

LUCAS TEIXEIRA FIORI

**DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE PARA ANÁLISE
DE DESEMPENHO DE VEÍCULOS AÉREOS NÃO
TRIPULADOS (VANT)**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

2023

LUCAS TEIXEIRA FIORI

**DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE PARA ANÁLISE DE
DESEMPENHO DE VEÍCULOS AÉREOS NÃO
TRIPULADOS (VANT)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade
Federal de Uberlândia como parte dos requisitos
para obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Aeronáutica. *EXEMPLAR DE DEFESA*

Área de Concentração: Desempenho de Aeronaves

Orientador: Prof. Dr. Higor Luis Silva

Uberlândia - MG

2023

LUCAS TEIXEIRA FIORI

**SOFTWARE DEVELOPMENT FOR UNMANNED AERIAL
VEHICLE (UAV) PERFORMANCE ANALYSIS**

Final Paper submitted to the Faculty of Mechanical
Engineering from Federal University of Uberlândia in
partial fulfillment of the requirements for the degree
of Aeronautical Engineer. *EXAMINATION BOARD
PRESENTATION COPY*

Concentration Area: Aircraft Performance

Advisor: Prof. Dr. Higor Luis Silva

Uberlândia - MG

2023

Este trabalho é dedicado à minha família, cujo apoio incondicional foi fundamental para que eu perseguisse o meu sonho de trabalhar na aviação. Sinto-me profundamente realizado por ter a oportunidade de viver esse sonho diariamente. Em especial, quero dedicar este trabalho à memória do meu pai e expressar minha profunda gratidão à minha mãe, que sempre me incentivaram, oferecendo suporte e apoio inabaláveis para a realização dos meus sonhos. Somado a isso, dedico este trabalho ao meu irmão que, mesmo distante, sempre enviou energias positivas, incentivando-me a concluir este ciclo e buscar novas oportunidades. Por fim, quero dedicar este momento especial à minha namorada, que esteve ao meu lado durante toda a jornada universitária, compartilhando esforços para alcançarmos sempre o nosso melhor e conquistarmos juntos nossos objetivos.

AGRADECIMENTOS

Expresso meu sincero agradecimento ao meu orientador, o professor Higor Luis Silva, pela orientação valiosa, apoio constante e suporte durante a realização deste trabalho. Gostaria também de estender meus agradecimentos ao meu amigo da empresa XMobots, Rafael Ferreira, por sua colaboração e esclarecimentos, que contribuíram significativamente para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores, por tornarem a Universidade Pública um espaço de grande debate, acolhimento e troca de conhecimento. Obrigado por se esforçarem em transmitir uma pequena parcela de tudo o que sabem para nós alunos, além de contribuírem para nossa formação.

Agradeço também à XMobots, pela oportunidade de me inserir na indústria aeronáutica como primeira experiência profissional e por todo o aprendizado adquirido.

Por fim, agradeço a Deus por abrir tantas portas em minha vida e por permitir todas as realizações.

*“As invenções são, sobretudo,
o resultado de um trabalho de teimoso.”
(Santos Dumont)*

RESUMO

FIORI, L.T. Desenvolvimento de Software para Análise de Desempenho de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT). 2023. 59 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Aeronáutica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia - MG, 2023.

Durante o projeto de uma aeronave, é de extrema importância uma análise de desempenho detalhada de diversas variáveis de projeto. Sendo assim, é necessário cuidado e flexibilidade para adaptar pontos ótimos locais de cada variável para que não interfiram negativamente nas demais. A aviação, em sua concepção e operação, é definida por constantes relações de troca, que devem ser estudadas a fim de maximizar os ganhos e diminuir as perdas para o objetivo desejado. Dessa forma, o presente trabalho tem como propósito oferecer uma visão histórica dos veículos aéreos não tripulados (VANT), abordando o cenário atual de mercado, suas diversas aplicações industriais, vantagens da utilização dos mesmos, classificações e classes. Além disso, apresenta o desenvolvimento de um software em Python, utilizando a biblioteca Streamlit, destinado a facilitar a análise de desempenho de voos de VANT. O software proporciona aos engenheiros a capacidade de examinar detalhadamente o voo, visando a otimização do projeto e a identificação de potenciais riscos operacionais, a partir de gráficos gerados através do software.

Palavras-chave: Veículos Aéreos Não Tripulados, Desempenho de Voo, Software de Análise, Otimização de Projeto e Riscos Operacionais.

ABSTRACT

FIORI, L.T. **Software Development for Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Performance Analysis**. 2023. 59 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Aeronáutica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia - MG, 2023.

During the aircraft design, a detailed performance analysis of various design variables is of utmost importance. Therefore, care and flexibility are necessary to adapt the local optimal points of each variable so that they do not negatively interfere with others. Aviation, in its conception and operation, is defined by constant trade-offs that must be studied to maximize gains and minimize losses for the desired objective. Thus, the present work aims to provide a historical overview of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), addressing the current market scenario, their diverse industrial applications, the advantages of their use, classifications, and classes. Additionally, it presents the development of a Python software, using the Streamlit library, designed to facilitate the performance analysis of UAV flights. The software provides engineers with the ability to examine flight details thoroughly, aiming for project optimization and the identification of potential operational risks, through graphs generated by the software.

Keywords: Unmanned Aerial Vehicles, Flight Performance, Analysis Software, Project Optimization, Operational Risks.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Mercado de drone e previsão 2023-2030.	18
Figura 2 – Operações com VANT entre os anos 2016-2022	19
Figura 3 – Métodos de aplicação com drones: utilizando drones para trabalho.	22
Figura 4 – Eixos de uma aeronave.	26
Figura 5 – VANT objeto de estudo.	30
Figura 6 – Perfil de missão típica.	31
Figura 7 – Representação do sinal após a aplicação do filtro.	33
Figura 8 – Seção de configurações.	35
Figura 9 – Seção de ajustes.	36
Figura 10 – Mapa da trajetória 2D.	37
Figura 11 – Altitude da ARP.	38
Figura 12 – Velocidade da ARP.	39
Figura 13 – Altitude e velocidade da ARP simultaneamente.	41
Figura 14 – RPM do motor a combustão.	42
Figura 15 – Rolagem (roll) da ARP.	43
Figura 16 – Arfagem (Pitch) da ARP	44
Figura 17 – Fator de carga (n) da ARP.	45
Figura 18 – Mapa da trajetória 3D da ARP.	46
Figura 19 – Gráfico do RPM.	48
Figura 20 – Gráfico da altitude.	48
Figura 21 – Gráfico de arfagem (<i>pitch</i>).	49
Figura 22 – Gráfico de rolagem (<i>roll</i>).	50
Figura 23 – Gráfico de altitude.	50
Figura 24 – Gráfico de velocidade.	51
Figura 25 – Gráfico de altitude e velocidade.	51
Figura 26 – Gráfico da trajetória 2D.	52
Figura 27 – Gráfico da trajetória 3D.	53
Figura 28 – Gráfico do Fator de Carga	53
Figura 29 – Gráfico da Trajetória 2D	54
Figura 30 – Gráfico de Rolagem	54
Figura 31 – Gráfico de Altitude	55
Figura 32 – Gráfico de RPM do motor a combustão	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Categorias e métodos de aplicação de drone.	21
Tabela 2 – Dimensões da ARP.	30
Tabela 3 – Limites Operacionais da ARP.	31

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
ARP	Aeronave Remotamente Pilotada
CAGR	Compound Annual Growth Rate
EVLOS	Extended Visual Line of Sight
MTOW	Maximum Take Off Weight
NAICS	North American Industry Classification System
NOTAM	Notice to Airmen
QNH	Pressão Reduzida ao Nível do Mar pelo Gradiente Vertical da Atmosfera Padrão
SARP	Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado
VLOS	Visual Line of Sight
VTOL	Vertical Take-off and Landing

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivos e Metodologias	14
1.2	Estruturação do Documento	14
2	REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1	Contexto Histórico	15
2.2	Cenário Atual	16
2.3	Aplicações	20
2.3.1	<i>Setores Industriais</i>	23
2.4	Classificação	24
2.4.1	<i>Drone</i>	24
2.4.2	<i>VANT</i>	24
2.4.3	<i>ARP</i>	24
2.4.4	<i>SARP</i>	25
2.5	Classes	25
2.6	Eixos da Aeronave	26
2.7	Missão	27
3	METODOLOGIA	28
3.1	Software	28
3.2	Aeronave	29
3.3	Limites Operacionais	30
3.4	Missão Típica	31
3.5	Aquisição de Dados	32
3.6	Log de Voo	32
3.7	Filtro	32
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	34
4.1	Painel de Configurações	34
4.2	Painel Principal	35
4.3	Gráficos Gerados	36
4.3.1	<i>Trajectoria 2D</i>	36
4.3.2	<i>Altitude</i>	38
4.3.3	<i>Velocidade</i>	39

4.3.4	<i>Velocidade e Altitude</i>	40
4.3.5	<i>RPM do Motor a Combustão</i>	41
4.3.6	<i>Rolagem (Roll)</i>	43
4.3.7	<i>Arfagem (Pitch)</i>	44
4.3.8	<i>Fator de Carga</i>	45
4.3.9	<i>Trajectoria 3D</i>	46
4.4	Arquivos Complementares	47
4.5	Estudo de Caso 1	47
4.6	Estudo de Caso 2	49
5	CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS	56
5.1	Conclusões	56
5.2	Perspectivas para Trabalhos Futuros	57
	REFERÊNCIAS	58

INTRODUÇÃO

Os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) são aeronaves controladas remotamente que visam realizar tarefas de forma mais rápida, eficiente e com o menor custo e risco. Eles são usados nas áreas civis e militar. Algumas formas de utilização civil seria para vigilância de tragédias como queimadas, inundações, deslizamento de terras ou até para monitoramento de tráfego. No campo militar, as aeronaves não tripuladas são usadas para inteligência e estratégia, vigilância, marcação de alvos, entre outras (SALAZAR; LOZANO; ESCARENO, 2009).

Nos últimos anos, os VANTs têm se destacado como tecnologias versáteis e transformadoras, encontrando aplicações inovadoras em uma ampla gama de setores. A rápida evolução dessas aeronaves não só revolucionou as abordagens tradicionais de trabalho, mas também criou uma demanda crescente e dinâmica que tem sido observada em mercados ao redor do mundo. Com sua capacidade de proporcionar eficiência, precisão e uma nova perspectiva de operações, os VANT vêm desempenhando um papel vital na mudança de paradigma em muitos campos.

A acessibilidade financeira do desenvolvimento e homologação de VANT, quando comparada aos requisitos da aviação convencional, tem propiciado a entrada de inúmeras empresas nesse setor em constante crescimento. A agilidade que isso proporciona no processo de criação e lançamento de novos produtos tem redefinido as expectativas do mercado, estimulando a inovação e a competição.

Esse fenômeno é ainda mais evidente pela crescente inserção dos drones em diversos setores da economia. Seja na realização de mapeamentos precisos e inspeções eficientes em missões de segurança e defesa, pulverização agrícola na agronomia ou até mesmo na transformação da logística de entrega de mercadorias, os VANTs têm demonstrado potencial para redefinir as operações em uma variedade de contextos. A vantagem de custos que eles oferecem em comparação com abordagens tradicionais é um dos principais impulsionadores desse crescimento exponencial (PECHARROMÁN; VEIGA, 2017).

1.1 Objetivos e Metodologias

O presente trabalho tem como objetivo desenvolver um software para analisar um VANT em missão de segurança e defesa. Para atingir essa meta, uma metodologia foi adotada, permitindo a integração de análises aprofundadas de desempenho. O software oferecerá uma visualização interativa de dados relacionados à altitude, velocidade, RPM, *roll*, *pitch*, trajetória da aeronave, entre outras variáveis de interesse, visando proporcionar uma compreensão detalhada das capacidades e limitações dessas aeronaves em diversos cenários.

A abordagem escolhida envolve a utilização da biblioteca Python de código aberto, streamlit. O streamlit é notável pela sua habilidade em transformar análises complexas em aplicativos da web interativos de forma eficiente. Esta escolha é altamente congruente com o escopo deste projeto, permitindo a criação de uma interface de usuário interativa que facilita a análise profunda do desempenho em missões de segurança e defesa. A metodologia será avaliada a partir de dados disponibilizados da fabricante

1.2 Estruturação do Documento

Para o presente trabalho, a estrutura ficou dividida em 5 capítulos:

- Capítulo 2: Este capítulo almeja explorar o contexto histórico dos VANTs, examinando o cenário contemporâneo e o mercado para esse tipo de aeronave. Adicionalmente, serão abordadas as múltiplas aplicações em setores específicos da indústria, as classificações correspondentes e a nomenclatura pertinente, juntamente com as classes associadas. Por último, serão apresentados alguns conceitos aeronáuticos fundamentais para análises de desempenho.
- Capítulo 3: Será apresentada a metodologia e a linguagem de programação utilizada para o desenvolvimento do software. Além disso, é apresentada a aeronave que será utilizada como referência de estudo e os principais componentes, especificações e limites operacionais. Na sequência, são listados conceitos relacionados à operação da aeronave, bem como modos de voo e o arquivo onde ficarão os dados armazenados do voo.
- Capítulo 4: Este capítulo tem como propósito apresentar o software desenvolvido, destacando os gráficos que serão gerados. Será discutida a relevância desses gráficos para a realização de uma análise aprofundada do desempenho da aeronave sob uma perspectiva de engenharia.
- Capítulo 5: Conclusão do trabalho enfatizando a importância do software para auxiliar nas análises das missões da aeronave.

REVISÃO DE LITERATURA

A aviação desempenha um papel fundamental na sociedade contemporânea, transformando a capacidade de viajar, transportar mercadorias e realizar missões diversas, desde a exploração científica até a vigilância de fronteiras. Nesse contexto, o desempenho das aeronaves emerge como um tópico central e crucial. O desafio de otimizar o desempenho das aeronaves, tanto tripuladas quanto não tripuladas, é uma busca constante por eficiência, segurança e eficácia operacional.

Este capítulo de revisão bibliográfica tem como propósito abordar o contexto histórico dos VANTs, destacando a importância dessas aeronaves na sociedade contemporânea. Serão exploradas as diversas aplicações desses veículos em diferentes setores industriais, bem como o impacto que estão gerando no mercado atual.

A compreensão da relevância desse tipo de aeronave atualmente é essencial para o desenvolvimento de software dedicado à análise de VANT, como o software implementado neste trabalho através da plataforma Streamlit em Python. Ao estabelecer uma sólida base teórica, será possível contextualizar as contribuições do software e sua relevância na avaliação do desempenho dessas aeronaves não tripuladas.

2.1 Contexto Histórico

O primeiro registro histórico do uso de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) remonta a 22 de agosto de 1849, quando o exército austríaco empregou balões carregados de explosivos no ataque à cidade de Veneza. Desde então, devido a fatores relacionados ao custo e à complexidade, essas plataformas foram tradicionalmente concebidas e adquiridas principalmente para fins militares. Um exemplo notável de precursor dos VANT modernos, embora ainda não fosse denominado como tal na época, foi representado pelas bombas voadoras V1, que os alemães utilizaram durante a Segunda Guerra Mundial para atacar alvos distantes sem expor seus pilotos

a riscos. Essas inovações continuaram a ser empregadas em diferentes conflitos posteriores.

No entanto, foi durante a Segunda Guerra do Golfo, que teve início em 2003, que os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) ganharam notoriedade perante o público em geral, pois foram amplamente empregados pelas forças norte-americanas em uma escala sem precedentes. Eles desempenharam papéis cruciais no monitoramento de adversários, na identificação de alvos e até mesmo no lançamento de armamentos guiados. A partir desse conflito, diversas nações passaram a manifestar um crescente interesse em adquirir e desenvolver essas plataformas para fins militares (PECHARROMÁN; VEIGA, 2017).

No Brasil, o primeiro registro de desenvolvimento de um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) remonta a 1982. Nesse ano, um projeto conjunto entre o Centro Técnico Aeroespacial e a Companhia Brasileira de Tratores resultou na produção de um VANT movido a jato. No entanto, é importante notar que o projeto foi encerrado antes que a aeronave realizasse seu primeiro voo. Posteriormente, outras empresas brasileiras passaram a investir nessa tecnologia, com o intuito de atender às demandas da Marinha, do Exército e da Aeronáutica. Assim como em diversas nações ao redor do mundo, o interesse primordial no contexto brasileiro em relação aos veículos não tripulados estava centrado em sua utilização como alvos aéreos para o treinamento de unidades antiaéreas em tiros reais.

O mercado civil de VANT surge no Brasil na última década impulsionado por empresas criadas por pesquisadores universitários, que uniram suas paixões por aeromodelos aos avanços dos sensores óticos digitais, eletrônica de controle e sistemas de comunicação, que permitiram agregar às suas pequenas plataformas capacidades suficientes para o seu emprego comercial. Inicialmente, apenas as plataformas de asa fixa foram exploradas e ganharam diversas melhorias, passando de câmeras simples para unidades de análise de espectro e calor nos modelos mais completos, empregados na agropecuária e mineração (PECHARROMÁN; VEIGA, 2017).

2.2 Cenário Atual

Ao longo dos anos, o desenvolvimento de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) por forças militares progrediu de forma constante. A cada ano, observou-se um aumento na produção desses dispositivos, acompanhado de avanços tecnológicos significativos. Esses avanços incluíram uma maior capacidade de voo e de realização de operações de ataque. O que tornou esses equipamentos particularmente atrativos foi sua característica fundamental de serem não tripulados, o que permitia sua utilização em cenários extremamente hostis sem expor os pilotos a riscos como a perda de vidas, acidentes e a possibilidade de serem capturados pelo inimigo. Essa característica singular tornou esses equipamentos altamente adequados para missões de alto risco, abrangendo áreas como operações de ataque, espionagem, reconhecimento e outras (OLIVEIRA, 2009).

