a segurança da missão.

- Considerando a perda de uma string no painel solar

A topologia PPT foi considerada para conexão do painel solar, que terá uma string de duas células conectadas em série (figura 36).

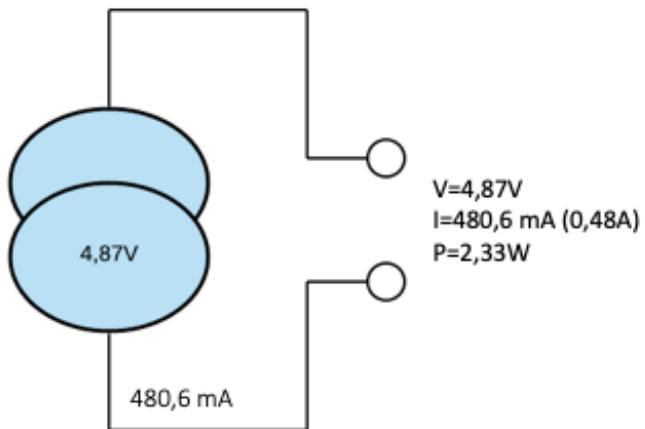


Figura 36 – Configuração das células fotovoltaicas.

A perda de uma string deve ser considerada, pois seria desastroso para o projeto, dado que não haveria nenhuma fonte de energia para todo o sistema. Então, foi adicionada mais uma string em paralelo com duas células em série (figura 37).

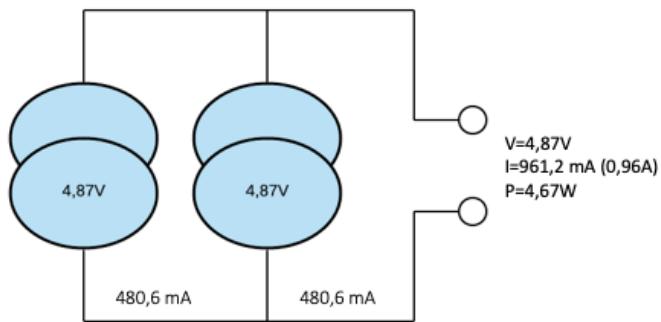


Figura 37 – String redundante para o painel solar do *PocketQube* para Educação Básica.

- Baterias

As baterias, levando em consideração que os painéis irão fornecer energia diretamente para os subsistemas, será um elemento de redundância. Isso porque elas serão acionadas logo após a não detecção de geração de energia pelas fontes solares.

### 2.2.9 Tabela de custos do projeto para o EPS

A tabela 23 apresenta os valores especificados de cada componente que fará parte do EPS. Nela é possível observar o custo de cada produto, bem como sua quantidade e o total de gastos no projeto. Os valores especificados são baseados na cotação do dólar em 16/10/2020.

Tabela de custos

Componente	Valor Unitário	Quantidade	Valor Total
Célula Solar Spectrolab XTE-SF	R\$ 243,97	4	R\$ 975,88
Bateria Kokam SLPB-554374H	R\$ 132,34	1	R\$ 132,34
Conversor DC/DC-Step Down- LM2596	R\$10,90	1	R\$ 10,90
Conversor SD30CRMA	R\$ 54,72	1	R\$ 54,72
Diodo 1N5819	R\$ 0,18	2	R\$ 0,36
Cabo Flexível 20 AWG (0,50mm)	R\$ 0,66	1	R\$ 0,66
<b>TOTAL</b>			<b>R\$ 1174,86</b>

Tabela 23 – Orçamento preliminar do projeto para o EPS.

### 2.2.10 Materiais necessários para construção do EPS

A especificação dos materiais necessários para a geração de energia do *PocketQube* e montagem do EPS visou avaliar a qualidade do produto final, bem to seu pleno funcionamento. Os componentes são de fácil funcionamento e compra, caso seja necessária a troca. Entretanto a célula Solar Spectrolab XTE - SF não é comercializada no país, e como ela pode ser projetada diretamente para cada tipo de projeto, demanda certo tempo

para ficar pronta e chegar até o consumidor. Além do mais seu preço varia de acordo com a cotação do dólar.

#### Materiais

Componente	Tensão de Entrada (V)	Tensão de Saída (V)	Corrente (A)
Célula Solar Spectrolab XTE-SF	-	2.750	0.1
Bateria Kokam SLPB-554374H	4.17-4.23	3.7	2.0
Conve. DC/DC-Step Down-LM2596	3.2-40	1.5-35	2.0
Controlador de carga SD05CRMA	4.4-6.5	4.2	0.1
Diodo 1N5819	<40	<40	0.1
Cabo Flexível 20 AWG (0,50mm)	-	-	-

Tabela 24 – Materiais utilizados para a construção do EPS.

#### 2.2.11 Diagramas do EPS

O Apêndice 4.5 apresenta os diagramas que documentam a construção do EPS.

- Unifilar

O diagrama unifilar deste projeto representa o circuito elétrico e seus componentes. Nele é capaz de observar como se dará toda a instalação elétrica, como cabos a serem usados e onde usados, por exemplo.

- Blocos

O diagrama de blocos demonstra de uma forma geral todo o sistema de potência e energia do *PocketQube*.

- Alocação do EPS

O diagrama de alocação foi elaborado pela equipe de estrutura, entretanto demonstra a alocação do EPS dentro do *PocketQube*.

#### 2.2.12 Plano de testes e Validação

O plano de teste que deverá ser realizado para o *PocketQube* é definido segundo a norma Europeia ECSS-E-ST-20-08C 31 (Julho 2008) - *Photovoltaic assemblies and components* para conjunto de célula solar (SCAs).

Os testes de aceitação devem consistir no seguinte:

- inspeção visual (100% das SCAs), em conformidade com a cláusula 6.4.3.1 da norma ECSS;

- medição do desempenho elétrico (100% das SCAs), em conformidade com a cláusula 6.3.3 da norma ECSS;
- caracterização do diodo (100% dos SCAs), em conformidade com a cláusula 9.4.5.2 da norma ECSS.

### 2.2.12.1 Inspeção Visual

- Aplicabilidade

Os requisitos sobre defeitos visualmente observáveis definidos pela norma se aplicam à concessão de aprovação de qualificação para conjuntos de células solares de alta qualidade. A maioria dos testes requeridos por esta norma devem ser realizados pela fabricante de células solares, não sendo necessária a repetição no projeto em questão.

- Processo de teste

As SCAs devem ser inspecionadas com um equipamento com uma resolução que é 5 vezes maior do que o tamanho mínimo de defeito permitido para verificar os requisitos no seguinte:

- 1. defeitos na célula;
  - 2. lamínula;
  - 3. adesivo;
  - 4. contatos;
  - 5. interconector.
- 
- Desvios

Qualquer desvio dos requisitos de inspeção visual de defeitos deve: 1. não afetar o desempenho ou a confiabilidade, 2. ser acordado com o cliente, e 3. ser justificado.

- Defeitos da célula solar

A localização e as dimensões máximas de cavacos de borda, cavacos de canto e cortes de superfície devem estar em conformidade com a Figura 6-1 e a Tabela 6-2.

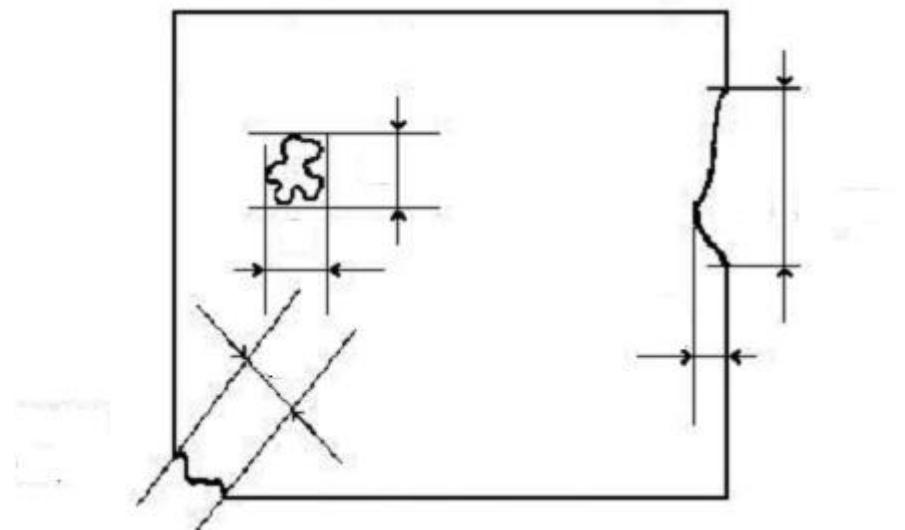


Figura 38 – Definição dos defeitos de teste. Adaptado de ECSS.

Área de célula ( $cm^2$ )	Dimensão dos defeitos		
	a	b	c
4	4	0,7	1,5
8	6	0,8	2
12	8	0,9	2,5
25	10	1	4
32	12	1,1	5

Tabela 25 – Dimensão máxima dos defeitos de acordo com área de célula. Adaptado de ECSS.

A área cumulativa de todos os defeitos dos tipos especificados no requisito não deve exceder 5% da área total da célula solar.

- Defeitos da tampa de vidro

As lamelas devem ser inspecionadas para garantir uma cobertura de 100% da superfície nua das células. Fragmentos e entalhes podem estar presentes nas lamelas se a superfície nua da célula solar estiver 100% coberta.

#### 2.2.12.2 Medição elétrica

- Irradiação de elétrons (EI)

O teste EI é um teste de vida acelerado para verificar a degradação do desempenho da célula solar sob irradiação de partículas de elétrons. As SCAs devem ser submetidas a irradiação de elétrons de 1 MeV. NOTA: A ISO 23038 descreve uma metodologia para realizar este teste.

- Teste de capacidade (CT)

Um dos seguintes métodos deve ser seguido para medição de capacidade: 1. Medição da capacidade da célula solar de junção única no domínio da frequência, conforme descrito na cláusula 11.1. NOTA: Nenhum método disponível para medição de múltiplas junções no momento estabelecidos pela ECSS, podendo a escolha ficar a cargo da equipe de desenvolvedores.

- Caracterização do diodo

O teste de caracterização de diodos não é especificado no norma ECSS, entretanto deve ser realizado em laboratório, a escolha da equipe de desenvolvedores.

## 2.3 Estrutura

A estrutura é um elemento importante para qualquer produto, é a parte do satélite que dá sustentação para todos os componentes embarcados dentro dele, desde os Eletrônicos até o sistema de energia. Portanto o objetivo consiste na análise estrutural de um *PocketQube* para a realização de missões meteorológicas a nível educacional.

O estudo da estrutura será realizado a fim de suportar as cargas às quais o *PocketQube* será submetido, o que faz dela um elemento crítico para o projeto. Ela deve garantir que nenhum componente sofra dano e também facilitar a construção e acoplamento dos demais sistemas. Serão realizadas simulações numéricas baseadas no método de elementos finitos visando assegurar a integridade da estrutura.

### 2.3.1 Requisitos

- O satélite deve estar envolto por uma estrutura de *PocketQube*;
- A estrutura deve comportar um mecanismo para acoplamento e encaixar no seu lançador;
- A estrutura deve oferecer suporte para o sistema de alimentação de energia e para os dispositivos eletrônicos.
- A estrutura deve ser capaz de suportar impacto e proteger os eletrônicos
- A Ground Station deve ser capaz de suportar impacto e proteger os componentes eletrônicos

### 2.3.2 Objetivos Específicos

- A estrutura deve ser capaz de suportar o içamento quando acoplada a um drone.
- A estrutura deve ser feita de forma a suportar as solicitações mecânicas, térmicas.
- A estrutura deverá oferecer suporte para o sistema de alimentação de energia e para os componentes eletrônicos.
- Escolha do material adequado para estrutura com custo benefício acessível.

### 2.3.3 Estrutura do *PocketQube*

O projeto estrutural do *PocketQube* deve comportar todos os seus subsistemas visando diminuir a complexidade da montagem e união dos mesmos, além de garantir

que nenhuma parte do satélite sofra danos, como por exemplo rachaduras ou trincas ao decorrer da missão.

Para obter êxito no projeto estrutural serão seguidos requisitos mecânicos na rea-lização do dimensionamento da estrutura pois, há uma classificação, em relação a massa e dimensão, dos diversos tipos de satélites. Isso acarreta em diferentes formas de construção, sendo que nesse caso trata-se de um *PocketQube*.

O *PocketQube* é um modelo de satélite que possui a estrutura em formato de cubo, com arestas de 50 mm de comprimento, e cada cubo desses seria caracterizado por uma unidade de 1P (50x50x50 mm por unidade). Essa estrutura foi idealizada pelo professor Robert J. Twiggs na *Morehead State University* com o objetivo de facilitar pesquisas científicas em universidades.

Segundo a norma técnica da *European Cooperation for Space Stardization* (ECSS), os *pocketqubes* são picosatélites em formato cúbico, com aproximadamente 50 mm de aresta, e ao contrário do padrão do *CubeSat* que é implantado ao longo de suas bordas do lado longo, o *PocketQube* usa uma placa traseira deslizante para ejeção, portanto, um dos lados do satélite tem dimensões ligeiramente diferentes,([DELFT, 2018](#)) como melhor descrito na tabela abaixo:

Número de unidades [P]	Dimensões externas [mm]
1	50X50X50
2	50X50X114
3	50X50X178

Tabela 26 – Dimensões externas do *PocketQube*. Fonte: ([DELFT, 2018](#))

No projeto será desenvolvido um *PocketQube* 2P, ou seja, é uma estrutura cúbica de dimensões 50x50x116mm podendo pesar até 500g ([DELFT, 2018](#)). Ela é composta por 5 placas externas sendo 2 placas de dimensões 50x50mm com 1,6mm de espessura 3 placas de dimensões 50x114mm com 1,6mm de espessura e uma placa base de dimensões 58x128mm com 1,6mm de espessura.

O formato da estrutura escolhido para o projeto foi em forma de andares, que possui uma facilidade em tornar o *pocketqube* modular, e sendo possível colocar diferentes sensores e em diferentes posições, de acordo com a necessidade da missão.

Na missão escolhida há cinco andares que são mostrados na figura abaixo:



Figura 39 – Organização do *PocketQube*.

A disposição do *Pocketqube* se deu ao fator de que o sistema de energia necessitava de ficar na região central para distribuir a energia usando a menor quantidade de cabos de energia pelo satélite. O sistema de atitude, representado em 1 na figura 39, deve ficar na parte superior do satélite por abrigar o sistema de comunicação e o sistema de localização GPS, que devem sempre estar na ponta do satélite para ter uma comunicação do mais eficiente,(SVENSSON, 2019) e um sistema de localização mais preciso. (SVENSSON, 2019) A placa de computador de bordo representado em 2 deve estar a uma distância maior da bateria que é abrigada em 3, para o microcontrolador não sofrer danos com o aquecimento da bateria.(OGATA et al., 2019) O tamanho da bateria exige que ela fique abrigada em um andar próprio, e pelo sistema de distribuição projetada, ela deve ficar centralizada. O sistema de energia ficou abrigado no andar apontado como número 4, por não conseguir abrigar no mesmo andar que o andar da bateria. A placa de missão deve estar na outra extremidade para possuir um maior contato com ar, possível pelo buraco gerado na estrutura, e conseguir uma maior precisão nas medições atmosféricas. (SVENSSON, 2019)

### 2.3.4 Materiais

A escolha de um material para o *Pocketqube* deve seguir as normas do ECSS, que determina que qualquer material estrutural usado para o *PocketQube* deve ser capaz de suportar todos os requisitos testes ambientais, e dessa forma é recomendado o uso de alumínio 6061 e alumínio 7075 para a estrutura de satélites. ([ECSS, 2009](#))

Portanto, para aplicação no projeto foram selecionados os materiais recomendados pela própria norma europeia de padronização de artefatos espaciais. As Ligas de Alumínio 7075-T6 e 6061-T6 são materiais que combinam alta resistência mecânica aliada a leveza, ou seja, ambas apresentam ótimas propriedades mecânicas resultando em peças, estruturas capazes de suportar situações em que há uma aplicação de carga muito alta sobre a mesma. ([NASA, 2017](#)) A tabela a seguir mostra um comparativo entre as ligas.

Propriedade de Materiais	Alumínio 6061	Alumínio 7075
Unidades	Métrica	Métrica
Limite de escoamento	310 MPa	572 Mpa
Módulo de Elasticidades	68,9 GPa	71,7 GPa
Resistência à Tração	276 MPa	503 Mpa
Coeficiente de Poisson	0,33	0,33

Tabela 27 – Comparativo entre o Alumínio 6061 e o 7075. Fontes: ([GGD, 2020a](#)) e ([GGD, 2020b](#))

O materiais escolhido para o projeto foi o alumínio 6061, que possui uma melhor usinabilidade, e é mais barato para execução de um programa educacional. Sendo que o material possui qualificação para voo orbital.

### 2.3.5 Desenho Técnico

O desenho técnico do projeto já é pré definido pelas classificações de satélite mundiais, ([DELFT, 2018](#)) o modelo escolhido pocketqube se dá ao fato de se tratar de um projeto inovador, pouco explorado no mundo e com design simples e de alta integrabilidade.

As desenho técnico são dados pelas vistas abaixo:

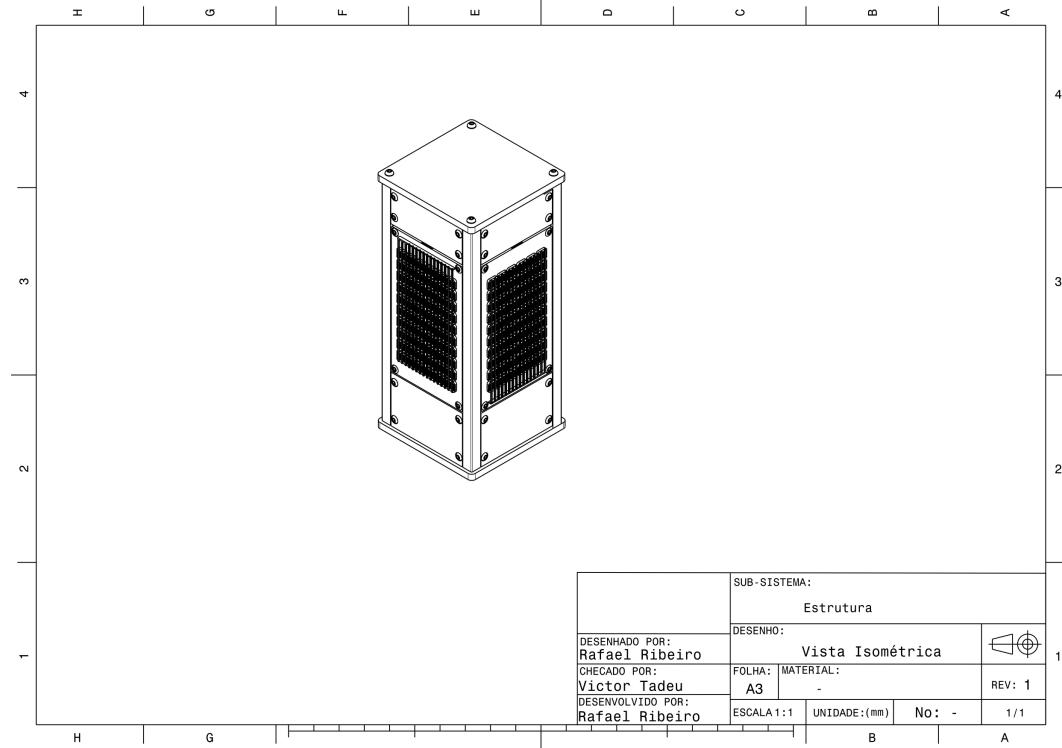
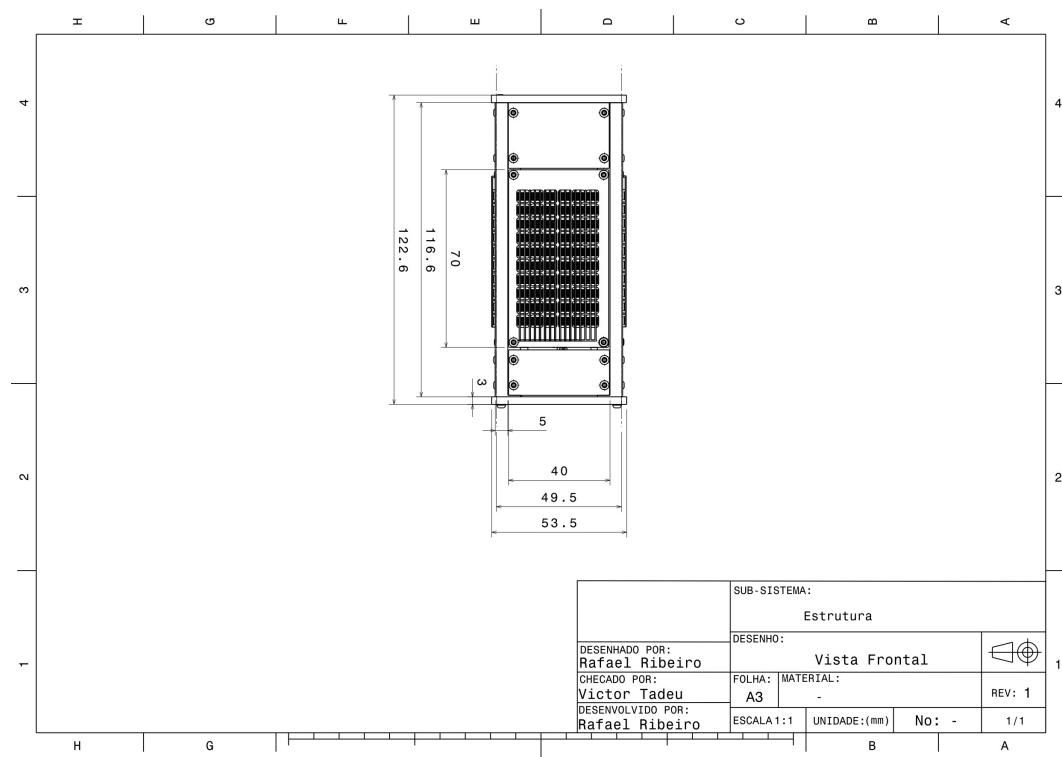
Figura 40 – Vista Isométrica *PocketQube*.

Figura 41 – Vista Frontal.

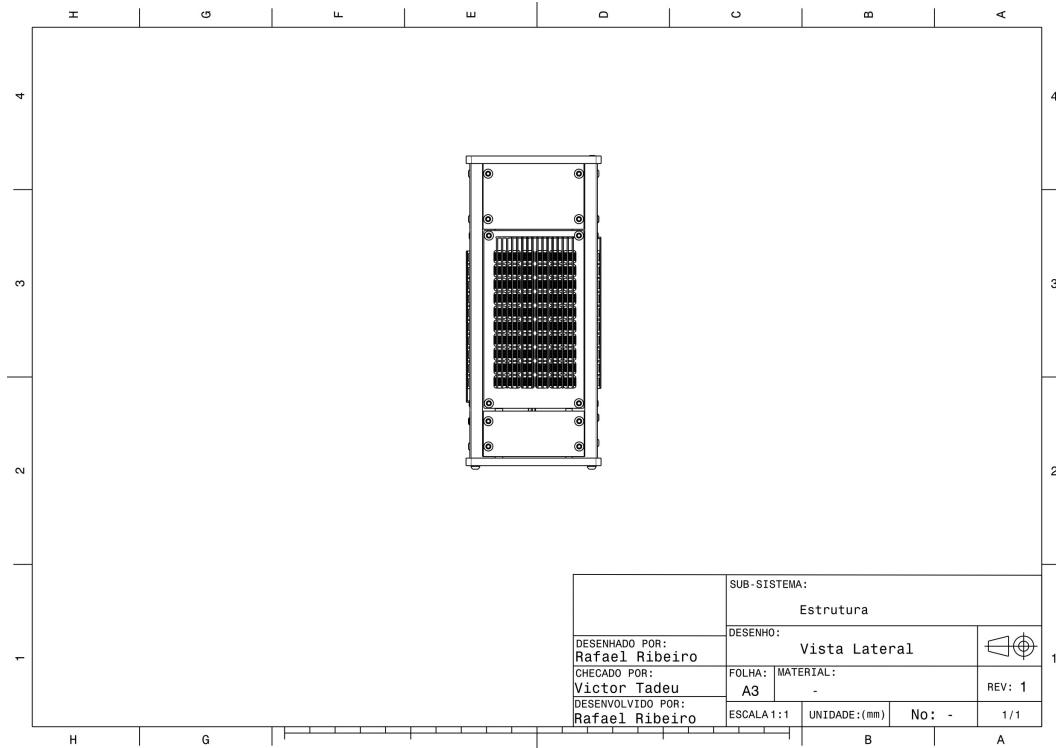


Figura 42 – Vista lateral.

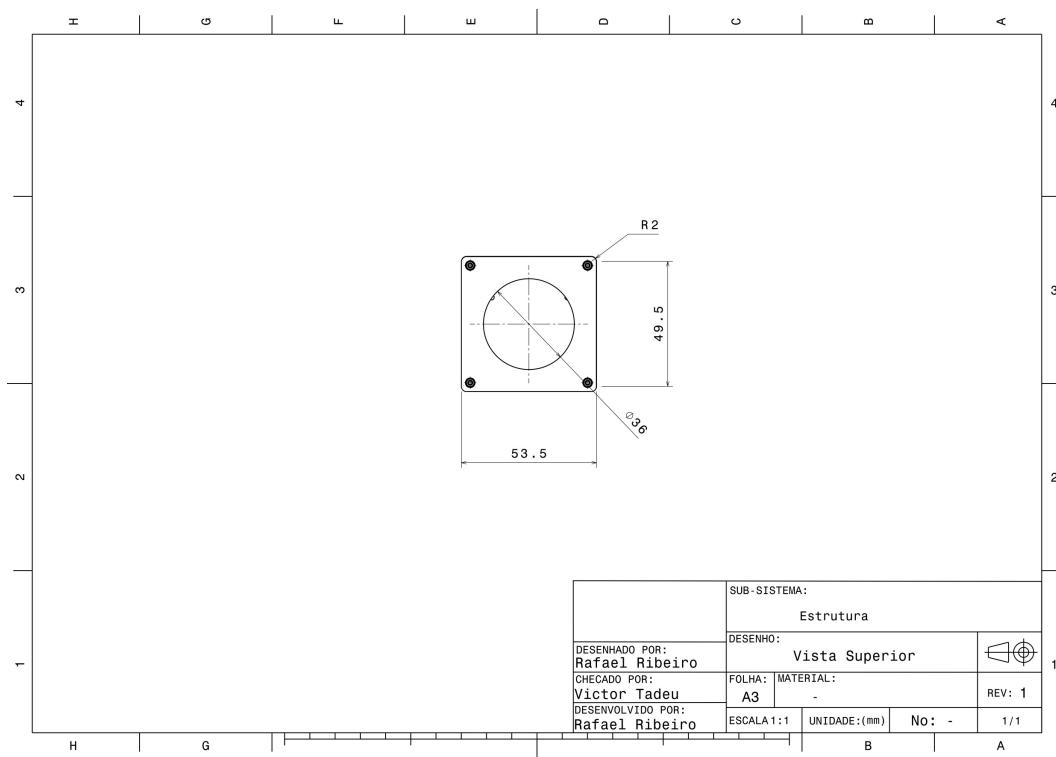


Figura 43 – Vista Superior.

