

Universidade de Brasília – UnB  
Faculdade UnB Gama – FGA

## Projeto de P11

Autor: Arthur Henrique Vieira, Erick Tavares, Guilherme Resende, Hugo Queiroz, Ives Monteiro, João Victor da Silva, Kaed Canizo, Leonardo Henrique, Lucas Gama, Luis Eduardo Castro, Luiza Maluf, Millena de Abreu, Natan Almeida, Paulo Henrique Lamounier, Renan Vieira, Sophia Souza, Sophia Ferreira, Vitor Feijó

Orientador: Prof. Ricardo Ajax Dias Kosloski

Brasília, DF  
2025



Arthur Henrique Vieira, Erick Tavares, Guilherme Resende, Hugo Queiroz, Ives Monteiro, João Victor da Silva, Kaed Canizo, Leonardo Henrique, Lucas Gama, Luis Eduardo Castro, Luiza Maluf, Millena de Abreu, Natan Almeida, Paulo Henrique Lamounier, Renan Vieira, Sophia Souza, Sophia Ferreira, Vitor Feijó

## **Projeto de PI1**

Trabalho submetido à disciplina de Projeto Integrador de Engenharia 1 da Universidade de Brasília.

Universidade de Brasília – UnB

Faculdade UnB Gama – FGA

Orientador: Prof. Ricardo Ajax Dias Kosloski

Coorientador: Prof. Diogo Caetano Garcia, Prof. Juliana Petrocchi Rodrigues, Prof. Lui Txai Calvoso Habl e Prof. Rafael Rodrigues da Silva

Brasília, DF

2025

# Resumo

O projeto Controle de Trajetória de Foguetes d'Água foi desenvolvido no âmbito do Projeto Integrador de Engenharia 1 da Faculdade UnB Gama, com a colaboração de estudantes das engenharias de Software e Aeroespacial. O objetivo principal é construir um foguete reutilizável que utilize água como combustível e atinja distâncias fixas de 10, 20 e 30 metros com precisão de  $\pm 0,5$  metro, além de uma plataforma de lançamento automatizada que garanta segurança operacional.

O sistema incorpora um conjunto de sensores para medição em tempo real de parâmetros como pressão, ângulo de lançamento, velocidade e altitude, integrados a um microcontrolador ESP32 para processamento e transmissão de dados. A solução prevê ainda a persistência das informações em um banco de dados para calibração e análise de trajetórias. Entre os principais requisitos, destacam-se a automação eletromecânica do lançamento, a reutilização do foguete em três missões e o cumprimento de normas de segurança, como distanciamento mínimo de 5 metros de pessoas.

**Palavras-chaves:** Projeto Integrador de Engenharia 1, Faculdade UnB Gama, Foguete d'água, Controle de trajetória, Sistema embarcado.

# Lista de ilustrações

Figura 1 – EAP Geral . . . . .	14
Figura 2 – Pacote de Trabalho 1.1 – Planejamento e Gerenciamento . . . . .	14
Figura 3 – Pacote de Trabalho 1.2 – Estruturas . . . . .	15
Figura 4 – Pacote de Trabalho 1.3 – Software . . . . .	15
Figura 5 – Pacote de Trabalho 1.4 – Hardware . . . . .	16
Figura 6 – Pacote de Trabalho 1.5 – Energia . . . . .	16
Figura 7 – Pacote de Trabalho 1.6 – Integração . . . . .	17
Figura 8 – Diagrama de Blocos do Firmware . . . . .	24
Figura 9 – Diagrama de Blocos do Hardware . . . . .	25
Figura 10 – Esquemático Básico de Conexões . . . . .	26
Figura 11 – Esquemático de Conexões . . . . .	26
Figura 12 – BPMN . . . . .	36
Figura 13 – Diagrama de Estados . . . . .	37
Figura 14 – 1.3 – Casos de Uso . . . . .	39
Figura 15 – 1.3 – Diagrama de Entidade-Relacionamento . . . . .	39
Figura 16 – 1.3 – Atributos das Entidades . . . . .	40
Figura 17 – Arquitetura do Software . . . . .	40

# Lista de tabelas

Tabela 1 – Requisitos Gerais . . . . .	11
Tabela 2 – Requisitos de Software . . . . .	11
Tabela 3 – Requisitos de Hardware . . . . .	11
Tabela 4 – Requisitos de Custos e Materiais . . . . .	11
Tabela 5 – Composição da equipe. . . . .	13
Tabela 6 – Informações elétricas dos componentes . . . . .	29
Tabela 7 – Informações elétricas dos componentes . . . . .	30
Tabela 8 – Informações elétricas dos componentes . . . . .	30
Tabela 9 – Tempos estimados por configuração de lançamento . . . . .	31
Tabela 10 – Tabela de consumo de energia dos componentes da base . . . . .	31
Tabela 11 – Tabela de consumo de energia dos componentes do foguete . . . . .	32
Tabela 12 – Tabela de Requisitos do Projeto . . . . .	38
Tabela 13 – Requisitos Não-Funcionais . . . . .	38
Tabela 14 – Orçamento geral. . . . .	43
Tabela 15 – Orçamento por aquisição (complementar). . . . .	44
Tabela 16 – Cronograma geral. . . . .	45
Tabela 17 – Cronograma de Atividades do Projeto (Parte 1) . . . . .	46
Tabela 18 – Cronograma de Atividades do Projeto (Parte 2) . . . . .	47

# Lista de abreviaturas e siglas

EAP	Estrutura Analítica do Projeto
TAP	Termo de Abertura do Projeto
SWOT	Forças ( <i>Strength</i> ), Fraquezas ( <i>Weakness</i> ), Oportunidades ( <i>Opportunities</i> ), Ameaças ( <i>Threats</i> )
PMBOK	<i>Project Management Body of Knowledge</i> (guia das melhores práticas do gerenciamento de projetos)
CAD	Ferramenta para criação de desenhos técnicos
DER	Diagrama de Entidade e Relacionamento
BACKLOG	Lista de atividades de execução do projeto
FCTE	Faculdade de Ciências e Tecnologias de Engenharia
KICKOFF	uma reunião com a equipe do projeto e o cliente do projeto
BPMN	Business Process Model and Notation
PET	Tipo de plástico usado para fazer garrafas
TAP	Termo de Abertura de Projetos
AEB	Agência Espacial Brasileira
ESP32	Placa de desenvolvimento de hardware aberto
CLI	Interface de Linha de Comando
API	Interface de Programação de Aplicações
GUI	Interface Gráfica do Usuário
PSAI	Poliestireno de Alto Impacto
PVC	Policloreto de Vinila
CAD	Computer-Aided Design (Desenho Assistido por Computador)
CATIA	Computer-Aided Three-dimensional Interactive Application (Aplicação Interativa Assistida por Computador em Três Dimensões)

# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>TERMO DE ABERTURA DO PROJETO</b>	<b>10</b>
2.1	Dados do projeto	10
2.2	Objetivos	10
2.3	Mercado-alvo	10
2.4	Requisitos	11
2.5	Justificativa	11
2.6	Indicadores	12
<b>3</b>	<b>EQUIPE DE TRABALHO</b>	<b>13</b>
<b>4</b>	<b>PROJETO CONCEITUAL DO PRODUTO</b>	<b>14</b>
<b>4.1</b>	<b>Características gerais</b>	<b>14</b>
4.1.1	Decomposição Inicial	14
4.1.2	Planejamento e Gerenciamento	14
4.1.3	Estrutura	15
4.1.4	Software	15
4.1.5	Hardware	15
4.1.6	Energia	16
4.1.7	Integração	17
<b>4.2</b>	<b>Estrutura</b>	<b>18</b>
4.2.1	Definição das Aletas	18
4.2.2	Definição da Base de Lançamento	18
4.2.2.1	Estabilidade Estrutural	18
4.2.2.2	Mecânica do Lançamento e Ajuste Angular	19
4.2.2.3	Materiais Estruturais	19
4.2.3	Desenho Técnico	20
<b>4.3</b>	<b>Descrição de Hardware</b>	<b>22</b>
4.3.0.0.1	Representação Esquemática Básica	25
4.3.0.0.2	Detalhes das Conexões e Pinos	26
4.3.0.0.3	Considerações sobre os Pinos do ESP32	27
<b>4.4</b>	<b>Análise de Consumo Energético</b>	<b>29</b>
4.4.1	Subsistemas Elétricos e Componentes	29
4.4.1.1	Base de Lançamento	30
4.4.1.2	Subsistema do Foguete	30

4.4.2	Estimativa de Duração do Lançamento . . . . .	30
4.4.2.1	Cálculo da Energia Consumida . . . . .	31
4.4.2.2	Cálculos para o Subsistema da Base de lançamento . . . . .	31
4.4.2.3	Cálculos para o Subsistema do Foguete . . . . .	32
4.4.2.4	Cálculo do Consumo Total de Energia . . . . .	32
4.4.3	Dimensionamento e Seleção das Fontes de Alimentação . . . . .	32
4.4.3.1	Fator de Eficiência do Módulo Elevador de Tensão . . . . .	32
4.4.3.2	Margem de Segurança . . . . .	33
4.4.4	Cálculo da Capacidade da Bateria . . . . .	33
4.4.4.1	Fonte de Alimentação para a Base de Lançamento . . . . .	34
4.4.5	Conclusão sobre as Fontes de Alimentação . . . . .	35
<b>4.5</b>	<b>Descrição de Software . . . . .</b>	<b>36</b>
<b>5</b>	<b>ORÇAMENTO DO PROJETO . . . . .</b>	<b>43</b>
<b>6</b>	<b>CRONOGRAMA DO PROJETO . . . . .</b>	<b>45</b>
	<b>REFERÊNCIAS . . . . .</b>	<b>48</b>



# 1 Introdução

A Universidade de Brasília (UnB), por meio da Faculdade de Ciências e Tecnologias em Engenharia (FCTE), promove uma formação interdisciplinar com foco em inovação tecnológica e desenvolvimento aplicado, integrando as engenharias Aeroespacial, Automotiva, de Energia, de Software e Eletrônica. No contexto do curso de Engenharia, a disciplina de Projeto Integrador 1 propõe a realização de projetos colaborativos, desafiando os estudantes a aplicarem conhecimentos técnicos, gerenciais e científicos na resolução de problemas reais. A ementa da disciplina compreende noções de projeto e gestão, modelos de ciclo de vida, gerenciamento de escopo, tempo, qualidade, recursos humanos e riscos, além da prática por meio de projetos interdisciplinares.

Entre as propostas de desafio prático, destaca-se o desenvolvimento de um sistema de lançamento de foguetes d'água com controle de trajetória. Essa atividade visa estimular competências de engenharia aplicada, prototipagem, controle e automação, além de considerar aspectos de segurança e reusabilidade. O objetivo do projeto é construir um foguete com propulsão hidrostática capaz de atingir distâncias predefinidas de 10m, 20m e 30m, com precisão igual ou inferior a  $\pm 0,5$  m, utilizando uma base de lançamento automatizada. A solução deve assegurar distanciamento mínimo de 5 metros de pessoas envolvidas e reaproveitamento do foguete em três ciclos de lançamento.

A utilização de propulsão à base de água (ou propulsão hidrostática) como método educacional tem sido recorrente em instituições de ensino devido ao seu baixo custo, segurança e potencial para experimentação científica. Diversos trabalhos acadêmicos relatam o uso de foguetes PET e sistemas automatizados em ambientes escolares e universitários. (YUKIMITSU, 2020), do Instituto Federal de Campinas, desenvolveram uma base lançadora automatizada para participação em olimpíadas científicas, empregando sensores e microcontroladores para controle de pressão e segurança do disparo, demonstrando a viabilidade de sistemas eletromecânicos embarcados nesse tipo de aplicação. De forma semelhante, Guimarães e Francisco (GUIMARÃES; FRANCISCO, 2020) propuseram uma plataforma automatizada com redução de torque para lançamento de foguetes PET, visando maior estabilidade e controle sobre o ângulo de disparo, destacando a importância da calibração e automação nos mecanismos de acionamento.

Do ponto de vista regulatório, embora foguetes experimentais de pequeno porte não sejam classificados como artefatos sujeitos à regulação pela Agência Espacial Brasileira (AEB), normas de segurança devem ser observadas. Segundo a National Association of Rocketry (National Association of Rocketry, 2012), recomenda-se uma distância mínima de cinco metros para lançamentos de foguetes de baixa potência. Tais diretrizes são

utilizadas como base para a definição dos parâmetros de segurança neste projeto.