Embora a ênfase histórica tenha sido predominantemente voltada para o uso militar,

a indústria de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) está progressivamente reconhecendo um papel cada vez mais significativo para a aplicação não militar de suas aeronaves. Isso é impulsionado pelo desenvolvimento contínuo de VANT com sensores integrados, sistemas de controle avançados e designs de fuselagem que são mais compactos, confiáveis, duráveis, leves, acessíveis e seguros (ALMEIDA, 2012).

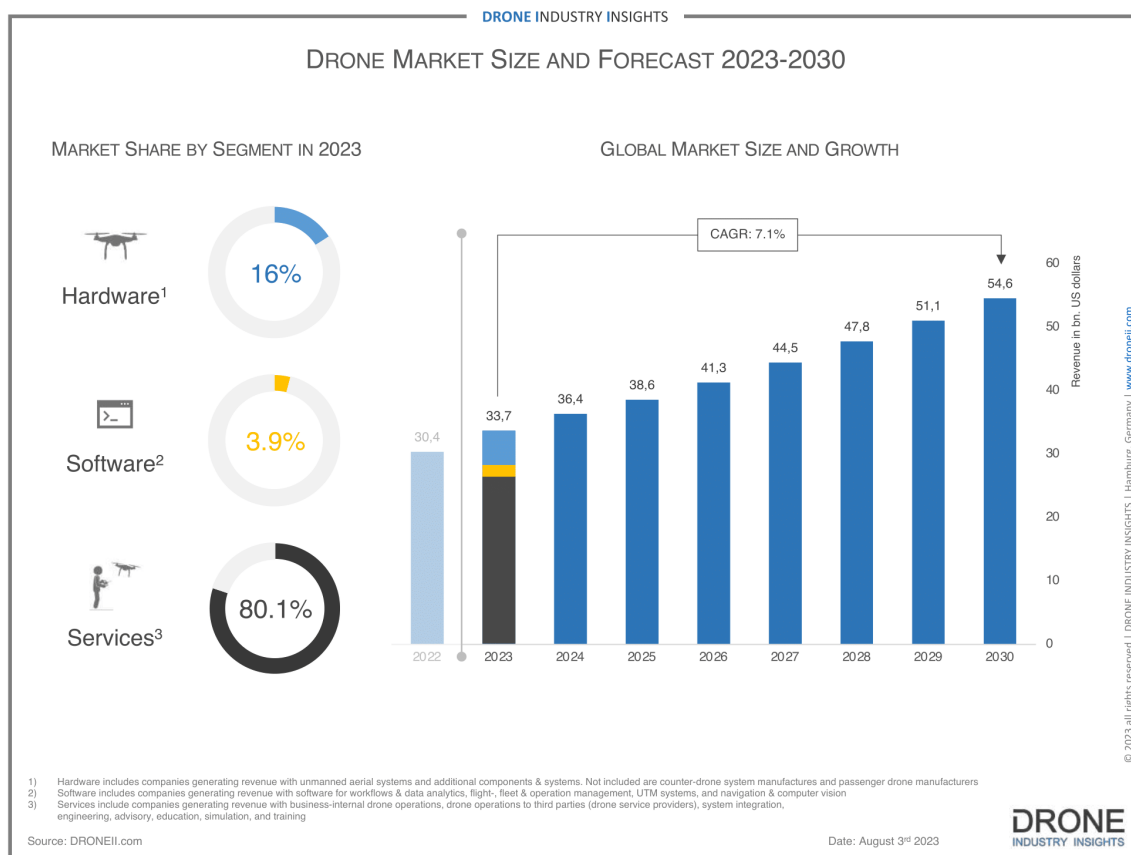
Essa evolução tecnológica está abrindo oportunidades em uma variedade de setores, incluindo agricultura, mapeamento, vigilância ambiental, inspeções industriais, entregas comerciais e muito mais. À medida que os VANT se tornam mais acessíveis e versáteis, sua utilização em aplicações civis está crescendo e transformando a maneira como diversas indústrias conduzem suas operações e coletam dados críticos. Esse desenvolvimento é um testemunho da capacidade de adaptação e inovação da indústria de VANT em resposta às necessidades em constante evolução da sociedade.

Um relatório recente da Drone Industry Insight, empresa alemã especialista no setor, projeta um cenário ainda mais otimista para o mercado global de drones. Conforme mostrado na Figura 1, esse mercado deve testemunhar um aumento de US\$ 33,7 bilhões em 2022 para impressionantes US\$ 54,6 bilhões até 2030, refletindo uma taxa de crescimento anual de aproximadamente 7,1%. Esse crescimento é sustentado por uma diversidade de aplicações, desde os setores tradicionais até as inovações que estão prestes a se materializar (ALVARADO, 2023a).

A partir da Figura 1, é possível perceber que existem três categorias no mercado de drones:

1. *Hardware*: Esta categoria inclui todos os componentes físicos dos drones e sistemas relacionados. Isso abrange os próprios drones, suas baterias, câmeras, sensores, motores e qualquer outra parte física que compõe o sistema de drones. Empresas de hardware de drones projetam, fabricam e vendem esses componentes para uso em uma variedade de aplicações, como mapeamento, inspeção, agricultura, entre outros.
2. *Software*: O software para drones inclui todas as aplicações e programas que controlam o comportamento e as funções dos drones. Isso abrange desde o software de controle de voo que permite que os drones sejam pilotados, até software de planejamento de missões, software de processamento de imagens e dados capturados pelos drones e sistemas de gerenciamento de frota. O software desempenha um papel crucial na automação de tarefas, análise de dados e otimização das operações de drones.
3. *Services*: Os serviços em relação a drones envolvem a prestação de serviços relacionados a drones, em vez de fabricação ou desenvolvimento de hardware ou software. Isso inclui serviços como operações de drones para terceiros, consultoria em drones, treinamento de pilotos de drones, integração de sistemas de drones em operações existentes, simulação de voo para treinamento, inspeções e coleta de dados realizadas por empresas especializadas em drones, entre outros.

Figura 1 – Mercado de drone e previsão 2023-2030.



Fonte: Alvarado (2023a).

Em resumo, o hardware de drones comerciais engloba fabricantes de plataformas de drones, componentes e fabricantes de sistemas. Enquanto isso, o software inclui empresas que trabalham no planejamento de voo, navegação, análise de dados e gestão de frotas. Por fim, o segmento de serviços apresenta todos os tipos de empresas de drones que prestam serviços a outras empresas, como inspeções, mapeamentos, entregas ou qualquer outro tipo de serviço. Essas três categorias desempenham papéis complementares no mercado de drones, trabalhando juntas para oferecer soluções completas para uma variedade de aplicações.

Em 2023, os serviços dominam com impressionantes 80% da atividade de mercado, enquanto o segmento de hardware é projetado para experimentar o crescimento mais rápido a uma taxa notável de 9,3% ao ano. (ALVARADO, 2023a)

No contexto brasileiro, os números não diferem em relação ao cenário global. O Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) revela um aumento notável nas solicitações de voos de drones. De acordo com a Figura 2, há um aumento de 27,8% em 2022 em relação ao ano anterior. O crescimento substancial, atingindo a marca de 1474% entre 2017 e 2022, evidencia uma trajetória ascendente constante desde a implementação das primeiras regulamentações para registros de voos (DECEA, 2023b).

Figura 2 – Operações com VANT entre os anos 2016-2022



Fonte: DECEA (2023b).

O cálculo é feito a partir dos dados da Solicitação de Acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro por Aeronaves Não Tripuladas (SARPAS), que reúne a contabilização de solicitações de voo a cada órgão regional do DECEA, os Centros Integrados de Defesa Aérea e Controle de Tráfego Aéreo (CINDACTA I, II, III e IV), e o Centro Regional de Controle do Espaço Aéreo Sudeste (CRCEA-SE), cada qual responsável por sua área de jurisdição.

Ademais, segundo a Drone Industry Insights, o Brasil se destaca como o principal mercado de drones na América do Sul, com uma estimativa de faturamento anual de US\$ 373 milhões em 2021. Esse protagonismo está projetado para continuar no país, que prevê um crescimento anual de 11,3% entre 2021 e 2026. Essa taxa de crescimento supera notavelmente importantes mercados, como os Estados Unidos (6,8%) e a China (9,7%).

Diante desse cenário de expansão exponencial, a demanda por ferramentas que possam otimizar projetos de aeronaves não tripuladas se tornam mais premente do que nunca. Nesse contexto, este trabalho se propõe a explorar o desenvolvimento de um software dedicado à análise minuciosa do desempenho dessas aeronaves, com objetivo de aprimorar o desempenho aerodinâmico e propulsivo, passando ainda por aspectos estruturais, de estabilidade e controle, entre muitos outros módulos inerentes ao projeto aeronáutico, como definido e aprofundado por (ANDERSON, 2010; SADRAEY, 2012; RAYMER, 2018). Sendo assim, contribuindo para uma compreensão aprofundada de suas capacidades e limitações em diversas aplicações.

2.3 Aplicações

Segundo Insights (2023b), as aplicações de drones abrangem uma ampla variedade de setores industriais que já utilizam essas aeronaves não tripuladas para diversas finalidades. Na verdade, é possível identificar aplicações de drones em mais de uma dúzia de setores. Abaixo, são categorizadas essas aplicações de drones em 17 setores industriais com base no Sistema de Classificação de Indústrias da América do Norte (NAICS), ajustado para fornecer uma visão mais abrangente do mercado global de drones. Esses setores incluem:

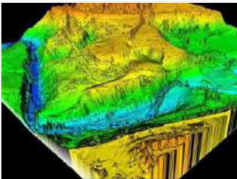
- Agricultura;
- Artes, Entretenimento e Recreação;
- Construção;
- Carga, Serviços de Correio, Intralogística e Armazenagem;
- Serviços Educacionais, Científicos e Técnicos;
- Energia;
- Saúde e Assistência em Casos de Desastres;
- Informação e Produção de Filmes;
- Seguros;
- Mineração e Extração de Pedras;
- Administração Pública;
- Serviços de Emergência Pública;
- Imóveis e Plantas Industriais;
- Segurança e Proteção;
- Telecomunicações;
- Infraestrutura de Transporte;
- Gestão de Resíduos e Serviços de Remediação.

Em um mundo em constante evolução, o uso de drones revolucionou diversas indústrias, oferecendo soluções inovadoras e eficientes para tarefas complexas. Desde a captura de imagens aéreas impressionantes até a entrega de pacotes com precisão, os drones se tornaram indispensáveis em terrenos e contextos diversos. Dessa forma, para estruturar a vasta variedade

de aplicações no espaço dos drones, as categorias listadas podem ajudar a obter uma melhor compreensão dos métodos individuais.

Em geral, há uma distinção entre duas categorias : **Sensoriamento**, na qual inclui todas as aplicações em que os dados são registrados em proximidade próxima ou remotamente e **Ação/Interação**, na qual inclui interação óptica, acústica e/ou física com alguém ou algo. Essas categorias ajudam a classificar as diferentes maneiras pelas quais os drones são utilizados, e a partir dessas categorias é possível classificar diferentes métodos de aplicações de drones, como ilustrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Categorias e métodos de aplicação de drone.

SENSING		ACTION/INTERACTION	
	Photography and Filming Aerial use of cameras to capture images and the production of aerial videos for all entertainment or advertising purposes.		Spraying and Dispensing Aerial distribution of solids (e.g. fertilizer or seeds), or the process of spreading liquid substances (e.g. water, insecticide or fertilizer)
	Mapping and Surveying Creating a simple or very accurate diagrammatic representation of a given area, to study or measure altitudes, angles, distances		Delivery Transportation of packages, food, pharmacies, or other goods either on demand or according to a given schedule.
	Inspection Examination of a given object to find faults, errors, malfunctions or other specific phenomena that might affect the functioning of it		
	Localization and Tracking Observing, seeking and supplying the geographical coordinates of activities, persons or life-stock, or detecting certain activities.		
	Other Warehousing, Measuring, Electromagnetic Surveys, GPR Surveys, Close-Proximity Sensing, Contac Sensing		Other Dropping, Announcing, Illuminating, Transmitting Interacting, Entertaining

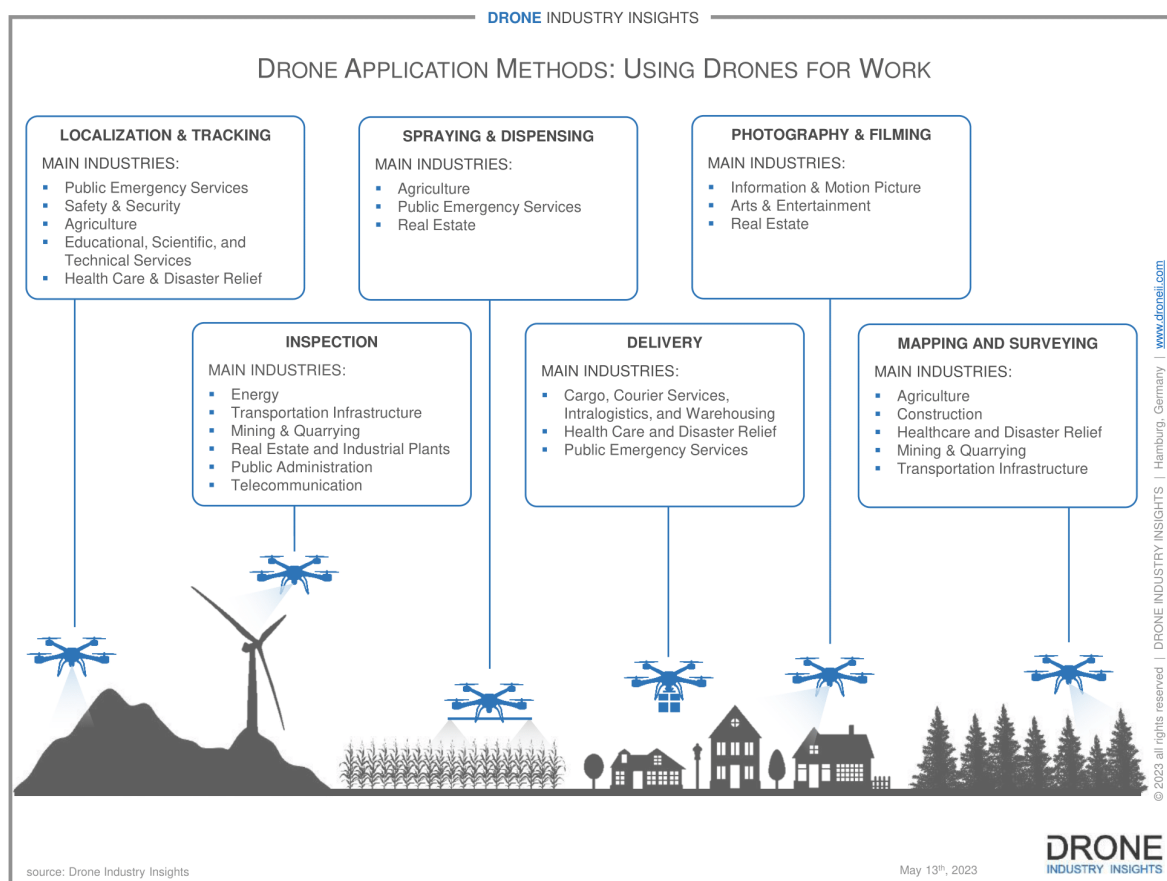
Fonte: Insights (2023a).

O termo “método de aplicação de drones” simplifica a descrição de como eles são utilizados, permitindo-nos categorizar seus usos em grupos distintos. Seja por meio de métodos de sensoriamento, como fotografia e topografia, ou interações orientadas para a ação, como

pulverização e entrega, os drones têm comprovado sua versatilidade e eficácia. Ao explorar esses métodos de aplicação, é possível observar as notáveis capacidades dos drones e seu impacto em diferentes setores industriais.

Como a Figura 3 mostra, os drones podem ser usados em todos os tipos de terrenos e contextos para realizar tarefas de maneira mais eficiente do que um ser humano ou outras máquinas. O termo "método de aplicação de drones" pode parecer técnico, mas ajuda a evitar formulações longas, como "o uso de drones para fotografar locais" (método de aplicação: fotografia) ou "uso de drones para levantamento de terrenos" (método de aplicação: topografia). Embora possa haver uma infinidade de termos altamente específicos para descrever o que os drones fazem (por exemplo, monitorar, levantar, pulverizar, soltar, coletar, dispensar, etc.), a maioria dos usos de drones pode ser agrupada e estruturada da maneira descrita nos parágrafos a seguir.

Figura 3 – Métodos de aplicação com drones: utilizando drones para trabalho.



Fonte: Alvarado (2023b).

Uma categoria de usos de drones é composta por **métodos de sensoriamento**, nos quais os dados são registrados pelo drone sem nenhum contato físico com outros objetos. O mais conhecido deles é a **fotografia e filmagem**, que envolve o uso aéreo de câmeras para capturar

imagens e produzir vídeos aéreos. Enquanto isso, o **mapeamento e levantamento** se concentra em criar uma representação simples ou muito precisa de uma área específica para estudar ou medir altitudes, ângulos e distâncias. A **inspeção** envolve a análise de um objeto específico para encontrar falhas, erros, mau funcionamento ou outros fenômenos que possam afetar o seu funcionamento. Por fim, neste grupo, a **localização e rastreamento** são usados para observar, buscar e fornecer as coordenadas geográficas de atividades, pessoas ou gado, ou para detectar certas atividades.

