

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

**MATEUS PEDROSA BRAGA
RODRIGO WATANABE SANCHES**

CONSTRUÇÃO DE UM DRONE E ESTUDOS DE PARÂMETROS

PONTA GROSSA

2023

MATEUS PEDROSA BRAGA
RODRIGO WATANABE SANCHES

CONSTRUÇÃO DE UM DRONE E ESTUDOS DE PARÂMETROS

Construction of a drone and parameter studies

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador(a): Prof. Dr. Everton Morales Matos

Coorientador(a): Prof. Dr. Marcos Vinícius Barbosa

PONTA GROSSA

2023



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

MATEUS PEDROSA BRAGA
RODRIGO WATANABE SANCHES

CONSTRUÇÃO DE UM DRONE E ESTUDOS DE PARÂMETROS

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito parcial para a obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Mecânica da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).

Orientador(a): Prof. Dr. Everton Morales Matos

Coorientador(a): Prof. Dr. Marcos Vinícius Barbosa

Data de aprovação: 01/Dezembro/2023

Prof. Dr. Everton Moraes Matos
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Gilberto Zammar
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. José Carlos Alberto de Pontes
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

PONTA GROSSA

2023

AGRADECIMENTOS

Queridos colegas, professores, amigos, e familiares,

Hoje, à medida que concluimos nossa jornada acadêmica e apresentamos este trabalho de conclusão de curso, não podemos deixar de expressar nossa profunda gratidão a todos aqueles que foram fundamentais para nossa formação.

Primeiramente, gostaríamos de agradecer à instituição por proporcionar a infraestrutura necessária para nossa formação. As salas de aula, laboratórios e demais recursos contribuíram significativamente para nosso aprendizado, proporcionando um ambiente propício ao desenvolvimento acadêmico.

Aos professores, nosso mais sincero agradecimento. Cada um de vocês desempenhou um papel crucial em nossa jornada, transmitindo conhecimento, desafiando-nos a pensar criticamente e, acima de tudo, inspirando-nos a tornarmos engenheiros capacitados e éticos. Cada aula, cada orientação, cada conselho contribuiu para nossa bagagem acadêmica e profissional.

Ao nosso professor orientador, somos imensamente gratos. Sua orientação foi a bússola que guiou nosso trabalho de conclusão de curso. Sua paciência, expertise e incentivo foram fundamentais para que pudéssemos superar desafios e alcançar este momento de realização acadêmica.

Àqueles que estiveram ao nosso lado fora das salas de aula, em especial amigos e familiares, agradecemos o apoio incondicional. Vocês foram a base sólida que nos sustentou nos momentos difíceis e celebraram conosco nas conquistas. Cada palavra de encorajamento, cada gesto de apoio, não passou despercebido e foi crucial para nossa jornada.

Não podemos esquecer também dos projetos de extensão. Participar dessas iniciativas extracurriculares enriqueceu nossa formação, proporcionando uma compreensão mais ampla e prática dos conceitos aprendidos em sala de aula. Essas experiências foram vitais para nossa visão holística da engenharia e para a aplicação do conhecimento adquirido.

Em suma, este é um momento de olhar para trás com gratidão por todos os que contribuíram para nossa jornada acadêmica.

A todos vocês, nosso mais profundo agradecimento.

RESUMO

Os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) também conhecidos como Drones, vem ganhando cada vez mais espaço em várias áreas da sociedade. O desenvolvimento de um VANT engloba uma ampla gama de conhecimentos de Engenharia Mecânica e Aeronáutica, assim como, a noção de controle remoto, sensoriamento e eletrônica, resultando em um projeto multidisciplinar. Neste projeto específico, o drone é desmembrado em seus elementos essenciais, como estrutura, motores, hélices, drivers de velocidade, driver de voo, baterias, sensores e sistema de comunicação, cada um sendo minuciosamente testado, avaliado e especificado para a integração em um sistema coeso. Utilizou-se ferramentas de simulação e software de design para estimar as principais características do produto. O objetivo principal deste projeto é servir como uma referência abrangente para futuros trabalhos relacionados a drones, abrangendo desde a fase inicial de concepção e especificações até a seleção de componentes e a integração. Dentro do contexto dos avanços tecnológicos recentes, o trabalho com VANT representa o estado da arte da robótica móvel, especialmente no campo de robôs aéreos. A expectativa é que este projeto também atue como um guia prático para a fabricação física de drones desse tipo, fornecendo uma fonte de recursos de referências e diretrizes a serem seguidas. Essa abordagem tem o potencial de ser aplicada em pesquisas de diversas áreas, tornando-se uma ferramenta valiosa de grande utilidade e valor agregado.