O desenvolvimento de soluções próprias, em detrimento do uso de sistemas prontos, é estimulado no escopo da disciplina Projeto Integrador I, promovendo originalidade, inovação e domínio tecnológico. Neste contexto, a integração entre sensores de pressão, giroscópios, acelerômetros e módulos de comunicação sem fio, todos conectados a um microcontrolador como o ESP32, permite realizar medições em tempo real, persistir dados para análises futuras e otimizar a trajetória do foguete por meio de ajustes iterativos.

Dessa forma, o presente projeto justifica-se pela sua contribuição ao ensino prático de engenharia, pelo incentivo à construção de soluções seguras, reutilizáveis e tecnicamente viáveis, e pela proposta de um projeto que combina as engenharias de Software, Automotiva, Aeroespacial, Eletrônica e Energia. Além disso, atende a uma demanda acadêmica por experiências educacionais multidisciplinares que promovam competências técnicas e habilidades de trabalho em equipe.

Dessa forma, o projeto justifica-se pela necessidade de um sistema didático acessível para o ensino prático de engenharia, que integre eletrônica, software, estruturas e energia em uma solução reutilizável e segura. A proposta substitui sistemas prontos por uma base de lançamento desenvolvida do zero, com controle automatizado e coleta de dados em tempo real, permitindo experimentação e análise. Ademais, atende à demanda acadêmica por projetos interdisciplinares, promovendo competências técnicas e habilidades de trabalho em equipe.

## 2 Termo de Abertura do Projeto

### 2.1 Dados do projeto

**Nome do Projeto:** Foguete d'Água com Base Automatizada

**Data de abertura:** 23/04/2025

**Código:** 2-A

**Patrocinador:** Universidade de Brasília

**Gerente do projeto:** Vitor Feijó Leonardo

Matrícula: 221008516

E-mail: 221008516@aluno.unb.br

Telefone: +55 (61) 99243-6348

### 2.2 Objetivos

Desenvolver, até 16 de julho de 2025, um sistema original e funcional de lançamento automatizado de foguetes d'água, com controle de trajetória baseado em dados reais (pressão, ângulo, altitude, velocidade, aceleração), assegurando a reutilização em três lançamentos com precisão de até  $\pm 0,5$  metro nas distâncias de 10 m, 20 m e 30 m, respeitando o limite orçamentário de R\$ 1.000,00.

### 2.3 Mercado-alvo

O projeto tem como mercado-alvo principal instituições educacionais e grupos de pesquisa que atuam nas áreas de engenharia, física aplicada e educação científica, especialmente em níveis médio, técnico e superior. Entre os potenciais beneficiários estão professores e estudantes envolvidos em atividades práticas de ensino de ciências, clubes de astronomia e olimpíadas científicas, que podem utilizar o sistema como ferramenta didática para explorar conceitos de física, matemática, programação e controle de sistemas dinâmicos.

Além do ambiente acadêmico, o projeto atende também às necessidades de pesquisadores e entusiastas da engenharia experimental que necessitam de plataformas acessíveis para testes de controle de trajetória, aquisição de dados em tempo real e automação de

sistemas mecatrônicos. A proposta oferece um modelo de baixo custo e alta reusabilidade, adequado para experimentação segura em ambientes controlados.

De forma indireta, o sistema pode ainda inspirar iniciativas voltadas à popularização da ciência e inovação tecnológica, sendo compatível com projetos de extensão universitária e feiras científicas, contribuindo para a disseminação do conhecimento e estímulo à formação científica em contextos educacionais diversos.

## 2.4 Requisitos

Tabela 1 – Requisitos Gerais

Código	Descrição
RF1	O sistema deve executar três lançamentos reutilizáveis de um mesmo foguete d'água, programados para alcançarem 10 m, 20 m e 30 m, com tolerância de $\pm 0,5$ m.
RF2	O software embarcado deve coletar, em tempo real, sinais de volume de água, pressão interna, ângulo de lançamento, posição e altitude, velocidade e aceleração (conforme especificações de precisão).
RF3	O firmware deve armazenar os dados em um MicroSD e permitir a recuperação posterior para análise.
RF4	O módulo de processamento principal deve armazenar em arquivo JSON, garantindo integridade no histórico de cada voo.

Tabela 2 – Requisitos de Software

Código	Descrição
RQ01	Exibir gráfico de velocidade vertical vs. tempo.
RQ02	Exibir gráfico de aceleração vertical vs. tempo.
RQ03	Exibir gráfico de dispersão da trajetória no plano X e Y.
RQ04	Exibir gráfico de altitude vs. tempo.
RQ05	Exibir valores máximos e mínimos de aceleração, velocidade e ângulo.
RQ06	Exibir tempo de execução e intervalos de amostragem.
RQ07	Exportar dados do voo em JSON.
RQ08	Aplicar filtro de média móvel nos dados de voo.

Tabela 3 – Requisitos de Hardware

Código	Descrição
RH1	Microcontrolador com ADC de 12 bits ou superior, memória RAM maior que 64 kB e Flash maior que 256 kB.
RH2	Bateria capaz de alimentar todo o sistema.

Tabela 4 – Requisitos de Custos e Materiais

Código	Descrição
RC1	Custo total de componentes eletrônicos, mecânicos e estruturais não deve exceder R\$ 1.000,00.

## 2.5 Justificativa

O projeto justifica-se pela necessidade de promover a aplicação prática e integrada de conhecimentos das diferentes engenharias da Faculdade de Ciências e Tecnologias em

Engenharia (FCTE), por meio do desenvolvimento de uma solução original, segura e funcional para o lançamento automatizado de foguetes d'água.

Além disso, o projeto representa uma oportunidade para suprir a carência de sistemas didáticos acessíveis e reutilizáveis voltados ao ensino de física aplicada, automação e controle de trajetória em ambientes educacionais. Desse modo, integrando sensores e ferramentas de análise, a solução contribui para o avanço de práticas experimentais no ensino de engenharia e ciências, podendo ser adotada por instituições de ensino e centros de pesquisa como recurso pedagógico.

## 2.6 Indicadores

1. **Precisão da distância atingida:** diferença absoluta entre a distância real alcançada e as metas de 10m, 20m e 30m, com tolerância máxima de 0,5m.
2. **Número de lançamentos bem-sucedidos:** total de disparos realizados com o mesmo foguete sem falhas estruturais ou funcionais (meta: 3 lançamentos).
3. **Tempo de montagem e preparação para o lançamento:** tempo médio entre o início da montagem até a execução do disparo (em minutos).
4. **Número de dados coletados por voo:** total de amostras válidas registradas por sensores durante cada lançamento (em  $N$  leituras).
5. **Taxa de perda de dados:** percentual de dados esperados que não foram coletados ou foram invalidados por falha de sensor, ou transmissão.
6. **Tempo total de voo:** duração média entre o lançamento e o retorno do foguete ao solo, medido por sensores (em segundos).
7. **Desvio angular no lançamento:** diferença entre o ângulo configurado e o ângulo real de disparo detectado (em graus).
8. **Número de erros críticos no sistema embarcado:** quantidade de falhas que impedem a coleta, transmissão ou registro de dados em um lançamento.
9. **Número de funcionalidades do software implementadas com sucesso:** total de recursos entregues em relação ao planejado (ex.: gráficos, filtro de ruído, exportação de dados, visualização histórica, etc.).
10. **Atraso no cronograma:** dias de diferença entre o plano de entregas e a data real de finalização de cada etapa do projeto (em dias corridos).

### 3 Equipe de Trabalho

Tabela 5 – Composição da equipe.

Iniciais	Nome	Matrícula	Curso	Telefone	E-mail	Atribuições
AV	Arthur Vieira	23/1034064	Eng. de Software	(61) 98604-5333	231034064@aluno.unb.br	Engenheiro de Estruturas
EM	Erick Moreira	22/2022073	Eng. de Aeroespacial	(61) 99121-2563	222022073@aluno.unb.br	Engenheiro de estruturas
GC	Guilherme Carmona	22/1008070	Eng. de Aeroespacial	(61) 98128-8772	221008070@aluno.unb.br	Engenheiro de Estruturas
HM	Hugo Melo	23/1034064	Eng. de Software	(61) 99547-0505	231034064@aluno.unb.br	<b>Gerente</b> de <i>Software</i>
IL	Ives Lemos	22/1008122	Eng. de Aeroespacial	(61) 99966-5115	221008122@aluno.unb.br	<b>Gerente</b> de Estruturas
JF	João Farias	22/1022604	Eng. de Software	(61) 92002-3350	221022604@aluno.unb.br	Engenheiro de <i>Software</i>
KP	Kaed Prado	22/1008220	Eng. de Aeroespacial	(92) 98149-3839	221008220@aluno.unb.br	Engenheiro de estruturas
LJ	Leonardo Junior	23/1035428	Eng. de Software	(61) 98531-1586	231035428@aluno.unb.br	Engenheiro de Software
LB	Lucas Bottino	22/1008267	Eng. de Software	(61) 99149-8776	221008267@aluno.unb.br	Engenheiro de <i>Hardware</i>
LL	Luis Lima	22/1008285	Eng. de Software	(61) 99961-8010	221008285@aluno.unb.br	<b>Gerente</b> de Hardware
LA	Luiza Amorim	22/1008294	Eng. de Software	(61) 99845-4712	221008294@aluno.unb.br	Engenheiro de <i>Software</i>
MQ	Millena Queiroz	20/2046283	Eng. de Software	(61) 99250-1026	202046283@aluno.unb.br	Engenheiro de <i>Software</i>
NA	Natan Almeida	22/2006169	Eng. de Software	(61) 99841-7222	222006169@aluno.unb.br	Engenheiro de <i>software</i>
PD	Paulo Dantas	22/1022408	Eng. de Software	(61) 98156-3664	221022408@aluno.unb.br	Engenheiro de <i>Software</i>
RG	Renan Guedes	22/1031363	Eng. de Software	(61) 99542-2260	221031363@aluno.unb.br	Engenheiro de Hardware
SC	Sophia Cordeiro	22/1008454	Eng. de Aeroespacial	(18) 99783-6296	221008454@aluno.unb.br	Engenheiro de Estruturas
SS	Sophia Silva	23/1026886	Eng. de Software	(61) 98260-6252	231026886@aluno.unb.br	Engenheiro de <i>software</i>
VL	Vitor Leonardo	22/1008516	Eng. de Software	(61) 99243-6348	221008516@aluno.unb.br	<b>Gerente</b> do projeto

## 4 Projeto Conceitual do Produto

### 4.1 Características gerais

A Estrutura Analítica do Projeto (EAP), conforme definida pelo PMBOK Guide – Sexta Edição ([Project Management Institute, 2017](#)), consiste em uma decomposição hierárquica e orientada a entregas do escopo total do projeto. Sua função é organizar e subdividir o trabalho em partes menores e gerenciáveis, facilitando o planejamento, a execução eo controle das entregas do projeto.

A seguir, apresenta-se a EAP desenvolvida para o projeto *Foguete d'Água com Base Automatizada*, estruturada com base em seis pacotes principais de trabalho, que refletem os pilares técnicos e gerenciais do projeto.

#### 4.1.1 Decomposição Inicial

A decomposição do escopo do projeto resultou nos seguintes pacotes principais: Planejamento e Gerenciamento, Estruturas, Software, Hardware, Energia e Integração. A Figura 1 apresenta o primeiro e o segundo níveis da EAP.

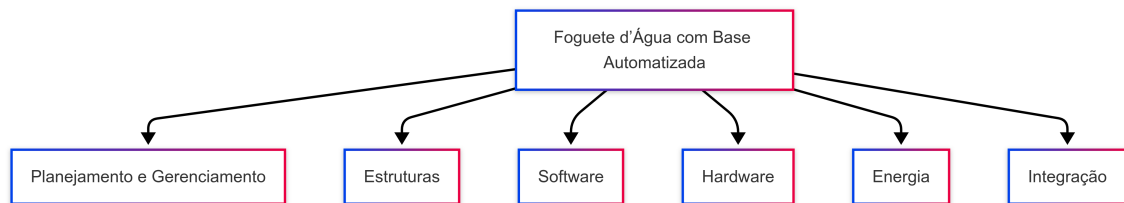


Figura 1 – EAP Geral

#### 4.1.2 Planejamento e Gerenciamento

Este pacote de trabalho contempla os processos de iniciação, planejamento e monitoramento do projeto. Abrange a elaboração do Termo de Abertura do Projeto (TAP), a consolidação da EAP e dos cronogramas setoriais, o planejamento orçamentário, os relatórios de acompanhamento (planejado x realizado) e as atividades de encerramento, como eventos de avaliação SWOT, lições aprendidas e avaliação de desempenho da equipe, conforme a Figura 2.