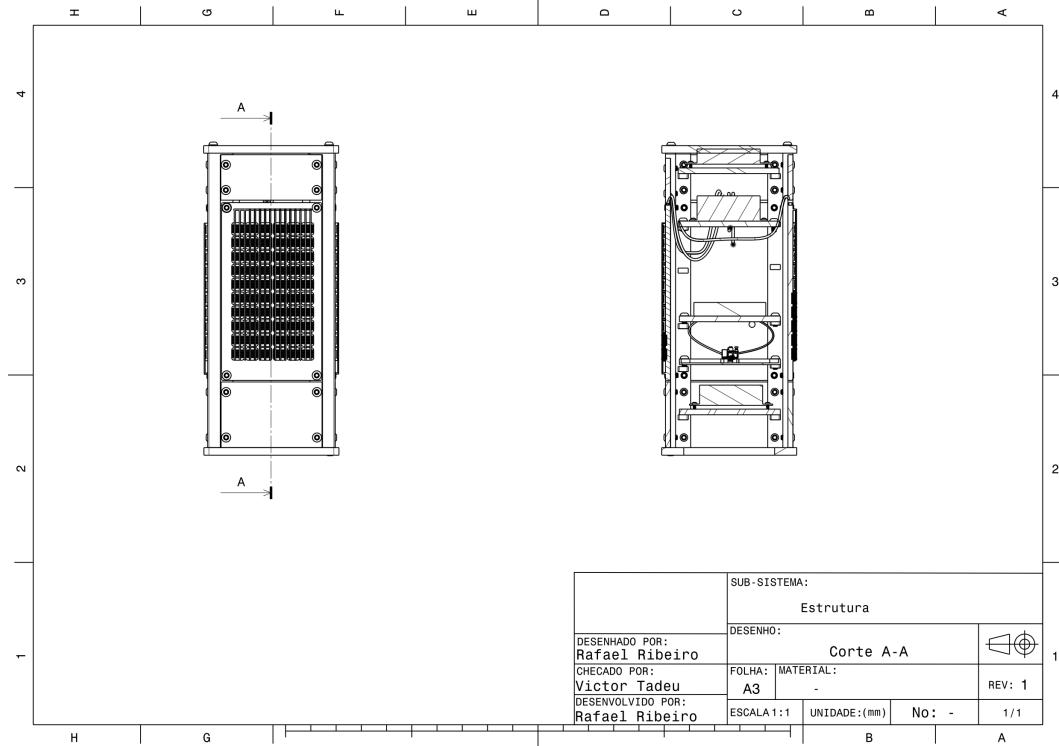


Figura 44 – Corte A-A.

O desenho técnico

### 2.3.6 Testes e Validação

Um satélite, quando vai para o espaço, precisa passar por diversos teste para validar que ele não terá algum problema em voo. Esses testes são chamados de testes ambientais , servem para maximizar a operação do satélite, e minimizar os riscos para o mesmo. Dessa forma ele aumenta a garantia e certifica que o satélite está funcionando conforme o desejado.(BüRGER, 2010 in)

O *PocketQube* é um projeto educacional e não necessita passar por todos os testes ambientais que um satélite tradicional. Com os requisitos do projeto, o sistema deve conseguir suportar o impacto de uma queda, a vibração de um lançamento real para que valide que não haverá falhas e desconexões entre os componentes eletrônicos durante a execução da missão, e a força propulsiva do foguete no lançamento, certificando que a estrutura aguentará impactos e irá proteger os componentes eletrônicos.

Dessa forma será necessário que o satélite passe pelos seguintes testes:

- Forças de lançamento;
- teste de impacto;
- Vibração aleatória ou randômica;

### 2.3.6.1 Forças no lançamento

A decolagem é um dos momentos mais críticos na estrutura do pocketqube, é o momento que o pocketqube sai da inércia e entra em movimento. O movimento de um lançamento pode abalar muito a estrutura, a forte propulsão de um foguete causa um efeito de vibração de esforços axiais. ([BüRGER, 2010 in](#))

Os primeiros esforços que a estrutura do satélite sofrerá ocorre durante um lançamento de foguete, período no qual o satélite está sujeito a níveis de aceleração muito alta que pode alcançar a valores de até vinte vezes o valor da aceleração da gravidade. ([BüRGER, 2010 in](#))

A força axial em cima das payloads em um lançamento é o que possui uma maior atuação na estrutura das cargas pagas. ([BüRGER, 2010 in](#)) O valor dessas forças variam de acordo com o lançador, sendo datadas e registradas de acordo com o manual do usuário do lançador. A tabela abaixo mostra as forças axiais máxima para 1 kilograma de carga paga, todos os dados abaixo são tirados do manual de usuário dos lançadores.

Lançador	Força Máxima Axial [N]
Vega	104
Dnepr	156
Soyuz	96
Ariane V	91

Tabela 28 – Força máxima axial de um foguete em até 1kg de carga paga. Fonte: ([ESA, 2014](#), [LAUNCH, 2011](#)) ([ESA, 2012](#)) ([ESA, 2016](#)).

A norma de simulações feita pela ECSS, diz que as simulações de força axial feita para lançamento deve ser feita com a fixação do seu satélite nos eixos x e y, e deve ser aplicado a força axial do lançador escolhido no eixo z. ([DELFT, 2018](#)) Sabendo que o maior valor da carga axial aplicado por kilograma de carga paga é 156N ([LAUNCH, 2011](#)), do lançador Dnepr, será feito os cálculos do lançamento através do método de análise de malhas de elementos finitos. O método de elementos finitos (MEF) é uma técnica de análise numérica que consiste na discretização de um meio contínuo em pequenos elementos para resolver problemas de valor limite nos quais um grande domínio em um meio contínuo é dividido em partes ou elementos menores. A solução é dada por meio equações diferenciais parciais em cada elemento levando em consideração a teoria da resistência dos materiais para o cálculo de deformações, tensões e deslocamentos como se cada elemento fosse um sistema isolado. ([JÚNIOR, 2006](#)) Para simular a estrutura submetida as forças axiais de um lançamento de foguete, será feito uma simulação do *Pocketqube* em um software de elementos finitos, o Fusion 360, submetendo a estrutura inteira a uma carga de 200N.

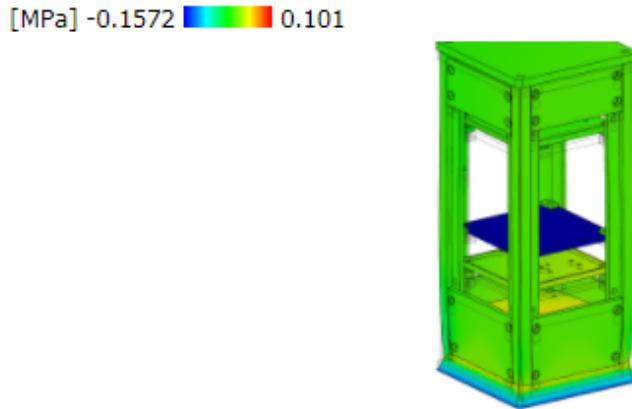


Figura 45 – Resultado dos esforços do lançamento com uma carga de 200N.

A imagem acima mostra o resultado obtido na simulação, e conclui-se que a estrutura irá suportar as solicitações as quais foi submetida tendo em vista que, segundo o critério de Von Mises, a tensão máxima será de 59,66 MPa ao passo que o limite de escoramento do material utilizado é 0,101 MPa, ou seja, o fator de segurança será de 8, sendo assim, a estrutura do projeto se qualificou no primeiro teste para aguentar um lançamento real.

#### 2.3.6.2 Teste de impacto

O lançador escolhido para a execução dos programas educacionais foi o Drone. Devido a legislação de drone RBAC-E 94, Resolução número 419, de 2 de maio de 2017, define que a altura máxima que um drone pode chegar é de 400 pés ou 120 metros. Portanto, visando a segurança de operação e integridade do produto, caso haja falhas técnicas e o pocketqube venha a cair, o pocketqube resista a queda de 120 metros. Na falha do drone ou do suporte que carrega o pocketqube, ele caíra em queda livre. Dessa forma, terá duas forças que atuarão no impacto: a força gravitacional, que é definida pelo produto de massa e aceleração da gravidade (RESNICK, 2010). E o arrasto do ar que é definido como a força de um corpo atravessar o fluido do ar (ANDERSON, 2014). As fórmulas encontradas com essas duas forças serão:

Força Peso: (RESNICK, 2010)

$$W = m * g; \quad (2.25)$$

Onde:

- W: força peso;
- m: massa do pocketqube, que é 0,500 Kg;

- g: Aceleração da Gravidade, é dada por 9,81 m/s<sup>2</sup>;

$$W = m * g = 4,9N \quad (2.26)$$

O arrasto atmosférico é definido pela seguinte equação: (ANDERSON, 2014)

$$D = \frac{1}{2} * Cd * A * V^2 * ro; \quad (2.27)$$

Na qual:

- Cd: Coeficiente de Arrasto, que possui o valor de 1,28 para altura de 120 metros; (ANDERSON, 2014)
- A: área de contato com o fluído;
- V: velocidade em queda livre m/s<sup>2</sup>;
- ro: densidade do ar, dado por (ANDERSON, 2014)

No cálculo do arrasto, é necessário saber a velocidade em que o objeto está caindo em queda livre. Portanto foi feito o cálculo da velocidade através da equação da velocidade de Torricelli.(RESNICK, 2010)

$$V^2 = V^2 o + 2aS; \quad (2.28)$$

Onde:

- V é a velocidade final, na hora do impacto;
- Vo é a velocidade inercial do objeto quando ele vai entrar em queda, portanto é 0;
- a é aceleração, por estar se tratando de uma queda livre será a aceleração da gravidade, portanto a = g = 9,81 m/s<sup>2</sup>;
- S é o espaço que ele percorrerá, e por se tratar da altura máxima de drone de 120 metros, S = 120m;

$$V^2 = 0 + 2 * 9,81 * 120 = 48,52m/s^2 \quad (2.29)$$

Sabendo a velocidade de impacto, é possível saber a força de arrasto atmosférico

$$D = \frac{1}{2} * 1,28 * 0,0025 * 0,128 * 48,52^2 = 0,48N \quad (2.30)$$

Força Resultante de impacto no sistema correctreference

$$Fr = W - D = 4,9 - 0,48 = 4,41N; \quad (2.31)$$

Pelos cálculos apresentarem baixa força de impacto e a estrutura ainda ter que proteger os componentes eletrônicos no interior dela, foi aplicado na simulação do software Fusion 360, uma força axial de 200N para suportar maiores impactos, colocando a estrutura do projeto para entrar em contato com uma estrutura sólida, simulando o impacto com o chão representada na figura abaixo.

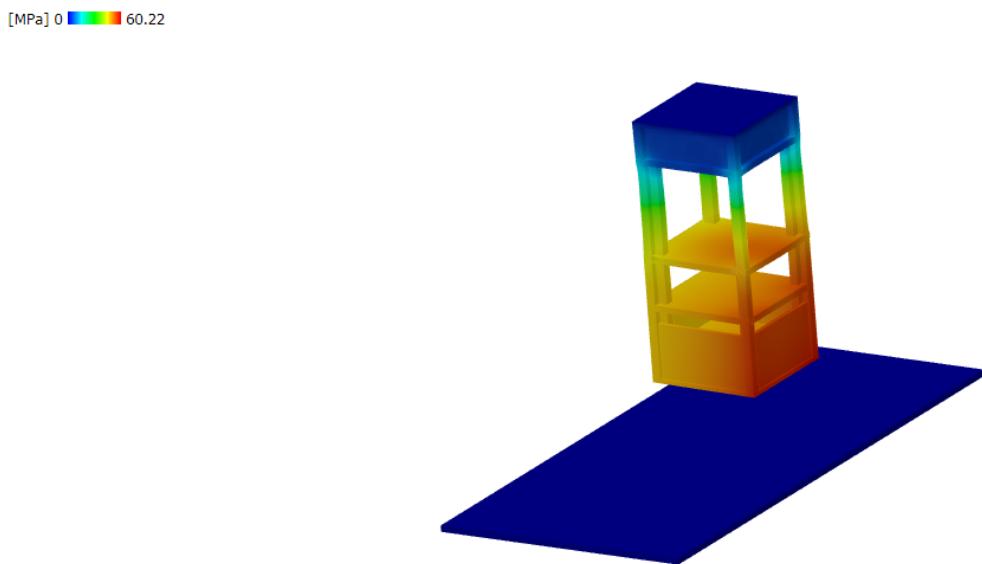


Figura 46 – Simulação submetida à uma força de 200N.

A simulação feita apresentou êxito nos seus objetivos, mostrando que a estrutura e os materiais escolhidos suportam um impacto de 120 metros, uma tensão de 60,22 MPa, ou seja, abaixo do limite de escoamento do material, com fator de segurança de 1,96.

### 2.3.6.3 Vibração Aleatória

A aceleração do lançador causa muita vibração nas cargas pagas em que ele carrega. Esse é o principal motivo para componentes eletrônicos se desintegrarem e satélites não funcionarem. Os propulsores causam vibrações aleatórias no Satélite, que significa que o comportamento dessas vibrações não podem ser previstas com precisão. Portanto o teste de vibração aleatória faz com que o controlador ou o simulador escolha aleatoriamente uma frequência. ([BüRGER, 2010 in](#)) O teste de vibração aleatória possui uma amplitude

que é definida através do nível de energia espectral ( $\text{g}^2/\text{Hz}$ ), que é dado pelo o manual de usuário do lançador escolhido. ([BÜRGER, 2010 in](#))

Lançador	Frequência de vibração máxima na carga paga (Hz)	Amplitude Grms em função da gravidade (g)	Amplitude - Nível de energia espectral máxima ( $\text{g}^2/\text{Hz}$ )
Vega	2000	5,1	11
Dnepr	2000	7,8	14,9
Soyuz	2000	4,94	10
Ariane V	2000	4,55	9,7

Tabela 29 – Propriedade de vibrações dos lançadores. Fonte: ([ESA, 2014](#)) ([LAUNCH, 2011](#)) ([ESA, 2012](#)) ([ESA, 2016](#)).

Visando uma missão bem sucedida para o pocketqube, foram adotadas situações extremas de um lançador orbital que possui alta frequência de vibração - 2000 Hz.

Os testes e simulações, de acordo com norma de testes da ECSS, orientam usar um *shaker*, uma máquina em que se coloca o satélite posicionado e travado na máquina, e ela vibra até a frequência máxima de seu lançador para garantir que seu satélite não tenha comprometimento na estrutura interna. ([DELFT, 2018](#)) Por se tratar de um Pocketqube educacional e a falta de uma máquina de testes, os testes foram feitos no software Fusion 360 utilizando o método de elementos finitos de análise de malha. E o satélite foi submetido a uma vibração de 20Hz até 2000Hz como a norma de testes ambientais exige. A figura abaixo mostra o resultados obtidos do efeito da vibração na estrutura nas simulações.

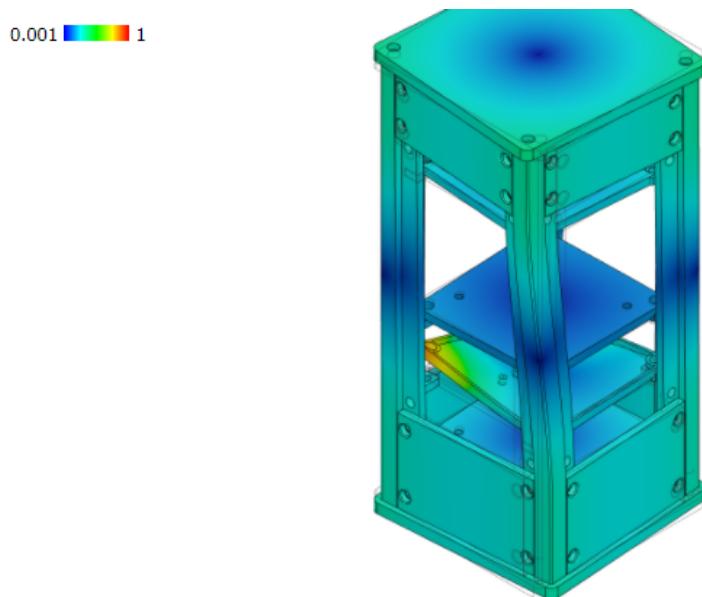


Figura 47 – Estrutura submetida à vibração de 2209 Hz.

As simulações mostraram que a estrutura do pocketqube consegue aguentar uma vibração de frequência de 2209 Hz, e começa a ter grandes deformações em sua estrutura

a partir dessa vibração, conseguindo atender ao requisito de suportar a vibração aleatória de um foguete que possui aceleração e forças menos elevadas. Dessa forma, qualificando a estrutura para uma missão orbital.

### 2.3.7 Processo de Fabricação

A fabricação de uma peça passa por diferentes processos sendo um deles a usinagem no qual é realizado uma operação para conduzir forma a peça, ou acabamento ou dimensões ou ainda uma combinação dos três produzindo cavaco. ([FERRARESI, 2018](#)) O processo de usinagem pode ser classificado em convencional, Torneamento, Fresamento, Furado, Aplainamento e não convencional, como Jato d'água, Eletroerosão, Laser, Plasma. ([FERRARESI, 2018](#))

Para a fabricação das peças do Pocketqube serão utilizados os processos de Fresamento e corte com Jato d'água. O processo de Fresamento consiste em uma operação de usinagem no qual o material removido por uma ferramenta giratória, denominada fresa, de múltiplas arestas cortantes sendo que cada aresta remove uma pequena quantidade de material a cada revolução da árvore em que a ferramenta está fixada, a máquina que realiza essa operação é denominada fresadora. ([BUTTON, 2004](#))

Segundo([HELLENO; SCHÜTZER, 2004](#)) a maior quantidade de eixos possíveis de ser implementados no equipamento lhe confere maior flexibilidade, quando comparado a outros processos de usinagem, sendo assim, o fresamento é utilizado na usinagem de peças com geometrias, tamanhos e complexidade variada, possibilitando níveis de acabamento superficial e tolerâncias melhores.

Para a fabricação, das chapas base, estrutura base, do Pocketqube serão utilizados tarugos quadrados de Alumínio 6061, de  $2\frac{1}{2}$ ",  $\frac{1}{2}$ " e para as chapas laterais barras chatas de  $\frac{3}{4}$ ", sendo todos fresados. As orelhas deverão ser fabricadas por meio do processo de corte em Jato d'água de uma chapa de 2 mm. No processo de fresamento deve-se analisar alguns fatores, ou seja, segundo ([DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2013](#)), os fatores que devem ser analisados no fresamento são profundidade de usinagem ou largura de usinagem, penetração de trabalho, avanço de corte, avanço por dente, número de dentes e velocidade de corte.

Todas as peças fabricadas pela equipe tem seu desenho técnico no [4.6](#), aonde mostram todas as cotações e desenhos dos componentes da estrutura do satélite

### 2.3.8 Sistema de lançamento

Um satélite só realiza sua missão através de lançamentos espaciais, que colocam o seus satélites na órbita desejada. A nível educacional e não universitário, só será simulado

um lançamento, podendo realizar a medição de dados atmosféricos. Em competições no mundo inteiro, os padrões para lançamentos atmosféricos são:

- Drone: O lançamento do satélite pode ser feito via um drone modificado, com uma estrutura para carregar o satélite depois soltá-lo em queda livre. O grande benefício se dá devido ao fato que pode ter o controle de quando lançar, e altura certa, já que o drone possui o sensor de altímetro. A problemática de se lançar com drone é que a legislação brasileira só permite uma altura máxima de 100 metros, o que pode atrapalhar o desenvolvimento de análise de satélite já que é uma altura considerada baixa para fazer medições a níveis mais profissionais. ([SVENSSON, 2019](#))
- Foguete experimental: O foguete experimental é uma das formas mais usadas para lançamento de satélites educacionais. Tem o objetivo de lançar o satélite e o mesmo ter que pousar em segurança com um paraquedas desenvolvido pela equipe. Vantagem: o meio que vai simular mais corretamente uma missão, pois simula um lançamento de um foguete. Desvantagens: Necessário contatar a força área, fechar o espaço áereo do local, sistema um pouco mais perigoso para realizar com alunos inexperientes, já que o foguete pode cair em um raio que necessita ser calculado e envolve produtos inflamáveis e explosivos que são seus combustíveis. ([OGATA et al., 2019](#))
- Balão Atmosférico: é um meio bem usado para fazer testes de satélites educacionais a níveis mais profissionais, alcançam uma altura de 18km a 37km. Ele sobe lentamente e cai em queda livre. Vantagem a altura que alcança, e possui resultados mais interessantes, na qual os alunos podem ver a curvatura da Terra através de uma Câmera e conseguem fazer experimentos mais profissionais. Desvantagens: o meio de desenvolvimento é mais caro por causa do gás hélio, e ficaria por volta de R\$ 2500,00, mais o transporte da equipe para buscar o Balão que pode cair em um raio de 50km do seu ponto de lançamento, é necessário avisar o Força aérea devido ao fato de poder entrar em rota de colisão com um Avião. ([OGATA et al., 2019](#))

Levando em consideração que o projeto visa atingir um público educacional, o sistema de lançamento deve permitir algo acessível, de rápida realização, e que não possua sua execução com preço elevado. Tendo esses parâmetros definidos, e como referência a execução de uma competição européia([OGATA et al., 2019](#)), o sistema de lançamento mais viável é o drone. O drone possui vantagens sobre o foguete experimental, pois não é necessário dimensionar e construir um foguete, também não é necessário ir para uma área isolada e longe da instituição de ensino em que o aluno estuda, e não é necessário fechar o espaço aéreo e notificar o comando aeronáutica sempre que o mesmo for lançado. O lançamento de um foguete também elevaria os custos do projeto, por ter que comprar o combustível e oxidante do lançador. O

drone também possui vantagens sobre balão atmosférico, pois o balão necessita de hélio toda vez que for utilizado, o que não traz praticidade para o usuário e eleva o preço da execução do projeto educacional. O balão por chegar uma altitude de 35 quilômetros(OGATA et al., 2019) precisa avisar o comando aeronáutico para fechar o espaço aéreo da região durante a execução da missão, acabando com a praticidade do lançamento, podendo cair em um raio de 40 quilômetros do seu local de lançamento (OGATA et al., 2019) não é prático para executar e recuperar o *pocketqube*. Portanto para a realização da missão educacional com o drone, é a melhor opção, ele é mais barato, prático e ágil no seu processo de lançamento e execução da missão.

### 2.3.9 Sistema de acoplamento ao Drone

O processo de definição do acoplamento no sistema de lançamento é crucial, pois o sistema possui duas interfaces importantes: uma de conexão com lançador e outra de encaixe do satélite. Entre os requisitos de projeto, a facilidade e segurança de integração do satélite durante o seu tempo de missão são elementos muito importantes para a garantia de segurança da payload e dos componentes embarcados.

Acoplador de Drone : o sistema de acoplamento consiste em um encaixe, geralmente na barriga do drone, para que o satélite possa conseguir altitude no voo. A definição da estrutura do acoplador impacta em duas decisões estruturais no satélite: a primeira é a definição de ter ou não um paraquedas agregado à estrutura do satélite, caso a missão necessite um tempo de queda livre, o deployer precisa soltar o satélite durante o seu voo, caso não necessite o drone poderá retornar com satélite, fazendo o deployer ser semelhante a um sistema de garra.

Para o sistema de acoplamento foi aproveitado o sistema de encaixe do *gimbal* do drone que se assemelha a um sistema de garra, e que é capaz de parafusar o *pocketqube* no drone. O sistema de acoplamento segue o seguinte formato:

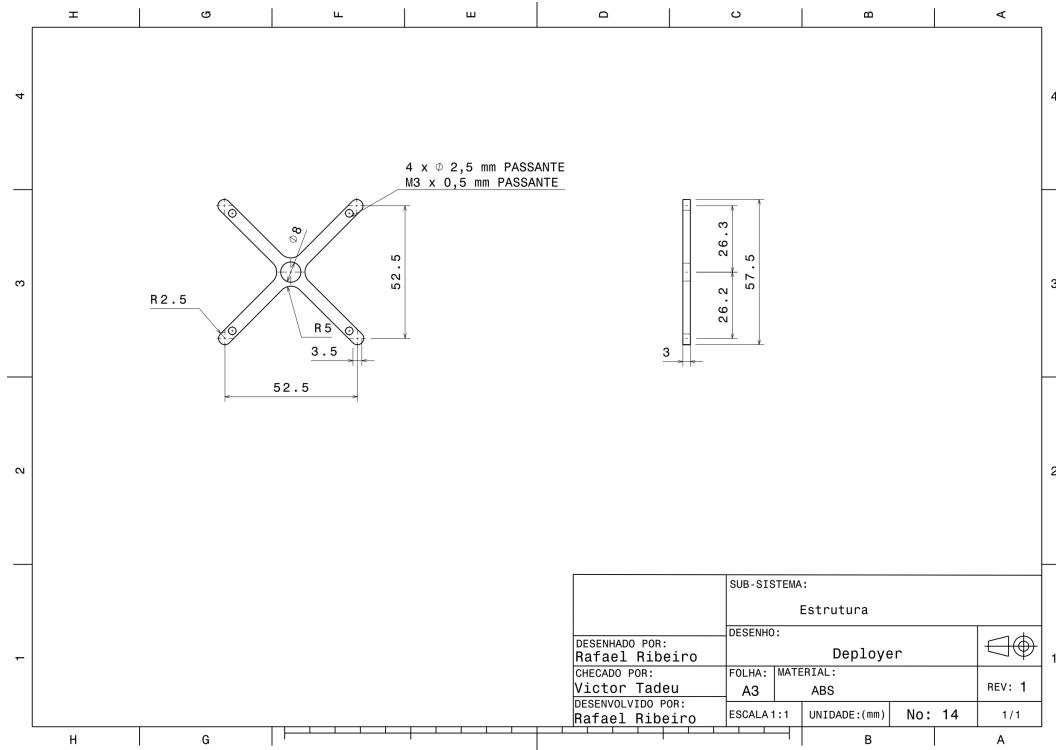


Figura 48 – Peça de acoplamento

Após parafusar o *pocketqube* ao drone, ele ficará preso e será possível realizar a missão. O *pocketqube* acoplado no drone fica com a seguinte configuração, como apresenta a figura 49.