Palavras-chave: drones. engenharia mecânica. engenharia aeronáutica. mecatrônica.

ABSTRACT

Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), also known as Drones, have been gaining more and more space in various areas of society. The development of a UAV encompasses a wide range of knowledge from Mechanical and Aeronautical Engineering, as well as the notion of remote control, sensing and electronics, resulting in a multidisciplinary project. In this specific project, the drone is broken down into its essential elements, such as structure, motors, propellers, speed drivers, flight driver, batteries, sensors and communication system, each being thoroughly tested, evaluated and specified for integration into a cohesive system. Simulation tools and design software were used to estimate the main characteristics of the product. The main objective of this project is to serve as a comprehensive reference for future drone-related work, spanning from the initial design phase and specifications to component selection and integration. Within the context of recent technological advances, work with UAVs represents the state of the art in mobile robotics, especially in the field of aerial robots. The expectation is that this project will also act as a practical guide for the physical manufacture of drones of this type, providing a source of reference resources and guidelines to be followed. This approach has the potential to be applied to research in different areas, becoming a valuable tool of great utility and added value.

Keywords: drones. mechanical engineering. aeronautic engineering. mechatronics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Componentes de um VANT	16
Figura 2 - Ângulos de uma hélice	20
Figura 3 - Analogia entre eletricidade e hidráulica.....	22
Figura 4 - Sentido de Rotação dos propulsores.....	24
Figura 5 - Range de operação sensores ultrassônicos	29
Figura 6 - Frame do VANT	31
Figura 7 - Hélices do rotor.....	32
Figura 8 - Motor brushless 920kv	33
Figura 9 - Bateria de LiPo	34
Figura 10 - Componentes da controladora de voo.....	35
Figura 11 - Controlador de potência dos motores	36
Figura 12 - Radio Controle Flysky	37
Figura 13 - Arduino Uno.....	39
Figura 14 - Sensor ultrassônico HC-SR04.....	40
Figura 15 - Setup de medição de velocidade	41
Figura 16 - Representação de medição do empuxo.....	43
Figura 17 - Representação das forças de um VANT	43
Figura 18 - Dados inseridos na simulação do eCalc	44
Figura 19 - Dados obtidos na simulação do eCalc.....	44
Figura 20 - Medição da massa do Drone.....	45
Figura 21 - Wattmetro conectado entre bateria e sistema	46
Figura 22 - Preparação para medição da velocidade	47
Figura 23 - Resultados obtidos na medição de velocidade.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultado dos experimentos de empuxo	46
Tabela 2 - Resultados das medições elétricas	47
Tabela 3 - Medição de velocidade	48
Tabela 4 - Resultado experimentos de potência	50
Tabela 5 - Média dos resultados	51
Tabela 6 - Relação de Massas e Preços	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

VANT	Veículo aéreo não tripulado
VTOL	Vertical Takeoff and Landing
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
PWM	Pulse Width Modulation
ISM	Industrial, Scientific and Medical
GPS	Global Positioning System
ITU	União Internacional de Telecomunicações
LiPo	Lítio-polímero
ESC	Electronic Speed Controllers
RTH	Return to home

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Objetivo	13
1.1.1	Objetivo geral	13
1.1.2	Objetivo específico	13
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1	Características de um vant quadricóptero	15
2.2	Estrutura	16
2.3	Motor	17
2.4	Controladora de voo	17
2.5	Radio controle	18
2.6	Bateria	19
2.7	Controlador eletrônico de velocidade	19
2.8	Hélices	20
2.9	Conceitos de elétrica	21
2.9.1	corrente elétrica	21
2.9.2	tensão elétrica	21
2.9.3	potência	22
2.9.4	resistencia elétrica	23
2.9.5	gerador de tensão	23
2.9.6	empuxo de um propulsor	23
2.10	Força, trabalho e potência mecânica	24
2.11	Energia cinética	25
2.12	Energia potencial	26
2.13	Conservação de energia mecânica	27
2.14	Microcontrolador arduino	27
2.15	Sensor ultrassônico	27
3	METODOLOGIA	30
3.1	Construção do vant e seleção de componentes	30
3.2	Seleção dos componentes mecânicos	30
3.2.1	Estrutura	30
3.2.2	Hélices	31
3.2.3	Parafusos	32