Figura 2 – Pacote de Trabalho 1.1 – Planejamento e Gerenciamento

### 4.1.3 Estrutura

Responsável pela modelagem e construção da fuselagem do foguete e da base física de lançamento. Este pacote inclui atividades como elaboração de desenhos técnicos em CAD, levantamento de materiais, montagem estrutural, e realização de experimentos e testes de integração estrutural. Também contempla a avaliação do desempenho de fornecedores, conforme ilustrado na Figura 3.



Figura 3 – Pacote de Trabalho 1.2 – Estruturas

### 4.1.4 Software

Este pacote compreende a elicitação de requisitos funcionais e não funcionais, a modelagem da arquitetura do sistema, a codificação e testes de software. Inclui ainda a elaboração de diagramas (casos de uso, estados, BPMN), BACKLOG, DER, protótipos navegáveis e relatórios de testes de unidade e integração, conforme apresentado na Figura 4.

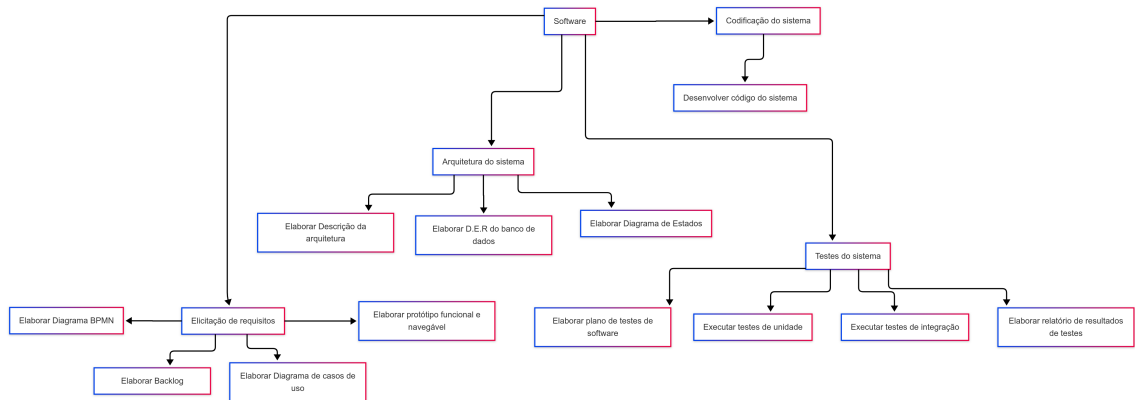


Figura 4 – Pacote de Trabalho 1.3 – Software

### 4.1.5 Hardware

Este pacote contempla a concepção eletrônica do sistema, incluindo a elaboração de diagramas de blocos e esquemáticos, a instalação de sensores e atuadores no foguete e na base de lançamento, além da realização de experimentos de hardware e de integração. Envolve também a documentação técnica e a avaliação do desempenho dos fornecedores, conforme Figura 5.



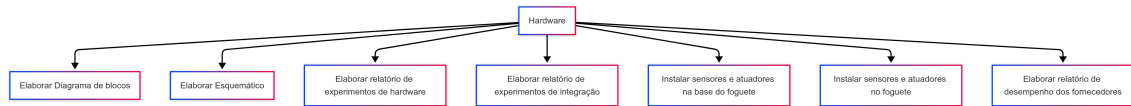


Figura 5 – Pacote de Trabalho 1.4 – Hardware

#### 4.1.6 Energia

Foca na análise do consumo energético do sistema, na seleção e validação da fonte de alimentação e na condução de experimentos relacionados à autonomia e estabilidade energética. Assim como nas demais frentes técnicas, inclui relatório de desempenho dos fornecedores de componentes de energia, conforme Figura 6.

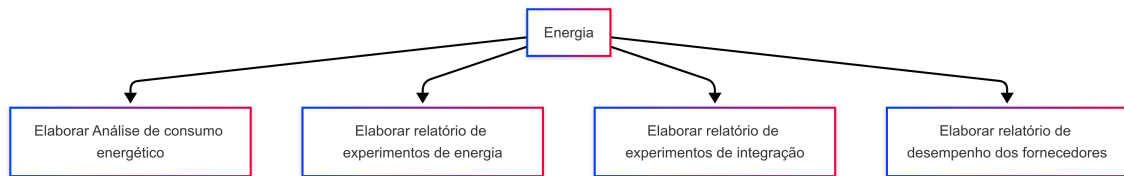


Figura 6 – Pacote de Trabalho 1.5 – Energia

### 4.1.7 Integração

Este pacote agrupa atividades de integração entre as frentes técnicas, validação dos critérios de sucesso do projeto (precisão de trajetória, reutilização, segurança), além da preparação da apresentação final e do vídeo demonstrativo. Essa fase garante que o sistema na totalidade atenda ao escopo e aos requisitos definidos, conforme representado na Figura 7.

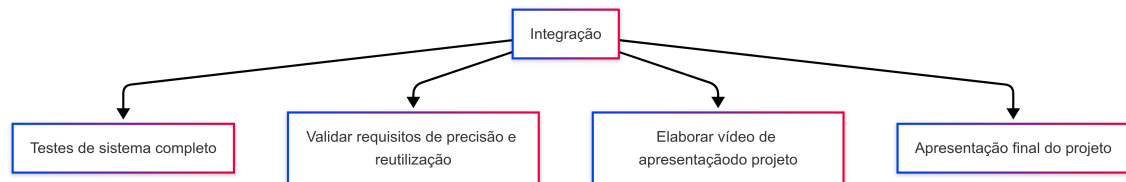


Figura 7 – Pacote de Trabalho 1.6 – Integração

## 4.2 Estrutura

### 4.2.1 Definição das Aletas

As aletas exercem um papel fundamental na estabilidade aerodinâmica de foguetes. Sua principal função é deslocar o centro de pressão (CP) para uma posição abaixo do centro de massa (CM), garantindo assim a correção de ângulos de ataque indesejados durante o voo. Para cumprir esse papel de forma eficaz, é essencial que as aletas sejam construídas com materiais que combinem baixa densidade, elevada rigidez e espessura reduzida, de modo a minimizar o peso e a interferência aerodinâmica.

Ademais, a resistência mecânica do material é um fator determinante, uma vez que o foguete está sujeito a impactos significativos durante o pouso. Após analisar diferentes opções, optamos pelo poliestireno de alto impacto (PSAI) para a fabricação das aletas, por oferecer um bom equilíbrio entre rigidez, peso e resistência ao impacto.

Outros materiais, como o PVC rígido ou plásticos leves de engenharia, também foram considerados, entretanto o PSAI se mostrou mais adequado para o projeto. A escolha inadequada do material poderia levar a deformações durante o voo ou fraturas nas aletas, comprometendo a trajetória e a reutilização do foguete.

Dessa forma, a definição do material das aletas considerou não apenas o desempenho aerodinâmico, mas também a integridade estrutural ao longo de múltiplos lançamentos, garantindo que o projeto atenda aos requisitos de estabilidade e durabilidade.

### 4.2.2 Definição da Base de Lançamento

#### 4.2.2.1 Estabilidade Estrutural

A concepção estrutural da base de lançamento prioriza a estabilidade como um critério fundamental, influenciando diretamente a precisão e segurança de sua operação. A decisão de uma configuração com base de apoio quadrada, materializada em tubos de PVC, demonstrou-se suficiente e superior em relação a geometrias alternativas, como a de tripé, sob diversos princípios da estática.

A geometria quadrada proporciona uma área de contato com o solo significativamente maior, otimizando a distribuição das cargas estáticas do foguete e das cargas dinâmicas causadas pelo lançamento. Tal configuração minimiza a suscetibilidade ao tombamento, assegurando que o centro de gravidade do sistema foguete-base permaneça contido no perímetro de apoio, mesmo sob a influência de perturbações externas, como rajadas de vento ou o impulso do lançamento. Adicionalmente, o projeto contempla a possibilidade de ancoragem ao solo ou a uma placa de madeira por meio de grampos, o que eleva substancialmente a resistência a deslocamentos indesejados.

Em contrapartida, uma estrutura do tipo tripé, embora apresente estabilidade intrínseca em superfícies irregulares, possui uma área de projeção da base de apoio potencialmente menor, o que a torna mais vulnerável a momentos fletores induzidos por forças laterais.

A decisão em favor do modelo de base quadrada é reforçada pela consideração da estabilidade dimensional. O design incorpora um elemento de reforço estrutural, um braço de suporte, cuja função é garantir a rigidez do sistema, prevenindo a deflexão do tubo de lançamento sob a carga do foguete. Esta deformação, comum em estruturas mais simples, comprometeria a manutenção do ângulo de lançamento de  $45^\circ$ , impactando negativamente a precisão do alcance.

Conclui-se, portanto, que a geometria quadrada adotada não apenas otimiza a estabilidade contra o tombamento, mas também preserva a integridade estrutural necessária para a consistência do ângulo de lançamento, um parâmetro crítico para o controle de trajetória requerido pelo projeto.

#### 4.2.2.2 Mecânica do Lançamento e Ajuste Angular

A dinâmica do lançamento de projéteis é regida por princípios da mecânica clássica, nos quais o ângulo de lançamento funciona como uma variável determinante do alcance horizontal. Para uma velocidade de ejeção constante, a trajetória parabólica descrita pelo foguete atinge seu alcance máximo quando o ângulo de lançamento é de 45 graus em relação ao plano horizontal. Qualquer desvio deste ângulo pode resultar em uma redução do alcance potencial.

Esta decisão estratégica simplifica a complexidade mecânica da base, elimina fontes potenciais de erro associadas a juntas móveis e garante a constância do ângulo em todos os lançamentos. Tal abordagem permite que o controle da trajetória e do alcance seja exclusivo pela variação da pressão de lançamento, conforme previsto na estratégia de operação.

#### 4.2.2.3 Materiais Estruturais

A escolha do Policloreto de Vinila (PVC) como material principal justificada por um conjunto favorável de propriedades. A principal vantagem do PVC é sua notável facilidade de manuseio e montagem, que demanda apenas ferramentas simples, como serras manuais, lixas e adesivos específicos para a união dos componentes. Adicionalmente, o baixo custo e a ampla disponibilidade comercial destes componentes de PVC asseguram a viabilidade econômica do projeto.

Outra opção seria materiais metálicos, que ofereçam resistência mecânica superior, porém implicariam em um aumento na complexidade de fabricação e nos custos. A ma-

deira, por sua vez, apresentaria maior massa e suscetibilidade à degradação por umidade, um fator relevante no contexto de foguetes com propulsão de água.

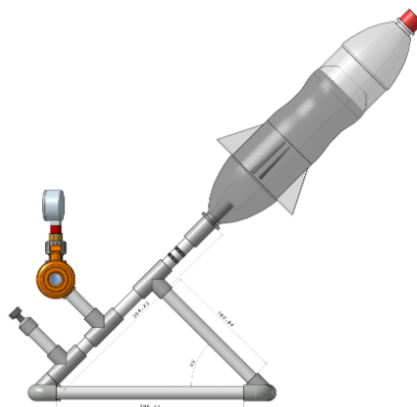
A capacidade de carga do PVC, ainda que inferior à dos metais, é adequada e segura para a pressão e as cargas dinâmicas envolvidas no lançamento, sendo um material padrão em projetos educacionais e competições, como a Mostra Brasileira de Foguetes (MOBFOG).

### 4.2.3 Desenho Técnico

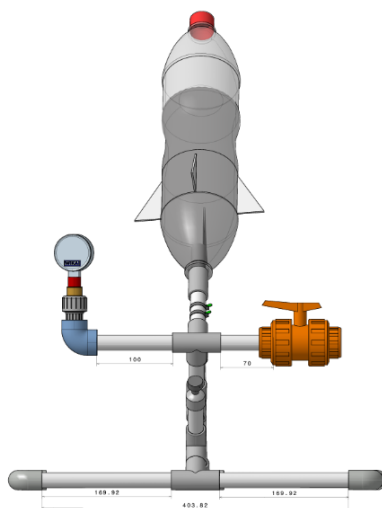
A elaboração de um desenho técnico, especialmente por meio de modelagem 3D, é uma etapa significativa antes da construção da estrutura de um projeto. Possuir uma representação de como o foguete e sua plataforma de lançamento de PVC serão permite visualizar todo o projeto de forma clara e precisa, antecipando a aparência e disposição dos componentes.

Além disso, o desenho técnico atua como um guia definitivo para a construção, onde cada etapa segue uma norma conforme descrita. A visualização inicial por meio do desenho técnico permite encontrar diferenças, erros de tamanho e incompatibilidades entre as peças antes mesmo da montagem propriamente dita. Ao corrigir essas discrepâncias antecipadamente, é possível economizar materiais e reduzir o tempo necessário para alterações durante os testes.