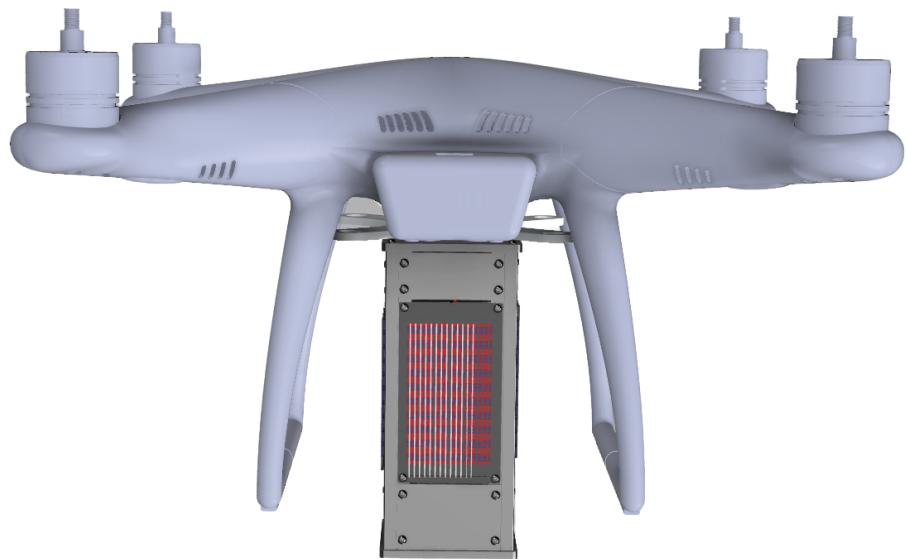


Figura 49 – *Pocketqube* acoplado ao drone

## 2.4 Software

Esta seção tem como objetivo abordar assuntos relacionados ao subsistema de Engenharia de *Software*. Ela está dividida em 4 subseções:

- **Contexto:** Apresentar o contexto de *software* dentro do projeto, incluindo pontos relacionados à inovação.
- **Requisitos Funcionais e Não Funcionais:** Apresentar os requisitos de *software*, sejam eles funcionais ou não funcionais.
- **Arquitetura de Software:** Apresenta a arquitetura do subsistema de *software* para as aplicações *mobile* (aplicativo) e *backend* (servidores, banco de dados e protocolo de comunicação).
- **Arquitetura da Informação:** Apresenta protótipos, telas e assuntos relacionados à experiência do usuário final.

Para complementar a discussão, também foram criados os seguintes apêndices:

- **Decisões Arquiteturais:** Abordando as decisões tomadas nos pontos: tecnologias utilizadas; protocolos de comunicação; desafio técnicos ([4.1](#)).
- **Prova de Conceito:** Apresenta os resultados da Prova de Conceito realizada no PC2 ([4.2](#)).
- **Guia de Acesso:** Guia de acesso para repositórios do GitHub, protótipos e outros arquivos ([4.3](#)).

### 2.4.1 Contexto e Inovação

O subsistema de Engenharia de *Software* é responsável por receber, armazenar e transmitir, em tempo real, os dados coletados pelo subsistema de eletrônica durante uma missão do *PoketQube*. Por isso, a comunicação entre o subsistema de *software* e o subsistema de eletrônica é um ponto essencial para o bom funcionamento do projeto.

A questão de inovação do projeto está concentrada principalmente nas escolhas de tecnologias a serem utilizadas como solução para a comunicação do sistema. Para que seja possível ter a visualização dos dados coletados pelos sensores em tempo real, será utilizado um protocolo de comunicação tenha suporte a comunicação em tempo real e que tenha suporte ao microcontrolador do subsistema de eletrônica quanto pela plataforma utilizada pelos servidores do subsistema de *software*. Assim como será utilizada uma biblioteca de comunicação em tempo real para a comunicação entre o *front-end* e o *back-end*. Essas tecnologias serão detalhadas na Arquitetura do Sistema.

Outro ponto de inovação está no isolamento dos sistemas de *back-end* em contêineres utilizando o Docker (mais detalhes no item de Gerência e Configuração na subseção 2.4.3), para manter um melhor controle de versões dos pacotes utilizados, e também facilitar a configuração de ambiente para os desenvolvedores e usuários do sistema. Essa técnica torna o sistema modular, pois cada serviço será responsável pelos dados de um sensor. Assim ao adicionar um novo sensor, basta instanciar um novo contêiner com as configurações do novo sensor, ou seja, não será necessário alteração do código-fonte do serviço.

## 2.4.2 Requisitos Funcionais e Não Funcionais

Dado o público alvo definido, alunos e professores de ensino básico, e a situação em que o *software* será utilizado, em uma área aberta e conectada a uma rede local e possivelmente sem acesso a um computador, foram elicitados os seguintes Requisitos Não Funcionais (NFR):

- Requisitos Não Funcionais
  - NFR01 - O sistema deve ser capaz de operar no sistema operacional presente em uma Raspberry Pi;
  - NFR02 - O sistema deve ser capaz de transmitir e exibir os dados em tempo real;
  - NFR03 - O back-end do sistema deve ser modular para atender as necessidades de tratamento e armazenamento dos dados da missão;
  - NFR04 - A interface do sistema deve ser modular para atender as necessidades de exibição dos dados da missão; e
  - NFR05 - A interface do sistema deve ser intuitiva e utilizável de forma que o usuário entenda e interprete corretamente os dados e as funcionalidades apresentadas.

Estes itens serão referenciados nos tópicos seguintes, servindo assim para rastrear as decisões tomadas nas arquiteturas do sistema e de informação.

## 2.4.3 Arquitetura do sistema - Servidor

- Visão geral

Para atender os NFR01, NFR02 e NFR03, viu-se necessário utilizar um artifício de isolar os contextos para cada sensor que envia os dados a partir do *PocketCube*, permitindo

assim que apenas os serviços necessários para a missão sejam utilizados, evitando o uso desnecessário de recursos da plataforma onde o sistema está operando.

Dessa forma, a arquitetura de microsserviços apresenta-se como uma abordagem viável para essa solução (BUTZIN; GOLATOWSKI; TIMMERMANN, 2016). Essa arquitetura permite que o sistema seja dividido pequenos sistemas isolados que cumprem apenas uma função específica dentro de um contexto determinado. Nesse caso, um sistema opera individualmente para cada sensor presente. Essa operação envolve o tratamento, armazenamento e transmissão de um dado específico do sensor.

Entretanto, essa arquitetura imprime certos padrões arquiteturais de comunicação interna (NAMIOT; SNEPS-SNEPPE, 2014). Dado que os sistemas operam de forma individual e isolada, é necessário que o fluxo de informações entre eles seja intermediado de alguma forma.

Existem padrões de comunicação síncronos, como Chamadas de Procedimento Remoto, em inglês *Remote Procedure Calls*, que habilitam sistemas se comunicarem bloqueando o processo criado até que haja uma resposta (o serviço que requisita fica esperando). Caso a carga de processamento esteja alta ou o serviço requisitado não estiver operando, tal estratégia pode acarretar em atrasos na comunicação.

Para a comunicação assíncrona, o padrão mais adotado para arquiteturas de Internet das Coisas e microsserviços é a comunicação operada através de *brokers*, que são gerenciadores de filas de dados que utilizam os protocolos MQTT ou AMPQ. Nessa abordagem, o ator (serviço, sensor etc) que requisita não espera uma resposta instantânea. Ele publica um evento (mensagem) na fila, através do *broker*, e os atores responsáveis por cuidar daquele contexto observam, também através do broker, a publicação desses eventos e agem assim que tiverem recursos disponíveis para executar a ação. A Figura 55 exemplifica a sequência do funcionamento de um *broker*.

Para a comunicação entre os sensores e os serviços, será utilizado a estratégia de *message broker*, utilizando o *RabbitMQ*. Essa estratégia é necessária pois os serviços irão receber uma alta carga de entrada e saída de dados e, para evitar sobrecarga ou perda dos dados, optou-se por colocá-los em uma fila (*first in first out*) para controlar o fluxo e enviar os dados assim que houver disponibilidade.

- **Modelagem da arquitetura**

A Figura 50 apresenta a modelagem da arquitetura, ilustrando a comunicação entre cliente e servidor e os protocolos utilizados. É possível observar que o *PocketQube* se comunica com a estação de solo antes de se comunicar com nosso servidor, e consequentemente a aplicação *mobile*. O detalhamento das tecnologias dos microsserviços e estratégia de comunicação entre as partes através do *MQTT* será tratado a seguir.

Os dados coletados pelos sensores serão enviados via *LoraWAN* para uma *ESP32 receiver* na estação de solo, que estará conectada à rede local e enviará os dados para o *message broker*. A partir daí os microsserviços irão buscar os dados publicados na fila, tratar e transmitir para o *front-end*.

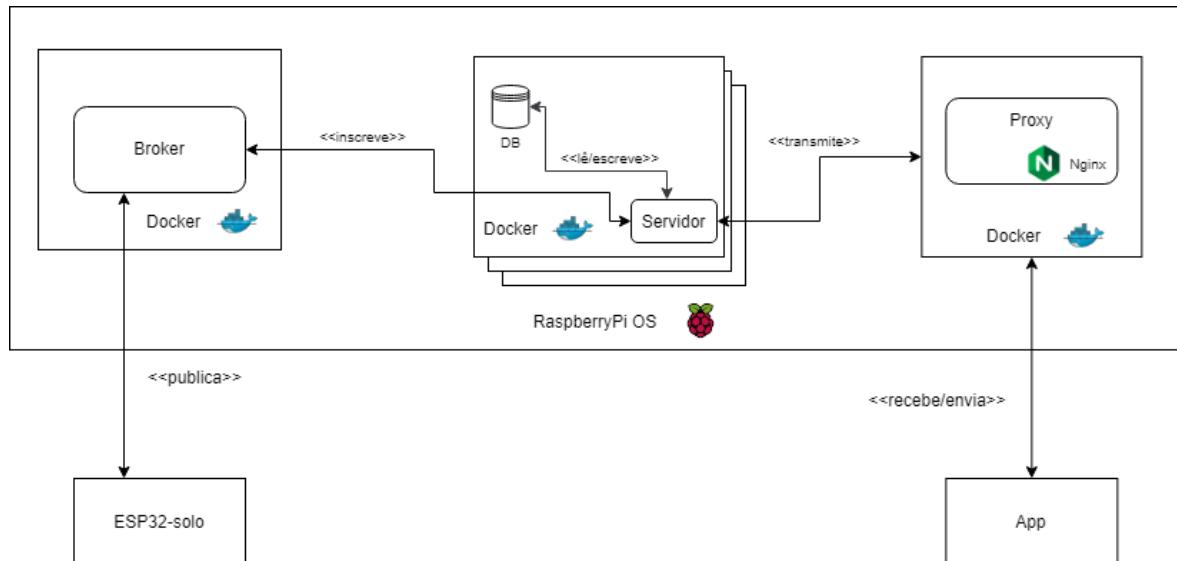


Figura 50 – Diagrama de arquitetura.

- **Formato de dados**

De acordo com as interfaces de comunicação observadas na Figura 50, é necessária a padronização do formato em que as informações transitam através do protocolos.

Para tal, é utilizado a notação *JavaScript Object Notation* (JSON). Essa notação segue o formato de texto o que a torna independente da linguagem de programação e, também, extremamente leve (CROCKFORD, 2002). Por essas razões ela é bastante utilizada em arquiteturas de microsserviços.

Na Figura 51 é possível visualizar os dados estruturados, e já formatados no formato JSON, pela ESP32 localizada no solo.



Figura 51 – Dados enviados para a simulação em formato *JSON*

- **Protocolos de Comunicação**

Para comunicação entre as partes do sistema serão utilizados dois protocolos: *WebSockets* para comunicação entre o servidor e o aplicativo (*front-end*), e *MQTT* para a comunicação entre a estação de solo, broker e os microsserviços.

- *WebSockets*:

O protocolo de *WebSockets* é um protocolo de comunicação bidirecional entre o servidor e o navegador(*front-end*), permitindo que o servidor envie dados para o aplicativo sem a necessidade do aplicativo requisitar (WANG; SALIM; MOSKOVITS, 2013). Esse tipo de protocolo é amplamente utilizado em aplicações que exigem comunicação em tempo real, pois ele economiza consumo de dados, CPU e latência (WANG; SALIM; MOSKOVITS, 2013). Esse protocolo é ideal para a comunicação entre o servidor e o aplicativo, pois este permite a visualização em tempo real dos dados coletados.

- *MQTT*:

O protocolo *MQTT* (Message Queuing Telemetry Transport) é um protocolo desenhado para comunicação entre máquinas (ATMOKO; RIANTINI; HASIN, 2017). Nesse protocolo, são definidos dois tipos de entidades, o primeiro é o *message broker*, o servidor responsável por gerenciar a troca de mensagens entre os cliente, e o segundo são os clientes são os componentes que interagem com o *message broker* publicando e recebendo mensagens (YUAN, 2017). Os clientes deste protocolo requerem recursos mínimos (MQTT, 2020) e, com isso, esse protocolo é o ideal para a comunicação entre a ESP32 do solo, o *broker* e o servidor.

- **Banco de dados e exportação**

Para armazenar os dados coletados é utilizado o SQLite, que é um banco de dados SQL no formato de arquivo. Para o *software* realizar as operações no banco de dados é utilizada a biblioteca Flask-SQLAlchemy, uma extensão do Flask que adiciona suporte ao SQLAlchemy para gerenciamento da conexão com o banco de dados. Ela visa simplificar o uso do SQLAlchemy com o Flask, fornecendo padrões úteis e auxiliares extras que tornam mais fácil realizar tarefas comuns.

Para armazenar os dados coletados foi criada a tabela *sensor\_data* estruturada em quatro diferentes colunas:

*id*: chave primária;

*timestamp*: data e hora da coleta do dado feita pelo PocketQube;

*sensor\_name*: categoria do dado coletado;

*sensor\_value*: valor coletado pelo sensor;

Tendo a tabela já estruturada de acordo com a formatação de dados apresentada logo acima, quando um dado é recebido pelo microsserviço, ele é armazenado nessa tabela e então enviado para aplicativo.

Também há a possibilidade de baixar os dados salvos no formato de um arquivo de planilha de extenção *.csv*. Esse arquivo é gerado com auxílio da biblioteca Pandas, que fornece funções para leitura dos dados do banco de dados e conversão para *.csv*.

- **Python como linguagem para os microsserviços**

Como o *cluster* de serviços (servidores) estará operando em uma *Raspberry Pi*, uma plataforma de recursos significantemente limitados, o Python se mostra bastante adequado e fornece as bibliotecas necessárias para a comunicação entre o broker e o cliente.

- **Gerência de Configuração: Isolamento dos sistemas com Docker**

Ainda, para atender o NFR03, e complementar a solução de isolamento através de microsserviços, é necessária a utilização de uma tecnologia que permita com facilidade a instalação e desinstalação dos módulos que serão utilizados na missão. O *Docker* é uma tecnologia *open-source* que permite o isolamento de um sistema através de contêineres e também possui boa interoperabilidade com a *Raspberry Pi*.

Esse isolamento ocorre criando uma camada entre o Sistema Operacional (SO) e o sistema, utilizando como base os recursos presentes no *kernel* do SO e adicionando dentro do contêiner apenas os recursos necessários para a operação do sistema.

- **Gerência de Configuração: Proxy com NGINX**

O NGINX é um leve servidor de HTTP. Ele serve para assegurar a comunicação entre o servidor e o aplicativo.

#### 2.4.4 *Front-end - Aplicativo Mobile*

De acordo com os requisitos levantados, observou-se que muitas escolas utilizam iPads no ambiente educacional. Esses *tablets* permitem que a experiência seja mais imersiva em relação a sites. Dessa forma, optou-se pelo desenvolvimento de uma aplicação mobile em *iOS* utilizando-se a linguagem *Swift*.

- ***View-Interactor-Presenter (VIP)***

O *VIP* foi proposto a partir dos princípios da *Clean Architecture* (MARTIN, 2017). Ele é composto por cenas que consistem numa unidade reduzida de funcionalidade, como autenticação, configuração, visualização de perfil, entre outras. As cenas possuem módulos de formatação de dados e interação com o usuário. Protocolos conhecidos como *boundaries* fazem a comunicação entre os módulos. Cada cena do *VIP* apresenta as seguintes camadas: *View*, *Model*, *Interactor*, *Worker* e *Presenter*. Este fato auxilia na divisão de responsabilidades, manutenção e testabilidade. Dessa forma, as cenas representam conjuntos de classe:

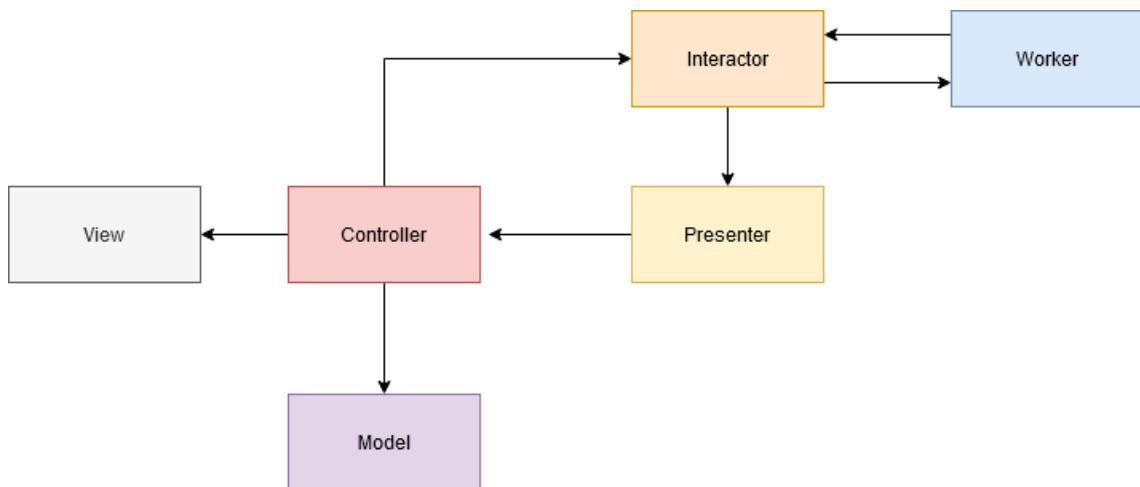


Figura 52 – Diagrama de fluxo de dados.

- **Tecnologias**

No desenvolvimento da aplicação para *iOS* serão utilizadas as seguintes tecnologias:

- *Alamofire*: *Framework* utilizado para chamadas *HTTP*. É o mais forte na comunidade de *iOS*, com cerca de 21 mil estrelas no *Github*.
- *UIKit*: *SDK* nativa do *iOS* utilizada no desenvolvimento de componentes visuais.

- *SpriteKit*: Permite a visualização/interação em objetos 2D/3D no *iOS*. É um framework nativo bastante utilizado no desenvolvimento de jogos.
- *Danger*: Ferramenta de análise estática de código, funciona muito bem quando integrada à *CI*.
- *Github Actions*: Ferramenta de integração contínua para projetos *Open Source*, gratuita e nativa do *GitHub*.

#### 2.4.5 Estrutura de Pacotes

Como os serviços de sensores, como os de temperatura ou umidade, funcionam de forma parecida, eles podem compartilhar da mesma estrutura de pacotes, interagindo com o usuário, como descrito na Figura 53.

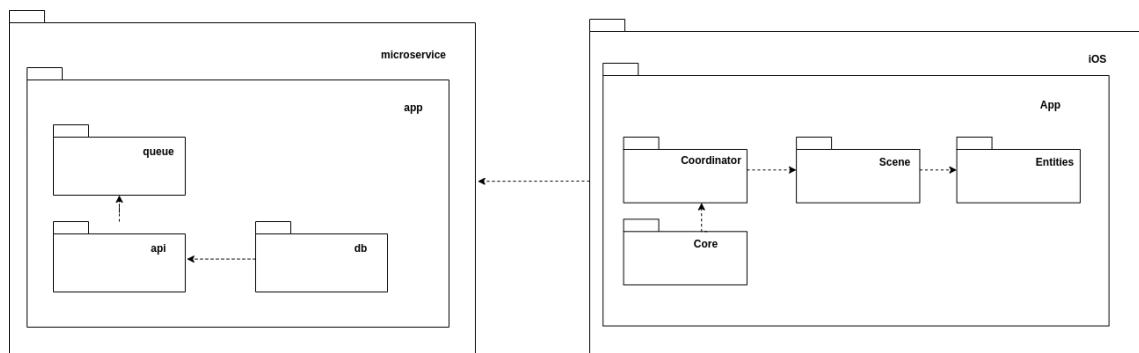


Figura 53 – Diagrama de pacotes do servidor e cliente.

O diagrama de pacotes auxiliará na organização e visualização lógica da estrutura do projeto. O modelo englobou tanto a parte de microserviços, quanto a de aplicativo, com sua respectiva conexão. No nível interior da representação, foram representados módulos de acordo com a arquitetura apresentada para o respectivo subsistema.

- Pacotes *Back-end*:

- O pacote *app/* é responsável por agrupar os pacotes *api/* e *queue/* que irão cuidar da recepção dos dados pelo sensor e comunicar com a fila de mensagens, respectivamente.
- O pacote *queue/* é responsável por buscar os dados na fila e comunicar ao pacote *api/* que existe um novo dado para ser processado e enviado.
- O pacote *api/* é responsável por todo o *pipeline* de tratamento, serialização, carga e envio dos dados para o *front-end* via *WebSocket*.
- O pacote *db/* é responsável por toda a comunicação com o banco de dados.

- Pacotes do *front-end*:

Nessa área do projeto, foi proposta a *Clean Architecture* (MARTIN, 2017), na estrutura das telas. E, para a comunicação entre elas, foi proposto um *coordinator*. A seguir, estão apresentados os pacotes da aplicação mobile e cada uma das suas camadas.

- A camada do coordinator tem como objetivo controlar a navegação dentro do app.
- A scene é a estrutura de uma tela propriamente dita (suas responsabilidades serão melhor descritas na próxima subseção).
- A camada de rede, definida como network, é responsável por fazer requests HTTP ao servidor.
- Por fim, as entities representam os objetos do mundo real, no caso as informações relacionadas ao *PocketQube*.

## 2.4.6 Diagramas

- **Diagramas de fluxo e dados e sequência**

Um diagrama de sequência tem o objetivo de ilustrar o comportamento do sistema, em uma sequência de passos ordenados pela ordem temporal de execução (IL-YEOL, 2001). Esse diagrama é uma técnica muito útil para compreender as funcionalidades do sistema, por isso, foi desenvolvido o diagrama de sequência, representado pela Figura 54, detalhando o fluxo de dados e interações entre cada um dos atores: *PocketQube*, *Broker*, *Server* e *Front-end*.

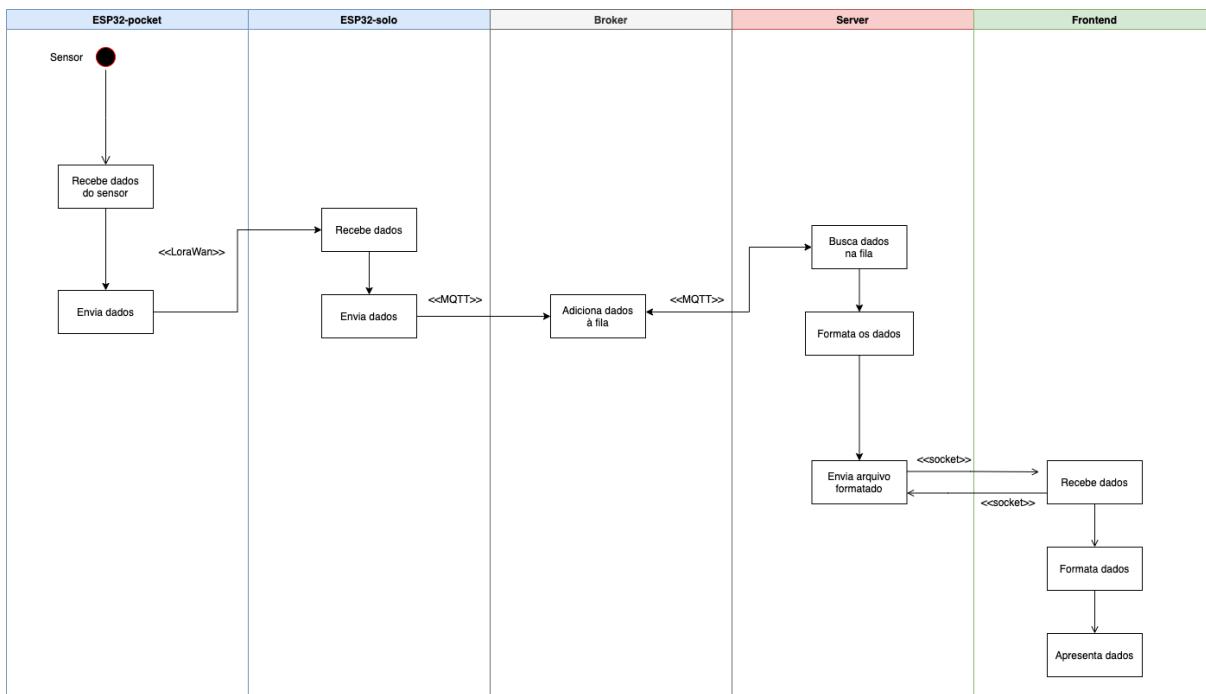


Figura 54 – Diagrama de fluxo de dados.