3.3	Seleção dos componentes elétricos.....	32
3.3.1	Motores	32
3.3.2	Bateria	33
3.3.3	Controladora de voo	34
3.3.4	Controlador de potência dos motores (esc).....	35
3.3.5	Radio controle	36
3.4	Montagem do vant.....	37
3.5	Medição da potência elétrica.....	38
3.6	Medição da potência real	39
3.7	Eficiência do vant	41
3.8	Medição do empuxo	42
4	RESULTADOS.....	44
4.1	Resultados obtidos na medição de empuxo	45
4.2	Medição de corrente, tensão e potência elétrica	46
4.3	Medição da velocidade	47
4.4	Potência elétrica, potência real, e eficiência.....	49
4.5	Avaliação de custos	51
5	CONCLUSÃO	52
	REFERÊNCIAS.....	53
	APÊNDICE A - Código para os sensores escrito no arduino	56

1 INTRODUÇÃO

O interesse pelos Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) tem experimentado um crescimento notável nos últimos anos, impulsionado pelos avanços contínuos em tecnologias relacionadas a essa área (Demolinari, 2016). Esses avanços abrangem uma ampla gama de aspectos, desde o desenvolvimento de motores mais eficientes até melhorias nos sistemas de controle de voo e na segurança das plataformas de transmissão de dados (Keane ; Carr, 2013).

Os robôs, em geral, e os Veículos Operados Remotamente (ROV), em particular, estão sendo cada vez mais empregados para a execução de tarefas que, conforme observado por Sun (2013), podem ser operações vistas como perigosas, “sujas” ou monótonas para os seres humanos. Esse aumento na utilização de ROV e VANT está diretamente relacionado aos benefícios que oferecem em termos de segurança, eficiência e conveniência na realização de diversas atividades (Demolinari, 2016).

De acordo com Keane e Carr (2013), a história dos Sistemas Aeronáuticos Remotamente Pilotados (SARP) remonta a mais de um século, tendo origem antes mesmo da eclosão da Primeira Guerra Mundial. Naquela época, as forças militares de várias nações dedicavam esforços específicos ao desenvolvimento de aeronaves destinadas ao reconhecimento e ao ataque, operadas a partir do solo. Desde então, ocorreram avanços substanciais em áreas como sistemas de rádio, controle de voo, sensoriamento e materiais, resultando em drones contemporâneos consideravelmente mais avançados e eficientes em comparação aos modelos de 100 anos atrás (Demolinari, 2016).

No início, os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) fizeram uso predominantemente de asas fixas, conforme apontado por Keane e Carr (2013). Conforme indicado por Johnson (1980), a sustentação em VANT de asas fixas depende da presença de superfícies aerodinâmicas distintas. Tais drones de asas fixas são amplamente empregados em projetos militares, exemplificados pelo “Grey Eagle”, utilizados tanto pela CIA quanto pela Força Aérea dos Estados Unidos. Notavelmente, esse drone possui uma autonomia impressionante que pode se estender a até 25 horas de voo, atingindo altitudes de até 30.000 pés, equivalente a aproximadamente 9,1 km (Demolinari, 2016).

Atualmente, a atenção de fabricantes e usuários é compartilhada entre esse tipo de dispositivos de asas rotativas, nos quais a sustentação é gerada pelo movimento circular das hélices. O crédito pelo primeiro projeto de aeronave de asas rotativas é atribuído a Leonardo Da Vinci, conforme indicado por Leishman (2000).