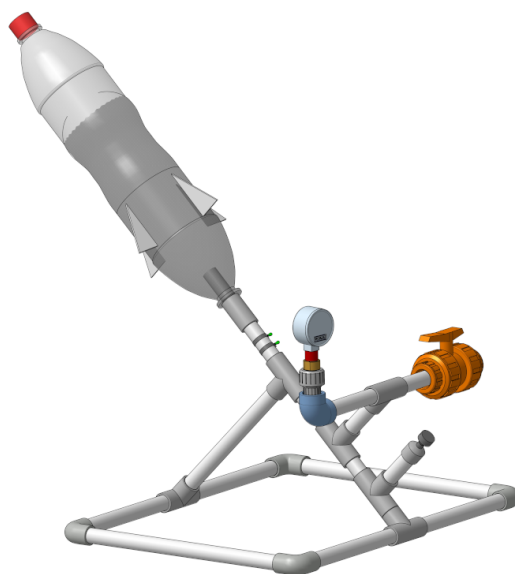
Com a ajuda do software CATIA, foi possível fazer a representação 3D do modelo do foguete, junto à sua base. Foram utilizados os tamanhos reais das peças escolhidas para a confecção do modelo. Algumas peças, para ajudar na fidedignidade do projeto de CAD como a vida real, foram retiradas diretamente do site TraceParts, com as devidas proporções (diâmetro de 20mm, ou 3/12"). A unidade adotada nas figuras do desenho técnico é mm.



**Figura 1:** Vista lateral do desenho técnico.



**Figura 2:** Vista frontal do desenho técnico.



**Figura 3:** Vista isométrica do desenho técnico.

## 4.3 Descrição de Hardware

O objetivo principal do hardware é fornecer os meios eletrônicos e físicos para coletar os dados necessários para o controle de trajetória do foguete d'água e para automatizar o processo de lançamento. Isso envolve a integração de sensores para medir parâmetros como pressão, ângulo, altitude, velocidade e aceleração.

O hardware é projetado para trabalhar em conjunto com o software, onde os dados coletados pelos sensores são processados e utilizados para analisar trajetória do foguete. A escolha dos componentes de hardware é feita para garantir que eles atendam aos requisitos de desempenho do software, como a precisão das medições e a armazenar os dados.

Para cumprir o objetivo de coletar dados de voo e controlar o sistema de lançamento, o hardware é implementado utilizando o microcontrolador ESP32 como o componente central de processamento. O desenvolvimento do código para o ESP32 será realizado na Arduino IDE (Integrated Development Environment), uma plataforma de desenvolvimento integrada que simplifica significativamente o processo de escrita, compilação, upload e depuração do código para microcontroladores. A escolha da Arduino IDE se deve à sua facilidade de uso, vasta comunidade de suporte e disponibilidade de bibliotecas, o que acelera o desenvolvimento e reduz a complexidade do projeto. A linguagem de programação utilizada será o "C", devido à sua eficiência, controle de baixo nível e adequação para sistemas embarcados onde o desempenho e o uso eficiente de recursos são críticos.

O microcontrolador ESP32 é responsável por orquestrar a coleta, o pré-processamento e o armazenamento dos dados provenientes do sensor. Para facilitar a interação com os diversos periféricos e garantir a modularidade e a reutilização do código, serão utilizadas bibliotecas específicas:

Para a comunicação com o módulo de cartão SD, será utilizada a biblioteca SD.h, que fornece um conjunto robusto de funções para leitura e escrita de dados em cartões SD no formato FAT32. Essa biblioteca permite a criação, abertura, leitura, escrita e fechamento de arquivos, bem como a manipulação de diretórios, garantindo a persistência dos dados de voo para análise posterior.

Para a leitura dos dados do sensor MPU-6500, será utilizada a biblioteca Adafruit MPU6050 (ou similar), que abstrai a complexidade da comunicação I2C com o sensor e fornece funções para a obtenção de dados de aceleração e velocidade angular em três eixos. Essa biblioteca simplifica a calibração do sensor e a conversão dos dados brutos em unidades físicas, facilitando o desenvolvimento do firmware.

O sensor MPU-6500, um componente essencial para a medição da orientação e do movimento do foguete, é instalado estrategicamente no foguete para capturar com precisão a aceleração e a velocidade angular durante o voo. Os dados coletados por este

sensor são cruciais para a reconstrução da trajetória do foguete e para a análise do seu desempenho. Especificamente, o MPU-6500 fornece dados de aceleração linear nos três eixos cartesianos (x, y e z), permitindo determinar as forças que atuam sobre o foguete em cada direção, através da aplicação da segunda lei de Newton. A velocidade angular, também medida nos três eixos, é fundamental para compreender a rotação e a estabilidade do foguete durante o voo. A integração temporal dos dados de aceleração, combinada com a orientação obtida da velocidade angular, possibilita o cálculo do deslocamento do foguete ao longo do tempo, fornecendo informações detalhadas sobre a sua posição e trajetória no espaço. Simultaneamente, um módulo de leitura de cartão SD é integrado ao sistema para fornecer um meio de armazenamento local e não volátil para os dados de voo, atuando como um backup e garantindo que nenhum dado crítico se perca, mesmo em caso de falhas.

A arquitetura do firmware seguirá os princípios de sistemas de tempo real, priorizando a eficiência e o determinismo na execução das tarefas. O firmware será estruturado em um loop principal contínuo e determinístico, responsável pela execução cíclica das seguintes tarefas:

**Leitura dos dados dos sensores:** Os dados dos sensores, incluindo o MPU-6500, são amostrados periodicamente com uma frequência predefinida para garantir a captura adequada da dinâmica do voo.

**Pré-processamento dos dados:** Os dados brutos dos sensores podem ser filtrados ou convertidos em unidades físicas, se necessário, para reduzir o ruído e melhorar a precisão.

**Deteção de eventos:** O firmware monitora continuamente os dados dos sensores em busca de eventos significativos, como o início do lançamento, que podem ser detectados por variações bruscas na aceleração.

**Armazenamento condicional dos dados:** Os dados são armazenados no cartão SD apenas quando eventos significativos são detectados ou em intervalos regulares predefinidos, otimizando o uso do espaço de armazenamento e garantindo a preservação dos dados relevantes.

Essa abordagem de firmware em tempo real permite uma resposta rápida e eficiente aos eventos do voo, garantindo a coleta confiável dos dados e o controle preciso do sistema.

### **Seleção dos Componentes de Hardware**

A escolha dos componentes de hardware é baseada em objetivos específicos e na necessidade de criar um sistema coeso e eficiente.

**Microcontrolador ESP32:** Escolhido por sua capacidade de processamento e suporte para sensores e atuadores.

**Sensores (MPU-6500):** Selecionados por sua precisão e capacidade de fornecer



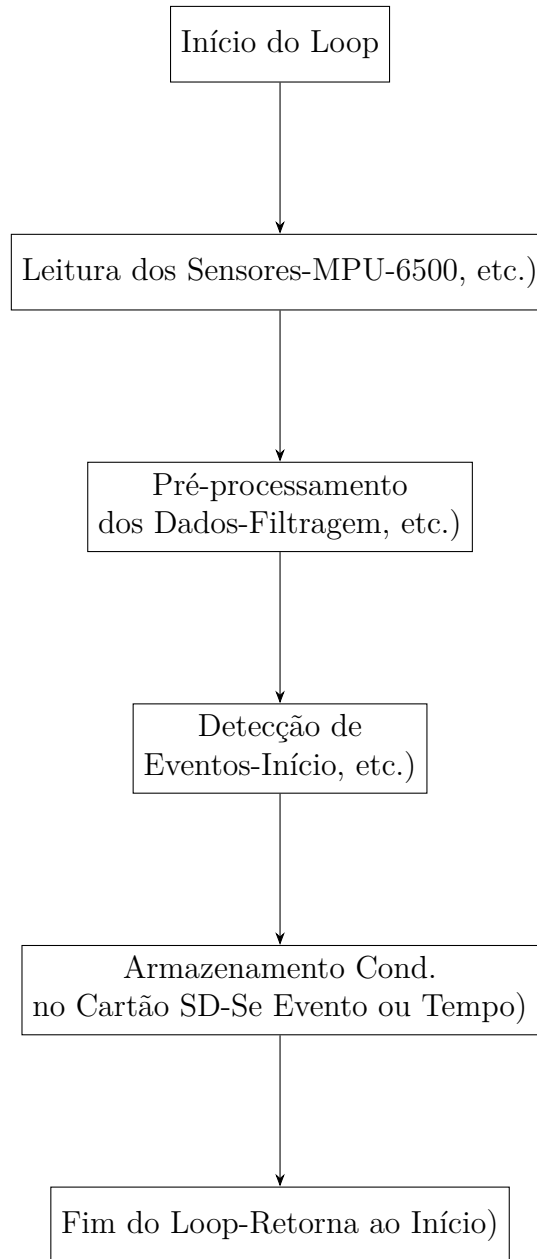


Figura 8 – Diagrama de Blocos do Firmware

dados confiáveis sobre o movimento do foguete.

**Módulo de cartão SD:** Selecionados por sua capacidade de armazenar dados coletados em um cartão SD, trazendo portabilidade ao sistema.

**Fonte de Energia:** Para energizar todo o sistema, será utilizada uma bateria LiPo de 1 célula (1S) com tensão de 4.2V. A alimentação será fornecida à entrada Vin de 3.3V do ESP32, que possui um regulador de tensão interno capaz de lidar com a tensão ligeiramente superior da bateria, garantindo a operação segura dos componentes.

Nesta etapa de seleção de componentes de hardware, estamos realizando uma abstração das complexidades inerentes ao fornecimento de energia para um sistema embar-

cado. Fatores como dimensionamento preciso da bateria, regulação de tensão para outros componentes, gerenciamento de carga/descarga, eficiência energética e dissipação de calor são considerações cruciais que impactam diretamente a estabilidade e a confiabilidade do sistema. No entanto, o detalhamento aprofundado dessas considerações, bem como a análise completa do sistema de energia, serão abordados na seção dedicada à "Energia" deste documento.

A combinação desses componentes permite a criação de um sistema de hardware robusto e eficiente, capaz de atender aos requisitos do projeto.

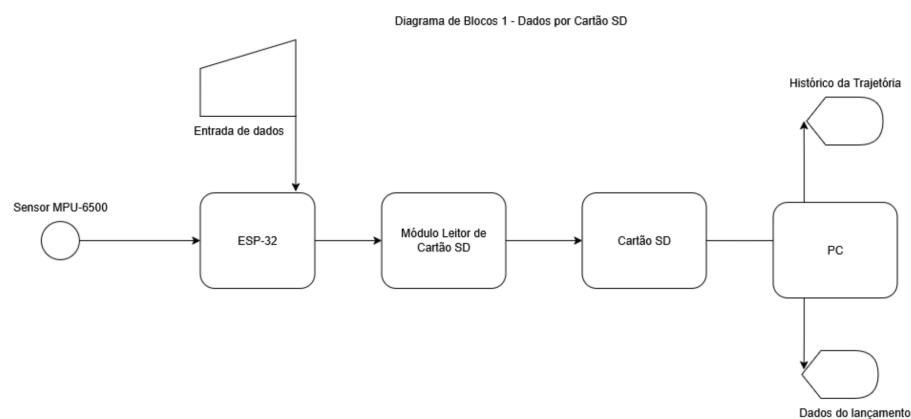


Figura 9 – Diagrama de Blocos do Hardware

Esta seção detalha as conexões elétricas entre os componentes do sistema. É crucial observar que as informações fornecidas aqui são genéricas e podem variar dependendo dos modelos exatos dos componentes utilizados. Sempre consulte os datasheets dos componentes para obter informações precisas sobre os pinos e as especificações elétricas.

#### 4.3.0.0.1 Representação Esquemática Básica

A Figura 10 apresenta um diagrama esquemático simplificado das conexões entre os principais componentes do sistema.