Outra categoria para classificar o uso de drones é a de **métodos de ação/interação**. Mais proeminentemente nesta categoria, encontram-se dois tipos. **pulverização e dispensação** são definidos como a distribuição aérea de sólidos (por exemplo, fertilizantes ou sementes) ou o processo de espalhar substâncias líquidas (por exemplo, água, inseticida ou fertilizante). O segundo método mais discutido é a **entrega**, que é, claro, o transporte de pacotes, alimentos, medicamentos ou outros bens, seja sob demanda ou de acordo com um cronograma predefinido.

Dentro desses dois grupos, ainda pode-se criar outros métodos, como armazenamento, medição, sensoriamento de contato, iluminação ou transmissão. Esses métodos de aplicação se encaixariam menos precisamente nas subcategorias acima, mas ainda são usos relativamente comuns de drones em toda a indústria. Dito isso, é hora de direcionar a atenção dos métodos de aplicação específicos de drones para setores industriais como um todo.

2.3.1 Setores Industriais

Quando fala-se sobre o uso de drones na **construção**, há muitas aplicações possíveis, como, por exemplo: drones podem realizar imagens aéreas para planejamento de locais, gestão e comunicação (método de fotografia e filmagem); eles também podem fazer levantamentos de locais de construção e produzir levantamentos topográficos ou reconstruções 3D (método de mapeamento e topografia); e frequentemente vê-se o uso de drones para monitorar locais de construção a fim de evitar invasões ilegais ou roubos de ativos ou suprimentos do local (método de localização e rastreamento).

Da mesma forma, para drones na **agricultura**, onde eles podem identificar/localizar animais mortos, feridos ou doentes (método de inspeção no sub-setor de produção animal), ou pulverizar culturas com pesticidas ou inseticidas (método de dispensação e pulverização no sub-setor de produção agrícola), ou realizar inventário florestal e monitoramento de saúde das culturas (método de mapeamento e topografia no sub-setor florestal).

A Figura 3 mostra, por exemplo, que o método de Inspeção é mais comum nas indústrias de Energia, Transporte e Mineração, entre outras. Alternativamente, olhando para os vários métodos descritos, seria possível concluir que, na indústria Agrícola, o uso de drones frequentemente envolve Pulverização e Dispensação, Mapeamento e Levantamento, e às vezes Localização e Rastreamento.

2.4 Classificação

2.4.1 Drone

O termo “drone”, que teve sua origem nos Estados Unidos da América (EUA), está se disseminando globalmente para descrever qualquer objeto voador não tripulado, independentemente de seu propósito (profissional, recreativo, militar, comercial, etc.), origem ou características. Em outras palavras, é uma denominação genérica, desprovida de embasamento técnico ou definição legal. No contexto brasileiro, esse termo está mais comumente associado a plataformas de menor porte utilizadas para atividades de lazer e filmagens aéreas.

2.4.2 VANT

O termo VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado) representa a terminologia oficial estabelecida pelos órgãos reguladores brasileiros no âmbito do transporte aéreo para definir esse tipo específico de plataforma. De acordo com a legislação aplicável, particularmente a Instrução do Comando da Aeronáutica ICA 100-40 (DECEA, 2023a), um VANT é caracterizado como qualquer aeronave concebida para operar sem um piloto a bordo. No entanto, é importante ressaltar que, para ser considerada um VANT, a aeronave deve ter um propósito não recreativo e carregar uma carga útil (*payload*¹) embarcada.

Em outras palavras, a definição legal distingue entre drones que são usados com fins recreativos ou esportivos e aqueles que são classificados como VANTs. Qualquer plataforma não tripulada utilizada como um hobby ou para práticas esportivas está sujeita à regulamentação aplicável a aeromodelos e não se enquadra na legislação que rege os VANTs.

2.4.3 ARP

Existem dois tipos distintos de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs). O primeiro e mais conhecido é o ARP (Aeronave Remotamente Pilotada), que em inglês significa “*Remotely-Piloted Aircraft (RPA)*”. Nessa categoria, o piloto não está presente a bordo da aeronave, mas a controla remotamente por meio de uma interface externa, que pode ser um computador, um simulador, um dispositivo digital, um controle remoto, entre outros.

Por outro lado, existe uma subcategoria de VANT denominada “Aeronave Autônoma”. Nesse caso, uma vez programada, a aeronave não permite intervenção externa durante a realização do voo. Em outras palavras, ela é capaz de operar de forma independente, seguindo as instruções pré-programadas sem a necessidade de controle remoto ou intervenção humana durante o voo.

¹ Todos os elementos da aeronave não necessários para o voo e pilotagem, mas que são carregados com o propósito de cumprir objetivos específicos (DECEA, 2023a).

2.4.4 SARP

Há ainda o termo SARP (Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada), que se refere não apenas à aeronave em si, mas engloba todos os elementos e recursos que compõem o sistema responsável por operar a aeronave remotamente. Isso inclui a estação de pilotagem remota, o enlace de comando que possibilita o controle da aeronave, bem como outros equipamentos e componentes relacionados ao voo da aeronave não tripulada. Portanto, quando se refere à SARP, é considerado o conjunto completo de componentes que tornam possível o funcionamento e controle de uma aeronave remotamente pilotada.

2.5 Classes

As aeronaves remotamente pilotadas (ARP) estão divididas em três classes, de acordo com o peso máximo de decolagem, no qual deve ser considerado os pesos da bateria ou combustível do equipamento e de carga eventualmente transportada. A classificação é aplicável apenas para as RPAs, e não para os aeromodelos (ANAC, 2023).

- **Classe 1:** Peso máximo de decolagem maior que 150 kg;
- **Classe 2:** Peso máximo de decolagem maior que 25 kg e até 150 kg;
- **Classe 3:**
 - Aeromodelos ou ARP com peso máximo de decolagem de até 250 g;
 - ARP com peso máximo de decolagem maior que 250 g e até 25 kg;
 - RPA destinada para aplicação de agrotóxicos e afins, adjuvantes, fertilizantes, inoculantes, corretivos e sementes sobre áreas desabitadas, independentemente do peso máximo de decolagem da RPA, desde que operando VLOS² ou EVLOS³ e até 400 pés AGL.

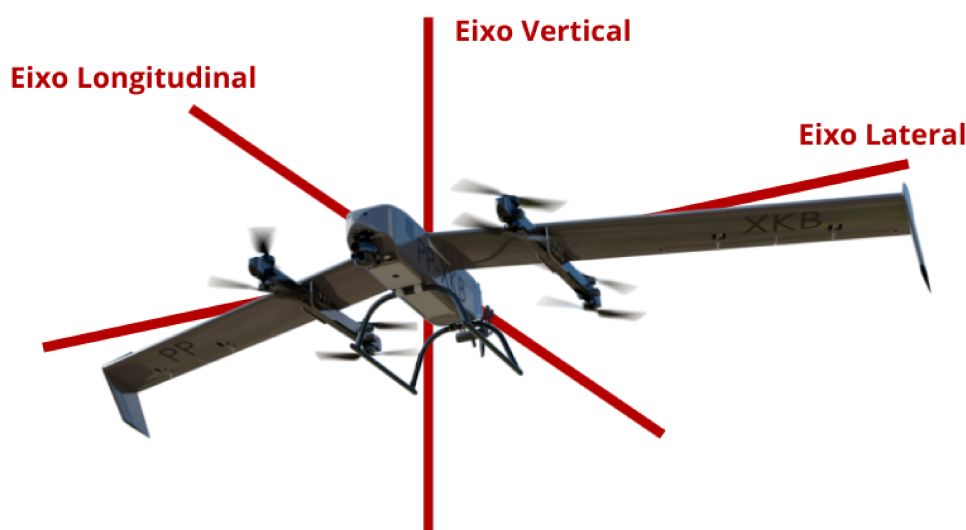
² Operação em Linha de Visada Visual (*Visual Line of Sight – VLOS operation*) significa a operação em condições meteorológicas visuais (VMC), na qual o piloto, sem o auxílio de observadores de ARP, mantém o contato visual direto (sem auxílio de lentes ou outros equipamentos) com a aeronave remotamente pilotada, de modo a conduzir o voo com as responsabilidades de manter as separações previstas com outras aeronaves, bem como de evitar colisões com aeronaves e obstáculos (ANAC, 2023).

³ Operação em Linha de Visada Visual Estendida (*Extended Visual Line of Sight – EVLOS operation*) significa a operação em VMC, na qual o piloto remoto, sem auxílio de lentes ou outros equipamentos, não é capaz de manter o contato visual direto com a RPA, necessitando dessa forma do auxílio de observadores de RPA para conduzir o voo com as responsabilidades de manter as separações previstas com outras aeronaves, bem como de evitar colisões com aeronaves e obstáculos, seguindo as mesmas regras de uma operação VLOS (ANAC, 2023).

2.6 Eixos da Aeronave

As aeronaves são objetos complexos que se movem em um ambiente tridimensional, e sua orientação e movimento são controlados por meio de três eixos principais: o eixo lateral, o eixo longitudinal e o eixo vertical. Cada um desses eixos desempenha um papel fundamental na estabilidade, controle e manobrabilidade de uma aeronave. Dessa forma, a Figura 4 representa os eixos Lateral, Longitudinal e Vertical de uma aeronave

Figura 4 – Eixos de uma aeronave.



Fonte: Elaborado pelo Autor

O eixo longitudinal se estende da parte frontal à traseira da aeronave, passando pelo centro da fuselagem. Movimentos em relação ao eixo longitudinal são conhecidos como **rolagem**. A rolagem envolve inclinar a aeronave para um dos lados, permitindo que ela gire em torno do eixo longitudinal. O controle da aeronave ao longo do eixo longitudinal é geralmente realizado utilizando ailerons nas asas. Dessa forma, o eixo longitudinal é essencial para controlar a inclinação da aeronave e efetuar curvas, por fim, avaliar a estabilidade lateral da aeronave.

O eixo lateral é perpendicular à direção de voo da aeronave. Ele se estende da asa direita à asa esquerda, passando pelo centro da fuselagem. Movimentos em relação ao eixo lateral são chamados de **arfagem**. A arfagem envolve a inclinação do nariz da aeronave para cima ou para baixo, permitindo que ela suba ou desça. O controle ao longo do eixo lateral é tipicamente realizado por meio do profundor na cauda da aeronave. Sendo assim, este eixo é crucial para controlar a atitude da aeronave em relação ao horizonte, somado a isso, avaliar a estabilidade longitudinal da aeronave

O eixo vertical é perpendicular ao plano formado pelos eixos lateral e longitudinal. Ele se estende da parte superior à parte inferior da aeronave, passando pelo centro da fuselagem.

Movimentos em relação ao eixo vertical são conhecidos como **guinada**. A guinada envolve girar a aeronave em torno do eixo vertical, permitindo que ela mude de direção. O controle ao longo do eixo vertical é geralmente realizado por meio do leme de direção na cauda da aeronave. Este eixo é crucial para controlar a direção da aeronave e sua capacidade de fazer curvas, por fim, avaliar a estabilidade direcional da aeronave.

Em resumo, os eixos lateral, longitudinal e vertical são fundamentais para o controle e a estabilidade de uma aeronave. O entendimento e o uso adequado desses eixos são essenciais para pilotos e engenheiros aeronáuticos, pois permitem a manipulação precisa da aeronave durante o voo, garantindo sua segurança e eficácia em diversas situações.

2.7 Missão

A missão de uma aeronave é a finalidade para a qual ela foi projetada e é utilizada. Cada aeronave, seja ela uma aeronave comercial, militar, de carga ou de passageiros, tem uma missão específica que define suas operações e funções. A missão de uma aeronave pode variar amplamente e incluir tarefas como transporte de passageiros, carga, busca e resgate, vigilância, ataque militar, entre outras.

Somado a isso, a missão de uma aeronave também influencia seu design, sistemas e capacidades. Por exemplo, uma aeronave de transporte comercial é projetada para acomodar passageiros confortavelmente e transportar carga de maneira eficiente, enquanto uma aeronave de combate é otimizada para desempenhar missões militares, incluindo manobras de alta velocidade e capacidades de armamento.

Por fim, a missão típica de um VANT vai depender do método de aplicação para qual o drone foi projetado. As diversas aplicações, outrossim, os diversos métodos foram definidas na Seção 2.3. Sendo assim, para um determinado método de aplicação é definido a missão típica do VANT.

METODOLOGIA

Este capítulo delinea as metodologias empregadas no presente estudo. Inicialmente, é introduzida a linguagem de programação selecionada para o desenvolvimento do software, complementada pela descrição da biblioteca adotada para a análise de desempenho. Subsequentemente, será apresentada a aeronave de referência para este estudo, acompanhada de detalhes específicos fornecidos pelo fabricante e limites operacionais fundamentais para a avaliação do projeto.

Além disso, são percorridas as características da missão típica da aeronave. Por fim, são abordados os detalhes referentes ao arquivo que armazenará os dados provenientes de cada voo, os quais serão variáveis sujeitas à análise no software desenvolvido.

3.1 Software

A metodologia adotada para o desenvolvimento do software de análise de dados para VANTs desempenha um papel fundamental na interpretação e extração de informações dos logs de voo de tais aeronaves. Os principais aspectos da metodologia incluem a criação do software, a interface do usuário, a escolha da linguagem de programação e a importância do software para a análise de dados.

O software de análise de dados para VANT está sendo desenvolvido sob medida, levando em consideração as necessidades específicas da pesquisa. Este software será uma ferramenta essencial para processar, visualizar e interpretar os dados registrados durante os voos dos VANTs.

A interface do software foi projetada priorizando a usabilidade e eficiência na análise de dados. Uma das características centrais da interface é a capacidade de seleção do arquivo de log a ser analisado. Os logs de voo dos VANTs contêm informações cruciais, como altitude, trajetória, velocidade, rolagem, arfagem, entre outros. O software oferecerá uma interface intuitiva e amigável, permitindo ao usuário selecionar o log desejado e gerar gráficos representativos desses

dados.

Com o objetivo de garantir eficiência e flexibilidade no desenvolvimento do software, o Python foi escolhido como linguagem de programação para a implementação do código principal. O Python oferece uma ampla variedade de recursos e bibliotecas que simplificam a análise e visualização de dados, tornando-se a escolha ideal para este projeto. Dessa forma, está sendo utilizado o Streamlit, o qual é uma biblioteca de código aberto em Python que é usada para criar rapidamente aplicativos da web interativos para visualizar dados e análises. Ele se destaca por sua simplicidade e facilidade de uso.

Os softwares criados com o Streamlit são frequentemente usados para prototipagem rápida, relatórios interativos, painéis de controle de dados e demonstrações de análises. É uma ferramenta valiosa para analistas e desenvolvedores que desejam compartilhar dados e análises de uma maneira acessível e interativa.

O software desempenha um papel central nesta pesquisa, possibilitando a análise detalhada e precisa dos dados coletados durante os voos dos VANTs. A análise de dados é fundamental para compreender o desempenho das aeronaves, identificar áreas de aprimoramento, validar modelos de simulação e tomar decisões informadas. Além disso, a visualização por meio de gráficos facilita a interpretação e comunicação dos resultados, tornando-os mais acessíveis.

Resumidamente, o desenvolvimento deste software personalizado representa uma etapa crítica da metodologia, fornecendo as ferramentas necessárias para analisar e extrair informações valiosas dos logs de voo dos VANTs. A interface intuitiva e os recursos de análise desempenham um papel fundamental no suporte à pesquisa e no aprimoramento da compreensão do desempenho dessas aeronaves não tripuladas.

É importante ressaltar que os dados apresentados abaixo, isto é, da Seção 3.2 até a 3.6, foram gentilmente fornecidos pela empresa XMobots. Portanto, é expressamente proibida a divulgação desses dados sem a prévia autorização do autor.

3.2 Aeronave

A aeronave utilizada como objeto de estudo foi um VANT desenvolvido para desempenhar missões de vigilância e monitoramento de fronteira terrestre. É uma aeronave híbrida do tipo asa alta, monomotor *pusher* com hélice de passo fixo, sistema VTOL (*Vertical Take-off and Landing*) elétrico (XMOBOTS, 2022).

Figura 5 – VANT objeto de estudo.



Fonte: Xmobots (2022).

O VANT em questão, na verdade, é uma ARP, pois não opera de forma autônoma, permitindo intervenção externa durante a realização de um voo. Trata-se de uma ARP com peso máximo de decolagem (MTOW) de 150 kg, sendo, portanto, classificada como Classe 2, conforme as normas da ANAC (ANAC, 2023). Por fim, a Tabela 2 apresenta algumas das principais dimensões dessa ARP, fornecendo informações adicionais sobre suas características físicas.

Tabela 2 – Dimensões da ARP.

Parâmetro	Valor
Envergadura	7,7 m
Comprimento	2,9 m
Altura	0,98 m

Fonte: Xmobots (2022).

3.3 Limites Operacionais

A Tabela 3 apresenta alguns dos limites operacionais da ARP, oferecendo uma visão das restrições e parâmetros essenciais fundamentais para a operação da aeronave. Dessa forma, garantindo que ela permaneça dentro de margens seguras durante todas as fases da missão.

Tabela 3 – Limites Operacionais da ARP.