Assim, o mercado de drones tem atraído cada vez mais visibilidade, onde temos algumas das maiores empresas do mundo como Amazon e Google fazendo testes para a implementação de drones nos setores de entregas (Perreault ; Behdinan, 2021). Além do uso comercial, esta tecnologia também acabou ganhando mais visibilidade em decorrência da pandemia mundial do vírus SARS-COV-2, sendo utilizada como forma de evitar o contato entre pessoas, validando o propósito ao qual foi criada de não colocar em risco a vida de pessoas. Alguns países incluindo China e Estados Unidos, implementaram drones para realizar desinfecção aérea de locais públicos e também de fazer o transporte de equipamentos médicos (Kunovjanek ; Wankmüller, 2021).

Portanto, os drones estão sendo utilizados com uma frequência cada vez maior em diversas aplicações, porém segundo Euchi (2020, p. 185), “apesar do avanço da tecnologia, esses aeromodelos possuem algumas limitações técnicas”. De acordo com o autor, a primeira limitação está associada a baixa capacidade de carga, quando comparado a um veículo de transporte que pode percorrer até 500 km com mais de 300 pacotes, um drone consegue transportar apenas um pacote leve em distancias menores. A segunda limitação é em relação a sua baixa duração de bateria, diminuindo assim o tempo de voo do veículo.

Com intuito de promover o avanço da tecnologia e contribuir para a implementação de novas ferramentas em drones, acredita-se que a obtenção do conhecimento de certos parâmetros possibilita encontrar o fator limitante. De acordo com Watts, Ambrosia e Hinkley (2012), estamos vivendo a era do “faça você mesmo” ou em inglês “do-it-yourself” (DIY), apontando para o crescimento em razão das pesquisas, que tornaram os sistemas rádio controlados (RC) mais acessíveis, e dos usuários amadores, que se esforçam em buscar melhores técnicas de projeto, fabricação e operação.

O estudo por trás da eficiência do VANT nos define o quão bem uma hélice transmite sua força rotacional ou energia para o empuxo e a partir dessa somatória de forças verticais é possível o aprofundamento sobre fatores que limitam o VANT de carregar cargas com um maior peso, pois tem-se conhecimento para saber qual o

peso máximo que o drone é capaz de carregar sem prejudicar a sua mobilidade, portanto, o conhecimento dessas áreas nos possibilita elevar a sua capacidade.

Já dando ênfase na limitação das baterias, o estudo por trás da potência elétrica e potência real nos permite entender sobre a baixa duração da bateria, visando ganhar mais tempo de uso para veículo.

No que se refere ao projeto de aeronaves pilotadas remotamente, atualmente não existem normas técnicas específicas disponíveis. No entanto, em meados de 2015, foi criado o ISO/TC 20/SC 16, que é o subcomitê da ISO responsável pelas Aeronaves Não Tripuladas (ISO, 2015), com o intuito de estabelecer novas diretrizes e normas de projeto nesse campo. Além da iniciativa da ISO, alguns governos e entidades reguladoras locais apresentam propostas, mas ainda não há uma norma técnica geral consolidada.

Neste trabalho, será desenvolvida uma metodologia para o projeto e construção de um VANT do tipo tetracóptero. Para facilitar a leitura e compreensão, utilizamos termos informativos como "drone", que em inglês significa "zumbido", e "RPA", que em inglês corresponde a "Remotely Piloted Aircraft", como sinônimos para as mesmas designações, sem prejuízo de significado.

1.1 Objetivo

A seguir estão relatados o objetivo principal desse projeto e os objetivos específicos.

1.1.1 Objetivo geral

Assim, tem-se como objetivo geral do projeto desenvolver um protótipo de um VANT e avaliar os seus parâmetros, como como força de empuxo, velocidade, potência elétrica, potência real e eficiência, pois acredita-se que a obtenção desses dados é essencial para o desenvolvimento dessa área permitindo-se expandir o uso deste veículo.

1.1.2 Objetivo específico

Tem-se então como objetivo específico desse projeto:

- Desenvolver um protótipo funcional de um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT).