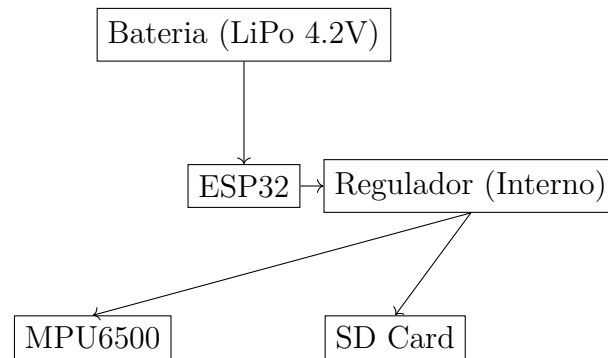


Figura 10 – Esquemático Básico de Conexões

#### 4.3.0.0.2 Detalhes das Conexões e Pinos

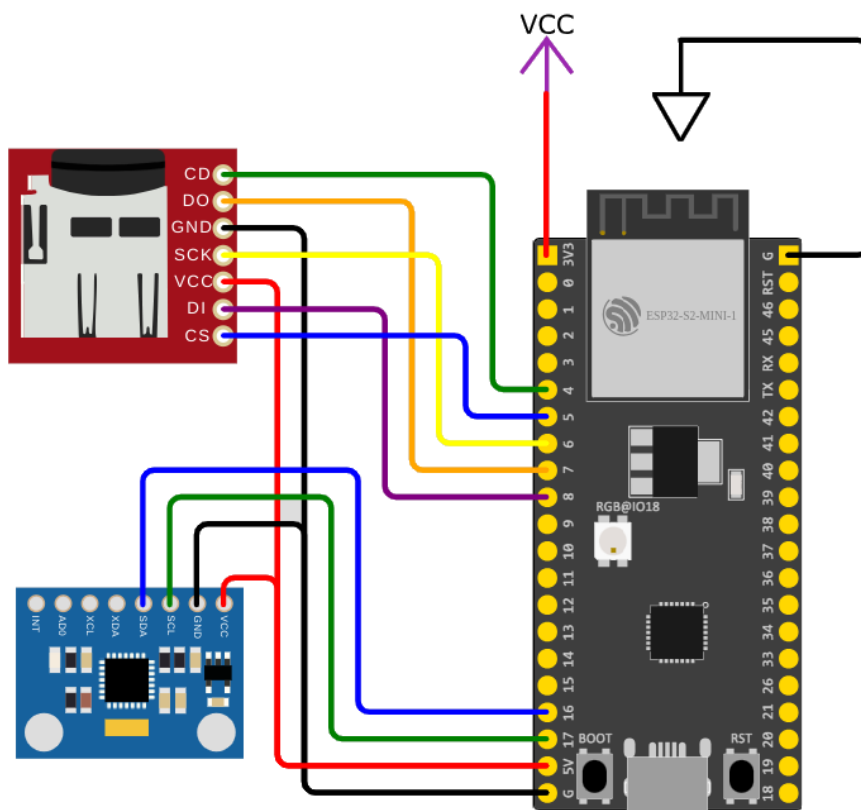


Figura 11 – Esquemático de Conexões

#### Bateria LiPo (4.2V) para ESP32:

Bateria Positivo (+) → ESP32 Vin: A entrada Vin do ESP32 aceita tensões mais altas e possui um regulador interno para fornecer a tensão de operação de 3.3V.

Bateria Negativo (-) → ESP32 GND: Todos os dispositivos devem compartilhar um terra comum para garantir o correto funcionamento do circuito.

#### ESP32 para MPU-6500:

O MPU-6500 utiliza o protocolo de comunicação I2C.

ESP32 SDA pin → MPU6500 SDA pin: O pino SDA (Serial Data) é utilizado para a transferência de dados seriais.

ESP32 SCL pin → MPU6500 SCL pin: O pino SCL (Serial Clock) é utilizado para a sincronização da transferência de dados.

ESP32 3.3V pin → MPU6500 VCC pin: O pino VCC fornece a alimentação de 3.3V necessária para o funcionamento do sensor.

ESP32 GND pin → MPU6500 GND pin: O pino GND fornece o terra para o sensor.

### **ESP32 para Módulo de Cartão SD:**

O módulo de cartão SD utiliza o protocolo de comunicação SPI.

ESP32 MOSI pin → SD Card Module MOSI pin: O pino MOSI (Master Out Slave In) é utilizado para o ESP32 enviar dados para o cartão SD.

ESP32 MISO pin → SD Card Module MISO pin: O pino MISO (Master In Slave Out) é utilizado para o cartão SD enviar dados para o ESP32.

ESP32 SCK pin → SD Card Module SCK pin: O pino SCK (Serial Clock) é utilizado para a sincronização da transferência de dados.

ESP32 CS pin → SD Card Module CS pin (Chip Select): O pino CS é utilizado para selecionar o módulo de cartão SD. Este pino pode variar dependendo do módulo utilizado.

ESP32 3.3V pin → SD Card Module VCC pin: O pino VCC fornece a alimentação de 3.3V necessária para o funcionamento do módulo.

ESP32 GND pin → SD Card Module GND pin: O pino GND fornece o terra para o módulo.

#### **4.3.0.0.3 Considerações sobre os Pinos do ESP32**

**ESP32 Vin:** A entrada Vin é projetada para aceitar tensões mais altas que 3.3V e possui um regulador de tensão interno para fornecer a tensão de operação adequada para o ESP32.

**ESP32 3.3V:** Os pinos de saída de 3.3V do ESP32 são utilizados para alimentar os sensores e o módulo de cartão SD.

**ESP32 GND:** É fundamental que todos os dispositivos no circuito compartilhem um terra comum para garantir o correto funcionamento e evitar danos aos componentes.

**ESP32 Pinos I2C:** Os pinos SDA e SCL para a comunicação I2C podem variar

dependendo do modelo específico do ESP32. É comum utilizar os pinos GPIO21 (SDA) e GPIO22 (SCL), mas é essencial verificar o datasheet do seu ESP32.

**ESP32 Pinos SPI:** Os pinos MOSI, MISO e SCK para a comunicação SPI geralmente são fixos para a interface SPI principal do ESP32. No entanto, o pino CS (Chip Select) pode ser configurado em qualquer pino digital disponível.

## 4.4 Análise de Consumo Energético

O dimensionamento energético apresenta-se como um dos pilares fundamentais no Projeto Integrador de Engenharia 1, sendo determinante para o êxito do sistema, desde o lançamento do foguete até o fornecimento contínuo de energia aos componentes eletrônicos responsáveis pela automação completa da solução.

O consumo energético de um projeto depende dos componentes utilizados, da forma como são alimentados e da eficiência do gerenciamento de energia. Cada elemento no sistema, como sensores, microcontroladores, motores e módulos de comunicação possuem um consumo específico, expresso em corrente e/ou tensão.

A busca pela eficiência da gestão energética visa equilibrar o desempenho e a autonomia do sistema embarcado do foguete evitando desperdícios e garantindo que o sistema opere dentro das limitações da fonte de energia disponível.

### 4.4.1 Subsistemas Elétricos e Componentes

A eficiência energética de um foguete automatizado é um fator determinante para seu desempenho e autonomia operacional. Para compreender o consumo de energia do sistema, medições, análises teóricas e experimentais com o intuito de caracterizar o comportamento do fluxo energético do foguete em cenários de repouso e movimentação contínua foram realizados.

Para uma análise detalhada do consumo energético, o projeto foi dividido em dois subsistemas eletrônicos principais: a base de lançamento e o foguete. Essa separação permite uma caracterização precisa do consumo em cada fase dos testes.

Os dispositivos eletroeletrônicos empregados no projeto, juntamente com suas especificações de tensão e corrente média, são detalhados na tabela a seguir:

Tabela 6 – Informações elétricas dos componentes

Nome	Unidades	Tensão (V)	Corrente (mA)
ESP-32	2	3.3	160
Motor DC	1	3.3	1000
Módulo Matriz LED 8×8 (MAX7219)	1	3.3	160
Módulo Ponte H Dupla L298N	1	3.3	20 (standby) 1000 (ativos)
Módulo Interruptor de 3 pinos	1	3.3	1
Módulo de Cartão SD	1	3.3	100
Módulo MPU-6050	1	3.3	3.9

#### 4.4.1.1 Base de Lançamento

Este subsistema engloba os componentes eletrônicos responsáveis pelo controle e monitoramento da fase de pré-lançamento e do processo de pressurização do foguete. Seu funcionamento é crítico para o sucesso da decolagem. Os componentes que consomem energia dentro desse subsistema e suas funções são:

Tabela 7 – Informações elétricas dos componentes

Nome	Função
ESP-32	Atua como o microcontrolador central da base, gerenciando a comunicação, os sensores da plataforma e os acionadores.
Motor DC	Utilizado para fins de acionamento eletromecânico do mecanismo de lançamento do foguete.
Módulo Matriz LED 8x8	Empregado para fornecer feedback visual para o countdown do lançamento do foguete.

#### 4.4.1.2 Subsistema do Foguete

Este subsistema engloba toda a eletrônica embarcada na coifa do foguete, vital para a coleta dos dados durante o lançamento. O funcionamento é essencial para o sucesso do projeto. Os componentes que consomem energia no subsistema e suas funções são:

Tabela 8 – Informações elétricas dos componentes

Nome	Função
ESP-32	Atua como o cérebro embarcado do foguete, processando dados dos sensores, armazenando informações e controlando sistemas internos.
Módulo de Cartão SD	Utilizado para armazenamento de dados do voo, apresentando consumo elevado de energia durante operações de escrita.
Módulo MPU-6050	Sensor inercial que fornece dados de aceleração e rotação, sendo operado continuamente durante o voo.
Módulo Interruptor de 3 pinos	Utilizado para reiniciar o sistema de leitura do microcontrolador ESP32.

#### 4.4.2 Estimativa de Duração do Lançamento

Para o cálculo da energia consumida (J) de cada item, o tempo estimado de Uso (s) deve ser conhecido para evitar desperdícios de energia. Com isso, consideramos um cenário de lançamento que abrange as fases de pré-lançamento, voo e recuperação. O

tempo de pré-lançamento e recuperação são considerados constantes para todos os cenários, representando o tempo necessário para inicializar o sistema e recuperar os dados. Já o tempo de voo será proporcional à distância que o foguete deve percorrer. Assim, estabelecemos três configurações padrão:

Tabela 9 – Tempos estimados por configuração de lançamento

Configuração	Pré-lançamento (s)	Voo (s)	Recuperação (s)
10 metros	120	3	180
20 metros	120	3	180
30 metros	120	3	180

As estimativas de tempo são baseadas em modelos de voo simplificados para foguetes de pequena escala, discutidas entre os membros da equipe, com alunos que já cursaram a disciplina Projeto Integrador de Engenharia 1 e tiveram a oportunidade de construir o projeto voltado ao foguete e fontes externas de pesquisa sobre lançamentos de foguetes manuais, prática bastante difundida nos ensinos fundamental e médio em todo Brasil.

#### 4.4.2.1 Cálculo da Energia Consumida

A energia consumida por cada componente é calculada utilizando a fórmula:

$$E = V \cdot I \cdot t \quad (4.1)$$

onde  $E$  é a energia em Joules (J),  $V$  é a tensão em Volts (V),  $I$  é a corrente em Ampères (A) e  $t$  é o tempo em Segundos (s). As correntes em miliampères (mA) foram convertidas para Ampères (A) dividindo por 1000.

#### 4.4.2.2 Cálculos para o Subsistema da Base de lançamento

Os componentes da base operam principalmente durante a fase de pré-lançamento. O Motor DC, embora acionado brevemente, possui uma corrente elevada durante sua ativação. O consumo para a base é considerado fixo para todos os cenários.

Tabela 10 – Tabela de consumo de energia dos componentes da base

Componente	Quantidade	Tensão (V)	Corrente (A)	Tempo (s)	Energia (J)
ESP32	1	3.3	0.160	120	63.36
Motor DC	1	3.3	1	5	16.50
Matriz LED 8X8	1	3.3	0.160	120	63.36
Ponte H L298N	1	3.3	0.020	120	7.92
Total do Subsistema da Base					151,14



#### 4.4.2.3 Cálculos para o Subsistema do Foguete

Os componentes do foguete operam desde o pré-lançamento (enquanto o foguete está na base), durante o voo e na fase de recuperação. O tempo total de operação do foguete (pré-lançamento, mais voo, mais recuperação) varia ligeiramente conforme o cenário de voo.

Para os cálculos abaixo, utilizaremos o cenário para 10 metros como exemplo, onde o tempo total de uso no foguete é de 307 segundos (120 s de pré-lançamento + 7 s de voo + 180 s de recuperação).

Tabela 11 – Tabela de consumo de energia dos componentes do foguete

Componente	Quantidade	Tensão (V)	Corrente (A)	Tempo (s)	Energia (J)
ESP32	1	3.3	0.160	307	162.26
Cartão SD	1	3.3	0.100	307	101.31
MPU-6050	1	3.3	0.0039	307	3.96
Interruptor 3 pinos	1	3.3	0.001	307	1.01
Total do Subsistema do Foguete					268,54

#### 4.4.2.4 Cálculo do Consumo Total de Energia

Isso significa que a base de lançamento terá um consumo fixo de 151,14 J por lançamento e o foguete terá um consumo de aproximadamente 268,54 J por lançamento. Considerando o consumo total para as três configurações necessárias para o sucesso do projeto, o total de energia utilizado será 1.259,04 J, ou aproximadamente 0,350 Wh.