Parâmetro	Valor
Velocidade de Estol	21,6 m/s
RPM máximo de operação	5700 rpm
Ângulo máximo de arfagem	20°
Ângulo mínimo de arfagem	−25°
Ângulo máximo de rolagem	45°
Fator de Carga Positivo (Máximo)	+3,8
Fator de Carga Negativo (Máximo)	−1,5
Teto absoluto (AMSL)	10000 ft (3048 m)

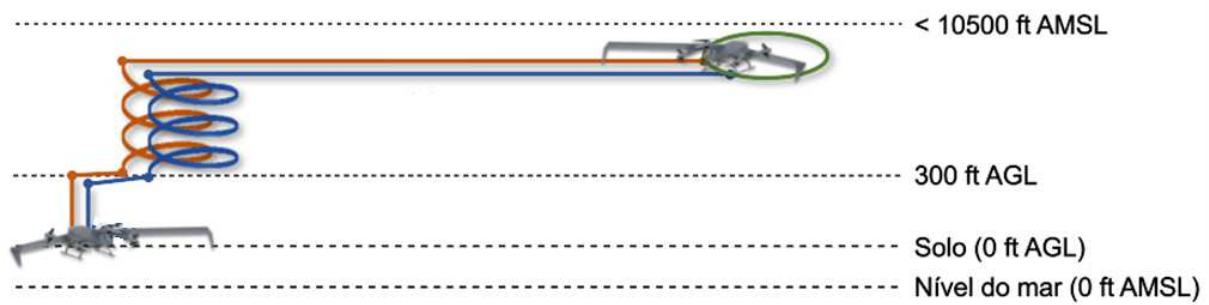
Fonte: Xmobots (2022).

3.4 Missão Típica

A ARP, especialmente projetada para missões de segurança e defesa, desempenha um papel crucial na salvaguarda de territórios e na resposta a ameaças emergentes. Sua missão típica envolve a vigilância persistente e monitoramento contínuo, além da coleta estratégica de informações em tempo real, permitindo uma análise precisa e eficiente do cenário operacional. Essa aeronave é equipada com tecnologias avançadas, como câmeras de alta resolução, sensores especializados e sistemas de comunicação seguros, proporcionando uma visão abrangente e detalhada do campo de batalha.

Mais especificamente, a missão típica da ARP possui sete etapas, a decolagem vertical e transição, a subida até a altitude desejada, o cruzeiro de ida até a área de interesse, a missão em si, aonde são realizados diversos tipos de operações, o cruzeiro de retorno e então a descida seguida da transição e pouso vertical. A Figura 6 ilustra o perfil de um voo genérico.

Figura 6 – Perfil de missão típica.



Fonte: Elaborada pelo autor.

3.5 Aquisição de Dados

A ARP possui uma controladora de voo chamada AFGNS (*Automatic Flight Guidance Navigation System*), este equipamento é responsável por integrar diversos sensores embarcados como IMU, GNSS, barômetro, magnetômetro, termômetro e Pitot que fornecem os dados necessários para o guiamento da aeronave.

Dessa forma, esses dados são transmitidos para a ECS (Estação de Controle em Solo) através de um enlace de dados ponto a ponto como uma taxa de atualização de 100 Hz. Em solo também, esses dados são monitorados em tempo real pelo Matlab através de um computador, por fim, após o término do voo, os dados são coletados e armazenados em CSV para serem processados pelo software.

3.6 Log de Voo

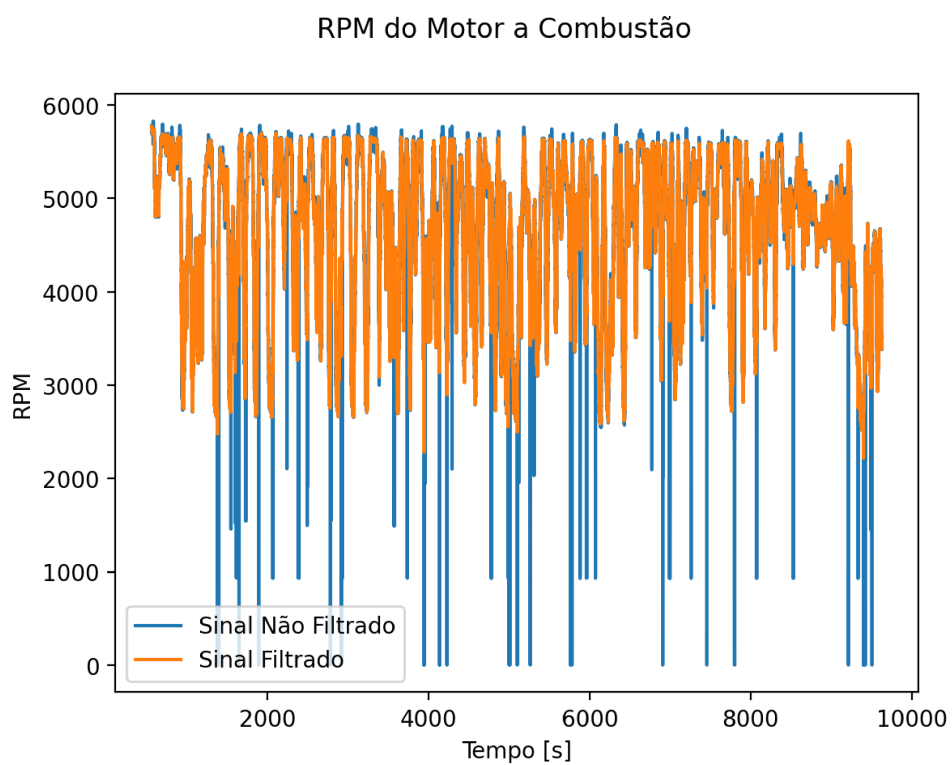
A partir dos voos realizados com a aeronave apresentada anteriormente 3.2, são gerados logs contendo dados adquiridos dos voos realizados. Dessa forma, a partir desse arquivo é possível realizar um tratamento de dados através do software desenvolvido. Esse procedimento possibilita que engenheiros realizem uma análise aprofundada dos dados, visando otimizar o projeto de maneira abrangente.

3.7 Filtro

Na área de processamento de sinais, a aplicação de filtros desempenha um papel crucial na extração de informações significativas e na eliminação de ruídos indesejados em sinais temporais. O filtro implementado no código em questão é um filtro *Butterworth digital*, uma ferramenta versátil em processamento de sinais para atenuar componentes de alta frequência e suavizar séries temporais. Este filtro pertence à classe de filtros passa-baixas, o que significa que permite a passagem de frequências mais baixas enquanto atenua aquelas acima de uma determinada frequência de corte.

A aplicação prática deste filtro em séries temporais visa aprimorar a qualidade dos dados, removendo variações de curto prazo ou ruídos de alta frequência, enquanto preserva as características de interesse de frequência mais baixa. A Figura 7 apresenta a diferença do sinal após a aplicação do filtro de um gráfico de RPM, essa comparação visual destacará como o filtro contribui para a suavização do sinal, realçando padrões de interesse e facilitando a interpretação dos dados.

Figura 7 – Representação do sinal após a aplicação do filtro.



Fonte: Elaborada pelo autor.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção, apresentam-se os resultados derivados da aplicação do software de análise de dados para VANT, seguidos de uma análise das implicações observadas. Os resultados abrangem diversas métricas relevantes para a compreensão do desempenho dos VANTs durante os voos, e a discussão destaca as interpretações e conexões essenciais no contexto do desenvolvimento de software, desempenho de VANTs e suas aplicações.

O software proporcionou a extração de métricas essenciais relacionadas ao desempenho dos VANT. Incluem-se nestas métricas a altitude em diferentes momentos do voo, a trajetória percorrida, RPM do motor, a velocidade, a rolagem, o pitch e fator de carga. Gráficos detalhados foram gerados para permitir uma visualização clara e abrangente do desempenho ao longo do tempo e em diferentes condições operacionais.

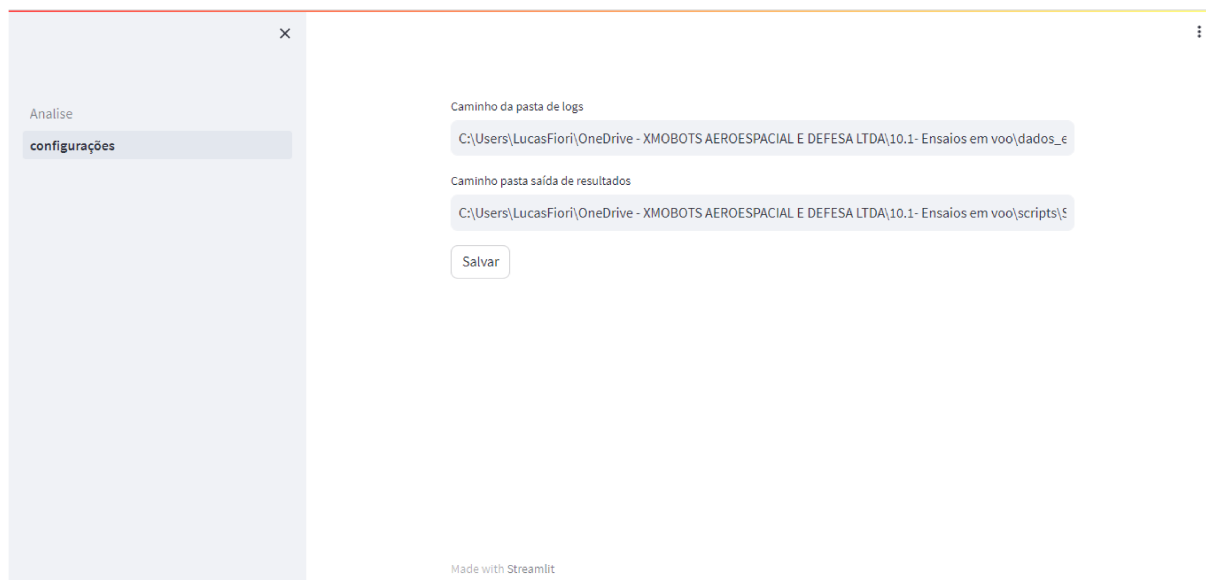
A discussão dos resultados concentra-se na interpretação das tendências observadas nos dados, relacionando-as aos objetivos da pesquisa. Tópicos abordados incluem eficiência operacional, estabilidade em diferentes fases do voo, influência das condições atmosféricas e variações no consumo de energia. A análise dos resultados também proporciona *insights* sobre otimizações de design, estratégias de voo mais eficientes e considerações para melhorias futuras no software.

Para a apresentação do software, foi selecionada uma missão qualquer. No dia da missão, o céu estava claro, a temperatura era de 30°C, a densidade do ar era de 1,225 kg/m³ e QNH de 1015 hPa.

4.1 Painel de Configurações

Na página de configurações, apresentada na Figura 8, mostra-se o caminho da pasta onde encontram-se os logs derivados do voo. Somado a isso, o caminho para onde serão salvas as figuras, no período de tempo selecionado pelo usuário que analisará o voo.

Figura 8 – Seção de configurações.



Fonte: Elaborada pelo autor.

4.2 Painel Principal

No painel principal, localizado no lado esquerdo, encontram-se os ajustes destinados à análise, conforme ilustrado pela Figura 9. Destaca-se a presença de uma caixa que possibilita a seleção do log correspondente a um voo específico a ser analisado. Além disso, imediatamente abaixo, duas janelas temporais são apresentadas: a primeira permite a escolha do período abrangido, enquanto a segunda, subsequente à seleção prévia, oferece a oportunidade de ajustes mais refinados, proporcionando uma precisão aprimorada na análise dos dados.

É importante observar que, ao abrir o software, o tempo não é inicializado em zero, e o tempo final não corresponde ao último momento registrado no log. Esse comportamento é resultado de um filtro implementado no código, direcionado para capturar apenas o intervalo temporal no qual a Aeronave Remotamente Pilotada (ARP) está conduzindo operações em configuração de asa fixa. Tal filtro é essencial para evitar a análise de dados irrelevantes ao escopo da investigação.

Adicionalmente, disponibiliza-se uma caixa destinada à inserção do nome desejado para a pasta onde os gráficos gerados durante a análise serão armazenados. Por fim, são fornecidas informações pertinentes ao período analisado, qual fase do voo a ARP está no período de tempo analisado, elevação do terreno, tempo desde a decolagem, index de tempo selecionado pelo usuário, altitude média e altura média.

Figura 9 – Seção de ajustes.



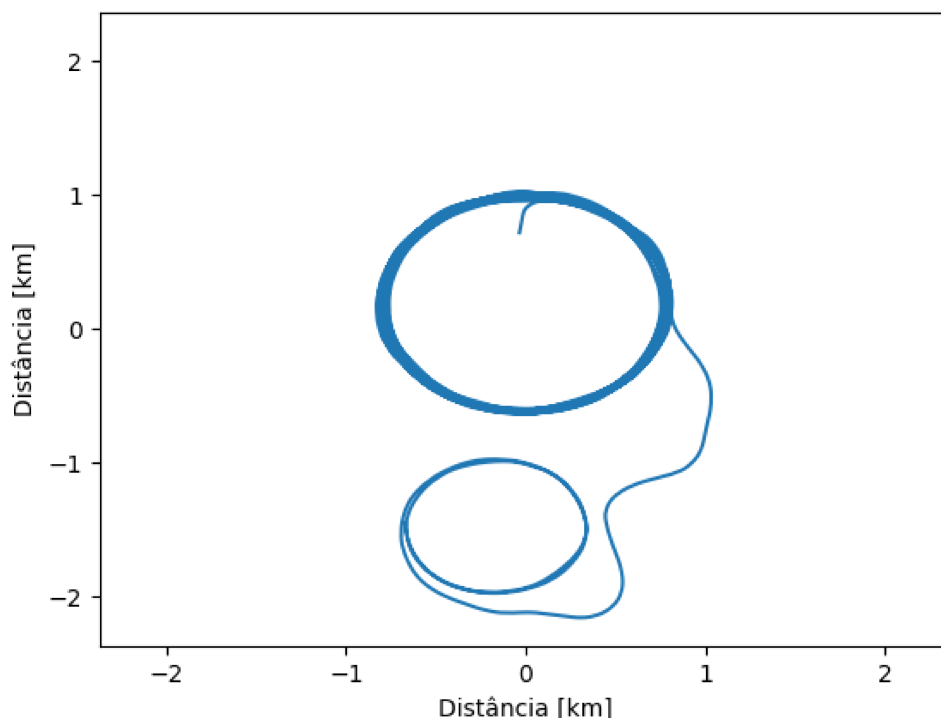
Fonte: Elaborada pelo autor.

4.3 Gráficos Gerados

4.3.1 Trajetória 2D

Primeiro gráfico apresentado é o da trajetória 2D da aeronave, representado na Figura 10. É plotada em coordenadas cartesianas a trajetória percorrida durante um determinado ensaio.

Figura 10 – Mapa da trajetória 2D.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A apresentação de um gráfico de trajetória em 2D para uma aeronave projetada para missões de segurança e defesa, desempenha um papel fundamental na análise de engenharia. Uma das principais contribuições desse gráfico é a capacidade de identificar variações inesperadas na trajetória, o que pode indicar potenciais anomalias ou eventos não planejados.

A comparação entre as missões planejadas e as trajetórias reais oferece uma visão precisa da execução das operações. Essa análise revela a precisão do percurso da aeronave, garantindo que ela esteja seguindo a trajetória correta. A detecção de variações inesperadas é crucial para a identificação de atividades suspeitas ou situações que demandam atenção imediata. Isso auxilia na garantia de que a aeronave está atendendo aos objetivos de segurança e defesa estabelecidos.

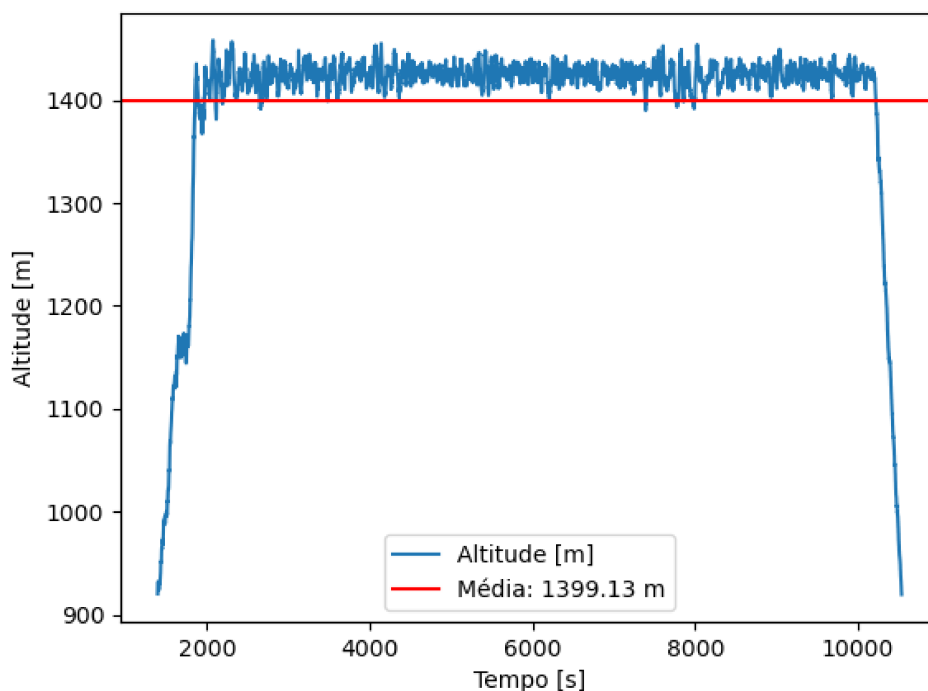
Além disso, a análise da trajetória proporciona valiosas informações sobre a eficiência operacional da aeronave durante suas missões. É possível avaliar se a aeronave está adotando trajetórias otimizadas, minimizando o consumo de combustível e maximizando a área de cobertura. Essa perspectiva é essencial para aprimorar a eficácia das missões, garantindo uma operação eficiente e estrategicamente direcionada.