- Realizar avaliações detalhadas dos parâmetros do VANT, incluindo força de empuxo, velocidade, potência elétrica, potência real e eficiência.
- Coletar dados que são considerados essenciais para o desenvolvimento contínuo na área de VANTs.
- Utilizar os resultados obtidos para contribuir para a expansão e aprimoramento do uso de VANTs em diversas aplicações.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

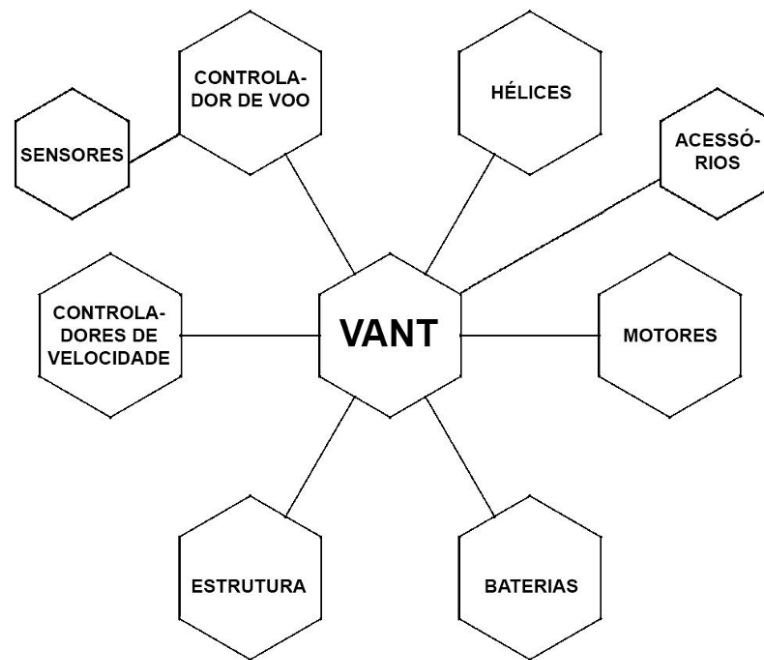
2.1 Características de um vant quadricóptero

Os Veículos do tipo quadricóptero são extremamente eficientes em decolagens verticais a baixa velocidade, estes por sua vez possuem poucas vibrações facilitando o seu manuseio e possibilitando a execução de manobras extremamente difíceis, este fator ocorre devido ao fato de se basearem no princípio de deslocamento Vertical Takeoff and Landing (VTOL) ou Decolagem e Aterrissagem Vertical, quando comparado com outros veículos aéreos, o VTOL têm características específicas, como voar em altitudes muito baixas e ser capaz de pairar o que os torna adequado para aplicações em que pode ser impossível concluir usando veículos de asa fixa (Valavanis, 2007).

Para que um quadricóptero permaneça estável no ar, ele deve ajustar individualmente o empuxo produzido por cada um de seus suportes. Se os suportes de um lado estão produzindo mais impulso do que o outro, o quadricóptero se inclina para um lado. Com hélices de passo fixo, a única maneira de ajustar o empuxo é aumentar ou diminuir a velocidade da hélice (Forbes, 2013).

Neste tipo de veículo o único fator que influencia no seu movimento são as variações de velocidade das hélices, isso faz com que o quadricóptero ganhe uma grande vantagem de manobrabilidade em relação aos outros tipos de veículos. No entanto por ter essa necessidade de se movimentar através do aumento ou redução de velocidades do motor se perde uma considerável quantidade de energia. Analisando a fórmula de energia cinética fica claro que nessa situação é necessário um gasto de quatro vezes mais energia para mover uma massa de ar com o dobro de sua velocidade, em comparação é necessário o dobro da quantidade de energia para mover o dobro da massa. (Forbes, 2013). A Figura 1 ilustra os elementos fundamentais e adicionais, abrangendo Sensores e Acessórios, os quais são discutidos em detalhe neste capítulo.

Figura 1-Componentes de um VANT



Fonte: Demolinari (2016)

2.2 Estrutura

A estrutura física (frame) de um VANT é o componente base do veículo, servindo como fixador de todos os componentes, como motores, hélices, baterias, controladora etc. Portanto é uma parte de extrema relevância no projeto, pois deve possuir rigidez e resistência, porém, não ser muito pesada, minimizando qualquer peso excedente para não haver necessidade de utilizar motores mais potentes (Demolinari, 2016).

Os frames se caracterizam por manter o formato da estrutura de voo, no caso dos quadricóptero devem possuir quatro braços, além de fornecer uma área para a montagem dos componentes. Os modelos comerciais de estruturas possuem as placas centrais furadas em diversos locais, que servem tanto para redução de peso quanto para a fixação de componentes (Demolinari, 2016).