### 4.4.3 Dimensionamento e Seleção das Fontes de Alimentação

Com os valores de energia em Wh definidos, partimos para a escolha das fontes de alimentação. Levamos em conta a eficiência do módulo elevador de tensão e aplicamos a margem de segurança acordada, seguindo especificações técnicas e boas práticas de engenharia para garantir um dimensionamento confiável.

#### 4.4.3.1 Fator de Eficiência do Módulo Elevador de Tensão

Para o módulo boost MT3608 da base de lançamento, adotamos uma eficiência de 85%. Esse valor combina dados do fabricante (datasheet) e resultados de testes práticos, alinhando-se ao intervalo típico de operação (85–93%) com entrada em 3,7 V e saída em 3,3 V. Assim, as perdas do conversor já estão previstas no cálculo da capacidade da bateria do foguete, garantindo cobertura realista das necessidades energéticas.

#### 4.4.3.2 Margem de Segurança

A aplicação de uma margem de segurança de 30% sobre o consumo energético total é uma prática de engenharia fundamental e amplamente aceita em projetos de sistemas embarcados e aeroespaciais, onde a falha de energia é crítica. Esta margem visa mitigar incertezas e garantir a robustez do sistema frente a condições imprevistas: variações e degradação da bateria descritas a seguir.

A capacidade de descarga de baterias de LiPo é significativamente afetada por temperaturas extremas. Em baixas temperaturas, a capacidade disponível pode ser reduzida em 20% ou mais. Em altas temperaturas, a degradação a longo prazo e o envelhecimento da bateria são acelerados.(PLETT, 2015)

Baterias de íon-lítio perdem capacidade progressivamente com cada ciclo de carga ou descarga e com o tempo de uso (envelhecimento).

As correntes médias calculadas são estimativas; picos de corrente transitórios (ex: inicialização de módulos, escrita no SD) podem exceder a média e são absorvidos pela margem. Variações de lote entre componentes e imprecisões nos datasheets também são compensadas.

A margem permite que o nosso sistema opere por um tempo e talvez maior em caso de atrasos na recuperação ou necessidade de retransmissão de dados, aumentando a probabilidade de sucesso do voo.

Em projetos críticos, margens de segurança para recursos como potência são padrão. (NASA, 2016) Margens entre 20% e 50% são comuns para alta confiabilidade.

#### 4.4.4 Cálculo da Capacidade da Bateria

O cenário de maior consumo para o dimensionamento da bateria é o que contempla todos os três lançamentos. Considerando que a energia total do sistema sem perdas para as três configurações é de aproximadamente 0,350 Wh, a energia requerida devido à eficiência do módulo elevador de tensão MT3608 é calculada pela razão entre a energia total dos três lançamentos pela eficiência do MT3608.

$$E_{\text{requerida}} = \frac{E_{\text{total}}}{\eta_{\text{MT3608}}} = \frac{0,350 \text{ Wh}}{0,85} \approx 0,412 \text{ Wh} \quad (4.2)$$

Aplicando a energia requerida pelo sistema já ajustado pela eficiência com a margem de segurança, chegamos ao valor real que a bateria precisa para que o projeto tenha sucesso na parte energética.

$$E_{\text{bateria}} = E_{\text{requerida}} \times (1 + \text{Margem de Segurança}) \quad (4.3)$$

$$E_{\text{bateria}} = 0,412 \text{ Wh} \times (1 + 0,30) = 0,412 \text{ Wh} \times 1,30 \approx 0,536 \text{ Wh} \quad (4.4)$$

#### 4.4.4.1 Fonte de Alimentação para a Base de Lançamento

Para a Base de Lançamento, utilizaremos um Power Bank de 3300 mAh (5V, 2A) como fonte de energia. Esta escolha é prática e conveniente, pois power banks são dispositivos amplamente disponíveis, recarregáveis e projetados para fornecer energia de forma estável (geralmente 5V via USB, que será convertida para 3.3V pelo regulador interno do ESP32 da base, ou por um regulador externo se o power bank for de 3.3V)

$$E_{\text{power bank}} = 3.3 \text{ Ah} \times 5 \text{ V} = 16.5 \text{ Wh} \quad (4.5)$$

Mesmo com a margem de segurança de 30% e a eficiência de conversão interna do power bank e dos reguladores dos componentes (se aplicáveis), a capacidade de um power bank de 3300 mAh é muito mais do que suficiente para o consumo da base (aproximadamente 0,042 Wh por lançamento), garantindo longos períodos de operação e múltiplos lançamentos sem a necessidade de recarga frequente.

Para o subsistema embarcado no foguete, a leveza e a alta densidade energética são cruciais. Portanto, utilizaremos uma bateria de Polímero de Lítio (LiPo).

O cálculo da energia requerida da bateria do foguete, considerando a eficiência de 85% do módulo MT3608 e a margem de segurança de 30%, é baseado no consumo de 268,54 J por lançamento. Para o cenário de três lançamentos, a energia total do foguete (sem considerar perdas e margem) seria de

$$E_{\text{total}} = 3 \times 0,075 \text{ Wh} = 0,225 \text{ Wh} \quad (4.6)$$

Aplicando a eficiência do MT3608 e a margem de segurança especificamente para o consumo do foguete. A energia total de 3 lançamentos é 0,225 Wh. A energia requerida devido à eficiência do MT3608 é calculada como:

$$E_{\text{bateria, foguete}} = \frac{0,225 \text{ Wh}}{0,85} \approx 0,265 \text{ Wh} \quad (4.7)$$

Já a energia requerida com margem de segurança:

$$E_{\text{bateria, foguete}} = 0,265 \text{ Wh} \times (1 + 0,30) = 0,265 \text{ Wh} \times 1,30 \approx 0,345 \text{ Wh} \quad (4.8)$$

Com a energia requerida de aproximadamente 0,345 Wh, e sabendo que o MT3608 é um elevador de tensão (permitindo o uso de uma LiPo 1S de 3,7 V nominal), calculamos a capacidade necessária para a bateria do foguete.

Para calcular a capacidade em mAh necessária para uma LiPo de 3,7V:

$$\text{Capacidade (mAh)} = \frac{E_{\text{bateria, foguete}} \times 1000}{V_{\text{nominal}}} \quad (4.9)$$

$$\text{Capacidade (mAh)} = \frac{0,345 \text{ Wh} \times 1000}{3,7 \text{ V}} \approx 93 \text{ mAh} \quad (4.10)$$

Portanto, para o sistema eletrônico embarcado dentro do foguete, utilizaremos uma bateria LiPo de 3,7 V (1S) com capacidade mínima de 100 mAh (ou 150 mAh para maior folga).

#### 4.4.5 Conclusão sobre as Fontes de Alimentação

A base de lançamento é alimentada por um power bank de 3300 mAh (5V). Já que power banks são dispositivos amplamente disponíveis, recarregáveis e projetados assim para fornecer energia de forma estável. E com uma capacidade energética de 16.5 Wh, o nosso power bank oferece uma reserva de energia que excede significativamente o consumo estimado da base (que dá aproximadamente 0,042 Wh por lançamento). Isso então garante vários lançamentos e longos períodos de teste sem a necessidade de recarga frequente para a plataforma de lançamento.

Já para o subsistema eletrônico embarcado no foguete de voo, onde o peso e a densidade energética são fatores críticos, a solução adotada foi uma bateria de Polímero de Lítio (LiPo) de 3.7V (1S). Os cálculos detalhados anteriormente indicam uma demanda energética de aproximadamente 0,345 Wh para o cenário de três lançamentos, já considerando a eficiência de 85% do módulo elevador de tensão DC-DC MT3608 e uma margem de segurança de 30%. Com base nisto, utilizamos uma bateria LiPo com capacidade mínima de 100 mAh (ou 150 mAh para maior folga).

## 4.5 Descrição de Software

O pacote de trabalho de Planejamento e Gerenciamento foi modelado utilizando a notação BPMN, conforme ilustrado na Figura 12. A utilização do BPMN permite representar de forma clara e padronizada os processos do projeto, facilitando a compreensão, a análise e a comunicação entre os envolvidos. Por meio desse modelo, é possível visualizar as atividades, os responsáveis, os fluxos de informações e as dependências, contribuindo para uma gestão mais eficiente e alinhada aos objetivos do projeto.

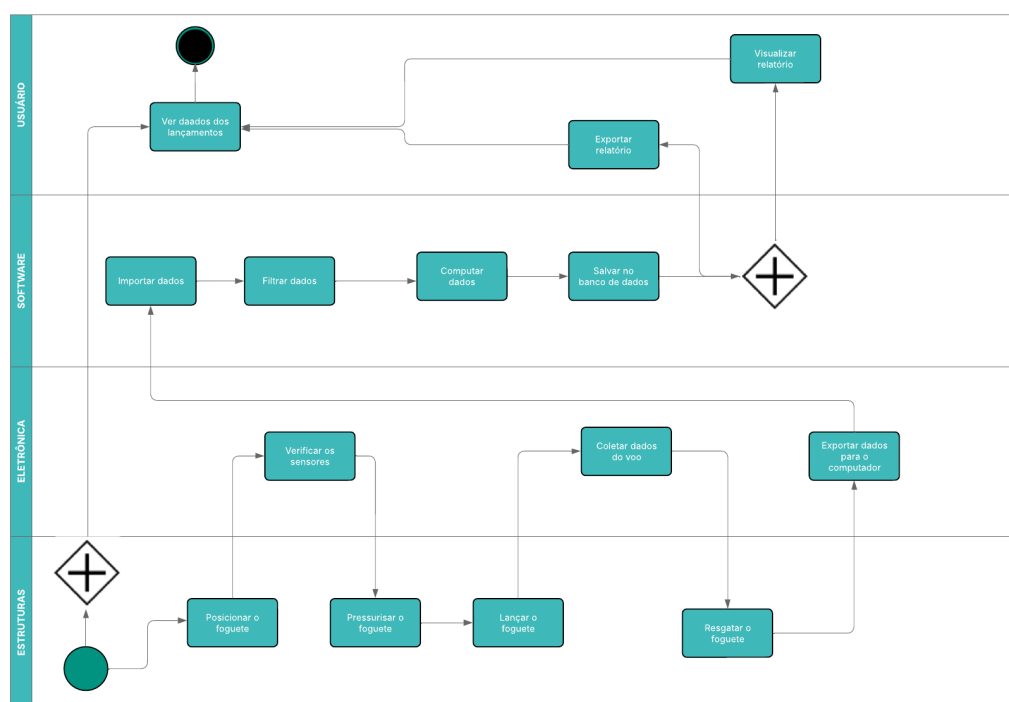


Figura 12 – BPMN

O pacote MOSCOW é uma técnica de priorização de requisitos que classifica as funcionalidades em quatro categorias: Must have (deve ter), Should have (deveria ter), Could have (poderia ter) e Won't have this time (não terá desta vez). Essa abordagem ajuda a focar no que é essencial para o sucesso do projeto, garantindo que os recursos sejam alocados de forma eficiente. A Figura 12 ilustra a aplicação dessa técnica no contexto do projeto.