Em resumo, o gráfico de trajetória em 2D não apenas oferece uma representação visual do percurso da aeronave, mas também desempenha um papel crítico na detecção de anomalias, na verificação da conformidade com trajetórias planejadas e na otimização da eficiência operacional, elementos essenciais para missões de segurança e defesa.

4.3.2 Altitude

É apresentado também um gráfico que mede a altitude em metros da aeronave durante a missão, representado pela Figura 11.

Figura 11 – Altitude da ARP.



Fonte: Elaborada pelo autor.

O gráfico de altitude desempenha um papel crucial na garantia da segurança operacional, oferecendo uma análise detalhada do comportamento da aeronave ao longo do tempo. Essa ferramenta revela padrões operacionais normais e é vital para detectar comportamentos atípicos que podem indicar problemas técnicos ou de projeto.

A consistência na manutenção de altitudes específicas ao longo do tempo proporciona informações valiosas sobre os padrões operacionais normais da aeronave. Qualquer desvio desses padrões pode indicar a presença de anomalias que merecem uma atenção mais aprofundada, contribuindo, assim, para a identificação precoce de potenciais problemas.

Além disso, a análise do comportamento da aeronave em diferentes manobras e modos de voo é essencial. Por exemplo, durante curvas, é possível observar a resposta da aeronave em termos de altitude, avaliando se há perda ou ganho durante essas manobras. Compreender o comportamento em voos retos e horizontais também é crucial para garantir a estabilidade operacional.

Em situações críticas, como mergulhos inesperados, a medição da perda de altitude fornece informações importantes sobre o desempenho da aeronave em circunstâncias adversas.

Esse tipo de análise é essencial para avaliar a capacidade da aeronave de recuperar altitude de maneira eficaz.

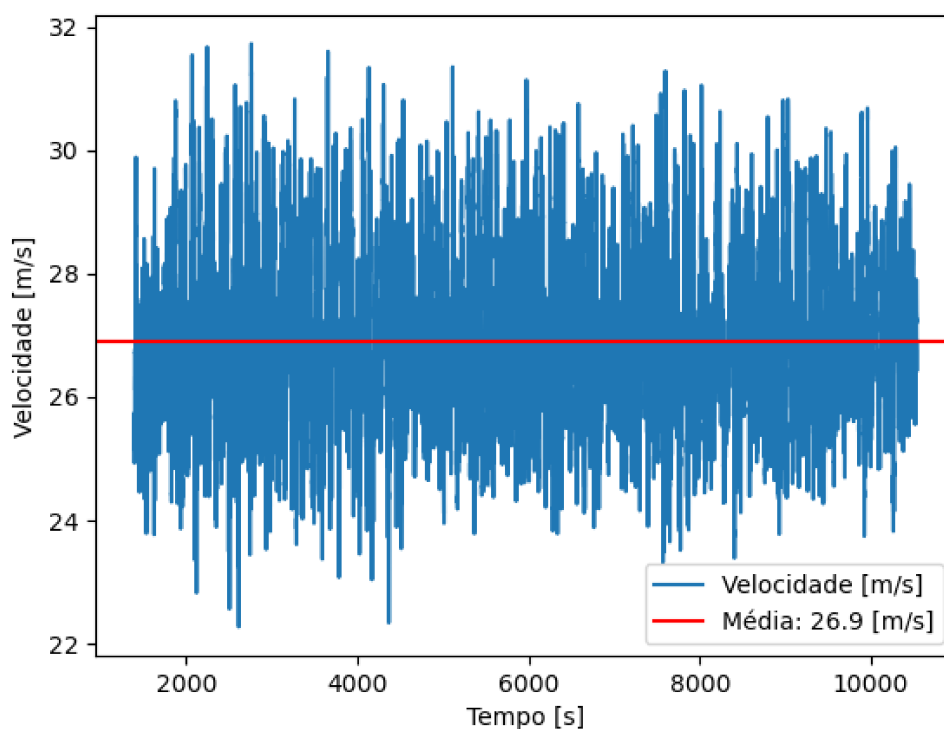
Adicionalmente, ao conduzir ensaios para avaliar o teto operacional e absoluto da aeronave, o comportamento em relação ao ganho de altitude torna-se uma métrica essencial. A observação do *rate of climb* ao longo da subida oferece *insights* sobre a capacidade da aeronave de manter um desempenho consistente e seguro em altitudes mais elevadas.

Em resumo, a análise do gráfico de altitude vai além da simples visualização da variação vertical; ela é uma ferramenta vital para garantir a segurança operacional, identificar padrões anômalos e compreender o comportamento da aeronave em diferentes condições e manobras críticas.

4.3.3 Velocidade

A inclusão de um gráfico que registra a velocidade da aeronave ao longo da missão, como representado na Figura 12, é um componente essencial na análise de engenharia.

Figura 12 – Velocidade da ARP.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A inclusão de um gráfico de velocidade é indispensável para a análise de dados de qualquer missão aeronáutica. Este gráfico desempenha um papel crucial na verificação da conformidade da velocidade com parâmetros operacionais críticos, garantindo a segurança e o desempenho adequado da aeronave ao longo da missão.

Em primeiro lugar, a avaliação da velocidade em relação à V_{NE} (velocidade que não deve ser excedida) e V_S (velocidade de estol) é essencial. O gráfico permite uma verificação contínua para garantir que a aeronave não ultrapasse limites críticos de velocidade, garantindo a integridade estrutural e a segurança operacional.

Além disso, observar o comportamento da velocidade durante curvas é de suma importância. Durante uma curva, a V_S aumenta, e o gráfico oferece uma visão clara de como a aeronave responde a essas manobras. Isso é crucial para a compreensão da dinâmica operacional da aeronave em diferentes condições e para garantir que permaneça dentro dos limites seguros durante manobras complexas.

Por fim, acompanhar a média da velocidade ao longo da missão é fundamental para garantir a consistência operacional. O gráfico oferece uma representação visual da média de velocidade, permitindo a identificação de padrões e variações que podem indicar questões operacionais ou necessidade de ajustes.

Em resumo, o gráfico de velocidade é uma ferramenta indispensável para a análise de missões aeronáuticas. Sua utilidade reside na verificação contínua dos limites de velocidade críticos, na compreensão do comportamento durante manobras específicas e na garantia da consistência operacional ao longo da missão, elementos essenciais para a segurança e o desempenho eficaz da aeronave.

4.3.4 Velocidade e Altitude

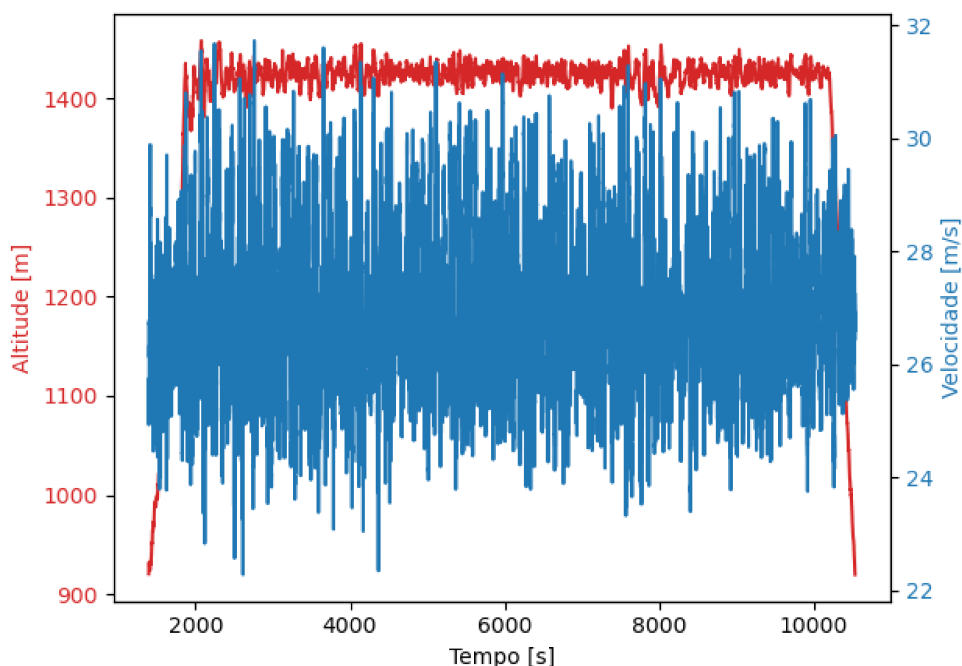
Somado a isso, existe um gráfico que correlaciona velocidade e altitude. É uma escolha analítica valiosa na análise de dados de missões aeronáuticas. Este gráfico, representado pela Figura 13, oferece uma visão abrangente e inter-relacionada das variáveis fundamentais de desempenho da aeronave.

Além das importâncias independentes de cada gráfico, a junção desses parâmetros em único gráfico pode ser essencial para avaliar o envelope de voo da aeronave juntamente com estabilidade.

Este gráfico integrado proporciona uma representação visual do comportamento da aeronave em diversas condições operacionais. Ao analisar simultaneamente a relação entre velocidade e altitude, é possível identificar padrões específicos que contribuem para a compreensão do envelope de voo.

Em situações em que a aeronave está realizando manobras críticas, como verificações de V_S (velocidade de estol), a representação conjunta de velocidade e altitude permite identificar a atitude da aeronave e a velocidade específica em que ocorreu o evento. Isso é crucial para a avaliação da estabilidade em condições extremas e para garantir que a aeronave permaneça dentro dos limites operacionais seguros.

Figura 13 – Altitude e velocidade da ARP simultaneamente.



Fonte: Elaborada pelo autor.

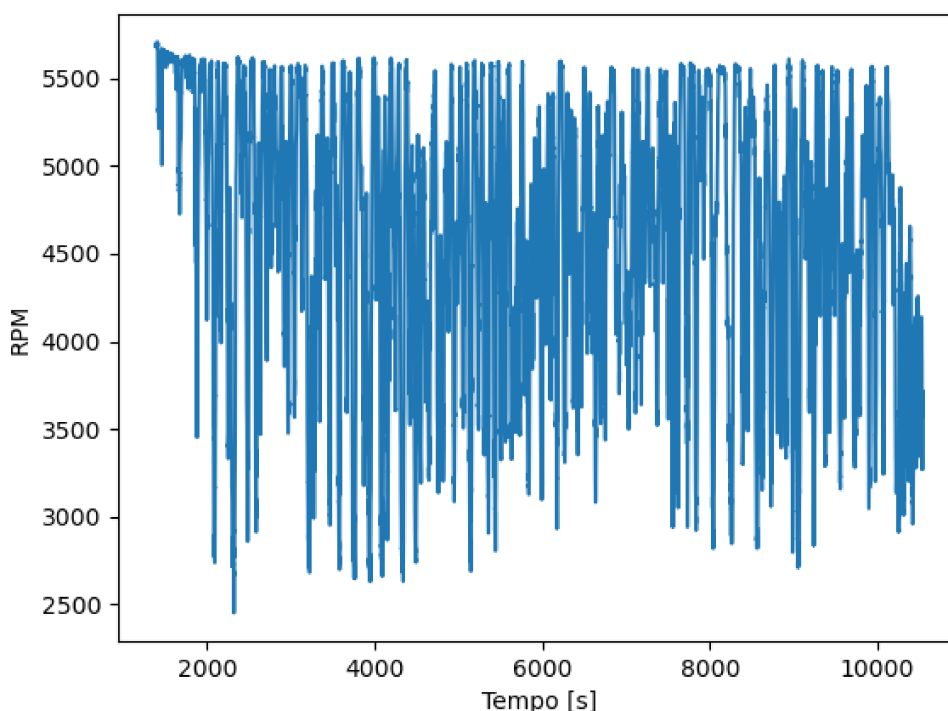
No caso de eventos extremos, como mergulhos inesperados, a análise simultânea de velocidade e altitude proporciona informações detalhadas sobre o comportamento da aeronave. Pode-se observar a velocidade atingida durante o mergulho, bem como a perda de altitude associada. Essa abordagem integrada é essencial para uma compreensão holística e rápida das condições operacionais durante eventos críticos.

Em resumo, o gráfico que une velocidade e altitude não apenas amplia a compreensão individual desses parâmetros, mas também fornece uma visão integrada do envelope de voo da aeronave. Isso é essencial para a avaliação da estabilidade em condições diversas e a identificação precisa de eventos operacionais críticos, contribuindo para a segurança e o desempenho eficaz da aeronave.

4.3.5 RPM do Motor a Combustão

Para análise do motor a combustão é apresentado um gráfico de RPM, representado pela Figura 14.

Figura 14 – RPM do motor a combustão.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A incorporação do gráfico de RPM é de importância crucial na verificação dos parâmetros operacionais do motor durante a missão aeronáutica. Este gráfico fornece informações valiosas sobre o desempenho do motor ao longo do tempo, permitindo análises detalhadas que impactam diretamente na eficiência e segurança operacional da aeronave.

Um aspecto fundamental que o gráfico de RPM aborda é a duração do motor em altos RPMs. A observação de períodos prolongados de operação no RPM máximo sugere uma baixa potência excessiva¹, indicando uma possível falta de margem de potência para manobras críticas. Isso destaca a importância de ajustes no projeto para garantir uma sobra de potência adequada em situações operacionais desafiadoras.

Durante manobras como curvas coordenadas, em que a força de sustentação é decomposta, o comportamento da RPM torna-se crucial. A análise dessas situações específicas permite avaliar a eficácia do motor escolhido para a aeronave, garantindo que a potência disponível seja suficiente para as demandas operacionais durante manobras críticas.

Outra consideração relevante é a possível indicação de sobreaquecimento do motor quando operando em altos RPMs, especialmente próximo à temperatura máxima de operação. O gráfico de RPM torna-se uma ferramenta valiosa para monitorar o comportamento térmico do motor, proporcionando insights sobre a necessidade de ajustes na refrigeração ou potencial necessidade de manutenção preventiva.

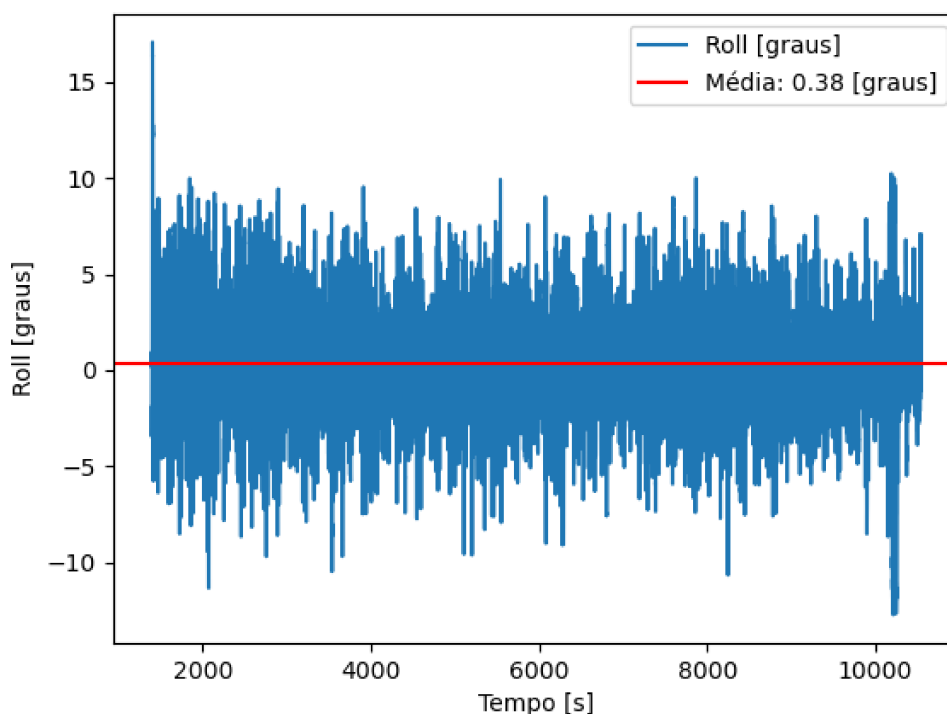
¹ Diferença entre Potência Disponível e Requerida.

Em resumo, a análise do gráfico de RPM vai além da simples observação das rotações do motor; ela oferece uma avaliação aprofundada dos parâmetros operacionais, indicando a eficiência do sistema de propulsão, a adequação da potência disponível e até mesmo alertando para possíveis questões térmicas. Essa abordagem abrangente é essencial para garantir a confiabilidade e o desempenho seguro da aeronave ao longo de suas missões.

4.3.6 Rolagem (Roll)

Visando analisar agora a mecânica de voo da aeronave, gráfico de rolagem é apresentado pela Figura 15.

Figura 15 – Rolagem (roll) da ARP.



Fonte: Elaborada pelo autor.

O gráfico de rolagem oferece uma representação visual das mudanças na inclinação lateral da aeronave ao longo do tempo. Essa informação é crucial para avaliar a resposta da aeronave aos comandos de controle, identificando padrões operacionais normais e anomalias que podem afetar a estabilidade. Importante ressaltar que para valores positivos, representa-se uma rotação para a direita, em contrapartida, valores negativos indicam uma rotação para a esquerda.