Um dos pontos importantes a se destacar é sobre a fixação adequada dos motores à estrutura, alguns veículos possuem braços tubulares, ou com perfis que impeçam a fixação direta dos motores, essas preocupações são para evitar qualquer desprendimento do motor (Demolinari, 2016).

Quanto aos materiais que possibilitam a construção de um frame temos diversos como o plástico sendo o mais comum, fibra de vidro, alumínio ou até mesmo a madeira. O material que possui a melhor rigidez e absorção de impactos é a fibra

de carbono, sendo cotado como o melhor elemento para a construção desse veículo, porém, é um material que possui um alto custo.

2.3 Motor

Os motores elétricos são utilizados para converter energia elétrica em energia mecânica sendo uma das invenções mais utilizadas nas indústrias, responsável por consumir 50% da energia produzida dos Estados Unidos. Existem dois tipos básicos de motores elétricos, sendo eles os que operam em corrente alternada (CA) e os que operam em corrente contínua (CC) sendo que os motores de corrente contínua são menos utilizados, visto que todos os sistemas de energia elétrica fornecem corrente alternada. A construção de um motor de corrente contínua é mais complicada principalmente por causa do comutador, das escovas e de enrolamentos da armadura, e sua manutenção é significativa comparado aos motores de corrente alternada (Petruszella, 2013).

Existem motores de corrente contínua que possuem um comutador elétrico ao invés de um comutador mecânico, dispensando o uso de escovas. Esses motores, chamado de brushless possuem uma melhor eficiência e menor necessidade de manutenção quando comparados aos motores escovados CC convencionais (Chen et al., 2013). Eficiência de um motor é a relação entre a potência elétrica de entrada com a potência mecânica de saída, expressa em porcentagem. Durante o processo de conversão de energia, uma parte da potência é perdida na forma de calor do corpo do motor. Normalmente, a eficiência dos motores pode variar entre 75% e 98% e quanto maior esse valor menor será o consumo de energia. Essa variação ocorre devido a qualidade dos materiais que foram utilizados em sua fabricação (Petruszella, 2013).

2.4 Controladora de voo

Este componente tem uma função muito importante para o funcionamento do VANT, pois é o responsável por captar todos os dados dos componentes do veículo, através de um receptor de radiofrequência e é responsável pelo acionamento dos motores e distribuição de sinais e corrente elétrica para os demais componentes (Pixhawk, 2015).

Em um veículo aéreo de múltiplos rotores, a complexidade da dinâmica de voo pode ser considerável e sua operação totalmente manual é inviável. Isso ocorre

devido a diversas variáveis envolvidas, como disparidades entre os propulsores, desequilíbrio das hélices, influência do vento, turbulências, vibrações mecânicas e até mesmo possíveis falhas elétricas e mecânicas. Nesse contexto, o surgimento dos veículos aéreos de múltiplos rotores só se tornou viável graças aos avanços nas tecnologias de sistemas integrados (DEMOLINARI, 2016)

Microcontroladores cada vez mais ágeis e eficientes têm se tornado disponíveis no mercado a preços mais acessíveis (Sun, 2013), o que possibilitou o desenvolvimento dos Sistemas de Controle de Voo Automatizados em inglês Automated Flight Control System (AFCS), também conhecidos como “pilotos automáticos” ou auto pilotos. Segundo Demolinari (2016) para a escolha de um Controlador algumas características importantes devem ser analisadas como a qualidade da execução do seu PWM de saída, ou seja, o quanto os seus inversores são precisos em realizar o que será solicitado pelo controlador de voo.

2.5 Radio controle

O rádio controle desempenha um papel fundamental no controle remoto do drone. Ele consiste em um transmissor manual operado pelo piloto, que envia sinais de comando para o drone por meio de ondas de rádio. Essas ondas são recebidas por um receptor instalado no drone, que interpreta os comandos e os transmite para a controladora de voo (Demolinari, 2016)

Os transmissores comerciais operam em uma faixa de frequência próxima aos 2.4GHz, que é a mesma faixa utilizada por Wi-Fi e Bluetooth por exemplo ou até mesmo fornos de micro-ondas. Dispositivos como esses funcionam na faixa de frequência designada como ISM (Industrial, Scientific and medical), que foi estabelecida em 1985 pela União Internacional de Telecomunicações (ITU) sediada na Suíça, essa faixa de frequência é destinada ao uso industrial, científico e médico (ITU, 2020).