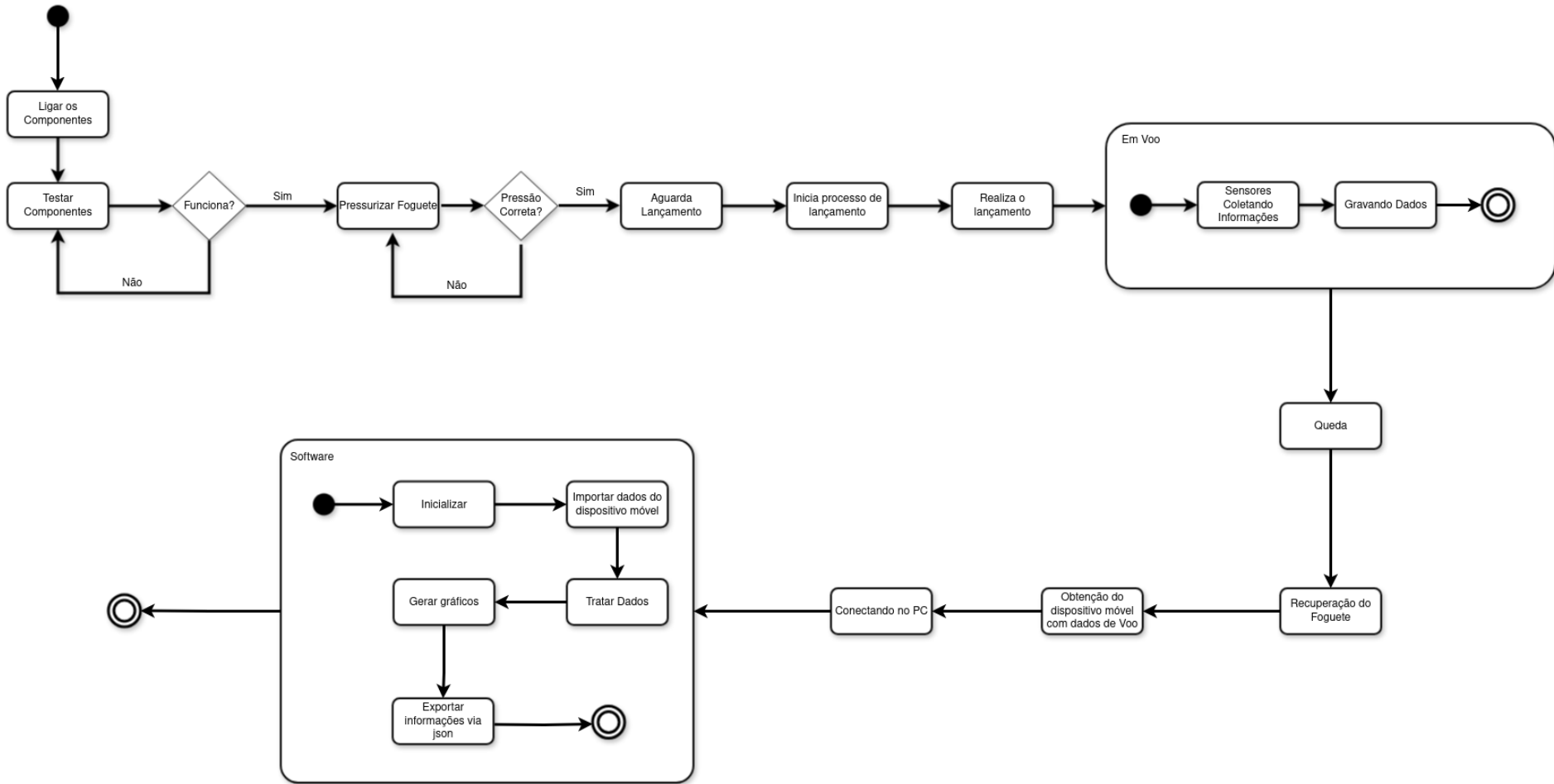


Figura 13 – Diagrama de Estados

Tabela 12 – Tabela de Requisitos do Projeto

Id	DESCRIÇÃO	PRIORIDADE
RQ01	Importar dados de voo em JSON de dispositivo externo	Must have
RQ02	Exibir gráfico de velocidade vertical vs. tempo.	Must have
RQ03	Exibir gráfico de aceleração vertical vs. tempo.	Must have
RQ04	Exibir gráfico de dispersão da trajetória no plano X e Y.	Must have
RQ05	Exibir gráfico de altitude vs. tempo.	Must have
RQ06	Exibir valores máximos e mínimos de aceleração, velocidade e ângulo.	Should have
RQ07	Exibir tempo de execução e intervalos de amostragem.	Should have
RQ08	Exportar dados do voo em JSON.	Must have
RQ09	Importar arquivos JSON para comparação e simulação.	Must have
RQ10	Aplicar filtro de média móvel nos dados dos sensores.	Should have
RQ11	Inicializar o sistema de medição e sinalizar prontidão para o lançamento.	Must Have
RQ12	Aplicar filtro de média móvel nos dados dos sensores.	Must Have
RQ13	O mecanismo de lançamento deve permitir disparo seguro por tração de corda a pelo menos 5 metros.	Must Have
RQ14	A plataforma de lançamento deve manter o foguete estável até o momento da liberação manual.	Must Have

Os requisitos não-funcionais são critérios que definem a qualidade e as restrições do sistema, como desempenho, segurança, usabilidade e portabilidade. Eles são essenciais para garantir que o sistema atenda às expectativas dos usuários e funcione de maneira eficiente em diferentes ambientes. A Tabela 13 apresenta os requisitos não-funcionais identificados para o projeto.

Tabela 13 – Requisitos Não-Funcionais

ID	DESCRIÇÃO
RNF01	Os dados dos lançamentos devem ser armazenados localmente de forma que não possam ser corrompidos em caso de desligamento inesperado.
RNF02	O software deve validar a integridade dos arquivos JSON antes de processar os dados.
RNF03	O software deve ser multiplataforma, funcionando em pelo menos Windows, Linux e MacOS.
RNF04	Não deve depender de conexão com internet para funcionar.
RNF05	A geração de relatórios e gráficos não deve exceder 3 segundos para arquivos de até 100 linhas de dados do lançamento.
RNF06	A interface gráfica (GUI) deve ser intuitiva, com botões claros para importar dados, gerar gráficos e acessar os lançamentos anteriores.
RNF07	A interface de linha de comando (CLI – Command Line Interface) deve oferecer comandos simples para uso técnico ou automatizado.

O pacote de Casos de Uso é uma técnica de modelagem que descreve as interações entre os usuários (atores) e o sistema, detalhando como os requisitos funcionais serão atendidos. Os casos de uso ajudam a identificar as funcionalidades essenciais do sistema e a garantir que todas as partes interessadas tenham uma compreensão clara dos objetivos do projeto. A Figura 14 apresenta um exemplo de diagrama de casos de uso utilizado no projeto.

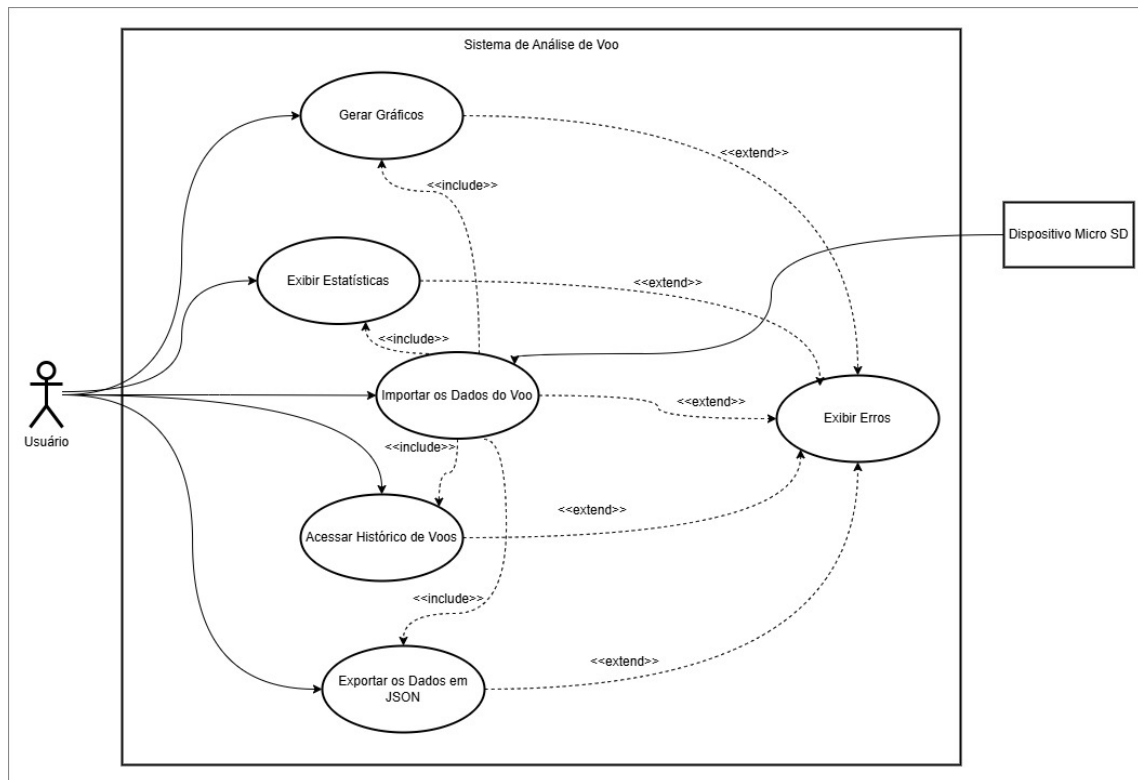


Figura 14 – 1.3 – Casos de Uso

O Diagrama de Entidade-Relacionamento (DER) é uma técnica de modelagem de dados que representa as entidades do sistema e os relacionamentos entre elas. É fundamental para a construção do banco de dados e para garantir que os dados sejam organizados de forma eficiente. A Figura 15 ilustra um exemplo de DER utilizado no projeto.

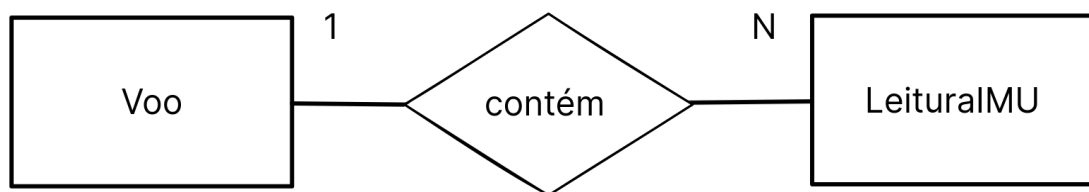


Figura 15 – 1.3 – Diagrama de Entidade-Relacionamento

Após isso, podemos modelar os atributos de cada entidade, conforme os dados que receberemos da ERP32, que calculará movimentos de unidade de medição inercial pelo sensor de 6 eixos, como o acelerômetro e o giroscópio. A Figura 16 apresenta um exemplo de atributos modelados para as entidades do sistema.



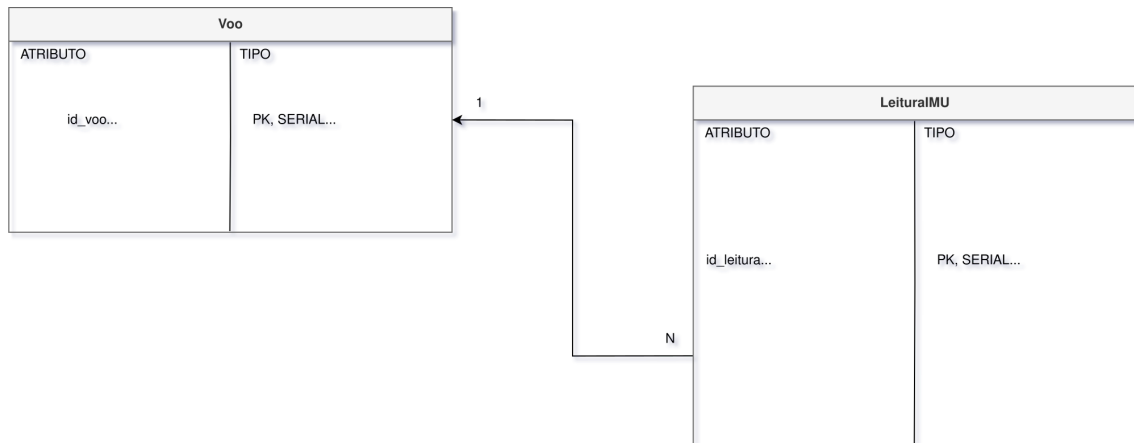


Figura 16 – 1.3 – Atributos das Entidades

O padrão arquitetural escolhido é o Monolítico, por se tratar de um sistema simples, com poucos módulos e baixa complexidade. A adoção de uma arquitetura mais robusta, como microsserviços, não se justifica neste contexto, uma vez que todo o processamento ocorre localmente e o software não possui dependências distribuídas.

A arquitetura monolítica permite concentrar todas as funcionalidades como leitura de dados, processamento, geração de relatórios e apresentação dos resultados em um único sistema, facilitando o desenvolvimento, testes e manutenção dentro dos requisitos do projeto, como visto na Figura 17.

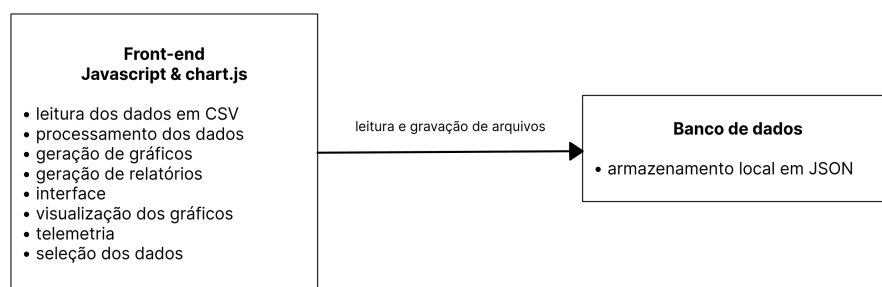


Figura 17 – Arquitetura do Software

As linguagens de programação escolhidas para o desenvolvimento do software são Python e JavaScript, cada uma com suas responsabilidades específicas dentro do sistema.