A estabilidade lateral da aeronave pode ser cuidadosamente avaliada a partir das variações na inclinação lateral causadas por fatores como comandos do piloto ou influência de ventos. A análise desses elementos contribui para a compreensão da resposta da aeronave a diferentes estímulos externos, fundamentais para garantir um controle efetivo e prevenir instabilidades

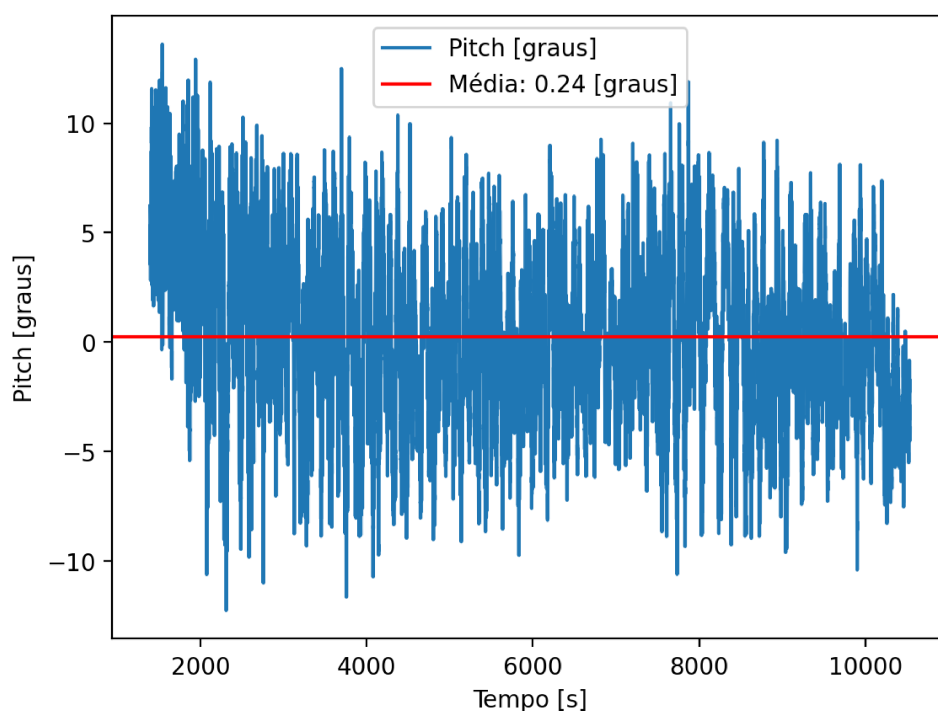
indesejadas. Além disso, avaliar os limites operacionais da aeronave, em relação ao ângulo máximo de arfagem da aeronave em situações críticas.

Em resumo, o gráfico de rolagem não apenas destaca a resposta imediata da aeronave aos comandos de controle, mas também fornece informações detalhadas sobre sua estabilidade estática e dinâmica. Essa análise abrangente é essencial para garantir que a aeronave mantenha uma performance estável e controlada em diversas condições operacionais, contribuindo para a segurança e eficácia durante a missão.

4.3.7 Arfagem (Pitch)

Somando para análise da mecânica do voo, é apresentado também o gráfico de arfagem da aeronave representado pela Figura 16.

Figura 16 – Arfagem (Pitch) da ARP



Fonte: Elaborada pelo autor.

O gráfico de arfagem é essencial para avaliar como a aeronave responde aos comandos de controle que afetam a sua atitude. Essa informação é crucial para entender a estabilidade longitudinal da aeronave e identificar possíveis anomalias que podem afetar o desempenho durante diferentes fases da missão. Importante salientar que para valores positivos representa-se *pitch up*, entretanto, para valores negativos indicam um movimento de *pitch down*.

Assim como no gráfico anterior, o gráfico de arfagem permite a análise detalhada da resposta da aeronave a fatores que alteram sua estabilidade. Isso proporciona uma visão

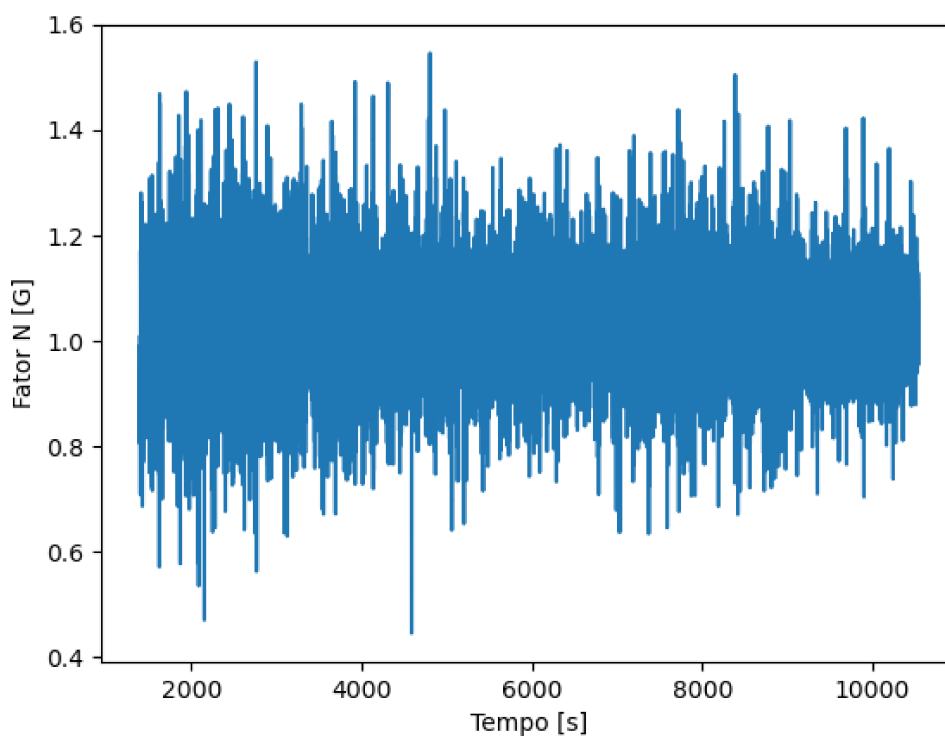
aprofundada da mecânica de voo, permitindo avaliar não apenas a resposta imediata, mas também os limites operacionais associados aos ângulos mínimos e máximos de arfagem em situações críticas de voo.

Em resumo, o gráfico de arfagem não apenas destaca a resposta da aeronave aos comandos de controle, mas também permite uma análise aprofundada da estabilidade longitudinal, contribuindo para a identificação de comportamentos anômalos e garantindo que a aeronave opere dentro de seus limites operacionais seguros.

4.3.8 Fator de Carga

Para avaliar os esforços que estão sendo aplicados na aeronave, para avaliar a resistência da estrutura da aeronave, é apresentado o gráfico de fator de carga representado pela Figura 17.

Figura 17 – Fator de carga (n) da ARP.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A consideração do fator de carga é de extrema importância na análise da performance e segurança operacional da aeronave. O fator de carga, representado no gráfico específico, é uma medida da força exercida pelas cargas aerodinâmicas na estrutura da aeronave durante o voo.

Este gráfico fornece uma representação visual das variações no fator de carga ao longo do tempo, o que é crucial para entender como as condições de voo afetam a carga estrutural suportada pela aeronave. Uma análise cuidadosa do fator de carga permite avaliar se a aeronave

está operando dentro dos limites estruturais estabelecidos para garantir a integridade da sua estrutura.

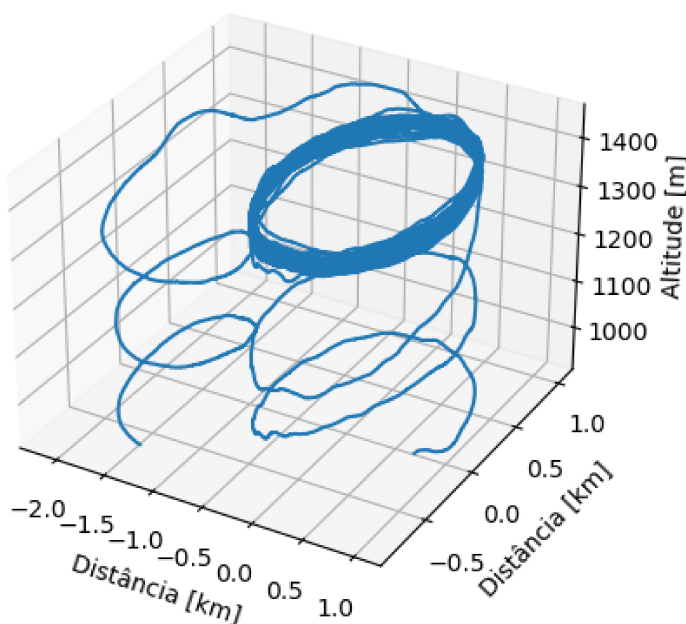
Além disso, o gráfico de fator de carga é valioso para identificar eventuais situações de sobrecarga que possam ocorrer durante manobras específicas. A interpretação dessas variações contribui para a compreensão da resposta estrutural da aeronave em diferentes cenários operacionais.

Em resumo, o gráfico de fator de carga é uma ferramenta essencial na análise da segurança estrutural da aeronave, proporcionando uma visão detalhada das forças aerodinâmicas exercidas sobre a estrutura durante o voo. Sua inclusão no conjunto de dados da missão é vital para garantir que a aeronave opere dentro dos parâmetros estruturais seguros, promovendo a segurança e confiabilidade operacional.

4.3.9 Trajetória 3D

Por fim, é apresentado a trajetória 3D da aeronave representado pela Figura 18.

Figura 18 – Mapa da trajetória 3D da ARP.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A visualização da trajetória da aeronave em um mapa tridimensional (3D) é uma ferramenta altamente valiosa na análise da missão. Esse mapa fornece uma representação espacial das coordenadas geográficas da aeronave ao longo do tempo, possibilitando uma compreensão abrangente de sua trajetória durante a missão.

A representação tridimensional da trajetória oferece benefícios significativos, permitindo uma análise mais precisa das mudanças na altitude, velocidade e posição geográfica da aeronave.

Essa visualização detalhada contribui para a identificação de padrões operacionais, avaliação da eficiência das rotas e detecção de qualquer desvio inesperado.

Além disso, o mapa tridimensional facilita a interpretação das condições geográficas em que a aeronave está operando, auxiliando na compreensão de como o terreno pode influenciar o desempenho durante a missão. Isso é particularmente relevante para aeronaves projetadas para missões específicas, como vigilância de fronteiras, onde a topografia pode ter um impacto significativo nas operações.

Em resumo, o mapa tridimensional da trajetória proporciona uma visão espacial dinâmica e completa da missão, facilitando a análise de desempenho, segurança e eficiência operacional da aeronave em seu contexto geográfico.

4.4 Arquivos Complementares

A complementação da análise de dados da missão inclui a geração de dois arquivos adicionais para uma documentação mais abrangente. O primeiro é um arquivo de texto, no qual contém o nome da pasta digitado pelo usuário, onde ficarão salvos os gráficos gerados, somado a isso o log do voo analisado, por fim, as informações do período apresentado na Seção 4.2.

Além disso, é gerado um arquivo CSV (Comma-Separated Values) que apresenta as informações de forma tabular, organizadas em colunas e linhas. Este formato facilita a manipulação e análise de dados, permitindo uma integração eficiente com diversas ferramentas e softwares de processamento de dados. A inclusão desses dois arquivos complementares aprimora a documentação da missão, oferecendo uma variedade de dados detalhados para análises subsequentes.

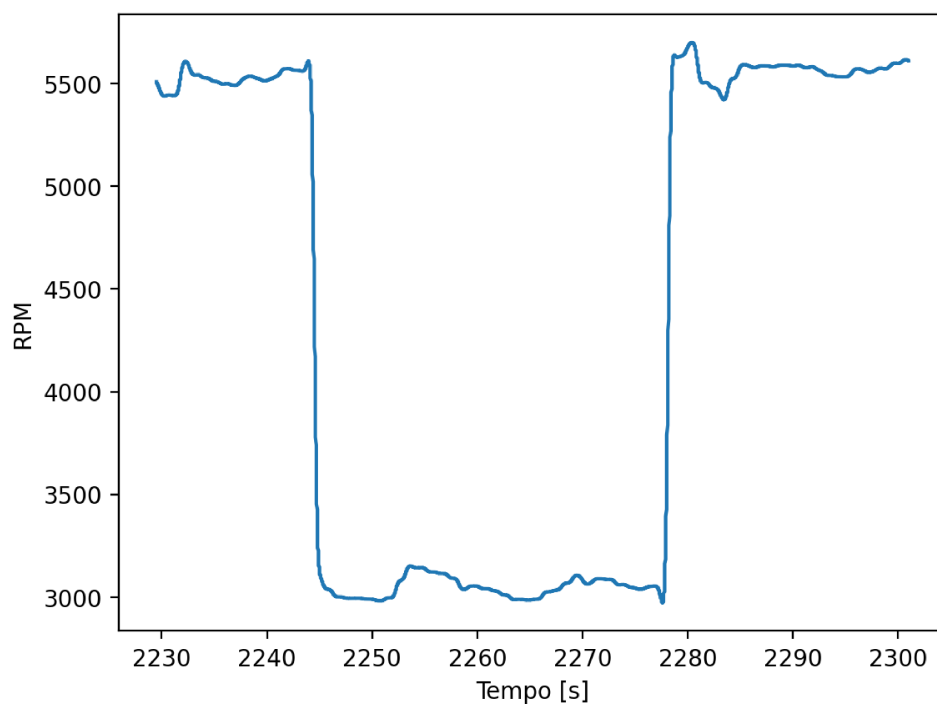
4.5 Estudo de Caso 1

Foi realizado um voo com a ARP apresentada na seção 3.2, a temperatura do dia era de 32 °C, com densidade atmosférica de 1,175 kg/m³ e QNH 1011 hPa. Durante determinado momento do voo apresentou perda de comunicação com o piloto automático, visto que, quando o piloto em comando acionou o piloto automático, teve uma perda de RPM juntamente com altitude, como ilustrado nas Figuras 19 e 20.

Pode-se observar a perda de RPM, ocasionando uma rápida queda de altitude de 120 m, o que demandou uma intervenção manual do piloto para restabelecer o controle da aeronave.

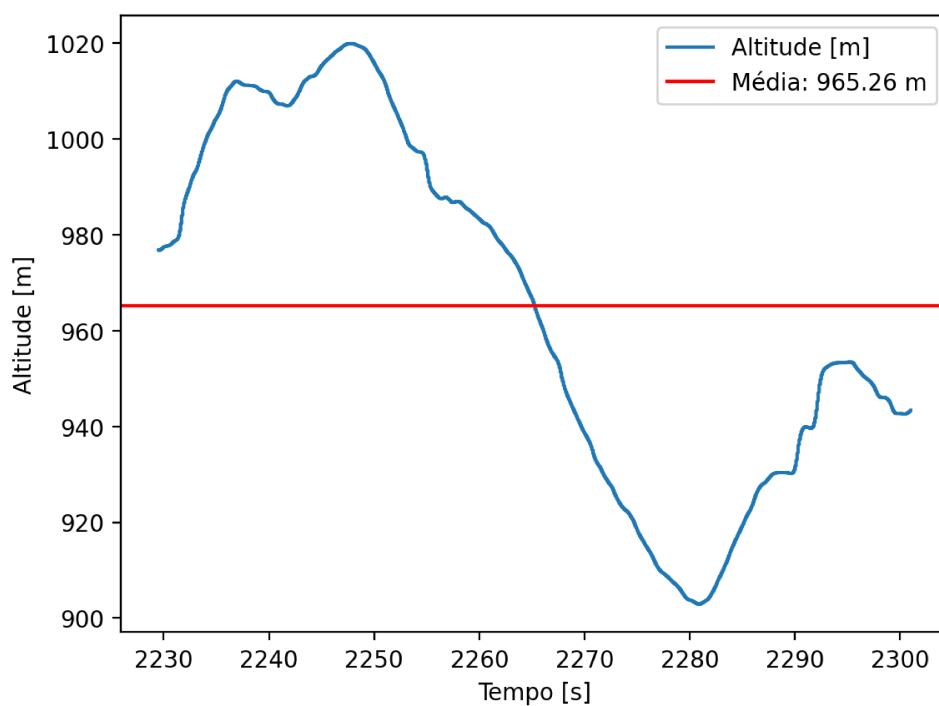
Foi realizado depois uma nova tentativa de comandar o voo pelo piloto automático, após acionar novamente pouco tempo depois, foi visualizado que os motores VTOL foram acionados durante o voo em asa fixa. Como consequência, a ARP teve um movimento elevado de *pitch up* e de rolagem a direita, representado pelas Figuras 21 e 22.

Figura 19 – Gráfico do RPM.