Segue abaixo a descrição das etapas apresentadas no diagrama 54:

- Recebe dados do sensor: os sensores instalados realizam a captação das suas devidas informações.
- Envia dados: a *ESP32* localizada no pocket envia as informações coletadas para a *ESP32 receiver* por meio do protocolo *Lora Wan*.
- Recebe dados/Envia dados: a *ESP32 receiver* recebe as informações e as envia por protocolo *MQTT* para o serviço de mensageria(*broker*).
- Adiciona dados à fila: o *broker* recebe os dados e os adiciona na fila de mensagens, tornando-os disponíveis para consumo do servidor.
- Busca dados na fila: quando disponível o servidor busca dados que foram adicionados na fila para que possam ser formatados. Essa comunicação também é realizada com protocolo *MQTT*
- Formata os dados: o servidor armazena os dados recebidos, os divide em tópicos e o conjunto de informações é formatado em *JSON*
- Envia arquivo formatado/Recebe dados: a comunicação entre servidor e *front-end* é via protocolo *Socket* e acontece de acordo com a necessidade de informações solicitadas no aplicativo.
- Formata dados/Apresenta dados: com os dados recebidos, o aplicativo formata os dados recebidos de acordo com a necessidade do usuário, seja o valor mais recente de um dado, ou gráfico com o conjunto de valores coletados.

A comunicação detalhada entre a ESP, broker MQTT e servidor pode ser visualizada a partir do diagrama de sequência a seguir.

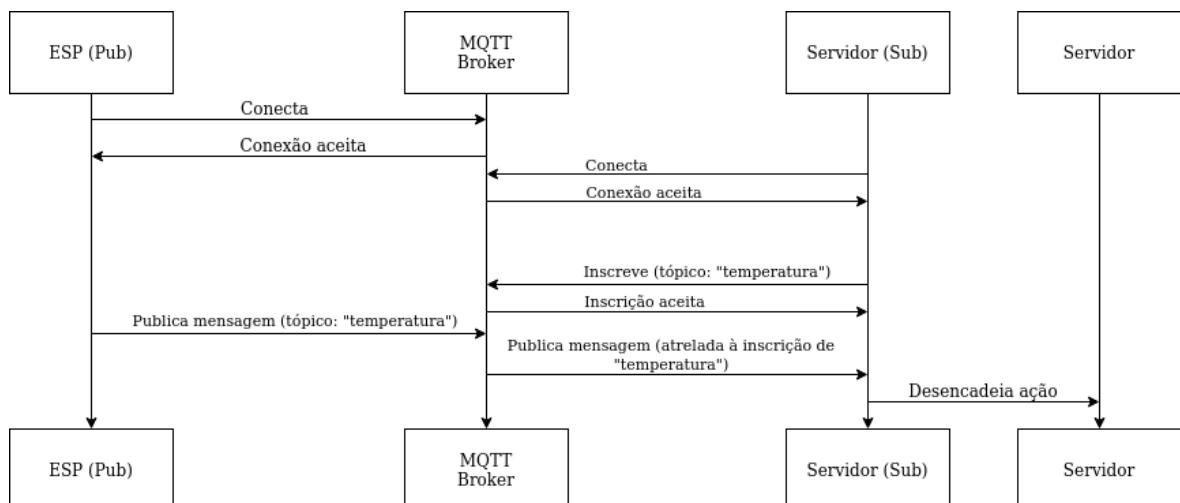


Figura 55 – Diagrama de sequência entre o sensor, broker e servidor.

- **Diagrama de Caso de Uso**

O diagrama de caso de uso (Figura 56), foi utilizado para auxiliar no levantamento dos requisitos funcionais do sistema.

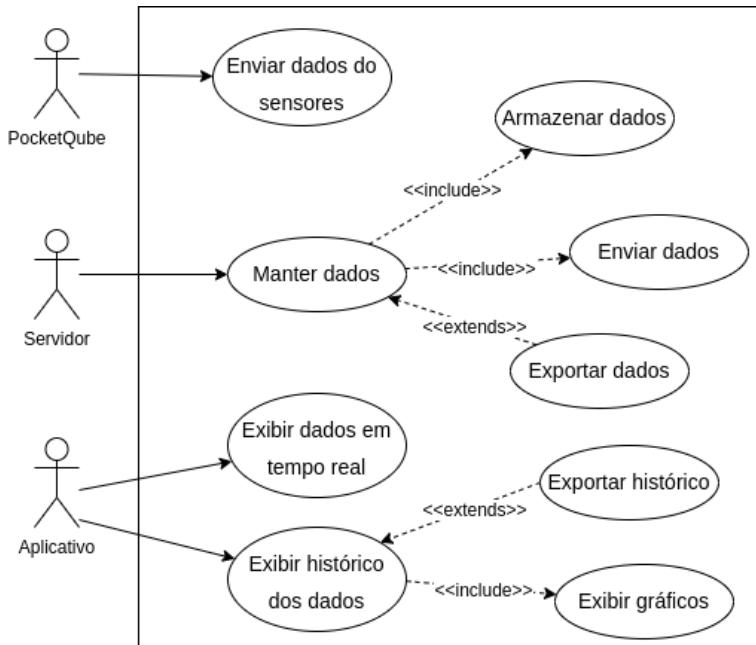


Figura 56 – Diagrama de caso de uso

No diagrama são apresentados os casos de uso dos três principais atores do sistema:

O **PocketQube** é responsável de enviar os dados coletados pelos sensores para o servidor em tempo real.

O **Servidor** é responsável por receber os dados enviados pelo *PocketQube*, salvar esses dados em um banco de dados, enviar para o cliente esse novo dado recebido em tempo real e possibilitar a exportação desses dados para um arquivo.

O **Aplicativo** é responsável por exibir os dados enviados do servidor em tempo real, assim como o histórico de dados coletados.

- **Diagrama NFR**

Para auxílio de definição de metas de requisitos não-funcionais do front-end, que será feito por meio de um aplicativo mobile, foi elaborado um diagrama inicial utilizando a abordagem do *Non-Functional Requirements(NFR) Framework* para ajudar na visualização de novos requisitos e na resolução de conflitos entre eles ([CHUNG; LEITE, 2009](#)). Também será importante ao decorrer do projeto para conferir se os objetivos iniciais estão sendo atendidos.

Inicialmente foram levantados dois *soft goals*, de acordo com a Figura 57, que seriam uma **navegação facilitada** e **informações exibidas em um formato que possam ser interpretadas facilmente**. Para atingir o objetivo da simplificação de dados, será feito um esforço para pesquisar e entender quanto conhecimento o

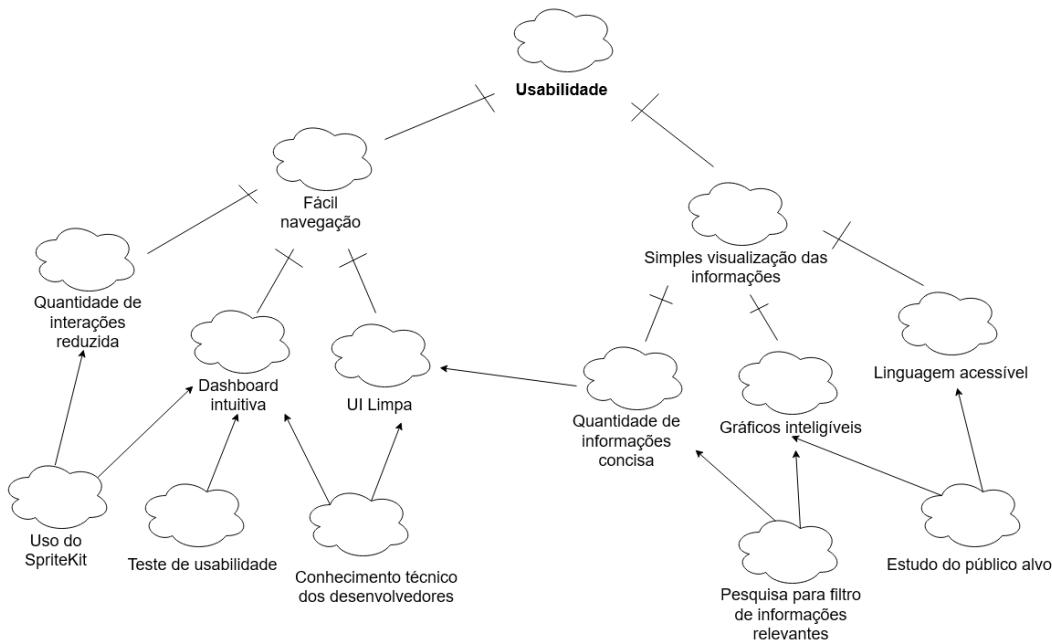


Figura 57 – Diagrama NFR

público-alvo possui na área, evitando que o uso de dados cause uma má experiência para o usuário. Para atingir o objetivo de navegação facilitada, serão usados:

- Biblioteca SpriteKit para adicionar interatividade sem comprometer a usabilidade;
- Conhecimento dos desenvolvedores para evitar itens desnecessários.

#### 2.4.7 Arquitetura da Informação

Essa seção tem como objetivo apresentar a solução de arquitetura da informação, isto é, práticas que tornam possível a compreensão do sistema ao usuário final. Dentre elas, a mais comumente conhecida é conhecida como protótipo de alta fidelidade.

Prototipagem é a arte de transferir ideias e conceitos do âmbito conceitual para a realidade (VIANNA et al., 2014). É todo e qualquer objeto físico ou virtual que simula uma interação para validar uma ideia. Para tal, o *Figma*, software focado na prototipagem de interfaces gráficas de produtos digitais (*websites*, *apps* etc), além de permitir o desenvolvimento colaborativo em tempo real, foi utilizado.

A seguir são apresentadas individualmente as telas do aplicativo desenvolvidas com o intuito de elucidar o fluxo e as funcionalidades do nosso projeto. Os *links* de acesso ao *Figma* encontram-se no tópico 4.3 do Apêndice.

- **Dashboard de visualização**

Esta tela tem como objetivo apresentar um resumo geral sobre os dados coletados. Nela, são apresentados os gráficos de vários sensores que representam o estado atual dos dados coletados. A seguir (Figura 58), pode-se observar o resultado final da tela de *dashboard* de visualização.

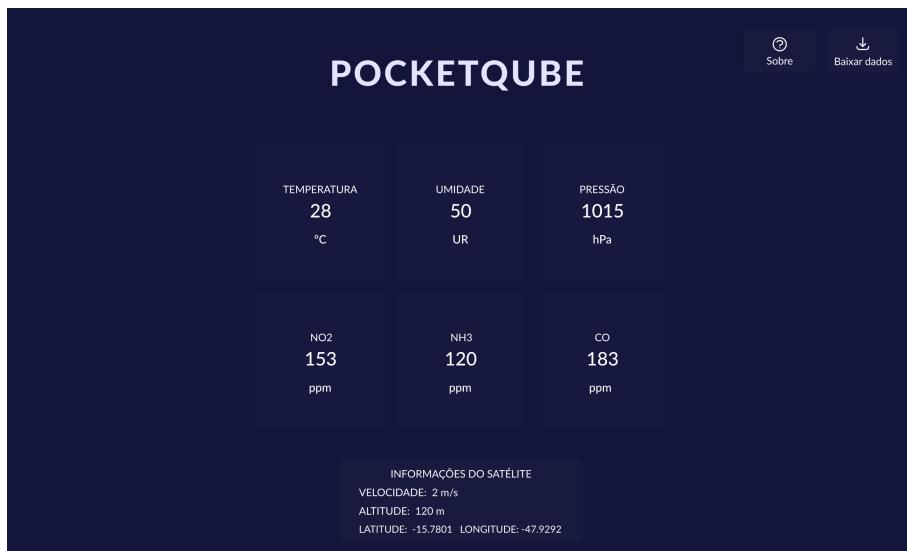


Figura 58 – Protótipo de alta fidelidade da tela de *dashboard*

- **Detalhamento de Dados dos Sensores**

Esta tela tem como objetivo apresentar detalhes sobre os dados coletados. Ela é apresentada como uma *modal* na tela de dashboard. Nesta tela será exibido o histórico dos dados coletados pelos sensores, e também detalhes sobre o sensor utilizado para coleta. Para exibição do histórico de dados é utilizado um gráfico, onde é possível acompanhar os dados coletados ao longo do tempo. A seguir (Figura 59), pode-se observar o resultado final da tela de detalhamento dos dados provindos dos sensores.

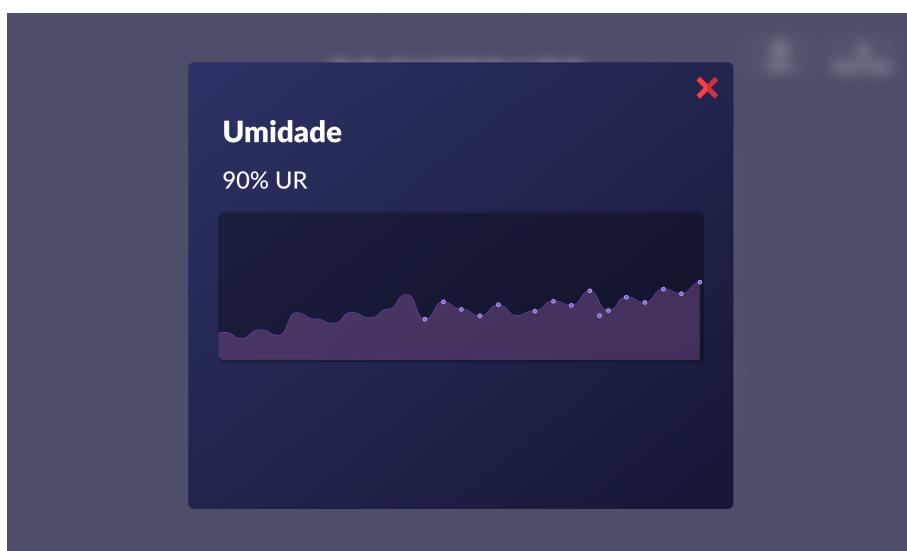


Figura 59 – Protótipo de alta fidelidade de detalhamento dos sensores

- **Sobre**

Esta tela tem como objetivo apresentar uma breve descrição do projeto e *links* úteis de navegação. Da mesma maneira que a tela de "Detalhamento de Dados dos Sensores", ela é apresentada como um *modal* do *dashboard*. Foi utilizado um efeito de *blur* para enfocar as informações importantes e melhorar a interação e proporcionar uma experiência contínua aos usuários durante a navegação do mesmo pelo *dashboard* da aplicação. A seguir (Figura 60), pode-se observar o resultado final da tela de "Sobre".

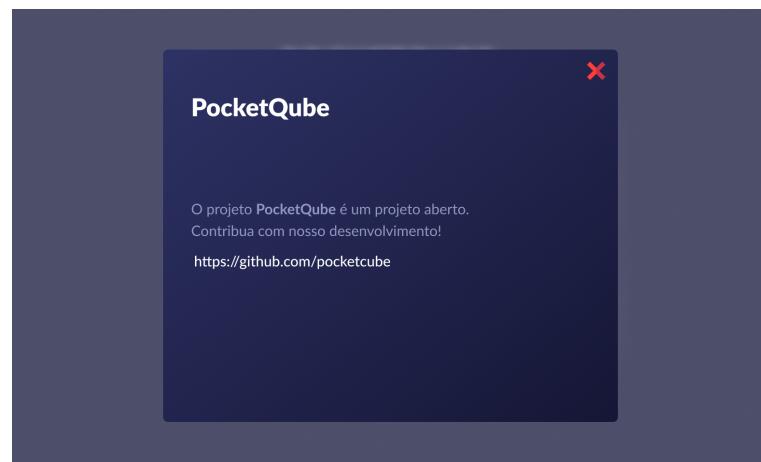


Figura 60 – Protótipo de alta fidelidade sobre informações do projeto

- ***Launch Screen***

Também conhecida como *splash screen*, esta tela é exibida enquanto o aplicativo está sendo iniciado. A seguir (Figura 61), pode-se observar o resultado final da tela de *Launch Screen*.



Figura 61 – Protótipo de alta fidelidade da *launch screen*

### 3 Integração

A integração de projetos espaciais demanda que todos os subsistemas estejam alinhados para que haja a sua consolidação. Isso significa que todos os subsistemas e, consequentemente, todos os componentes devem se adequar aos parâmetros pré-determinados por regulações e normas.

O *PocketQube* para Educação Básica segue os parâmetros definidos para nanosatélites, com dimensões de 5x5x116 mm e deve pesar até 500g ([DELFT, 2018](#)). Isso faz com que todos os subsistemas se adequem a estas exigências de projeto. Outro fator importante é a necessidade de que o *PocketQube* atenda às expectativas do projeto: se tornar uma ferramenta de ensino e de fomento ao interesse da área de exatas e, em específico, do setor aeroespacial.

Para isso, foi elaborado um Manual de Usuário, figura X, cujo principal objetivo será o de introduzir os usuários à utilização do *PocketQube*, desde seus componentes até o acesso ao aplicativo para coleta de dados de:

- Umidade do Ar [%]
- Pressão Atmosférica [atm]
- Temperatura [°C]
- Hidróxido de Amônia [PPM]
- Dióxido de Nitrogênio [PPM]
- Monóxido de Carbono [PPM]

O *PocketQube* será acoplado ao drone Phantom 3 e lançado no mesmo local de aquisição de dados. Ou seja, a localização de lançamento será a mesma da instituição de ensino que adquirir o produto. Dessa forma, os tópicos a seguir visam apresentar como será feito, detalhadamente, a alocação dos subsistemas na estrutura do nanosatélite, a comunicação de dados com a estação de solo - Ipad -, e a interface do aplicativo com o usuário. O acoplamento do *PocketQube* para Educação Básica ao drone será como mostra a figura 62. É importante saber que a alocação de subsistemas em um *PocketQube* não é feito de forma arbitária. Componentes, como a placa de missão, requerem acesso ao ar livre para que possam executar a coleta de dados.



Figura 62 – Sistema de acoplamento do PocketQube ao drone Phantom 3.

### 3.1 Acoplamento de Subsistemas à Estrutura

Os subsistemas do *PocketQube* para Educação Básica estarão dispostos de forma modular (fig. 63). Os usuários finais do produto, os alunos, poderão montar de maneira fácil e prática as placas da missão, placa de potência e energia, bateria, placa controladora e placa de determinação de altitude.

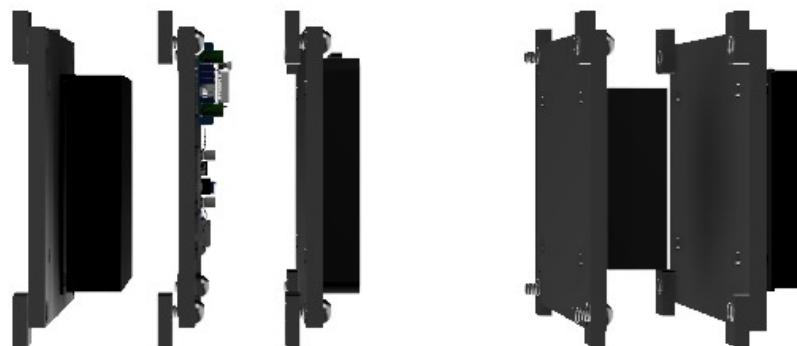


Figura 63 – Subsistemas do PocketQube para Educação Básica.

- Placa da Missão: a placa de missão fica responsável por coletar dados do clima e tempo local durante a missão, sendos estes dados inputs em dois sensores: um para qualidade do ar e outro para umidade, temperatura e pressão atomosférica. Dessa forma, permite que o aluno, ao tiver acesso ao kit, possua um acesso amplo às aplicações espaciais, desde questões geográficas como questões relacionadas à poluição do ar.

- O sistema de EPS estará disposto em dois módulos e as células solares: módulo de potência e energia e módulo da bateria. A figura 64 a seguir apresenta a estrutura do nanosatélite junto às placas solares, que estarão conectadas em todas as faces da estrutura em forma de redundância e pela falta do controle de atitude.



Figura 64 – Estrutura do *PocketQube* com células solares.

- Placa Controladora: responsável pelo gerenciamento da missão do satélite, pois através dela é que será realizado o envio de informações ao solo e também o gerenciamento das informações que foram obtidas pelos sensores. Em missões educacionais, são utilizados microcontroladores de baixo custo para o gerenciamento de dados.
- Placa de determinação de atitude: a determinação de atitude é responsável por apontar, e prever, o comportamento do satélite durante a missão. A nível educacional, a placa atua auxiliando no ensino de física e matemática por meio de cálculos de lançamento, comportamento de movimento e aceleração cobrindo, assim, uma parte programática do ensino de física clássica.

Os módulos dos subsistemas estarão dispostos como apresenta a figura 65 a seguir. A estrutura do satélite será feira de alumínio, de acordo com a norma ECSS. O material foi escolhido para conseguir aguentar as forças de lançamentos e impacto de uma possível

queda. Os cabos utilizados seguem a NBR 5410/2004 para instalações de baixa tensão. Ou seja, são flexíveis e dimensionados para a amperagem do sistema.



Figura 65 – Estrutura do *PocketQube* com módulos acoplados.

O diagrama de integração apresentado no apêndice 4.5 mostra os subsistemas e suas funções básicas, ou seja, o que eles estão coletando e como estão funcionando.

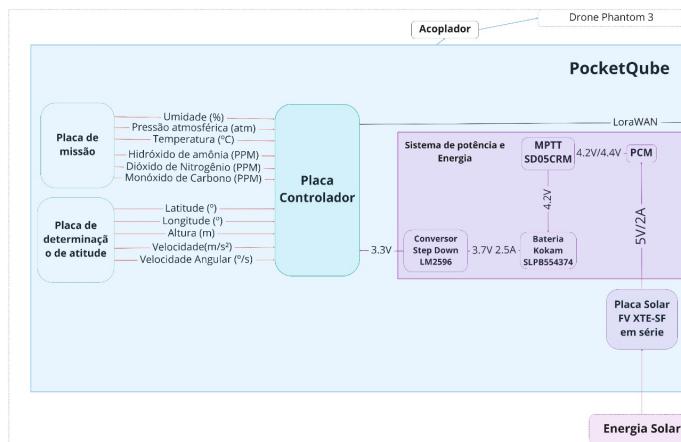


Figura 66 – Diagrama de integração do *PocketQube* (A).

A montagem em termos da estrutura pode ser observada em melhor detalhes nos 4.6 com o manual de usuário e no ?? com o desenho técnico da estrutura do satélite. A

integração com a estrutura segue um modelo fácil e intuítivo de montar com uso de orelhas para gerar um encaixe direto nas estruturas verticais do *PocketQube*, e também gerando um vão entre as placas solares e cada sistema eletrônico do projeto para realização da cablagem do projeto.

### 3.2 Comunicação - *PocketQube* e Estação de Solo

Em paralelo ao projeto de integração do *PocketQube*, o projeto da estação de solo também é importante para realização de uma missão educacional, pois será por meio dela que o aluno terá acesso a todas as informações coletadas pelo satélite enquanto ele estiver em missão. Na fase de projeto, foi estabelecido a utilização do protocolo de comunicação LoRaWAN entre a ESP32 representada na estação de solo e o *PocketQube* em missão. Com essa definição, foi possível estabelecer todo o caminho da informação até chegar ao usuário final. No diagrama de integração no apêndice 4.5.

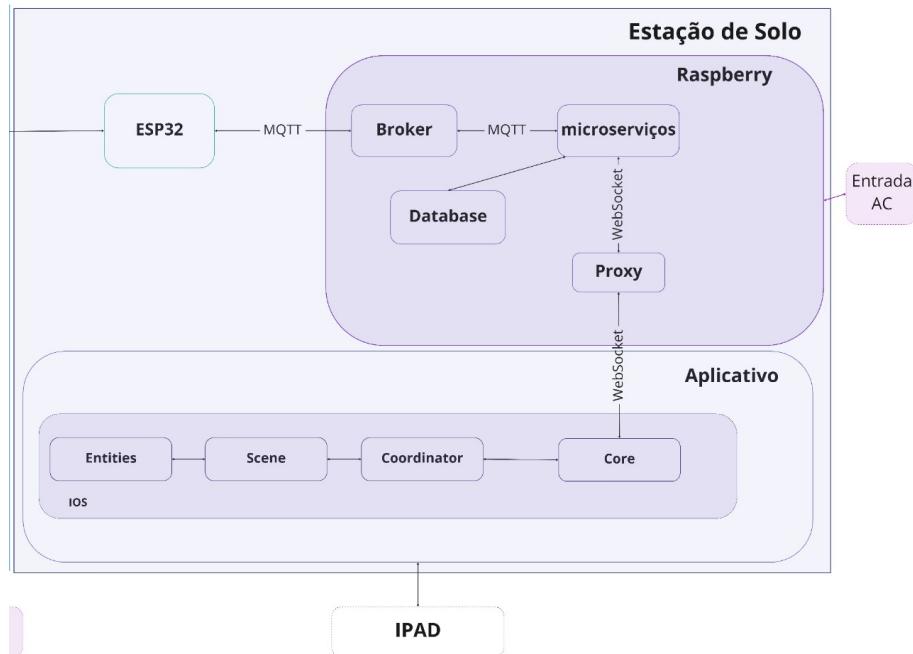


Figura 67 – Diagrama de integração do *PocketQube* (B).

A figura 67 traz a visão da estação de solo do diagrama de integração, onde o maior foco de trabalho está em estabelecer uma conexão de dados seguro entre a ESP32 e Raspberry utilizando o MQTT para criar uma forma de receber os dados de maneira constante e continua.

Como o *PocketQube* é planejado para ser lançado por Drone, isso faz com que a altura máxima da missão seja de 120 metros de altura, garantindo que o satélite esteja sempre numa distância em que a comunicação seja possível com a estação de solo. A

estaçao de solo, por sua vez, também possui um banco de dados que garante o acesso do aluno a outros projetos da rede de *PocketQubes*.

### 3.3 Interface com o Usuário

Tanto os dados coletados pelos sensores quanto os dados de informação sobre o *PocketQube* serão mostrados por meio de aplicativo disponibilizados na *AppleStore*<sup>1</sup> que poderá ser encontrado por meio da string de busca "pocketcube".

O aplicativo é simples e possui apenas uma tela principal, que pode ser vista na Figura 68 logo abaixo.