Python foi responsável primariamente pelo desenvolvimento de uma interface de linha de comando (CLI). Utilizado para processamento dos dados, geração de relatórios, análises estatísticas e manipulação dos arquivos JSON até a segunda entrega. Utilizamos as bibliotecas Pandas para manipulação e análise de dados. NumPy para cálculos matemáticos e operações com arrays. E Matplotlib para criação de gráficos e visualizações dos dados.

JavaScript então foi utilizado no desenvolvimento do frontend (GUI), através da biblioteca Chart.JS, para então cumprir com as responsabilidades do CLI, e apresentando visualmente os dados dos lançamentos de forma interativa e amigável.

Neste projeto, não foi utilizado um banco de dados tradicional. Os dados dos lançamentos são armazenados localmente em arquivos JSON, por se tratar de uma solução leve, simples e suficiente para o volume de dados do projeto. Cada arquivo JSON conterá os dados de um lançamento específico, organizados de forma que possam ser facilmente acessados tanto pela CLI quanto pela interface gráfica.

O protótipo do software foi desenvolvido utilizando a ferramenta Figma, que permite criar interfaces interativas e de alta fidelidade. O protótipo inclui telas para importação de dados, visualização de gráficos, relatórios e histórico de lançamentos. Ele pode ser acessado em [neste endereço](#).

A principal mudança nos testes foi a especificação e detalhamento dos mesmos. Todos os casos de teste foram migrados do relatório para uma planilha no Microsoft Excel Online, como disponibilizado anteriormente, facilitando a visualização geral, o acompanhamento da execução e a atualização dos status de cada teste em tempo real por todos os membros da equipe. Ela pode ser completamente acessada em [planilha de testes do grupo 2](#).

Para o caso de teste CT01, que envolve a importação de um arquivo JSON válido, foi adicionado um exemplo de arquivo JSON com dados reais do foguete. Esse arquivo contém informações como id do voo, tempo, aceleração e velocidade, permitindo uma validação mais precisa do processo de importação. No mesmo contexto, ao CT02 foi adicionado um arquivo JSON com campos ausentes, como id de leitura e tempo, para testar a robustez do sistema em lidar com dados incompletos. O CT03 foi modificado para incluir um arquivo JSON com formato inválido, como strings onde se esperavam números, para verificar a capacidade do sistema de identificar e reportar erros de formatação.

Aos testes CT01, CT02, CT03, CT08, CT11, CT13, CT14, CT15, CT16 foi adicionado os dados de arquivo necessário para realização do teste, a estrutura dos dados de entrada, especificação de resultados esperados e, para os que possui mensagens, as de sucesso e erro foram definidas. Para o teste de responsividade (CT05) foram definidos os tamanhos da tela para responsividade.

Na parte de hardware, houve modificações significativas. Para o CT06, os dados agora são feitos de forma analógica usando um barômetro. Para CT22, agora o atuador é o manômetro; para CT24, a conectividade agora é feita com cartão SD e ambos os testes foram reelaborados. Os testes CT17, CT19 e CT21 foram eliminados por conta de mudanças realizadas no hardware.

Sobre estruturas, no CT07, foi definido a quantidade de água a ser utilizada no teste. Os testes não citados foram mantidos da mesma forma, pois não foi observado uma necessidade de alteração.

## 5 Orçamento do projeto

Tabela 14 – Orçamento geral.

<b>Categoria</b>	<b>Previsto (R\$)</b>	<b>Realizado (R\$)</b>
Matéria-prima	65,00	78,70
Componentes hidráulicos	153,00	132,30
Acessórios	20,00	15,30
Componentes eletrônicos	230,00	245,89
Honorário dos 18 estudantes	10.000,00	50.630,40
<b>Total</b>	<b>10.468,00</b>	<b>51.102,59</b>

Tabela 15 – Orçamento por aquisição (complementar).

Item ou serviço	Tipo	Previsto (R\$)	Realizado (R\$)	Responsável
Cola PVC	Matéria-prima	50,00	65,85	VF
Linha 10m	Matéria-prima	15,00	12,85	VF
6x Conexão T	Componente hidráulico	12,00	7,68	VF
2x metros de cano	Componente hidráulico	20,00	18,98	VF
4x cotovelo	Componente hidráulico	10,00	8,42	VF
1x cap de cano	Componente hidráulico	1,00	0,72	VF
1x válvula de pneu	Componente hidráulico	20,00	12,54	VF
1x manômetro	Componente hidráulico	40,00	45,76	VF
1x cotovelo com rosca	Componente hidráulico	10,00	8,52	VF
10x abraçadeiras de Nylon	Acessório	10,00	7,33	VF
1x Registro	Componente hidráulico	40,00	29,68	VF
1x abraçadeira de bujão	Acessório	10,00	7,97	VF
2x ESP32 DevKit	Componente eletrônico	100,00	82,58	VF
1x Cartão SD	Componente eletrônico	50,00	55,01	VF
1x Módulo SD	Componente eletrônico	10,00	8,48	VF
1x MPU6500	Componente eletrônico	10,00	13,98	VF
1x Bateria	Componente eletrônico	40,00	64,98	VF
1x Protoboard e fios	Componente eletrônico	20,00	20,86	VF

## 6 Cronograma do projeto

Tabela 16 – Cronograma geral.

<b>Geral</b>	<b>Previsto</b>	<b>Realizado</b>
Início do projeto	21/04/2025	21/04/2025
Fim do projeto	18/07/2025	-

Tabela 17 – Cronograma de Atividades do Projeto (Parte 1)

N	Atividade	Início Prev.	Início Real.	Fim Prev.	Fim Real.	Prev.	Responsáveis
1	Realizar Kickoff	21/04	21/04	24/04	24/04		VL
2	Elaborar TAP do projeto	21/04	21/04	04/05	04/05	1	VL
3	Unificar EAP	01/05	01/05	03/05	03/05		VL
4	Unificar Cronogramas	03/05	03/05	05/05	05/05	3	VL
5	Formatar o relatório ED1	01/05	01/05	05/05	05/05		VL, JF, RG, MQ, LL
6	Elaborar relatório de orçamento geral	06/05	13/05	29/05	01/06		VL, HM, IL, LL
7	Elaborar Desenho em CAD	06/05	20/05	29/05	01/06		EM, GC, IL, KP, SC
8	Elaborar inventário de materiais	06/05	20/05	29/05	30/05		EM, GC, IL, KP, SC
9	Relatório de decisões de projeto (estrutura)	06/05	29/05	29/05	01/06	7,8	EM, GC, IL, KP, SC
10	Elaborar Diagrama BPMN	06/05	28/05	29/05	30/05		EM, GC, IL, KP, SC
11	Elaborar Backlog funcional	06/05	05/04	29/05	30/05		HM, IL, LL, VL
12	Elaborar Backlog não-funcional	06/05	05/04	29/05	30/05		HM, IL, LL, VL
13	Diagrama de casos de uso	06/05	21/05	29/05	31/05		NA, SS, AV, JF, MQ, LA, LJ
14	Elaborar Diagrama de blocos	06/05	29/05	29/05	31/05		VL, RG, LL, PD, LB
15	Esquemático de eletrônica	06/05	14/05	15/05	14/05		VL, RG, LL, PD, LB
16	Descrição da arquitetura	06/05	29/05	29/05	30/05	10-13	NA, SS, AV, JF, MQ, LA, LJ
17	D.E.R do banco de dados	06/05	28/05	29/05	25/05	16	NA, SS, AV, JF, MQ, LA, LJ
18	Diagrama de Estados	06/05	19/05	29/05	30/05	16	NA, SS, AV, JF, MQ, LA, LJ
19	Protótipo funcional navegável	06/05	15/05	29/05	30/05	11-13	NA, SS, AV, JF, MQ, LA, LJ
20	Plano de testes de software	06/05	23/05	29/05	30/05		NA, SS, AV, JF, MQ, LA, LJ
21	Análise de consumo energético	06/05	27/05	29/05	27/05	15	NA, SS, AV, JF, MQ, LA, LJ
22	Comprar materiais	06/05	08/05	02/06	02/06	6	VL, SC, IL
23	Unificar relatórios para ED2	30/05	01/05	02/06	02/05		VL, JF, RG, MQ, LL, LA
24	Formatar o relatório ED2	30/05	01/05	02/06	02/05		VL, JF, RG, MQ, LL, LA

Tabela 18 – Cronograma de Atividades do Projeto (Parte 2)

N	Atividade	Início Prev.	Início Real.	Fim Prev.	Fim Real.	Prev.	Responsáveis
25	Código do sistema Interface	13/05	-	02/07	-	16	HM, NA, SS, AV, JF, MQ, LA, LJ
26	Código do software embarcado	13/05		02/07		14,15	VL, RG, LL, PD
27	Montar fuselagem do foguete	13/05	-	02/07	-	7	EM, GC, IL, KP, SC
28	Montar base do foguete	13/05	-	02/07	-	7	EM, GC, IL, KP, SC
29	Sensores na base do foguete	13/05	-	02/07	-	28	VL, RG, LL, PD, LB
30	Sensores no foguete	13/05	-	02/07	-	27	VL, RG, LL, PD, LB
31	Testes de unidade	13/05	-	02/07	-	20	HM, NA, SS, AV, JF, MQ, LA, LJ
32	Testes de integração	02/07	-	11/07	-	20	HM, NA, SS, AV, JF, MQ, LA, LJ
33	Resultados dos testes	02/07	-	11/07	-	31,32	MQ
34	Relatório de hardware	02/07	-	11/07	-		VL, RG, LL, PD, LB
35	Relatório de estrutura	02/07	-	11/07	-		IL, SC, GC
36	Relatório de integração	02/07	-	11/07	-		Todos os integrantes
37	Desempenho de fornecedores	02/07	-	11/07	-		VL, SC, IL
38	Relatório de energia	02/07	-	11/07	-		LB
39	Experimentos de integração	02/07	-	11/07	-		Todos os integrantes
40	Validar testes completos	12/07	-	15/07	-	30,29	Todos os integrantes
41	Validar precisão e reutilização	12/07	-	15/07	-		VL, HM, IL, LL
42	Vídeo de apresentação	12/07	-	15/07	-	41	Todos os integrantes
43	Relatório planejado vs. realizado	12/07	-	15/07	-		VL, HM, IL, LL
44	Avaliação SWOT do projeto	12/07	-	15/07	-		Todos os integrantes
45	Lições aprendidas	12/07	-	15/07	-		Todos os integrantes
46	Avaliar desempenho da equipe	12/07	-	15/07	-		VL, HM, IL, LL
47	Relatório final ED3	12/07	-	16/07	-		VL, JF, RG, MQ, LL, LA
48	Apresentação final	16/07	-	18/07	-	41,42,46,47	Todos os integrantes



## Referências

GUIMARÃES, S.; FRANCISCO, G. Automação para a base de lançamento de um foguete pet com redução de torque. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*, v. 2, n. 8, 2020. Disponível em: <<https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharias/foguete-pet>>. Citado na página 8.

NASA. *NASA Systems Engineering Handbook (NASA/SP-2016-6105 Rev2)*. [S.l.], 2016. Disponível em: <[https://explorers.larc.nasa.gov/2023ESE/pdf\\_files/NASA04.%20SysEng%20Handbook%20\(NASA\\_SP-2016-6105%20Rev%202\).pdf](https://explorers.larc.nasa.gov/2023ESE/pdf_files/NASA04.%20SysEng%20Handbook%20(NASA_SP-2016-6105%20Rev%202).pdf)>. Citado na página 33.

National Association of Rocketry. *Model Rocket Safety Code*. 2012. Disponível em: <<https://www.nar.org/safety-information/model-rocket-safety-code/>>. Citado na página 8.

PLETT, G. P. *Battery Management Systems for Large Lithium-Ion Battery Packs*. [S.l.]: Artech House, 2015. Citado na página 33.

Project Management Institute. *Um guia do conhecimento em gerenciamento de projetos (Guia PMBOK)*. 6. ed. Newtown Square, PA: Project Management Institute, 2017. Tradução oficial. Citado na página 14.

YUKIMITSU, G. Automação de uma base lançadora de foguetes com propulsão hidrostática para participação em olimpíadas. In: *Anais do CONICT - Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia*. Campinas, SP: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, 2020. Disponível em: <<https://ocs.ifsp.edu.br/conict/xiconict/paper/view/6690/1754>>. Citado na página 8.