Um excelente emissor de ondas de rádio tem a capacidade de enviar dados em múltiplas frequências dentro da faixa ISM, sendo que cada frequência utilizada é denominada de canal. No caso do emprego em um drone de múltiplos rotores, são requisitados, no mínimo, quatro canais que terão a responsabilidade de controlar os movimentos básicos do drone (Demolinari, 2016).

2.6 Bateria

As células LiPo (lítio-polímero) são amplamente empregadas na utilização de aeromodelos e VANT, esse tipo de componente possui maior densidade de energia em comparação com as células de níquel por exemplo, o que resulta em uma carga duradoura e menor peso, aspectos essenciais nesse contexto. Além disso, elas podem ser recarregadas conforme necessário. A maioria das baterias desse tipo

utiliza um processo de carregamento rápido, que atinge 80% da capacidade da bateria, e, posteriormente, realiza a carga restante de forma mais lenta. (ROSA, 2018) Uma das principais vantagens das baterias de LiPo é sua capacidade de armazenar uma quantidade significativa de energia em um tamanho compacto. Isso permite que elas forneçam uma alta densidade de energia, o que se traduz em maior tempo de operação para os dispositivos alimentados por elas. Além disso, as baterias de LiPo possuem uma baixa taxa de autodescarga, o que significa que elas podem manter sua carga por períodos prolongados quando não estão sendo usadas (Demolinari, 2016).

As baterias LiPo também são conhecidas por sua capacidade de fornecer uma corrente de descarga constante e estável, o que é essencial para o desempenho do drone durante o voo (Demolinari, 2016).

2.7 Controlador eletrônico de velocidade

De acordo com Magni et al (1997) os controladores de potência dos motores, conhecidos como ESC (Electronic Speed Controllers), foram utilizados para controlar a velocidade e direção dos motores. Esses componentes eletrônicos convertem os sinais da controladora de voo em sinais elétricos adequados para os motores, permitindo um controle preciso da potência e velocidade.

Os ESCs geralmente são compostos por um microcontrolador, circuitos de potência e sensores. O microcontrolador é responsável por processar os comandos recebidos e enviar os sinais de controle para os circuitos de potência. Os circuitos de potência são responsáveis por fornecer a corrente elétrica necessária para o motor, enquanto os sensores podem ser utilizados para fornecer informações sobre a velocidade do motor ou outros parâmetros (Demolinari, 2016). Além de regular a velocidade do motor, os ESCs também desempenham outras funções importantes, como a proteção contra sobrecargas de corrente, proteção contra superaquecimento

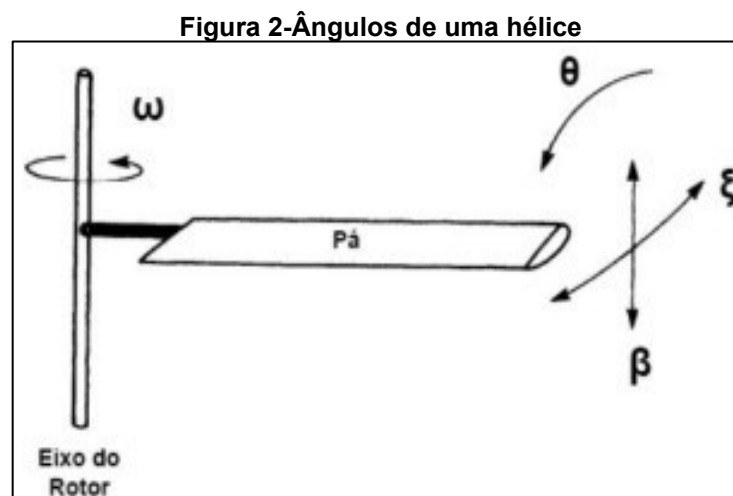
e até mesmo a possibilidade de inverter o sentido de rotação do motor (Monteiro, 2015).