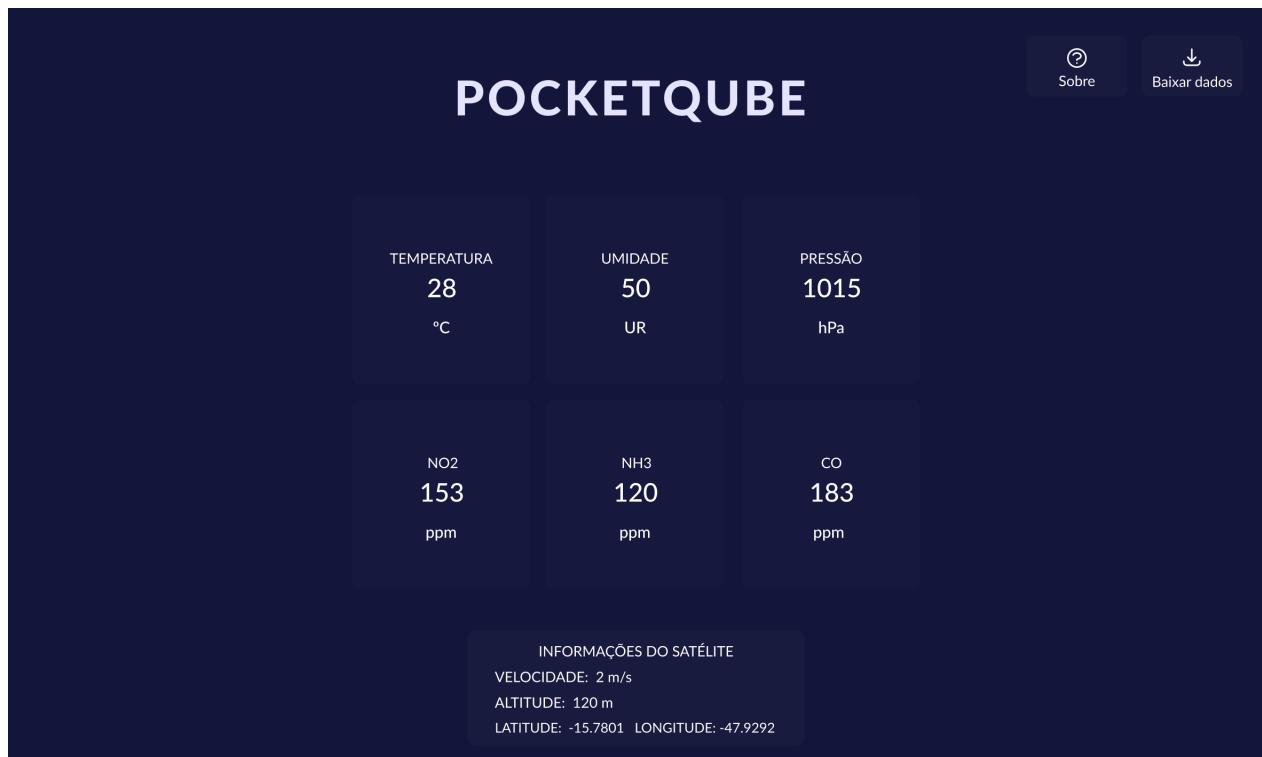


Figura 68 – Tela de principal

No canto superior direito são mostrados os botões "Baixar dados" e "Sobre". Para exportar os dados de uma missão (formato csv), basta clicar no botão "Baixar dados" e salvar no diretório desejado do dispositivo utilizado. E, caso queira obter mais informações sobre o projeto, basta clicar no botão "Sobre".

Na parte central da tela são mostrados os dados coletados pelos sensores e, logo abaixo, as informações sobre o satélite (Figura 69).

Por fim, caso queira ter uma panorama mais detalhado, e obter mais informações sobre os sensores, basta clicar no sensor desejado e um gráfico mais detalhado dos dados

<sup>1</sup> O deploy do aplicativo na loja da Apple exige a criação de uma conta institucional na *Apple Store*, o que se encontra fora do escopo da matéria.

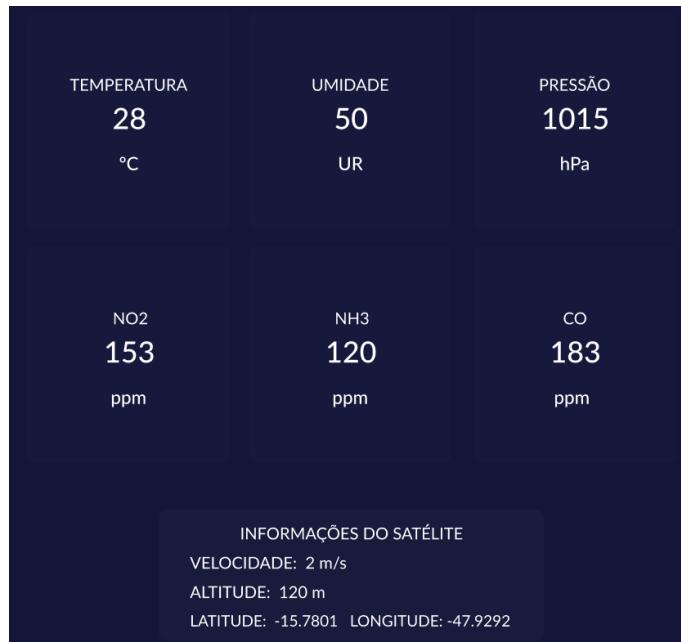


Figura 69 – Dados dos sensores e informações sobre o satélite.

do sensor escolhido será mostrado (Figura 70).

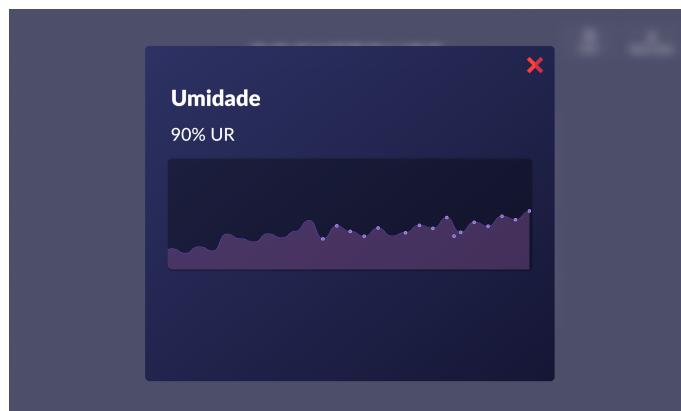


Figura 70 – Detalhes dos sensores

Detalhes a respeito da interface do usuário podem ser encontradas no tópico 2.4.7 (Arquitetura da informação) da sessão 2.4. Os links que dão acesso ao protótipo de alta fidelidade, feitos utilizando a ferramenta *Figma*, e acesso aos repositórios do software em produção podem ser encontrados no Apêndice 4.3 (Guia de acessos).

# Referências

ANDERSON, J. *Fundamentals of Aerodynamics*. 2a edição. ed. [S.l.]: LTC, 2014. Citado 2 vezes nas páginas [83](#) e [84](#).

ATMOKO, R. A.; RIANTINI, R.; HASIN, M. K. IoT real time data acquisition using MQTT protocol. *Journal of Physics: Conference Series*, IOP Publishing, 2017. Citado na página [96](#).

BALL, J. S. Performatividades e fabricações na economia educacional: rumo a uma sociedade performativa. *Educação & Realidade*, v. 35, n. 2, p. 37–55, 2010. Citado na página [7](#).

BUTTON, O. L. A. R. C. V. S. T. Processos de fabricação e planejamento de processos. 2004. Citado na página [87](#).

BUTZIN, B.; GOLATOWSKI, F.; TIMMERMANN, D. Microservices approach for the internet of things. p. 1–6, 2016. Citado na página [94](#).

BÜRGER, E. E. Interface lançador/cubesat para o projeto d nanosatc-br. 2010 in. Citado 4 vezes nas páginas [81](#), [82](#), [85](#) e [86](#).

CÉSPEDES, J. E. S.; ESCOBAR, R. F. Diseño e implementacion de un modulo de gestion de energia para un pico-satelite tipo cubesat. *KnE Engineering*, p. 913–930, 2018. Citado 2 vezes nas páginas [37](#) e [41](#).

CHUNG, L.; LEITE, J. On non-functional requirements in software engineering. 2009. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/215697482\\_On\\_Non-Functional\\_Requirements\\_in\\_Software\\_Engineering](https://www.researchgate.net/publication/215697482_On_Non-Functional_Requirements_in_Software_Engineering)>. Citado na página [102](#).

CROCKFORD, D. JSON. 2002. Disponível em: <<https://www.json.org/json-en.html>>. Citado na página [95](#).

DELFT, T. *PocketQube Standard*. [S.l.], 2018. Citado 5 vezes nas páginas [76](#), [78](#), [82](#), [86](#) e [107](#).

DIBELLO, V. G. e L. Educação para ciência, tecnologia, engenharia e matemática e as relações com a política de avaliação em larga escala na educação básica. *Educação (UFSM)*, v. 1, n. 1, p. 81–94, 2016. Citado na página [8](#).

DINIZ, A.; MARCONDES, F.; COPPINI, N. Avarias e desgastes da ferramenta. *Tecnologia da Usinagem dos Materiais*, 8th edn. Artilber, São Paulo, p. 107–118, 2013. Citado na página [87](#).

DUNLOP, J. D. *NASA handbook for nickel-hydrogen batteries*. [S.l.]: National Aeronautics and Space Administration, Scientific and Technical . . . , 1993. v. 1314. Citado na página [43](#).

ECSS. *Space product assurance Material selection*. [S.l.], 2009. Citado na página [78](#).

- ELETRÔNICA, B. da. *Baú da Eletrônica*. [S.l.], 2020. Disponível em: <<https://www.baudaelectronica.com.br/cabo-flexivel-vermelho-20-awg-0-50mm-por-metro.html>>. Citado 3 vezes nas páginas 2, 65 e 67.
- ESA. *Soyuz User's manual*. Toulousse, France, 2012. Citado 2 vezes nas páginas 82 e 86.
- ESA. *Vega User's manual*. Toulousse, France, 2014. Citado 2 vezes nas páginas 82 e 86.
- ESA. *Ariane V User's manual*. Toulousse, France, 2016. Citado 2 vezes nas páginas 82 e 86.
- ESA. 11 steps to make a space mission. 2019. Disponível em: <[https://www.esa.int/ESA\\_Multimedia/Sets/11\\_steps\\_to\\_make\\_a\\_space\\_mission/\(result\\_type\)/images](https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Sets/11_steps_to_make_a_space_mission/(result_type)/images)>. Citado na página 10.
- ESPRESSIF. *datasheets/BST-BME280-DS002 V1.5*. [S.l.], 2017. Citado na página 23.
- ESPRESSIF. *ESP32-WROOM-32 Datasheet V2.9*. [S.l.], 2019. Citado na página 21.
- FERRARESI, D. *Fundamentos da Usinagem dos Metais*. 1a edição. ed. [S.l.]: Editora Edgard Blücher Ltda, 2018. Citado na página 87.
- FERRIANI, V. M. P. et al. Estudo do subsistema de suprimento de energia do satélite universitário itasat. *ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E PÓS-GRADUAÇÃO DO ITA-XII ENCIITA*, 2006. Citado 2 vezes nas páginas 38 e 41.
- FREITAS, E. de. A qualidade da educação brasileira. 2019. Disponível em: <<https://educador.brasilescola.uol.com.br/trabalho-docente/a-qualidade-educacao-brasileira.htm>>. Citado na página 9.
- GGD. *Ficha de Liga 6061 T6*. [S.l.], 2020. Citado na página 78.
- GGD. *Ficha de Liga 7075 T6*. [S.l.], 2020. Citado na página 78.
- HALLINEN, J. Stem. 2019. Disponível em: <<https://www.britannica.com/topic/STEM-education>>. Citado na página 9.
- HELLEN, A. L.; SCHÜTZER, K. Fatores que influenciam a usinagem de moldes e matrizes com altas velocidades. *Revista Ciência & Tecnologia*, v. 12, n. 23, 2004. Citado na página 87.
- HOLLWEG, G. V. Arquitetura distribuída de sistema de energia para cubesat. 2016. Citado 3 vezes nas páginas 37, 41 e 47.
- IDOETA, P. Pisa: alunos brasileiros 'estacionam' em leitura, ciências e matemática e sofrem mais com bullying e solidão. 2019. Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/brasil-50606790>>. Citado na página 8.
- IL-YEOL, S. Developing sequence diagrams in UML. In: *Conceptual Modeling — ER 2001*. [S.l.]: Springer Berlin Heidelberg, 2001. p. 368–382. Citado na página 100.
- INTEGRATION, I. for A.; STEAM. What is steam education? 2017. Disponível em: <<https://artsintegration.com/what-is-steam-education-in-k-12-schools/>>. Citado na página 10.

INVENSENSE. *MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification Revision 3.4.* [S.l.], 2013. Citado na página 27.

JEPPESEN, T.; THOMSEN, M. Power supply for dtu's cubesat. 2001. Citado 2 vezes nas páginas 45 e 47.

JÚNIOR, R. S. L. A. W. M. Ênio T. M. J. L. Aplicabilidade científica do método dos elementos finitos. 2006. Citado na página 82.

KARSENTI, T.; FIEVEZ, A. The ipad in education: uses, benefits, and challenges. *A survey of*, v. 6057, 2013. Citado na página 121.

LAUNCH, D. S. *Dnepr User's manual*. Moscow, Russia, 2011. Citado 2 vezes nas páginas 82 e 86.

LEMANN, F. Como está nossa educação básica? 2017. Disponível em: <<https://fundacaolemann.org.br/noticias/como-esta-nossa-educacao-basica?gclid=CjwKCAjw2Jb7BRBHEiwAXTR4jZtfGN1sn2SItWbkwMAdF7HqQLosjqZ20YvM6gtz2qhZ-N7UKFzAJFBwE>>. Citado na página 9.

MAGALHÃES, B. F. de O. Hibridação de veículo automóvel. 2014. Citado na página 45.

MAHDI, M. C.; JAAFER, J. S.; ABD, A.-r. S. Design and implementation of an effective electrical power system for nano-satellite. Citeseer, 2014. Citado 2 vezes nas páginas 37 e 49.

MARTIN, R. Clean architecture: A craftsman's guide to software structure and design. 2017. Citado 2 vezes nas páginas 98 e 100.

MOZILLA. *WebSockets*. 2020. Disponível em: <<https://developer.mozilla.org/pt-BR/docs/WebSockets>>. Citado na página 119.

MQTT. MQTT - The Standard for IoT Messaging. 2020. Disponível em: <<https://mqtt.org/>>. Citado na página 96.

NAMBEI. *Nambei Fios e Cabos*. [S.l.], 2020. Disponível em: <<http://www.nambei.com.br/download/tabela-tecnica.pdf>>. Citado na página 64.

NAMIOT, D.; SNEPS-SNEPPE, M. On micro-services architecture. *International Journal of Open Information Technologies*, v. 2, p. 24–27, 2014. Citado na página 94.

NASA. *CubeSat 101: Basic Concepts and Processes for First-Time CubeSat Developers*. 1a edição. ed. [S.l.]: NASA, 2017. Citado na página 78.

OGATA, V. O. et al. Desenvolvimento de um satélite de pequeno porte do tipo cansat empregando componentes de prateleira. 2019. Citado 3 vezes nas páginas 77, 88 e 89.

OLIVEIRA, T. C. d. Estudo da tecnologia empregada em veículos elétricos com autonomia estendida: comparativo experimental com veículos híbridos. 2018. Citado na página 45.

ORABY, O. A. et al. Uasat solar array design and performance characteristics. *International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR)*, v. 3, n. 2, 2014. Citado 2 vezes nas páginas 55 e 57.

- PATEL, M. R. *Spacecraft power systems*. [S.l.]: CRC press, 2004. Citado na página 41.
- PAULA, E. d. S. F. de; MAGALHÃES, R. O. de. Análise de balanço de potência, projeto preliminar de painel solar e dimensionamento de bateria de um cubesat 3u para detecção de raios. 2019. Citado 7 vezes nas páginas 1, 41, 44, 46, 47, 48 e 50.
- QEDU. Use dados. transforme a educação. 2017. Disponível em: <<https://www.qedu.org.br/#>>. Citado na página 9.
- QUASE 40% dos alunos de escolas públicas não têm computador ou tablet em casa, aponta estudo. Citado na página 9.
- RADU, S. et al. *The PocketQube Standard*. 1. ed. [S.l.], 2018. 2 p. Citado na página 42.
- RESNICK, H. e. *Fundamentos de Física Mecânica*. 10a edição. ed. [S.l.]: LTC, 2010. Citado 2 vezes nas páginas 83 e 84.
- ROCHA, S. L. Power control unit development model of the itasat. *Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos*, 2010. Citado na página 44.
- SANCHEZ-SANJUAN et al. Comparison of the incident solar energy and battery storage in a 3u cubesat satellite for different orientation scenarios. *Journal of Aerospace Technology and Management*, SciELO Brasil, v. 8, n. 1, p. 91–102, 2016. Citado na página 41.
- SASSAKI, A. H. et al. Por que o brasil vai mal no pisa? uma análise dos determinantes do desempenho no exame. *Centro de Políticas Públicas do Insper e USP*, n. 31, p. 1–27, 2018. Citado na página 8.
- SENSORTECH, S. *Data Sheet MiCS-6814 1143 rev 8*. [S.l.], 2020. Citado na página 25.
- SIRIN, A. *Power System Analysis of J3 CubeSat and RATEX-J High Voltage Power Supply Calibration*. 2015. Citado na página 63.
- SPECTROLAB. Datasheet of xte-sf targeted environment (xte) solar cells for specific space applications. In: . [S.l.: s.n.], 2018. Citado na página 54.
- SULLIVAN, D. O. Satellite power system topologies. *ESA Journal*, v. 13, p. 77–88, 1989. Citado na página 37.
- SVENSSON, A. Atmospheric measurement using cansat. 2019. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/215697482\\_On\\_Non-Functional\\_Requirements\\_in\\_Software\\_Engineering](https://www.researchgate.net/publication/215697482_On_Non-Functional_Requirements_in_Software_Engineering)>. Citado 2 vezes nas páginas 77 e 88.
- THIRION, P. Design and implementation of on-board electrical power supply of student nanosatellite oufti-1 of university of liège. *University of Liège*, 2009. Citado 5 vezes nas páginas 2, 60, 61, 67 e 68.
- TRINDADE, R. H. L. Estudo das características de baterias recarregáveis possíveis de serem utilizadas no projeto satélite universitário, itasat. *XII Encontro de Iniciação Científica e Pós-Graduação do ITA XII ENCITA*, 2006. Citado na página 45.
- VIANNA, M. et al. *Design Thinking Inovação em Negócios*. 1a edição. ed. [S.l.]: MJV press, 2014. Citado na página 103.

WANG, V.; SALIM, F.; MOSKOVITS, P. The WebSocket protocol. In: *The Definitive Guide to HTML5 WebSocket*. [S.l.]: Apress, 2013. p. 33–60. Citado na página 96.

WERTZ, J. R.; LARSON, W. J. Space mission analysis and design, microcosm. Inc.,, p. 497, 1999. Citado 12 vezes nas páginas 1, 38, 39, 41, 45, 47, 48, 49, 50, 55, 57 e 61.

YUAN, M. Conhecendo o MQTT. *IBM Developer*, 2017. Disponível em: <<https://developer.ibm.com/br/technologies/iot/articles/iot-mqtt-why-good-for-iot/>>. Citado na página 96.

# 4 Apêndice

## 4.1 Apêndice 1 - Decisões da Arquitetura de *Software*

### 4.1.1 Arquitetura cliente-servidor

Pela natureza do projeto, a arquitetura adotada no projeto foi a cliente-servidor, uma vez que seria necessário um *software* para a visualização de dados e outro para recebê-los dos microcontroladores. Contudo, foram analisadas duas alternativas para a comunicação entre eles: REST e WebSockets.

- REST

Essa arquitetura possui algumas variações, dependendo do fluxo dos dados apresentados. Geralmente, nessa arquitetura, o cliente se comunica com o servidor via HTTP através de uma API na arquitetura *REST* (*REpresentation State Transfer*). Como o nome indica, com esse tipo de API, o servidor irá transferir a representação atual do recurso requisitado. Porém, essa arquitetura não permite utilização de dados em tempo real: como o cliente recebe uma representação dos dados no momento da requisição, ele não é informado caso o estado daquele recurso seja modificado.

Exemplo: dado momento de tempo ( $T_n$ ) de uma requisição HTTP feita para a API REST, o estado ( $C_n$ ) do recurso de temperatura é igual a 30 graus Celsius. No tempo  $T_{n+1}$ , a temperatura  $C_{n+1}$  é 30.5 graus Celsius. Essa mudança não é informada ao cliente enquanto ele não fizer a próxima requisição.

- WebSockets

Então, dada a necessidade de ter as informações em tempo real, foi escolhida a tecnologia de WebSockets. Segundo a documentação do Mozilla ([MOZILLA, 2020](#)), WebSockets é uma tecnologia avançada que torna possível abrir uma sessão de comunicação interativa entre o navegador do usuário e um servidor. Com essa API, você pode enviar mensagens para um servidor e receber respostas orientadas a eventos sem ter que consultar o servidor para se obter uma resposta.

Dada a proposta dessa tecnologia, receber e enviar dados em tempo real entre o cliente e o servidor, ela foi adotada para este projeto.

### 4.1.2 Arquitetura microsserviços

- Monolito

A arquitetura de monolitos é uma forma de organizar todo o servidor em apenas um módulo. Nessa estratégia, o acoplamento entre os componentes do módulo aumenta conforme a complexidade da solução. Assim, há maior necessidade de recursos para todo o módulo, mesmo que alguns componentes sejam mais utilizados que outros.

Como o projeto visa utilizar processamento de baixo custo, é necessário que se consuma a menor quantidade de recursos possível e que não haja capacidade de computação ociosa.

- Microsserviços

A arquitetura de microsserviços permite um baixíssimo nível de acoplamento entre os componentes, uma vez que cada módulo opera independente de outro, ocorrendo a comunicação entre eles apenas se necessário. No contexto do *PocketQube*, o microcontrolador coleta e envia dados de vários sensores para o servidor, podendo aumentar ou diminuir a frequência conforme a disponibilidade do sensor. Em certo momento, por exemplo, um sensor pode estar indisponível enquanto todos os outros estão operando e não é uma escolha interessante onerar a plataforma alocando recursos para um serviço que não está sendo utilizado.

Outra vantagem para esse contexto é que, sempre que um novo sensor é adicionado, basta incluir um servidor que irá receber esses dados sem que haja interferência nos outros.

Portanto, por essas razões, foi decidido que a abordagem de microsserviços seria adotada.

### 4.1.3 MQTT - Message Queue Telemetry Transport

Como a entrada de dados em um sistema de vários sensores é muito alta, mas nem sempre os servidores podem estar disponíveis para lidar com todos, viu-se necessário a adoção de uma interface de comunicação de gerenciamento entre a entrada de dados pelos microcontroladores e pelos microsserviços. A estratégia de fila, então, foi a escolhida como mais apropriada.

Em ambientes *IOT*, o padrão de envio de mensagens em filas é bastante reconhecido, inclusive é oferecido em produtos de grandes empresas, como por exemplo, a IBM, e também, em algumas implementações de CubeSats. Por este motivo essa abordagem foi escolhida.

#### 4.1.4 Experiência do Usuário e Decisão da Tecnologia do Cliente

- Aplicação *mobile*

Já faz certo tempo que o iPad foi inserido no contexto educacional ao redor do mundo. Neste contexto, muitas pesquisas foram realizadas tentando compreender o impacto da inserção dessa tecnologia nas escolas e universidades. A pesquisa "The iPad in education: uses, benefits, and challenges"(KARSENTI; FIEVEZ, 2013), realizada no Canadá com mais de 6000 alunos, apresentou vários benefícios do uso dos iPads nas escolas. Dentre eles estão:

- Aumento da motivação do alunos;
- Facilidade de acesso a informação; probabilidade do dispositivo;
- Facilidade para anotações e organizar tarefas;
- Qualidade da apresentação dos estudos;
- Qualidade da apresentação dos professores;
- Aumento da colaboração entre estudantes e professores;
- Alunos podem trabalhar/aprender no seu próprio ritmo;
- Desenvolvimento de habilidade de TI por parte dos professores;
- Desenvolvimento de habilidade de TI por parte dos alunos;

Assim, foi optado pelo iPad como plataforma do *front-end* da aplicação. Lembrando que, devido a arquitetura de microsserviços, essas interações podem ser expansíveis para outras plataformas, inclusive *Android*, desde que a comunicação via *websockets* seja possível. Entretanto, essas ficam fora do escopo do projeto.

## 4.2 Apêndice 2 - Prova de Conceito (PDC)

Com o intuito de validar as decisões da arquitetura de *software* previamente discutidas, foi realizado a prova de conceito da aplicação propostas pelo projeto. Assim, foi possível compreender de forma mais clara suas limitações, desafios e viabilidades.

A implementação da PDC foi dividida nos seguintes tópicos:

- *Back-end*: comunicação broker/server e server/front-end;
- Simulação: comunicação satélite/broker;
- Testes: verificação de contrato de comunicação do formato de dados;
- *Front-end*: comunicação interface do usuário/server;

### 4.2.1 *Back-end*: comunicação broker/server e server/front-end

Nessa etapa é encontrado o *core* da arquitetura do projeto. Para isso, foi utilizada a técnica de conteinerização (*Docker*) tanto para os serviços da aplicação quanto para o serviço de mensagem (mensageiro) necessários no *software*.

Cada micro serviço implementa um observador para ouvir as mensagens novas publicadas pela *ESP32* do solo na fila *MQTT*. Ao acontecer esse evento, o método envia um novo evento com os dados recebidos e tratados para o socket que está conectado no app *iOS*. Abaixo é apresentado um pequeno trecho de código como exemplificação da solução.

### 4.2.2 Simulação: comunicação satélite/broker

Para alimentar a fila com os dados e simular os dados que seriam enviados pela *ESP32* no solo para a fila *MQTT*, foi desenvolvido um *script* que realiza esse comportamento. O serviço que lida com o recebimento das mensagens foi projetado inicialmente para ser inscrito em filas de dados fictícios representando informações dos sensores. Após a detecção da chegada de uma mensagem, é feito o tratamento dos dados, incluindo a separação dos mesmos em tópicos para simplificar o uso desses no *front-end*. Como observado na Figura 71, foram criados alguns tópicos para a recepção de diferentes *payloads*.