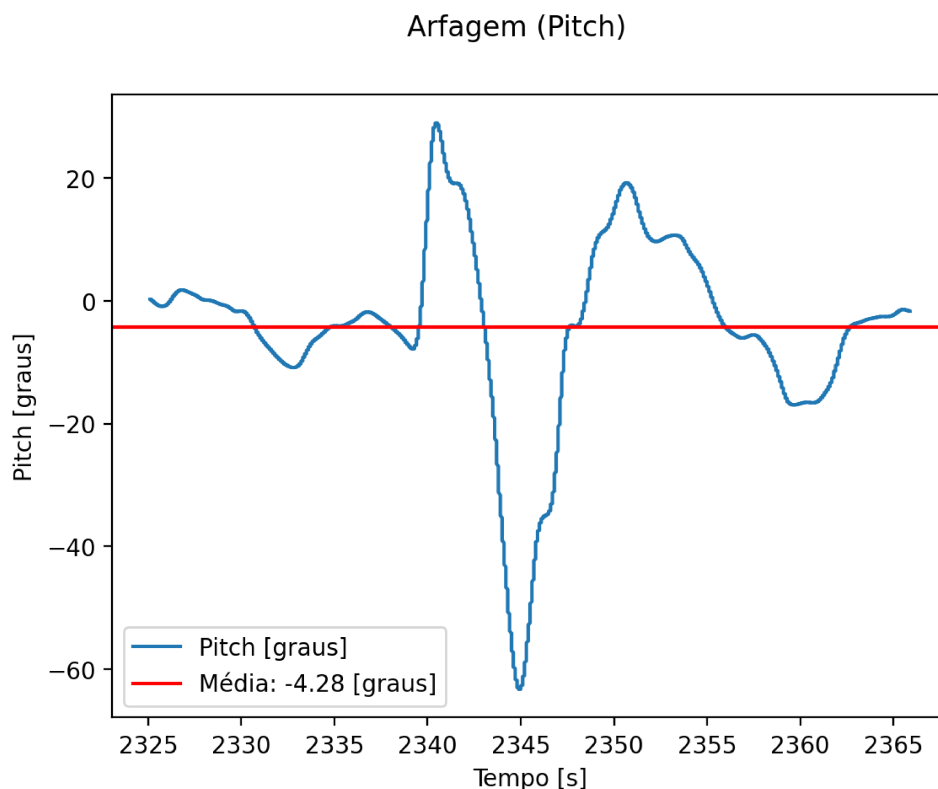
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 20 – Gráfico da altitude.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Diante dessa situação atípica, observou-se no gráfico de altitude um rápido ganho de altitude devido ao movimento de pitch up da ARP. No entanto, devido ao elevado ângulo de ataque

Figura 21 – Gráfico de arfagem (*pitch*).

Fonte: Elaborada pelo autor.

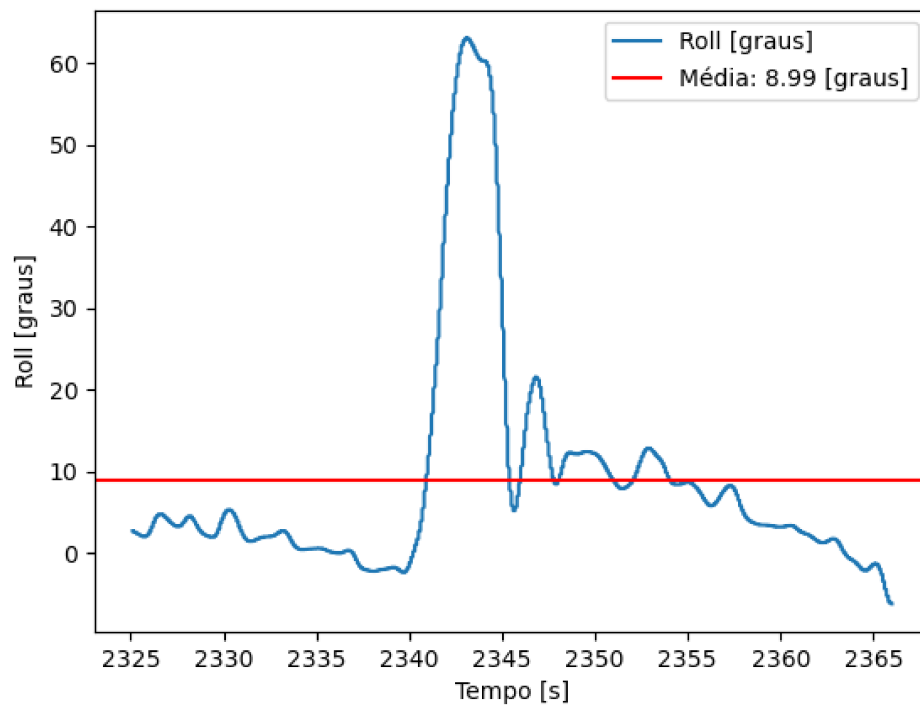
da ARP, a aeronave perdeu velocidade, atingindo a velocidade de estol (V_S) e, conseqüentemente, estolou, resultando em uma perda brusca de altitude. Esses eventos estão claramente evidenciados nas Figuras 23, 24 e 25.

Dessa forma, procedeu-se à análise do gráfico da trajetória, conforme representado pelas Figuras 26 e 27. Nestes gráficos, observou-se que a ARP realizou um mergulho para a direita, corroborando as informações previamente apresentadas no gráfico de rolagem (Figura 22).

Por fim, procedeu-se à análise do gráfico do fator de carga, conforme apresentado pela Figura 28, visando avaliar os esforços aerodinâmicos exercidos na estrutura da ARP. Observou-se que as variações no fator de carga foram substanciais, aproximando-se dos limites estruturais da aeronave que era de 3G. Em virtude dessa situação crítica, após o pouso, a aeronave passou por uma minuciosa inspeção a fim de identificar possíveis trincas na estrutura, decorrentes das condições extremas enfrentadas durante o incidente

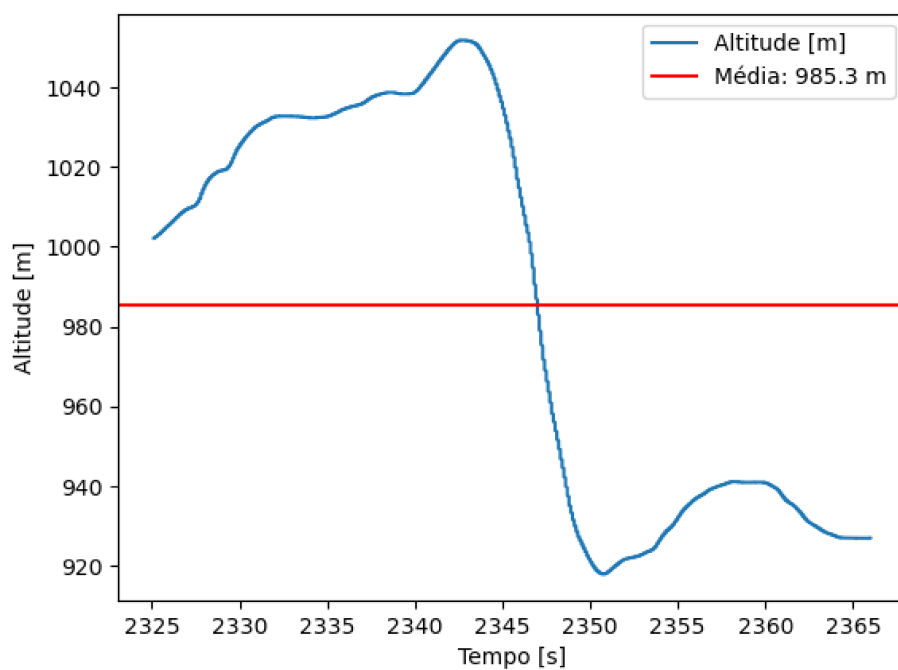
4.6 Estudo de Caso 2

Durante outra missão da mesma ARP, a temperatura do dia era de 27 °C, com densidade atmosférica de 1,289 kg/m³ e QNH 1016 hPa. Durante essa operação, a aeronave realizava o voo

Figura 22 – Gráfico de rolagem (*roll*).

Fonte: Elaborada pelo autor.

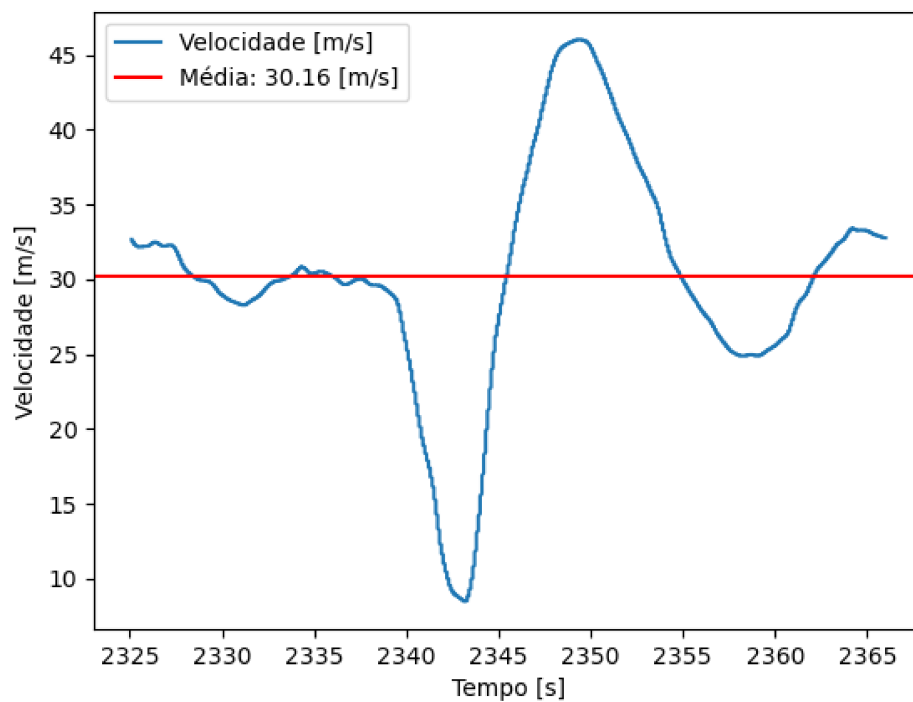
Figura 23 – Gráfico de altitude.



Fonte: Elaborada pelo autor.

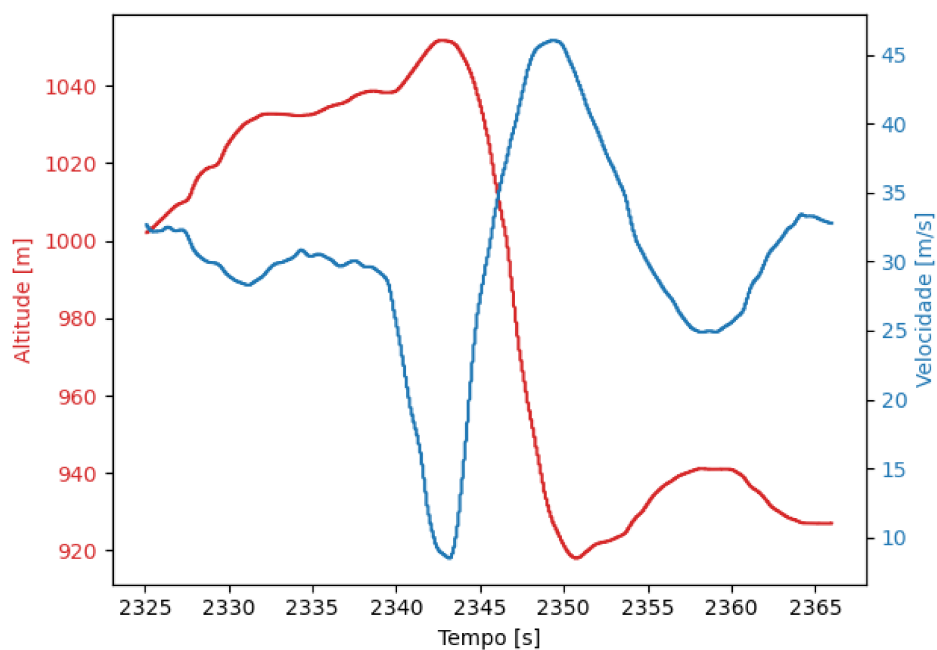
no piloto automático, em uma trajetória ascendente, quando o modo de voo semi-automático foi ativado a partir do *cockpit*. A ativação desse modo tinha como objetivo executar determinados

Figura 24 – Gráfico de velocidade.



Fonte: Elaborada pelo autor.

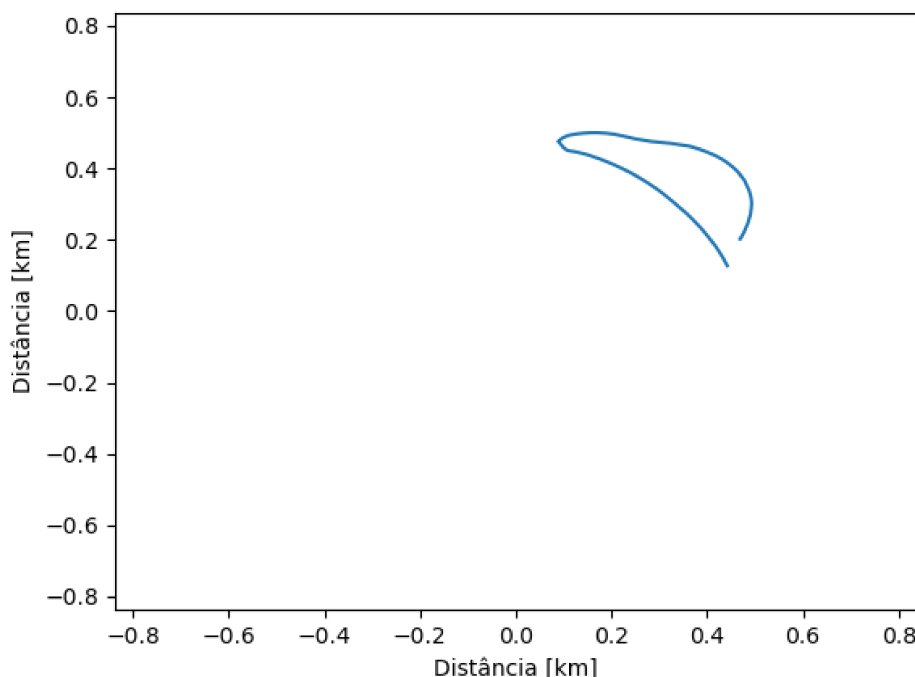
Figura 25 – Gráfico de altitude e velocidade.



Fonte: Elaborada pelo autor.

comandos de arfagem e rolagem, buscando validar o adequado funcionamento desse modo de voo.

Figura 26 – Gráfico da trajetória 2D.



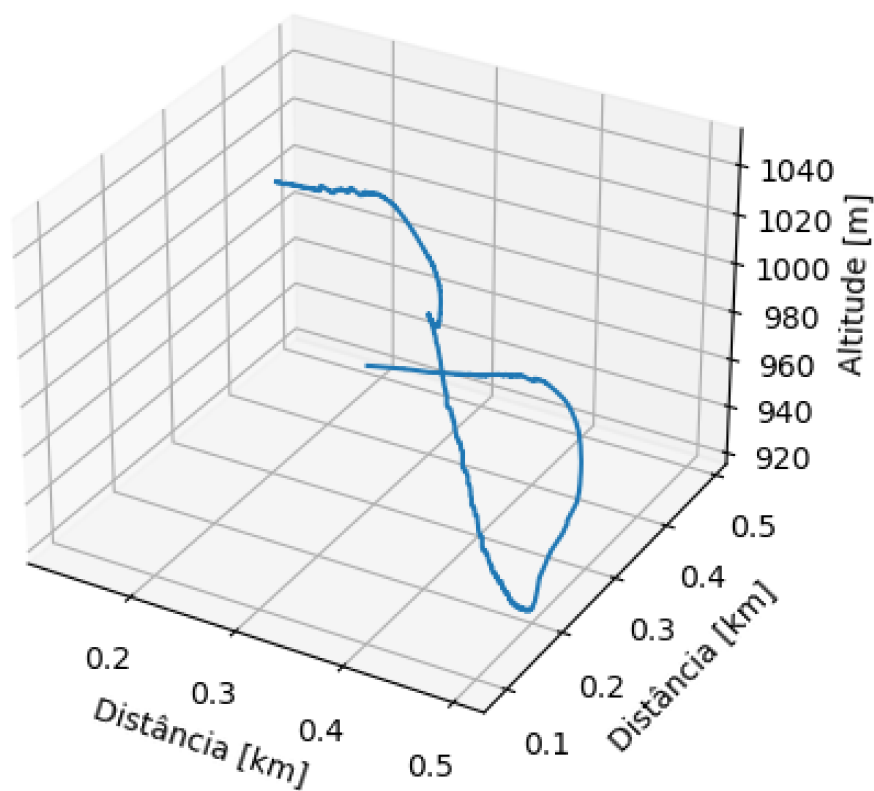
Fonte: Elaborada pelo autor.

No entanto, ao selecionar o modo de voo semi-automático, o piloto aplicou uma rolagem para a esquerda. Ao analisar o mapa da trajetória da aeronave, apresentada na Figura 29, foi possível observar que a aeronave girou 360° em torno do seu eixo longitudinal. Este comportamento sugere um possível excesso de comando na ARP, levando à suspeita de uma descalibração no *stick* da estação de controle de solo.

Somado a isso, foi possível notar pelo gráfico de rolagem, representado pela Figura 30 que durante a subida em órbita, a aeronave estava com 5 graus de rolagem para a direita, quando foi colocado no modo semi-automático girou com mais de 10° para a esquerda, mostrando uma grande discrepância de movimentos.