A screenshot of a terminal window with a dark background and light-colored text. At the top left are three colored window control buttons (red, yellow, green). Below them is a block of JSON code. The code consists of four objects, each with a 'topic' key and a 'payload' key. The 'topic' values are 'sensor/gps', 'sensor/temperature', 'sensor/oxygen', and 'sensor/gps'. The 'payload' values are JSON objects with keys 'lat', 'lon', 'temp', and 'oxygen' respectively, containing numerical values.

```
{'topic': 'sensor/gps', 'payload': '{"lat": "-20.00000", "lon": "-20.00000"}'}  
{'topic': 'sensor/temperature', 'payload': '{"temp": 20.56}'}  
{'topic': 'sensor/oxygen', 'payload': '{"oxygen": "89"}'}  
{'topic': 'sensor/gps', 'payload': '{"lat": "-20.00000", "lon": "-20.00000"}'}
```

Figura 71 – Informações tratadas e separadas em tópicos

#### 4.2.3 Testes: verificação de contrato de comunicação do formato de dados

Nessa etapa foi desenvolvido *scripts* na linguagem de programação *Python* para a simulação de envio dados de acordo com a Figura 51, em formato *JSON - JavaScript Object Notation*, ao broker via *MQTT*. Esse trabalho feito pelos scripts será realizado por um microcontrolador.

#### 4.2.4 *Front-end*: comunicação *front-end/server*

A comunicação entre o *mobile* e o servidor é feito via *web sockets*, mais precisamente, utilizando a tecnologia *SocketIO*. Desta forma, para fazer esse consumo de dados do ponto de vista do aplicativo, é necessário implementar a *SDK* do *SocketIO*.

Por fim, os dados serão atualizados e apresentados ao usuário assim que recebidos via *web sockets*.

O aplicativo também foi elaborado em modelo de mínimo produto viável, tendo foco no recebimento dos dados e apresentação em um modelo orientado pelo protótipo construído no *software Figma*.

### 4.3 Apêndice 3 - Guia de acessos

- Repositório do *back-end* (servidor e microsserviços)

Repositório com a aplicação backend e microsserviços, informações de como rodar, estão descritas no README.md da aplicação:

[<https://github.com/pocketcube/backend>](https://github.com/pocketcube/backend)

- Repositório do *front-end* (aplicação *mobile*)

Repositório com a aplicação *mobile*, informações de como rodar, estão descritas no README.md da aplicação:

[<https://github.com/pocketcube/app>](https://github.com/pocketcube/app)

- Protótipo (*Figma*)

Link de acesso ao protótipo de alta fidelidade da aplicação mobile.

Protótipo de Alta Fidelidade:

[<https://bit.ly/2I4zHbS>](https://bit.ly/2I4zHbS)

- Repositório da *ESP32* (Equipe de eletrônica)

Repositório com os códigos a serem usados na *ESP32*:

[<https://github.com/pocketcube/esp32-code>](https://github.com/pocketcube/esp32-code)

## 4.4 Apêndice 4 - Diagramas do EPS

Representação dos diagramas unifilar, de blocos e alocação.

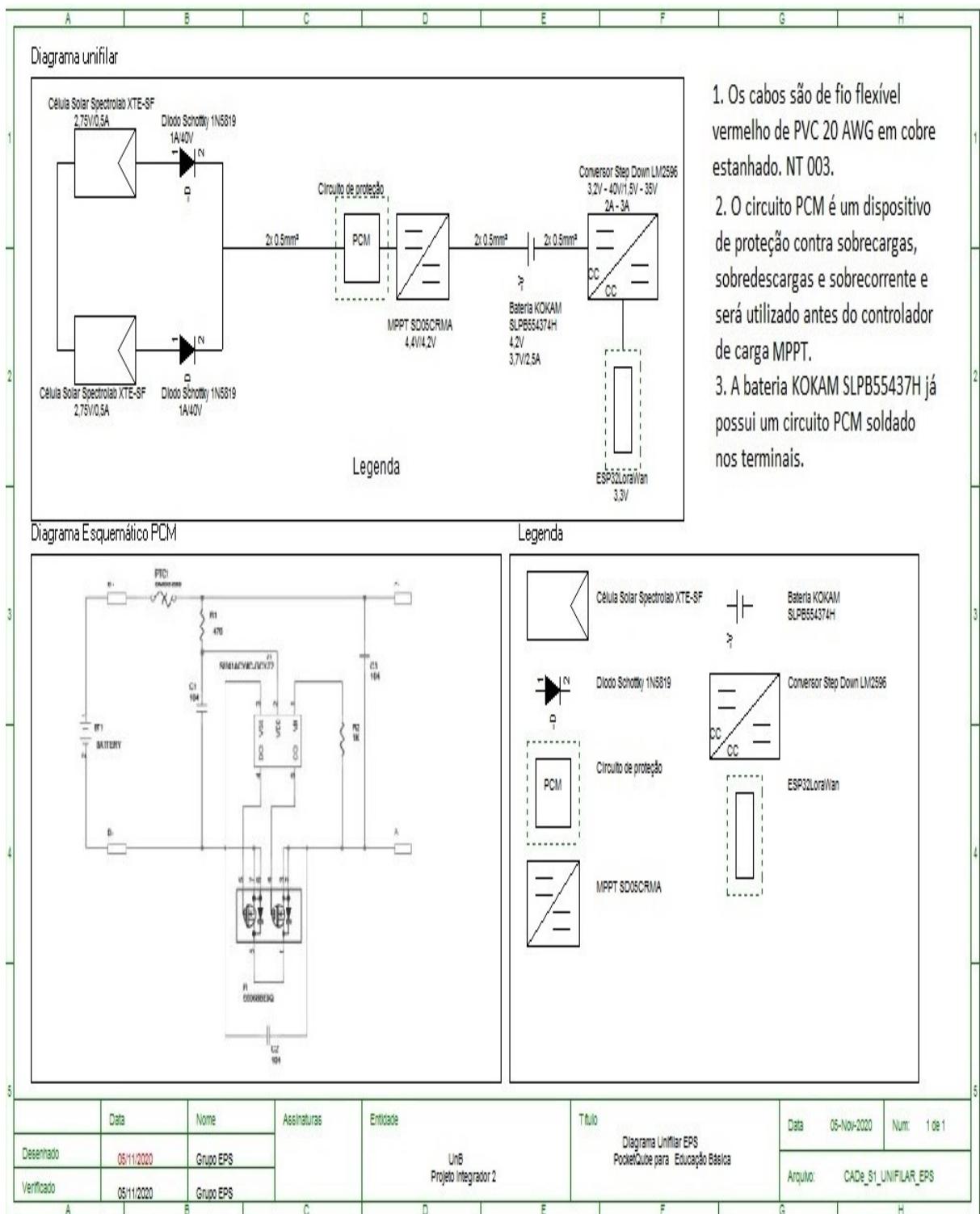


Figura 72 – Diagrama unifilar do sistema de potência e energia (EPS).

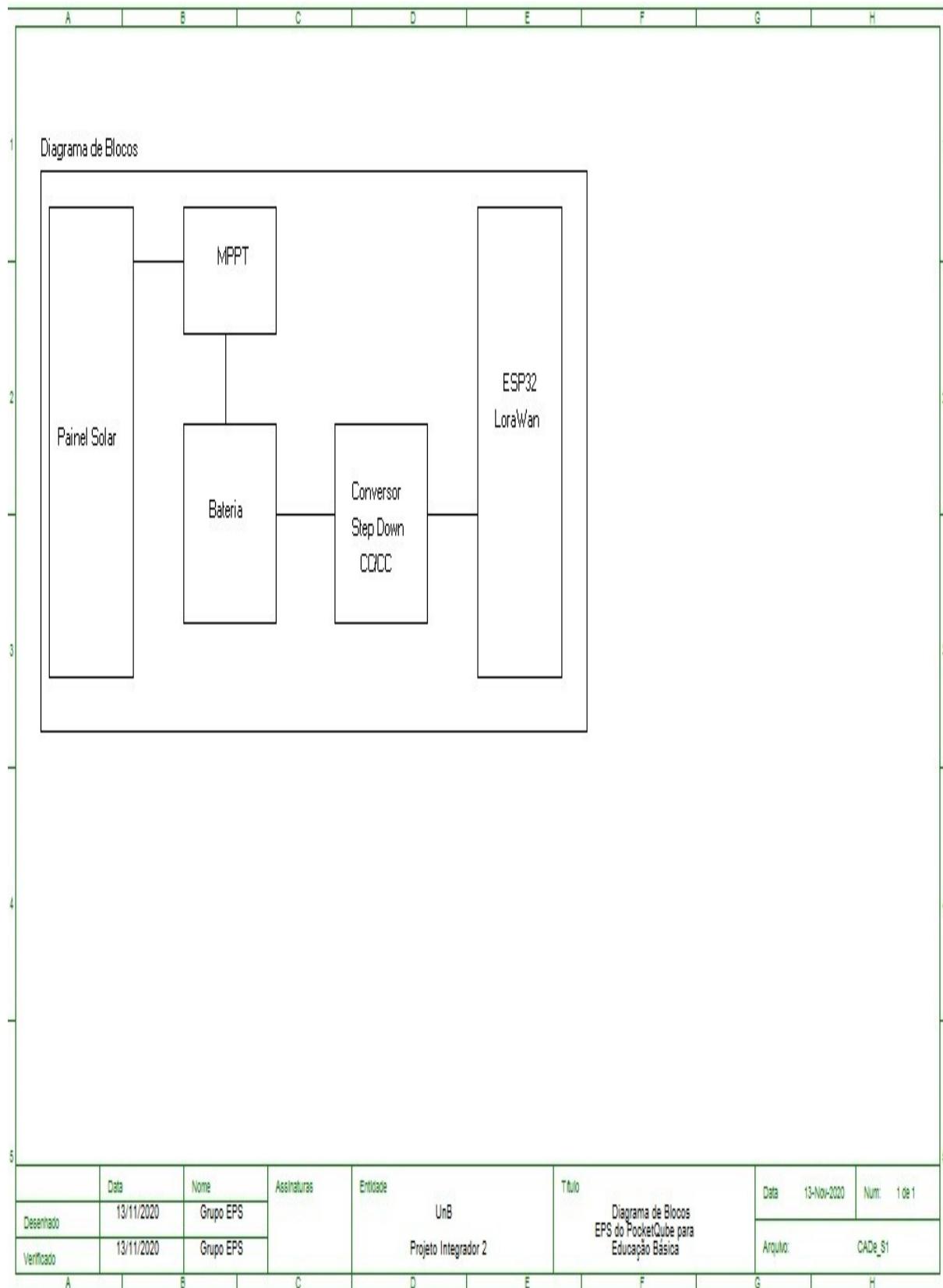


Figura 73 – Diagrama de blocos do sistema de potência e energia (EPS).

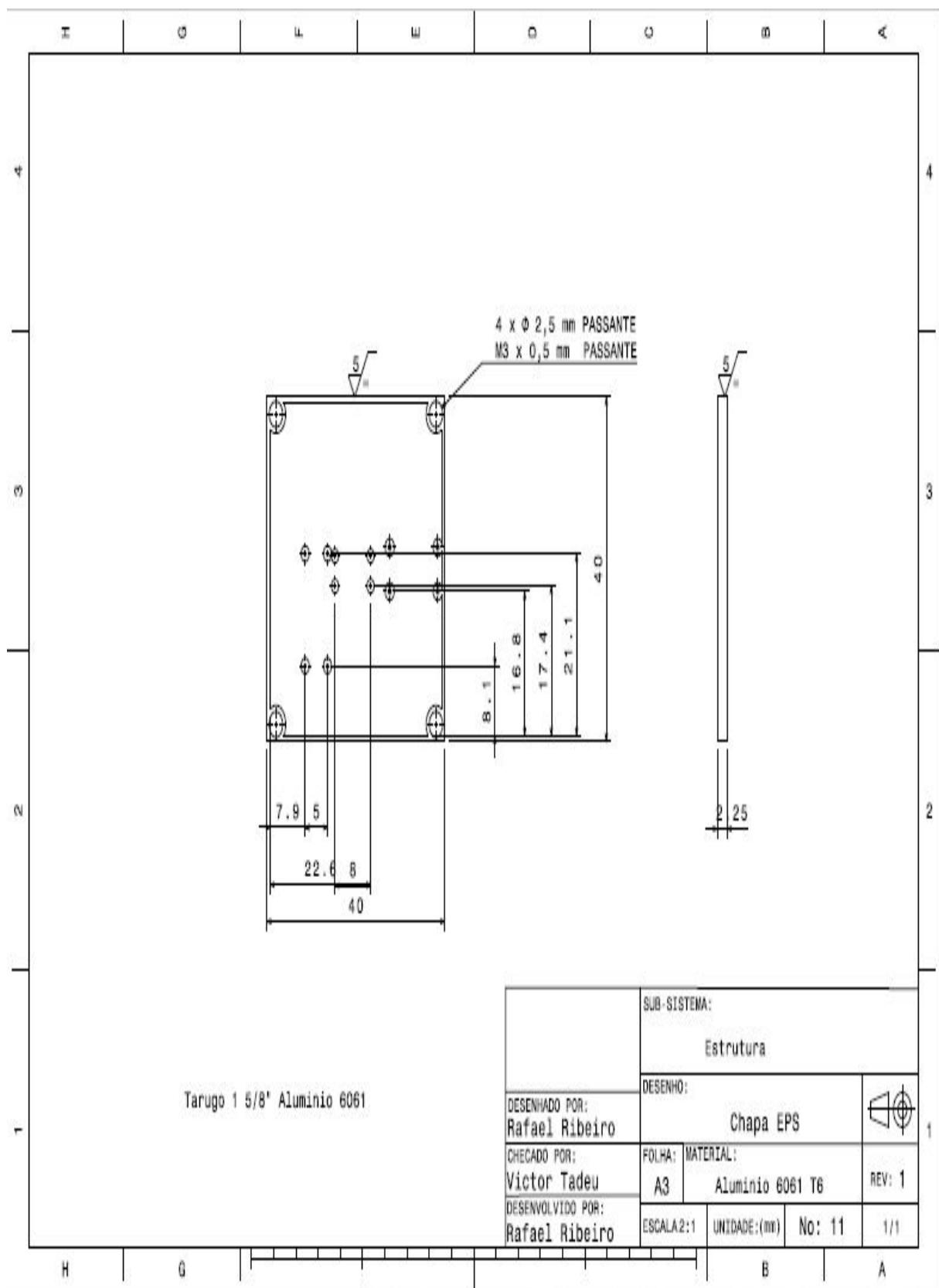


Figura 74 – Alocação do EPS dentro do PocketQube.

## 4.5 Apêndice 5 - Manual de Usuário

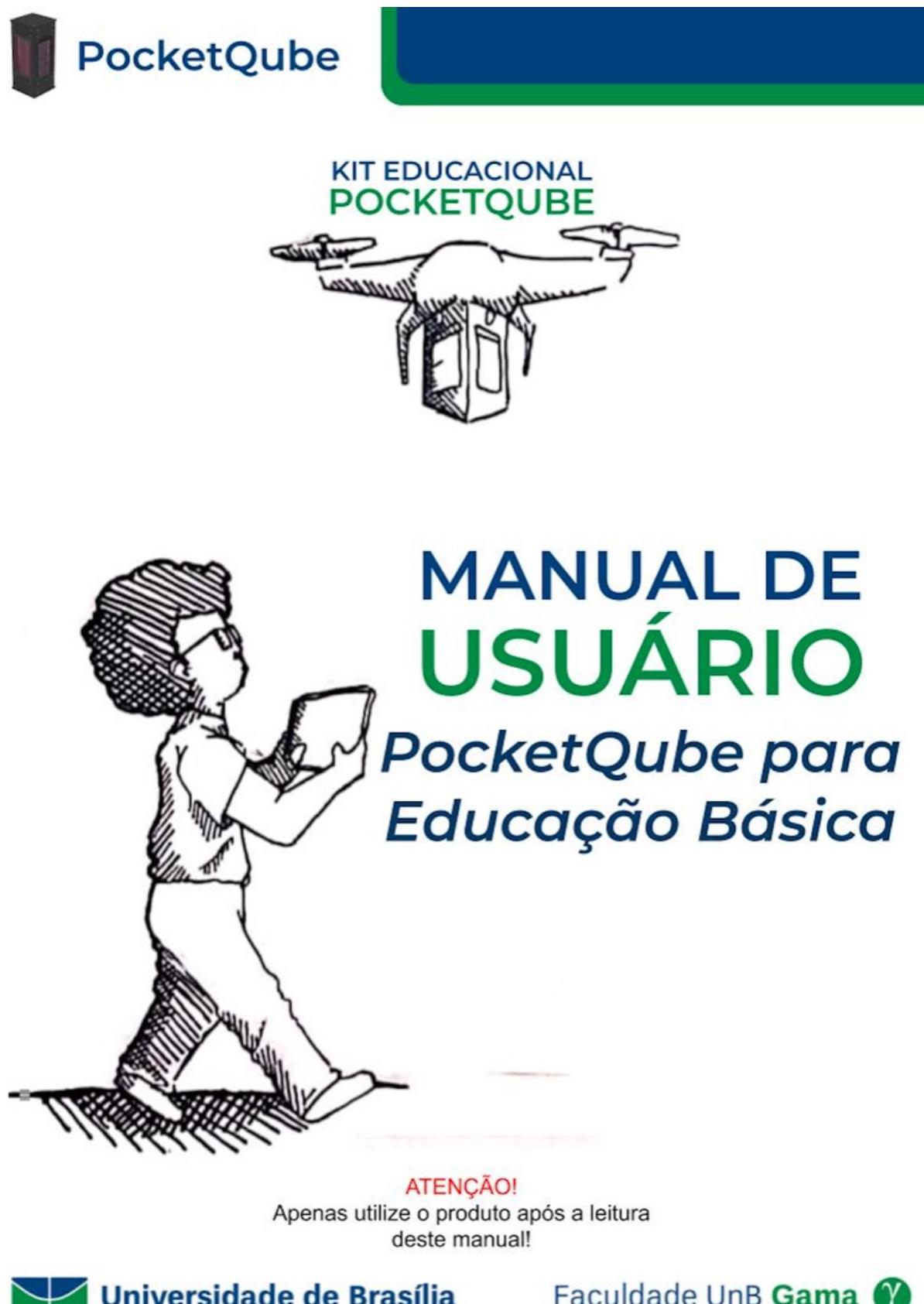


Figura 75 – Manual de Usuário (a)



## PocketQube

## INTRODUÇÃO

O PocketQube para Educação básica surge da necessidade de estimular a educação através de atividades lúdicas e divertidas para o aluno. Com o PocketQube, você será capaz de desenvolver atividades dentro da ciências, tecnologia, artes, engenharia e matemática utilizando um modelo de satélite para missão meteorológica como ferramenta de ensino.

O processo educacional é pensado seguindo todos os passos de planejamento de missão espacial, onde os alunos terão a oportunidade de trabalhar:

- Foco: em que é discutido os problemas a serem resolvidos pela missão em desenvolvimento e como eles são aplicados em situações reais;
- Detalhamento: em que é instigado o desenvolvimento de soluções para os problemas explorados;
- Descoberta: Em que o kit educacional começa a ser construído para resolver os problemas descobertos e detalhados;
- Aplicação: Em que o PocketQube passa a coletar os dados e os alunos preparam para discussão;
- Apresentação: Em que os dados são mostrados e aplicados em outras soluções;
- Conexão: em que os feedbacks são apresentados e criados soluções baseado nos dados para os problemas pensados.

O seu satélite é composto por:

- Estrutura do Satélite;
- Placa de Sistema de Potência e Energia;
- Bateria;
- Placa de Controle;
- Placa de Missão;
- Placa de determinação de posição e atitude.



A sua estação de solo é composta por:

- Placa de Comunicação;
- Microcomputador.

E todos os dados da sua missão estarão disponíveis no aplicativo para [IPAD](#).



Universidade de Brasília

Faculdade UnB Gama



01

Figura 76 – Manual de Usuário (b)



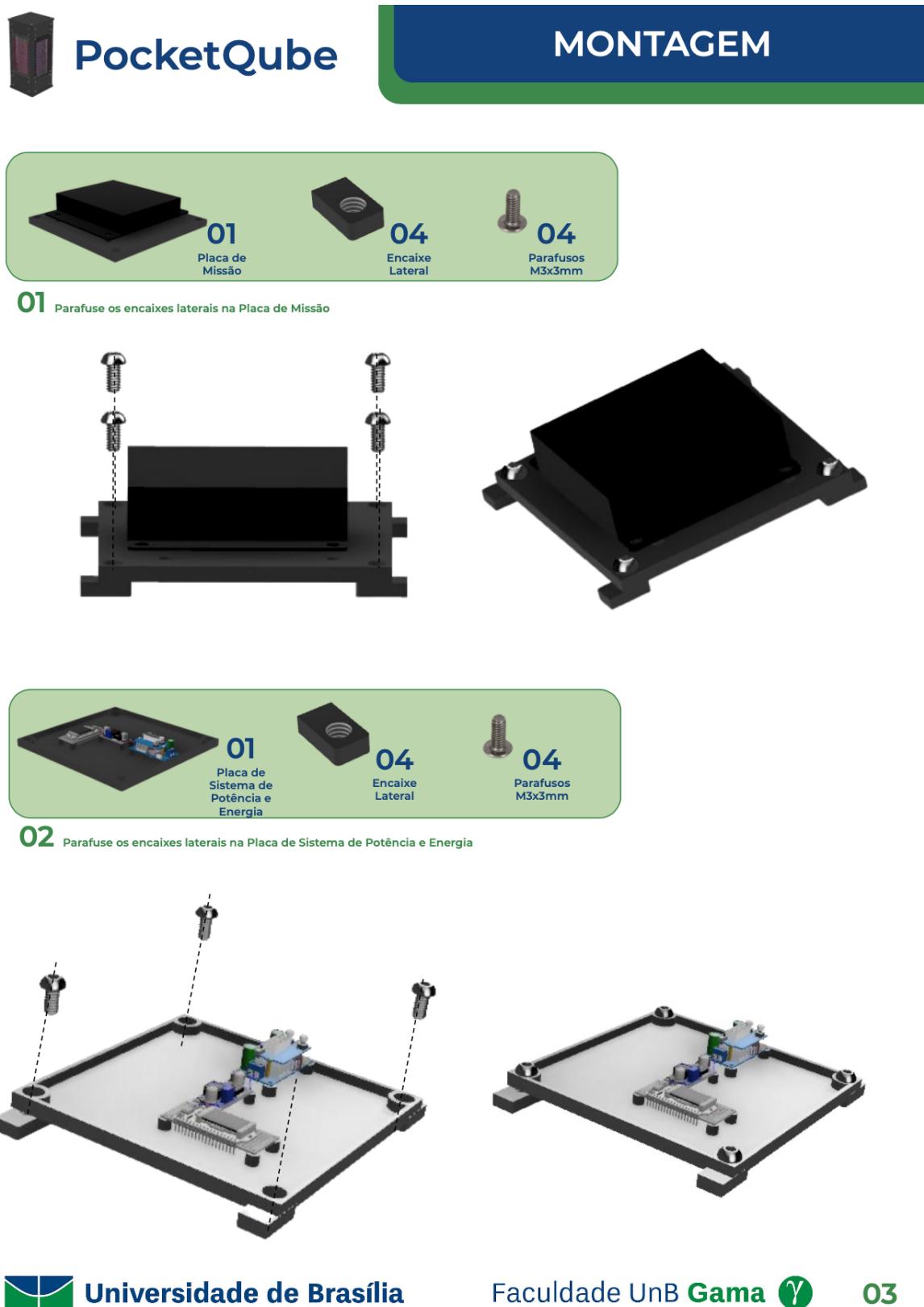
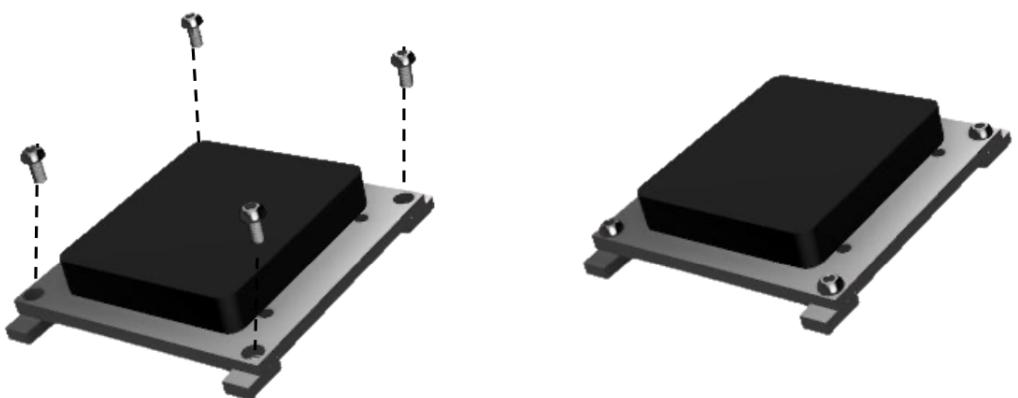


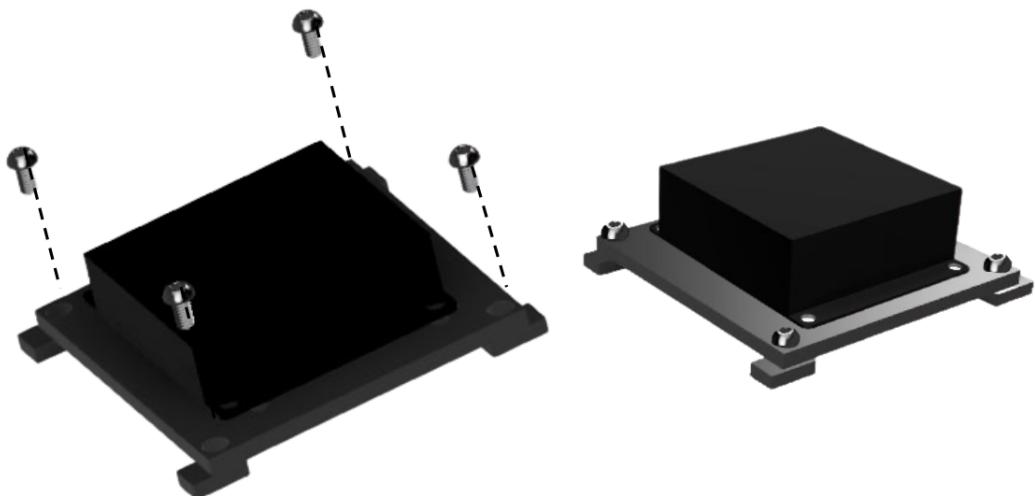
Figura 78 – Manual de Usuário (d)



**03** Parafuse os encaixes laterais na bateria



**04** Parafuse os encaixes laterais na Placa Controladora



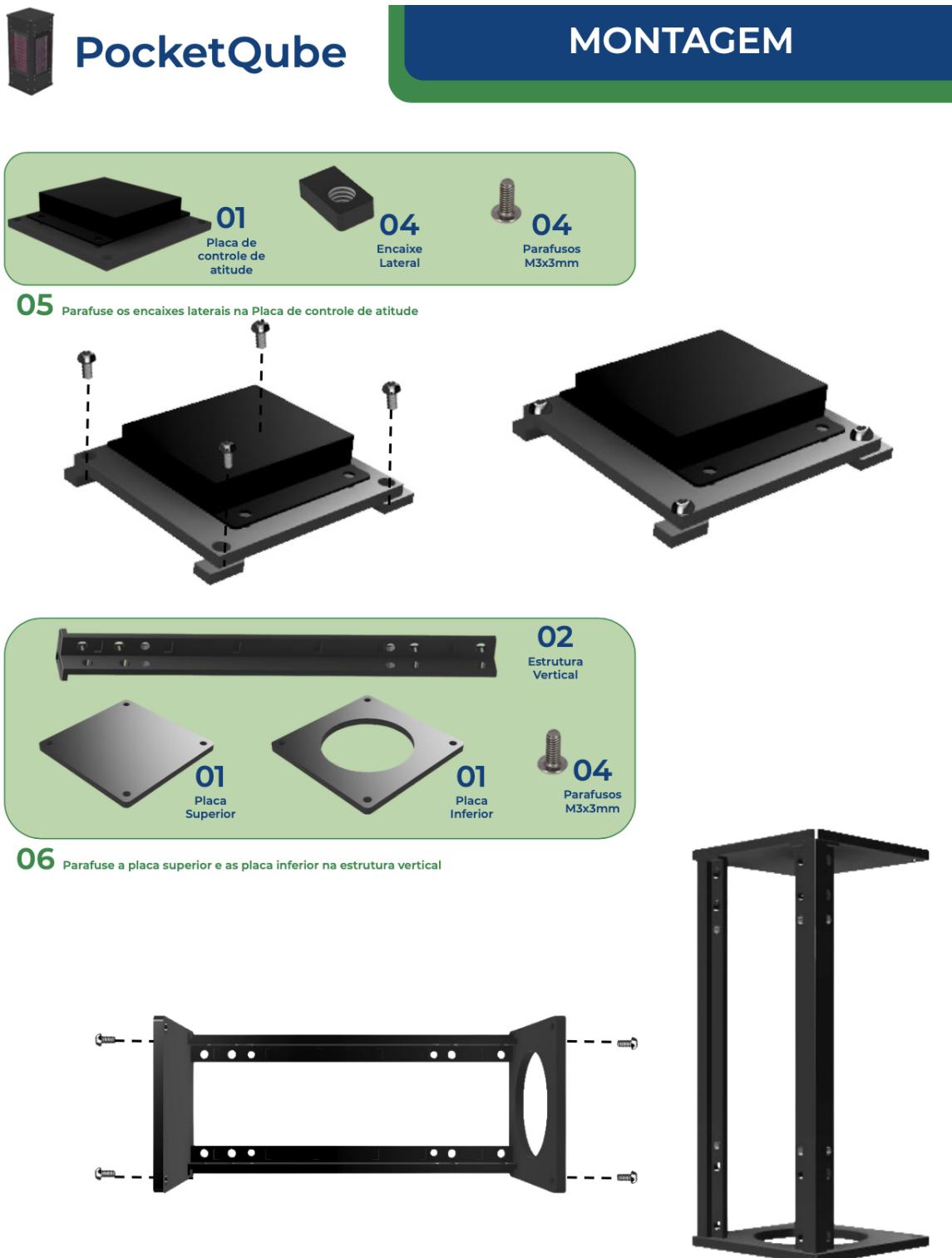
Universidade de Brasília

Faculdade UnB Gama



04

Figura 79 – Manual de Usuário (e)



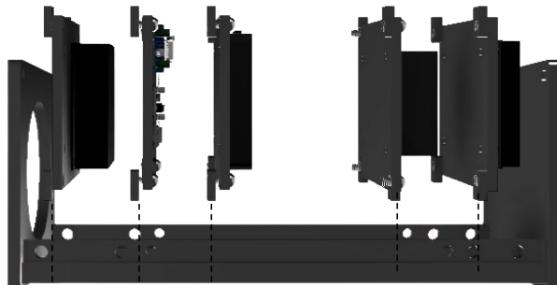


**PocketQube**

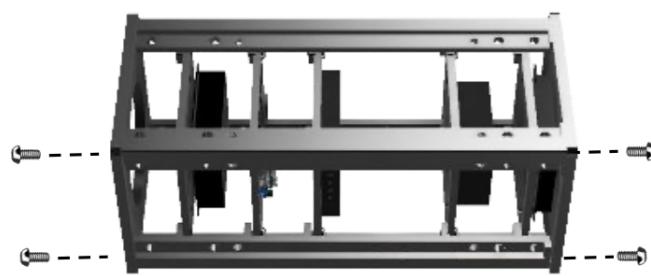
## MONTAGEM



**07** Encaixe na estrutura a placa de missão, placa de sistema de potência e energia, bateria, placa controladora e placa de determinação da atitude



**08** Parafuse a estrutura Lateral assim fechando a estrutura base do *PocketQube*



**Universidade de Brasília**

Faculdade UnB **Gama**

**06**

Figura 81 – Manual de Usuário (g)

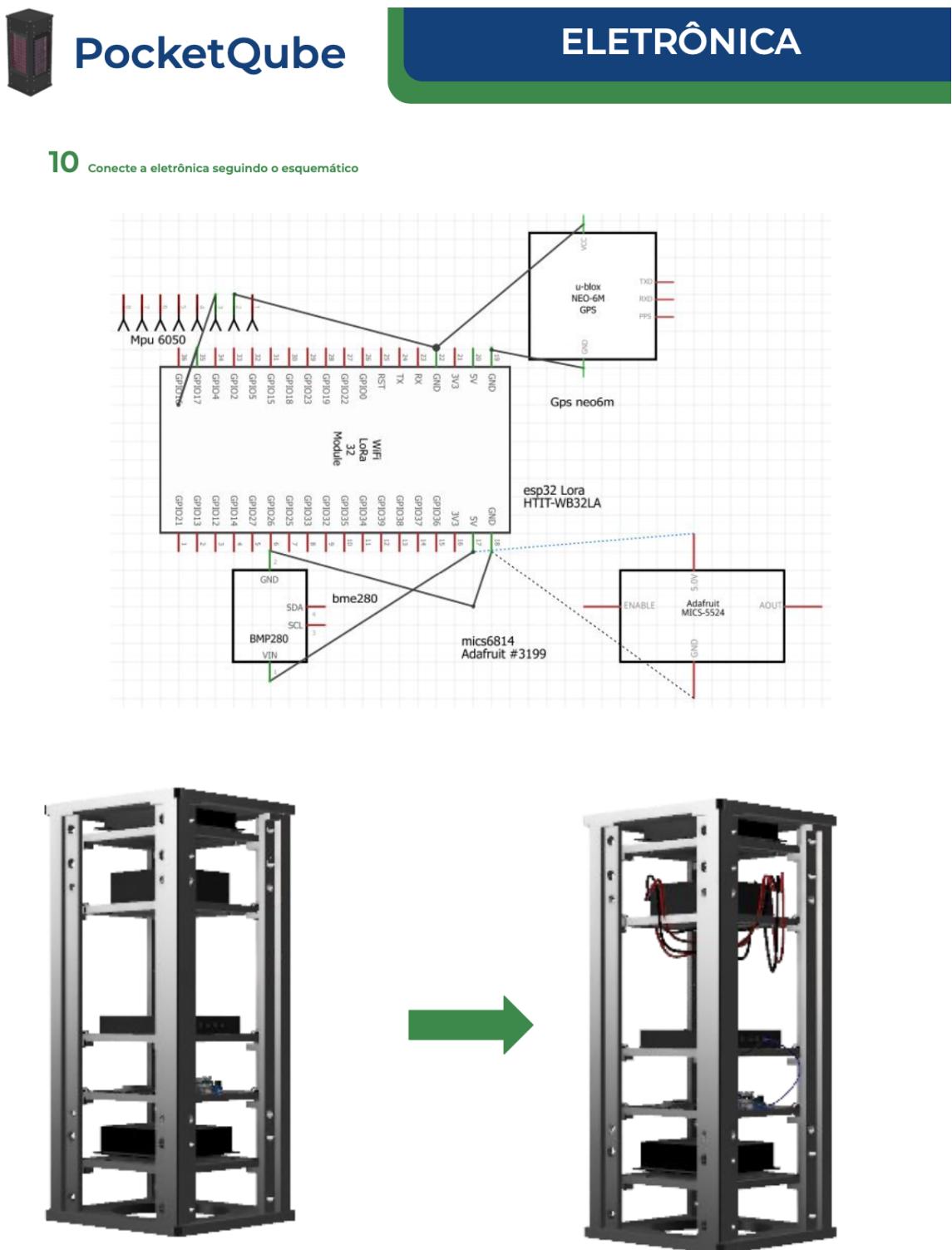


Figura 82 – Manual de Usuário (h)

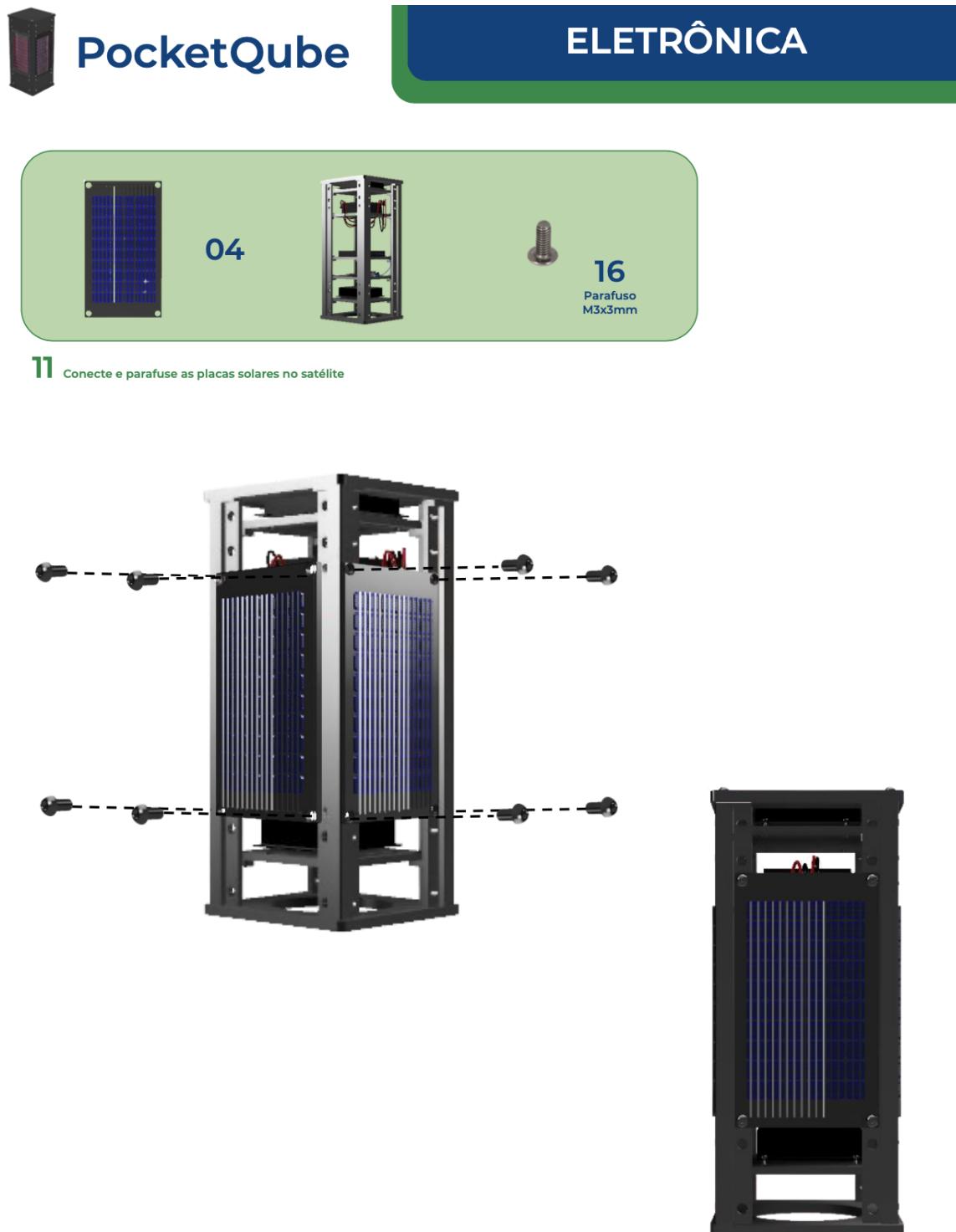


Figura 83 – Manual de Usuário (i)



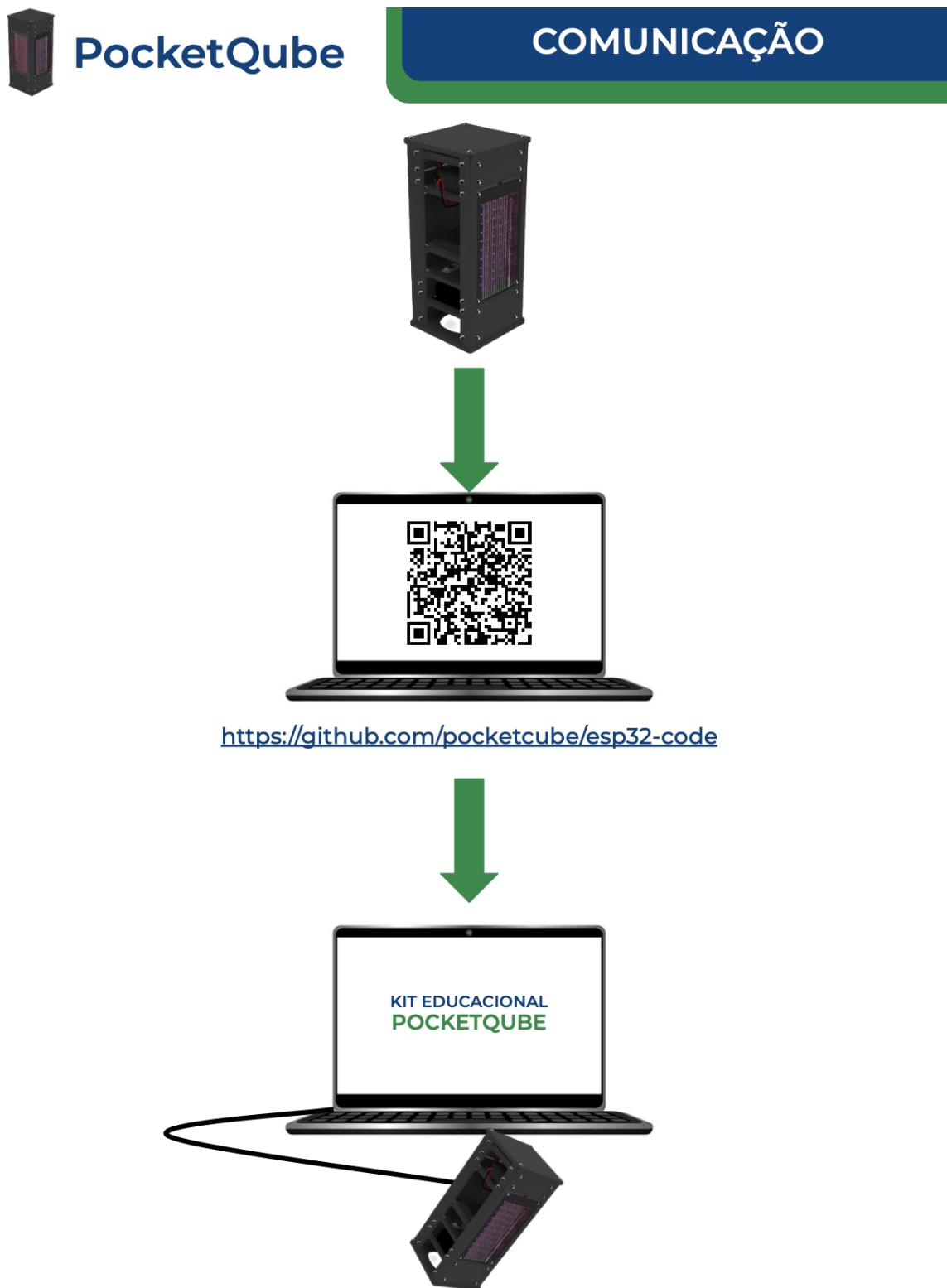


Figura 85 – Manual de Usuário (k)



- O kit Educacional PocketQube oferece apenas o sistema de deployer para integrar o Pocketqube no Phantom 3



**PocketQube****LANÇAMENTO\***

O *PocketQube* será acoplado em um sistema no drone, que permitirá que o voo seja realizado.

Por motivos de segurança, o acoplamento do *PocketQube* ao drone deve ser realizado antes da instalação das hélices, garantindo assim que o drone não ligará durante essa etapa do manuseio.



- O kit Educacional PocketQube oferece apenas o sistema de complemento para integrar o *PocketQube* no Phantom 3

**Universidade de Brasília****Faculdade UnB Gama****12**

Figura 87 – Manual de Usuário (m)



O lançamento deverá ser realizado no mesmo local de coleta de dados e da instituição de ensino. O aluno coletará os dados e realizará as análises dos mesmos em um curto período de tempo.

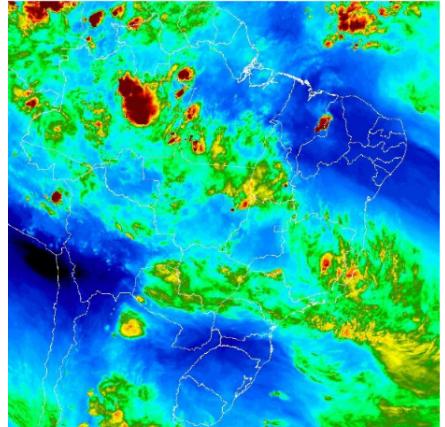
- O kit Educacional PocketQube oferece apenas o sistema de deployer para integrar o Pocketqube no Phantom 3



**PocketQube**

## MISSÃO

Satélites meteorológicos são utilizados para monitorar o tempo e o clima da atmosfera terrestre. Seus dados auxiliam nas previsões do tempo, que são feitas por meio de coleta de dados quantitativos sobre o estado atual da atmosfera em um determinado lugar. Através da análise dos dados dos processos atmosféricos, o PocketQube irá ajudar a monitorar as condições climáticas de um determinado local, avaliando a atmosfera, sempre com o objetivo educacional.



Fonte: Portal Inmet.

Com o seu kit educacional, você trabalhará com as seguintes funções e medidas:

- Envio de dados para o Solo.
- Controle da placa de missão.
- Controle da placa de determinação de Altitude.
- Dióxido de Nitrogênio - Umidade;
- Amônia - Pressão;
- Monóxido de Carbono - Temperatura;
- Latitude - Velocidade
- Longitude - Velocidade angular
- Altura
- Garantia da autonomia da missão;
- Segurança de energia da missão;
- Performance do *PocketQube*.
- Autonomia da missão;

**Placa Controladora**

**Placa de Missão**

**Placa de determinação de Altitude**

**Sistema de Energia e Potência**

**Bateria**



Figura 89 – Manual de Usuário (o)



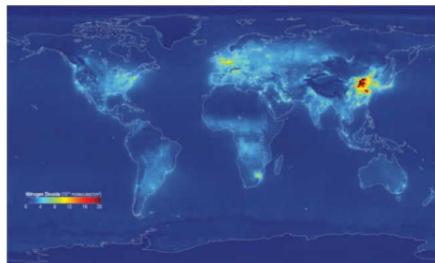
## PocketQube

### MISSÃO

Avaliar os teores que compõem a atmosfera local significa estar em alerta quanto a qualidade do ar do ambiente em que você vive. Estes fatores irão apontar se existem maiores ou menores quantidades de poluentes e, assim, você poderá elaborar maneiras e ações, juntamente à sua comunidade local, que melhorem os hábitos de vida da região.

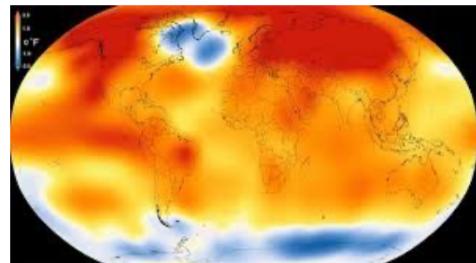
Outra investigação importante que você poderá realizar será sobre o clima e o tempo da sua região. Com os dados de temperatura, umidade e pressão atmosférica é possível iniciar a prever chuvas, tempo de calor e comparar seus dados com satélites meteorológicos. Com os dados coletados, será possível realizar trabalhos em equipe para compreender efeito do clima e tempo no seu dia-a-dia, assim como entender melhor processos geográficos como tempo de plantação e colheita da sua região e as estações do ano. A partir desta base de dados, é possível promover eventos que possam fomentar a pesquisa de jovens secundaristas, bem como promover discussões na sua instituição de ensino.

Mapa de emissão de poluentes no mundo



Fonte: ECycle.

Mapa da variação de calor na terra



Fonte: FAPESP.

A placa de determinação de altitude permite que você possa explorar conceitos matemáticos e físicos, como a cinemática, colocar em prática missões para medir a gravidade da terra, assim como calcular questões como movimento retilíneo uniforme, uniformemente variado, entender o cálculo da pressão da atmosfera e como isso afeta cada região.

O Kit Educacional PocketQube permite a construção de um novo mundo na palma da sua mão.



**Universidade de Brasília**

Faculdade UnB Gama



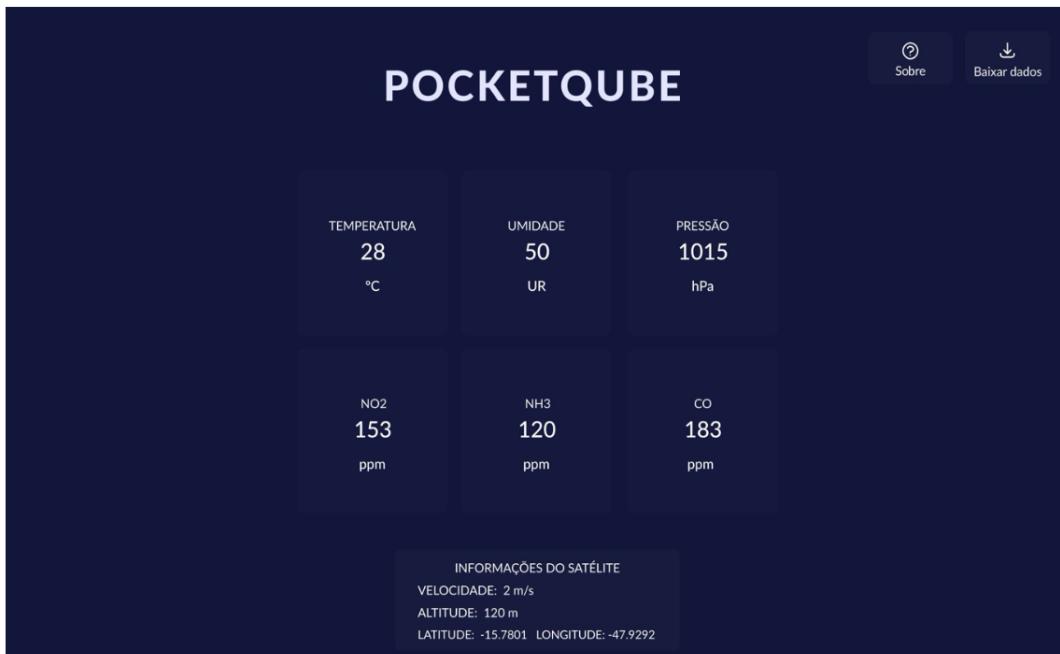
**15**

Figura 90 – Manual de Usuário (p)



## Software

Esta seção tem como finalidade apresentar um breve manual de como utilizar a interface do usuário, ou seja, a aplicação *mobile*.



Tela inicial do aplicativo

## Exportar dados

No canto superior direito é mostrado o botão de exportação de dados. Para exportar os dados de uma missão (formato **csv**), basta clicar neste botão e salvar no diretório desejado do dispositivo utilizado.



## Mais informações

No canto superior direito, também, é encontrado o botão “Sobre”. Clique nele para saber mais informações sobre o projeto.



**Universidade de Brasília**

Faculdade UnB **Gama**



**16**

Figura 91 – Manual de Usuário (q)

**Visualização dos dados da missão**

Ao abrir a aplicação *mobile*, será apresentado a tela de *dashboard*. Nela são apresentados os dados coletados durante a missão atualizados em tempo real. Cada um dos cartões representa um dado de um sensor. Também são disponibilizadas informações sobre o satélite.

TEMPERATURA	UMIDADE	PRESSÃO
28 °C	50 UR	1015 hPa
NO2 153 ppm	NH3 120 ppm	CO 183 ppm

INFORMAÇÕES DO SATÉLITE  
VELOCIDADE: 2 m/s  
ALTITUDE: 120 m  
LATITUDE: -15.7801 LONGITUDE: -47.9292

**Tela de *dashboard***

**Sensor de NO2 detalhado**

**Acessar detalhes de um sensor**

Para ter acesso a mais detalhes sobre o dado de um sensor em específico, é necessário clicar no cartão do sensor escolhido.



**Universidade de Brasília**

Faculdade UnB Gama



**17**

Figura 92 – Manual de Usuário (r)



## PocketQube

## CUIDADOS E MANUTENÇÃO

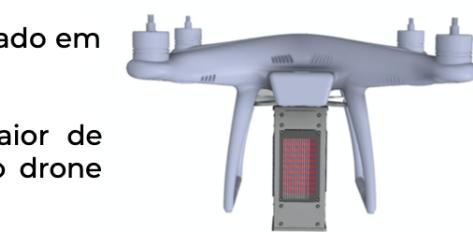
1. Fixação da bateria: não deve estar com folga, pois isso pode provocar danos às placas por excesso de vibração.
2. Cabo positivo e negativo devem ser checados se há corrosão e desgaste  
Caixa da bateria: verificar se há trincas, quebras, deformações e sujeiras na tampa que possam causar a descarga. A bateria deve ser mantida sempre limpa.