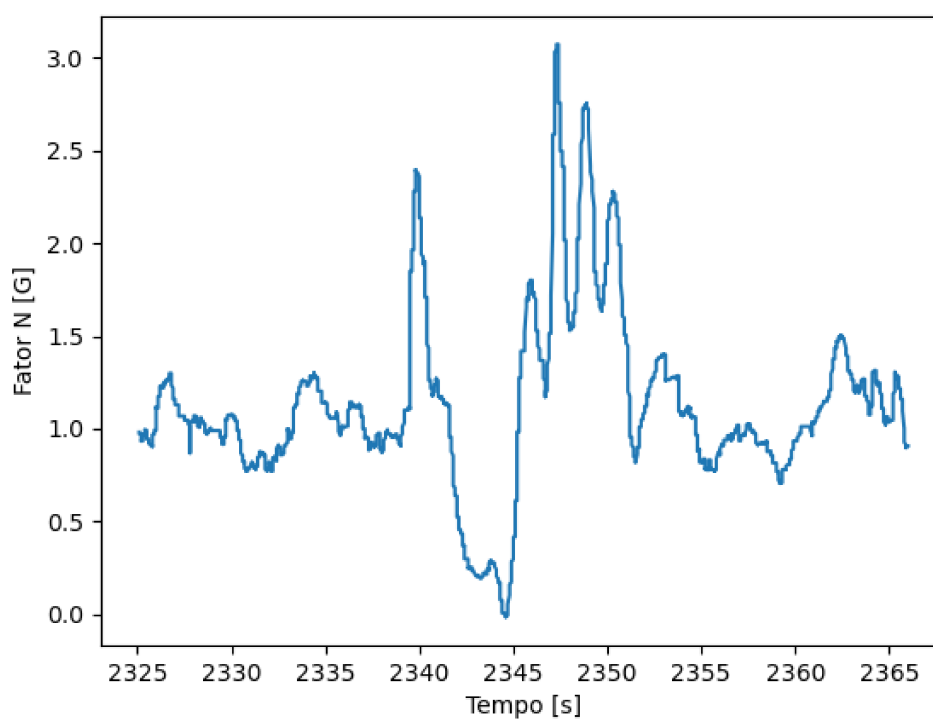
Por fim, analisou-se o gráfico de altitude (Figura 31), e verificou-se que teve uma queda de 100 m de altitude. Somado a isso, para recuperar a altitude o motor trabalhou com RPM máximo recuperando a altitude do voo programado (Figura 32).

Figura 27 – Gráfico da trajetória 3D.



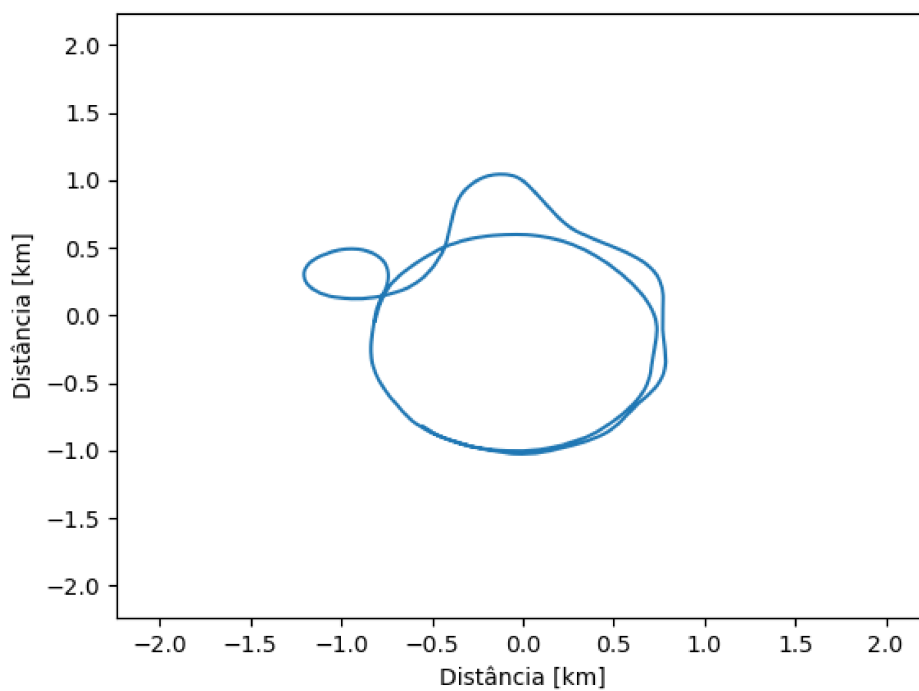
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 28 – Gráfico do Fator de Carga



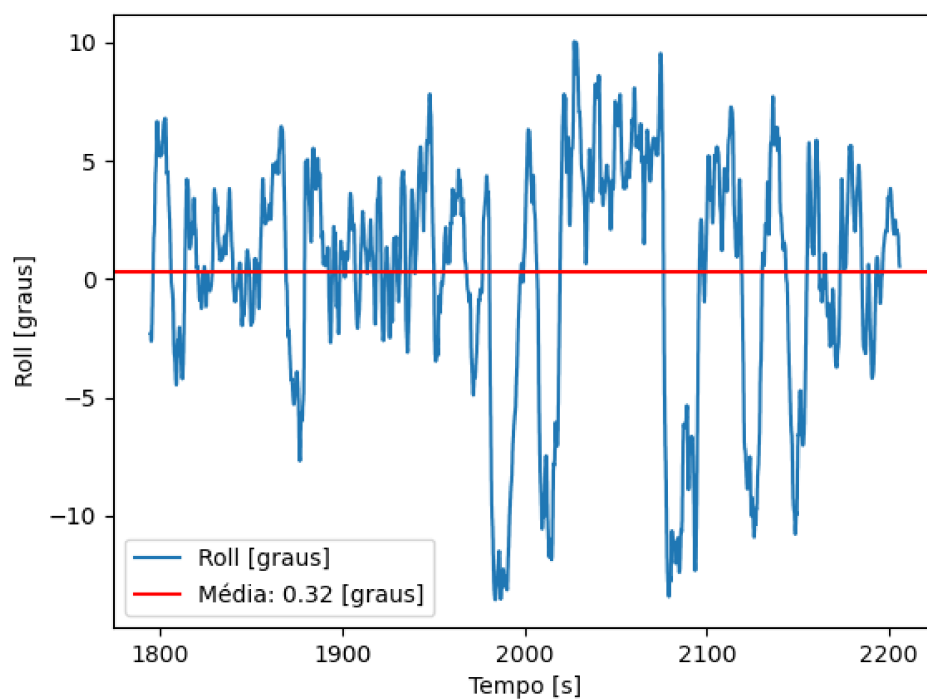
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 29 – Gráfico da Trajetória 2D



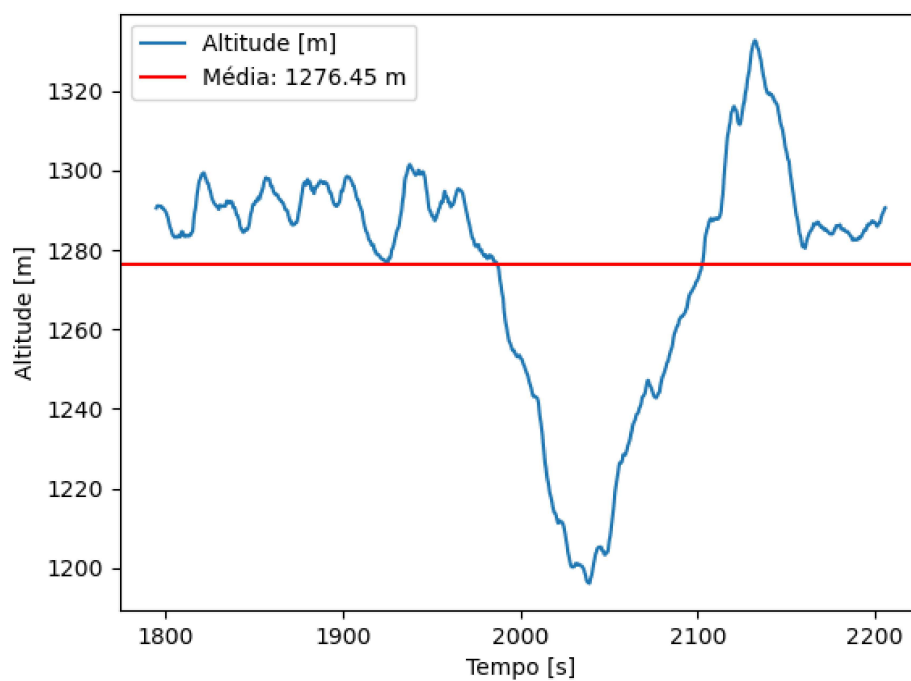
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 30 – Gráfico de Rolagem



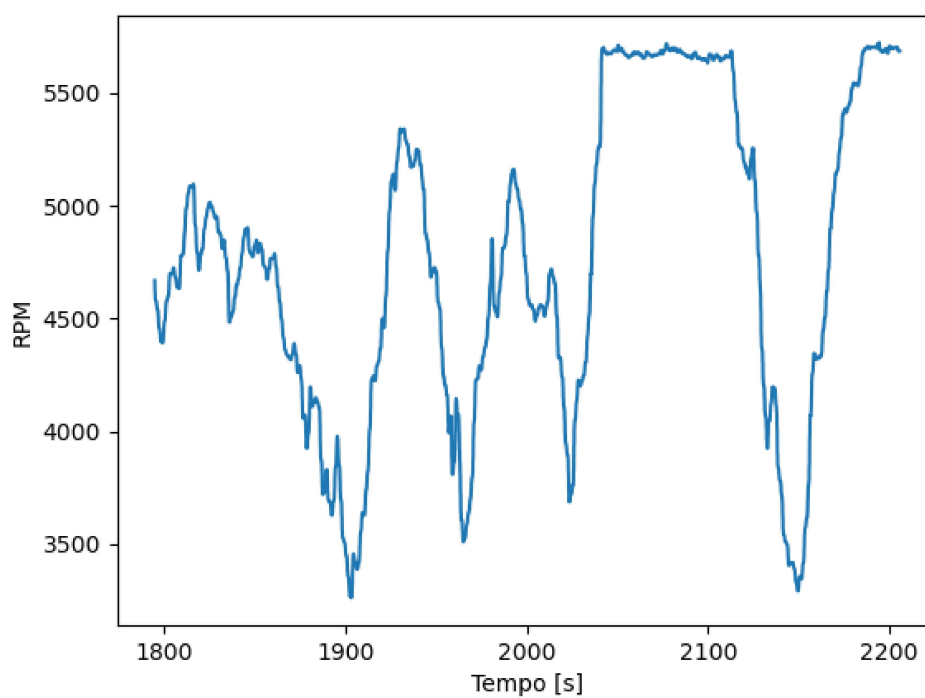
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 31 – Gráfico de Altitude



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 32 – Gráfico de RPM do motor a combustão



Fonte: Elaborada pelo autor.

CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

Esse capítulo apresenta as conclusões finais, discussões e observações gerais acerca do estudo desenvolvido neste trabalho. Além disso, propõe perspectivas de melhorias e trabalhos futuros que podem ser desenvolvidos a fim de aprofundar o conhecimento da análise de performance de aeronaves não tripuladas.

5.1 Conclusões

O mercado de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) experimentou um crescimento significativo nas últimas décadas, impulsionado pela versatilidade e pelas inúmeras aplicações que essas tecnologias oferecem em diversas indústrias. A ascensão dos VANT não se restringe apenas ao setor militar, como ocorreu inicialmente, mas expandiu-se para uma variedade de setores, moldando o panorama operacional e de negócios em diferentes campos.

O aumento significativo na operação de VANT está intrinsecamente ligado à sua capacidade de fornecer dados precisos, economizar tempo e reduzir custos operacionais. A utilização dessas tecnologias não apenas melhora a eficiência em diversos setores, mas também desempenha um papel crucial na tomada de decisões estratégicas e na promoção de práticas mais sustentáveis.

Em um contexto mais amplo, os VANT se tornaram peças-chave na revolução tecnológica, transformando a forma como as empresas abordam suas operações e desafios. À medida que a tecnologia continua a evoluir, é esperado que o mercado de VANT continue a expandir-se, oferecendo inovações e soluções cada vez mais avançadas para os desafios contemporâneos enfrentados por diversas indústrias.

A utilização do software revelou-se fundamental nas exemplificações de incidentes durante os voos da ARP, proporcionando uma compreensão detalhada dos eventos ocorridos. A análise dos gráficos, como altitude, trajetória, velocidade, rolagem, entre outros, permitiu uma interpretação clara e detalhada de cada fase do voo, identificando padrões e anomalias cruciais

para a segurança e desempenho da aeronave.

A praticidade do software destaca-se pela capacidade de analisar variáveis temporais de forma flexível e intuitiva. A manipulação dos dados ao variar o tempo proporciona uma visão dinâmica e aprofundada dos eventos, facilitando a identificação de relações causais e correlações entre diferentes parâmetros. Essa flexibilidade de análise temporal, aliada à interface intuitiva do software, oferece uma abordagem eficiente e acessível para engenheiros e operadores.

Dessa forma, por meio da utilização do software, a engenharia pode avaliar possíveis otimizações no projeto e identificar eventuais falhas no mesmo. A capacidade do software em oferecer uma análise detalhada dos logs de voo permite que os engenheiros identifiquem áreas de aprimoramento no projeto da aeronave, contribuindo para o contínuo aperfeiçoamento e segurança das operações.

Uma vantagem significativa do software é sua acessibilidade baseada em navegador, eliminando a necessidade de instalação de qualquer programa adicional. Isso não apenas simplifica o processo de análise, mas também torna o software amplamente acessível, permitindo que profissionais em diferentes ambientes e locais realizem análises de logs de voo de forma eficaz.

Por fim, a aplicação do software no contexto da análise de logs de voo da ARP demonstrou ser uma ferramenta indispensável para engenheiros e operadores. Sua capacidade de fornecer *insights* detalhados de maneira prática e acessível destaca-se como um recurso valioso na identificação, compreensão e resolução de eventos críticos durante as missões da aeronave, contribuindo assim para aprimorar continuamente a segurança e eficácia das operações.

5.2 Perspectivas para Trabalhos Futuros

Ao final deste trabalho, tomando como base os resultados obtidos e discussões levantadas, as seguintes sugestões são trazidas para trabalhos futuros:

- Maior número de gráficos a serem analisados dentro do software;
- Criação de uma forma de indicar a direção nos mapas de trajetórias para facilitar o entendimento;
- Inserção dos limites operacionais em seus respectivos gráficos como: velocidade de estol, velocidade a não ser excedida, fator de carga máximo e mínimo, teto absoluto e operacional, RPM máximo entre outros
- Criação de um manual de utilização do software;
- Ampliação de mais aeronaves VANTs para análise de desempenho e de projeto.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, J. A. de. **Da segurança operacional para implantação de VANT em espaço aéreo não-segregado no Brasil : capacidade de perceber e evitar**. Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2012. Disponível em: <<http://www.bdita.bibl.ita.br/>>. Citado na página 17.

ALVARADO, E. **The Commercial Drone Market in 2023: Insights and Growth Projections**. 2023. Último acesso em 2023-08-25. Disponível em: <<https://droneii.com/commercial-drone-market-2023>>. Citado nas páginas 17 e 18.

_____. **How Drone use Optimizes Industries**. 2023. Último acesso em 2023-09-17. Disponível em: <<https://droneii.com/how-drone-use-optimizes-industries>>. Citado na página 22.

ANAC. **RBAC 94, EMD 03**. ANAC, 2023. Disponível em: <<https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-e-94>>. Citado nas páginas 25 e 30.

ANDERSON, J. **Aircraft Performance & Design**. McGraw-Hill Education (India) Pvt Limited, 2010. ISBN 9780070702455. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=5lhHzwEACAAJ>>. Citado na página 19.

DECEA. **Aeronaves não Tripuladas e o Acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro ICA 100-40**. DECEA, 2023. Disponível em: <<https://publicacoes.decea.mil.br/publicacao/ica-100-40>>. Citado na página 24.

_____. **DECEA divulga número de voos de drones por região**. 2023. Último acesso em 2023-08-25. Disponível em: <https://www.decea.mil.br/?i=midia-e-informacao&p=pg_noticia&materia=decea-divulga-numero-de-voos-de-drones-por-regiao>. Citado nas páginas 18 e 19.

INSIGHTS, D. I. **Drone Application Categories and Methods**. 2023. Último acesso em 2023-09-26. Disponível em: <<https://droneii.com/wpcontent/uploads/2022/04/DroneApplication-Methods.pdf>>. Citado na página 21.

_____. **Drone Applications**. 2023. Disponível em: <<https://droneii.com/drone-applications>>. Citado na página 20.

OLIVEIRA, C. P. de. **Análise dos modelos para cálculo de níveis de segurança relacionados à operação de veículos aéreos não tripulados**. Universidade de São Paulo, 2009. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3141/tde-03092009-152328/pt-br.php>>. Citado na página 16.

PECHARROMÁN, J. M. P.; VEIGA, R. **Estudo Sobre a Indústria Brasileira e Europeia de Veículos Aéreos Não Tripulados**. Brasília, DF - BRA: SDCI and DG MOVE, 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/produtividade-e-comercio-exterior/pt-br/images/publicacaoa_DRONES-20161130-20012017-web.pdf>. Citado nas páginas 13 e 16.

RAYMER, D. **Aircraft Design: A Conceptual Approach**. American Institute of Aeronautics and Astronautics, Incorporated, 2018. (AIAA education series). ISBN 9781624104909. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=3G1uuwEACAAJ>>. Citado na página 19.

SADRAEY, M. **Aircraft Design: A Systems Engineering Approach**. Wiley, 2012. (Aerospace Series). ISBN 9781118352809. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=VT-Tc3Tx5aEC>>. Citado na página 19.

SALAZAR, S.; LOZANO, R.; ESCARENO, J. Stabilization and nonlinear control for a novel trirotor mini-aircraft. **Control Engineering Practice**, 2009. Citado na página 13.

XMOBOTS. **Manual Descritivo do SARP - Nauru 1000C**. 2022. Versão A6 ; Último acesso em 2023-09-27. Citado nas páginas 29, 30 e 31.