3. Células solares: ao final de cada missão, utilizar flanela seca para limpeza das células solares a fim de se evitar qualquer material que comprometa o fornecimento de energia para o sistema.

4. O *PocketQube* deve ser armazenado em local seco, sem contato com umidade, para que não haja dano a sua parte eletrônica.  
Ao montar, verificar se todas as peças estão bem parafusadas para evitar desencaixe durante o voo.

Antes de acoplar o *PocketQube* ao drone, balance-o levemente para garantir o encaixe de todas as peças.



### ATENÇÃO!

- O *PocketQube* não deve ser operado em condições climáticas adversas.
- A presença de um instrutor maior de idade é necessária para operar o drone em segurança.





**KIT EDUCACIONAL  
POCKETQUBE**



**Universidade de Brasília**

Faculdade UnB **Gama** 

Figura 94 – Manual de Usuário (t)

## 4.6 Apêndice 6 - Desenho Técnico dos componentes do *PocketQube*

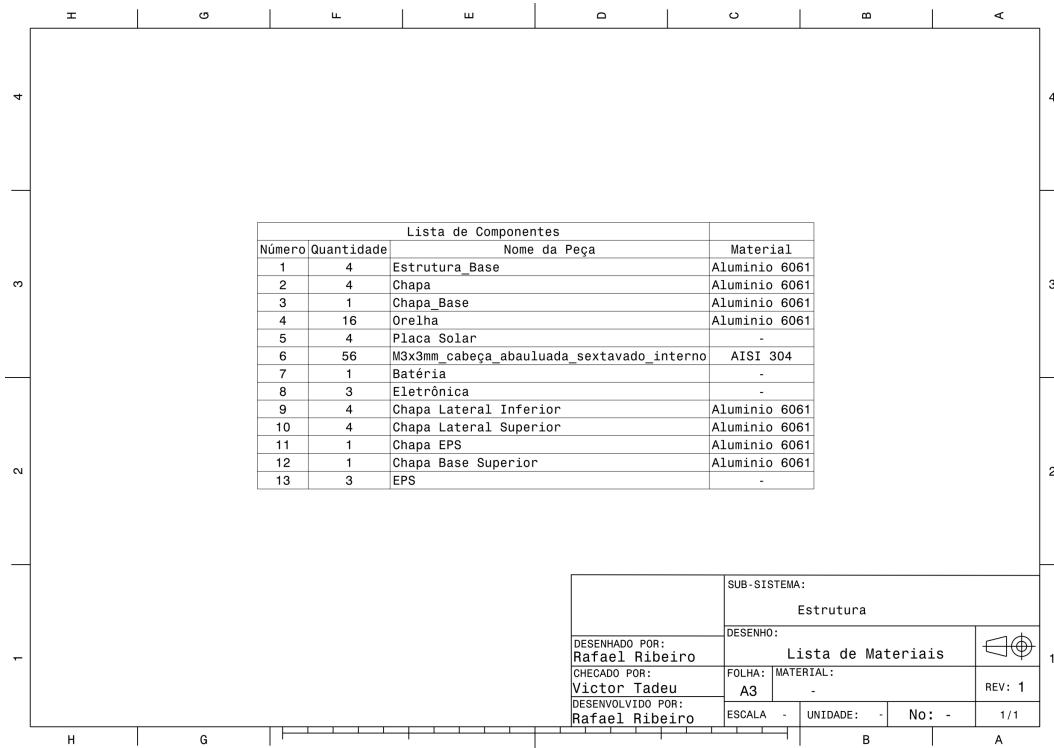


Figura 95 – Lista de Materiais usados no projeto

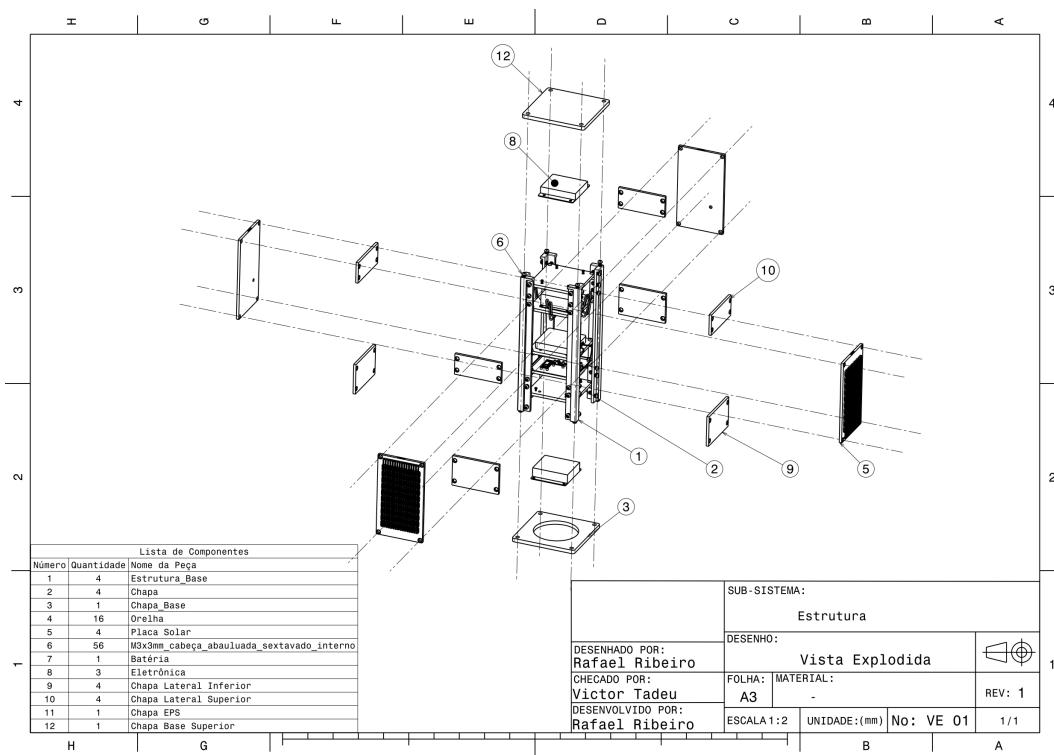


Figura 96 – Vista Explodida

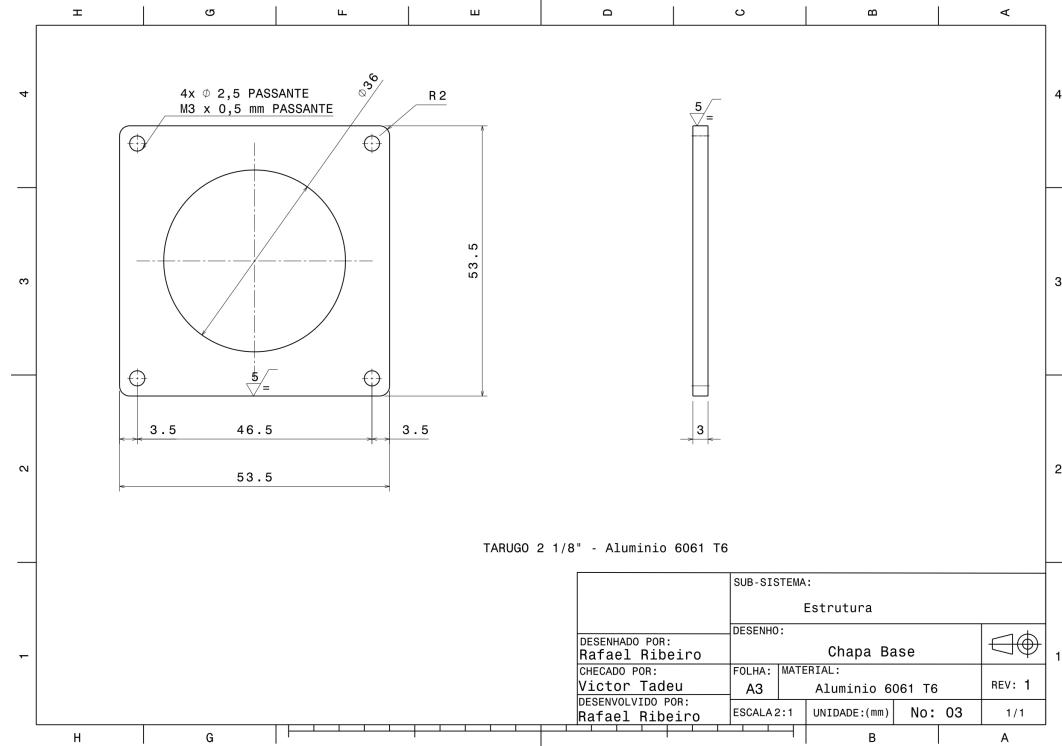


Figura 97 – Chapa Base.

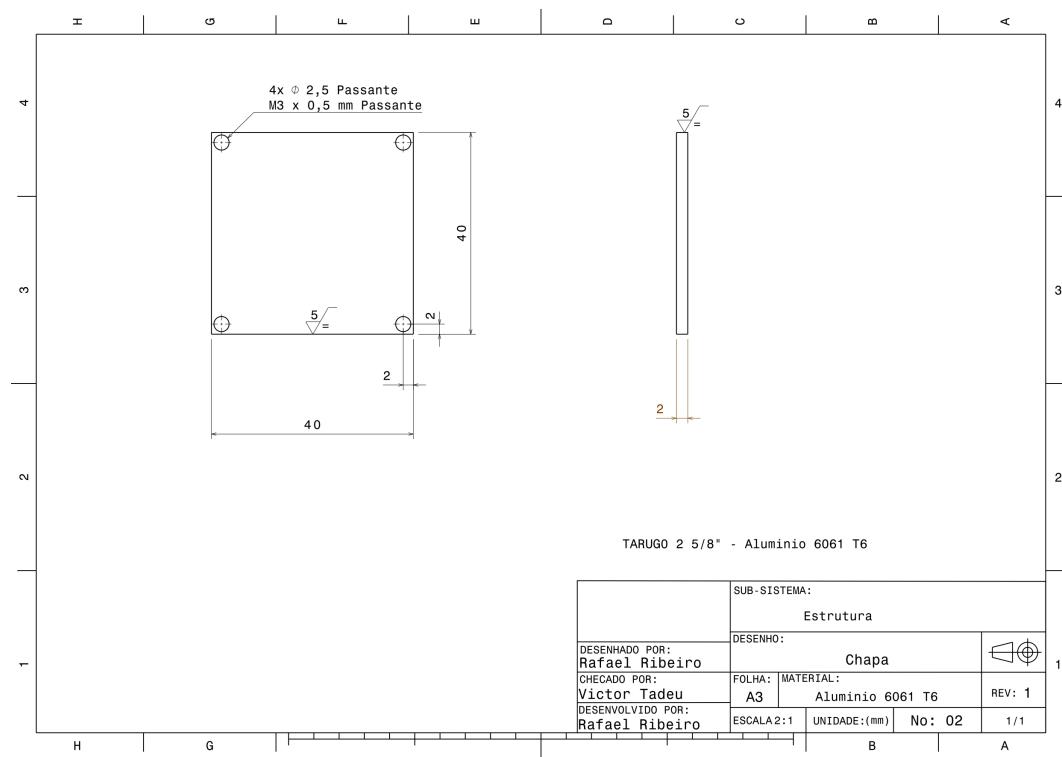


Figura 98 – Chapa

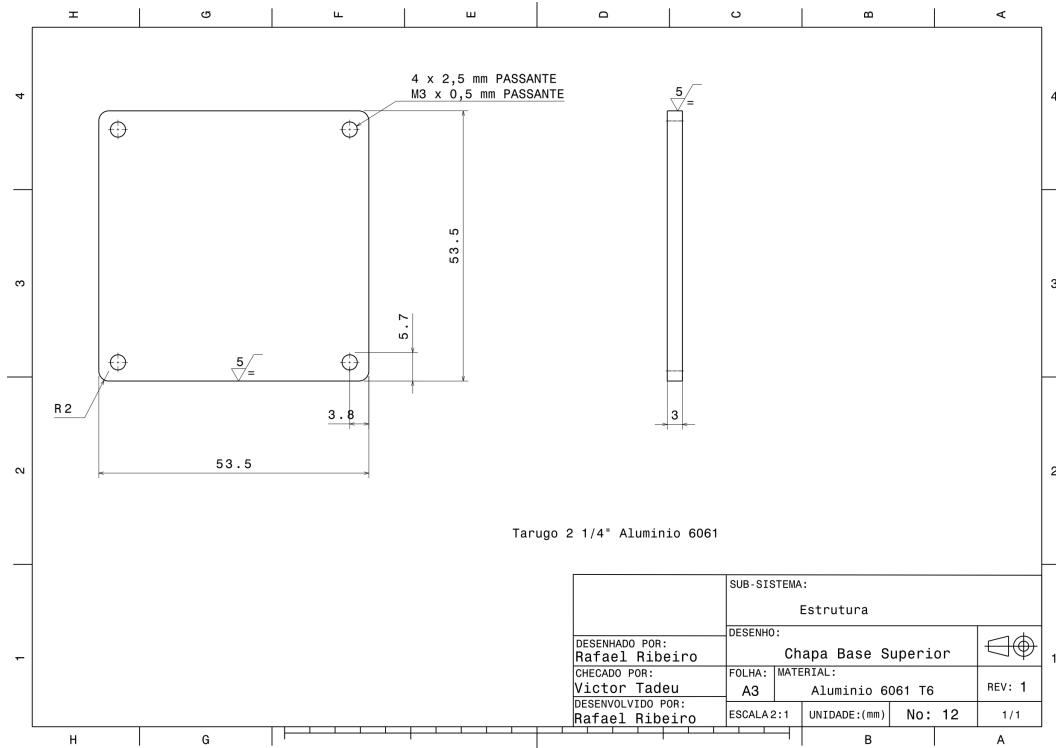


Figura 99 – Chapa Base superior

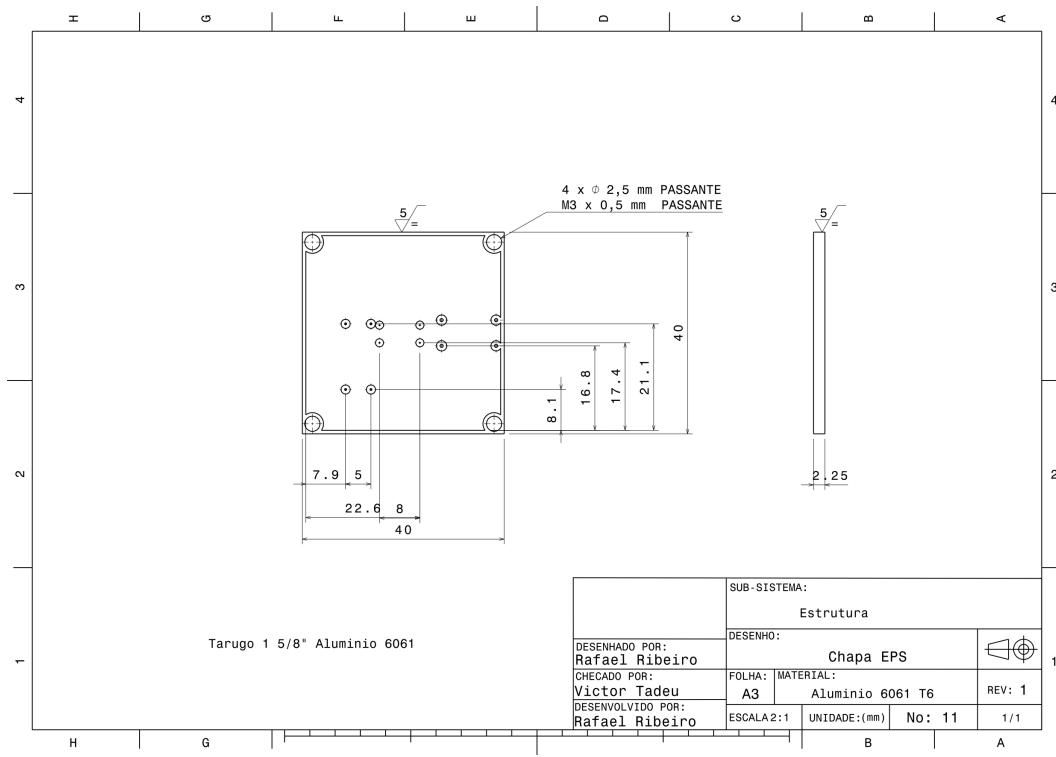


Figura 100 – Chapa Sistema de energia

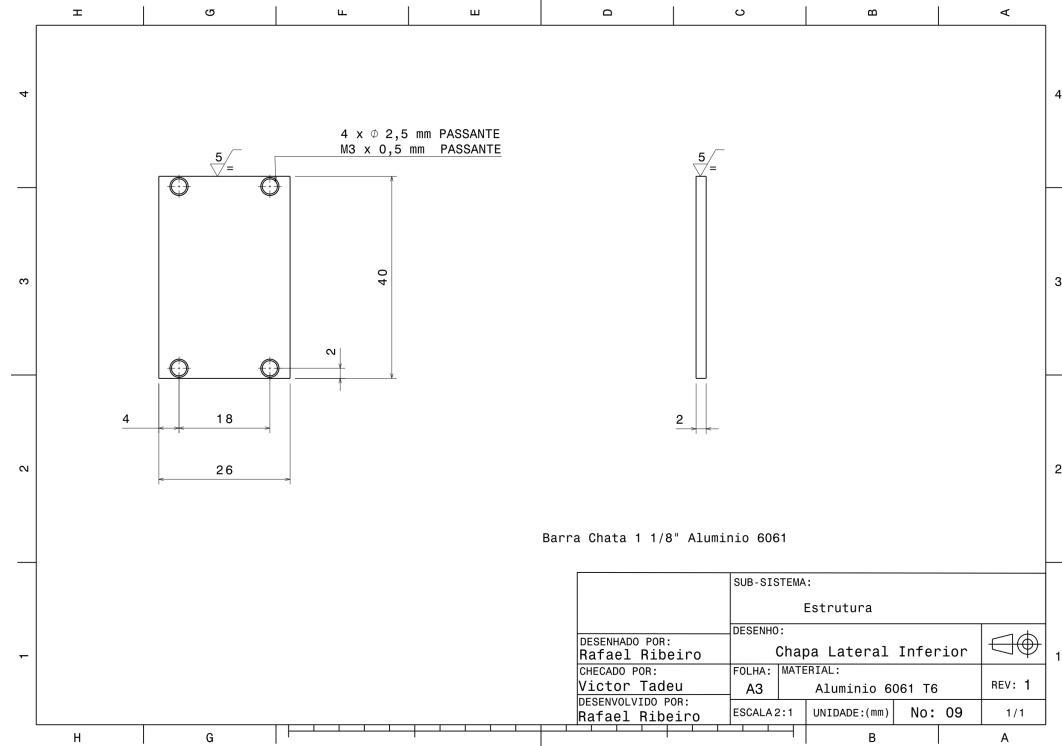


Figura 101 – Chapa lateral superior

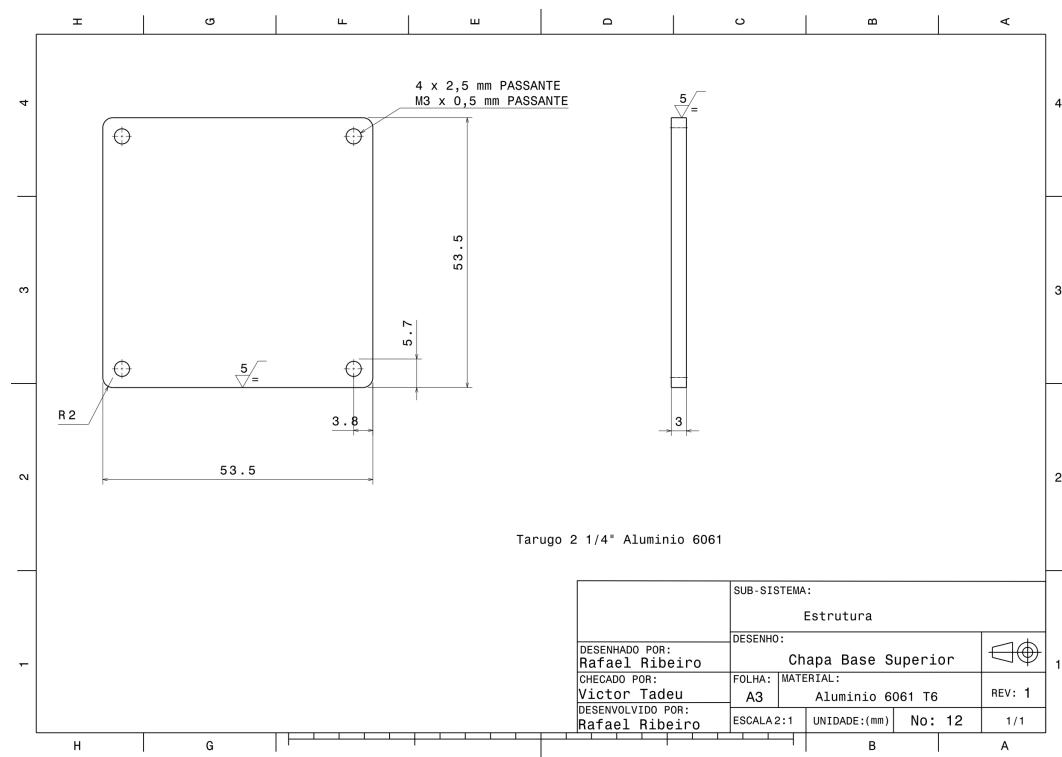


Figura 102 – Chapa base superior

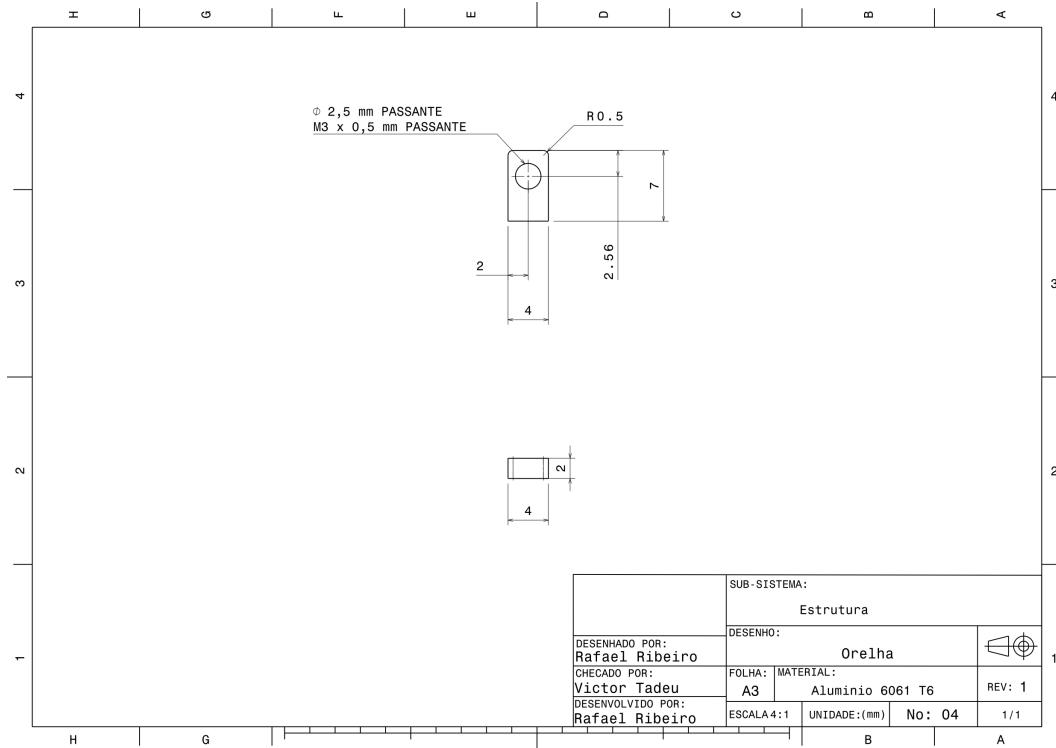


Figura 103 – Orelha

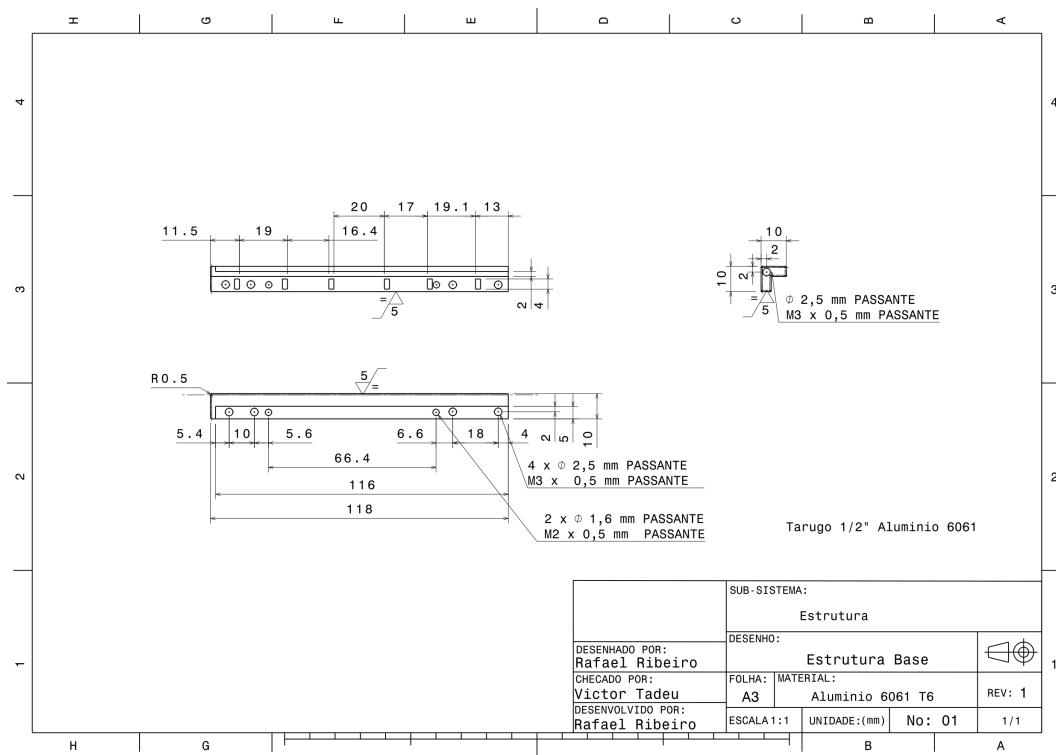


Figura 104 – Estrutura da base