2.8 Hélices

A hélice é um componente de um sistema propulsivo que necessita de eficiência, portanto, deve ser projetada corretamente para fornecer a eficiência necessária para o veículo. O princípio de funcionamento de uma hélice se baseia em seu avanço sobre uma massa de fluido, se deslocando no eixo perpendicular ao plano de rotação, o que só se torna possível devido ao design aerodinâmico de suas pás, o qual suas seções transversais são desenhadas como aerofólios (Rocha, 2019).

Sobre as hélices atuam forças como o arrasto e o torque dos motores, que por sua vez proporciona a rotação das hélices levando suas pás a comportarem como asas rotativas, possuindo uma baixa pressão na parte inferior e superior da pá e uma alta pressão na face, o que proporciona a sustentação da hélice (Rocha, 2019)

Os multirotores geralmente possuem hélices de passo fixo, ou seja, elas se caracterizam por serem rígidas e com pás fixadas sem alterações do passo durante o voo. Passo representa o deslocamento de uma hélice no sentido do seu eixo de rotação, ao final de uma revolução e está associado também ao ângulo de seção (β) da hélice, que diz o quantos graus representa a inclinação da hélice em relação ao eixo longitudinal central naquela seção transversal (Barros, 2016). A figura 2 mostra com clareza os ângulos de uma hélice.



Fonte: Johnson (2013)

Para a escolha de uma hélice comercial é importante saber que estas são designadas por 2 parâmetros principais, o passo da hélice e o seu diâmetro. Por

exemplo, uma das hélices utilizadas nesse projeto possui dimensões 10x5, portanto ela irá possuir 10 polegadas de diâmetro e 5 polegadas de passo teórico. Denomina-se passo teórico pois o passo efetivo da hélice sofre influência do arrasto aerodinâmico e direção de impacto do ar, criando-se um recuo entre os dois passos (Rocha, 2016).

Além do mais as hélices têm um papel importante na estabilidade e controle pois influenciam diretamente na estabilidade e o controle do drone durante o voo. Ao experimentar com diferentes configurações de hélice, é possível identificar qual proporciona uma melhor estabilidade em diferentes condições climáticas e situações de voo. (Barros, 2016).

2.9 Conceitos de elétrica

Para o melhor entendimento dos parâmetros que vamos medir, será necessário a explicação de alguns conceitos e medidas que será utilizado em todo esse trabalho.

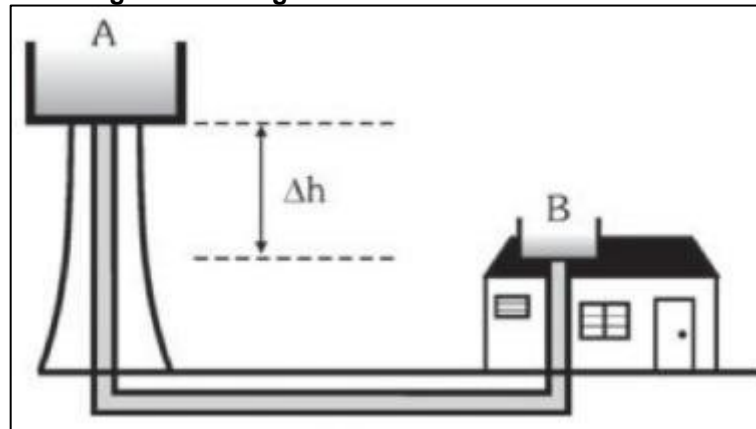
2.9.1 Corrente elétrica

Corrente elétrica é o fluxo de carga elétrica por unidade de tempo e sua unidade é coulomb/segundo ou ampère, em homenagem ao matemático e físico francês Andre-Marie Ampère, responsável por criar as bases da eletrodinâmica, definindo corrente elétrica e desenvolvendo métodos de medições do mesmo. Uma corrente elétrica pode ser contínua, quando a corrente permanece constante em função do tempo, ou pode ser alternada quando varia com o tempo seguindo uma forma senoidal (Alexander ; Sadiku, 2013)

2.9.2 Tensão elétrica

Para deslocar o elétron em um condutor é necessário algum trabalho ou transferência de energia, necessitando então de uma força eletromotriz ou também conhecida como diferença de potencial (Alexander ; Sadiku, 2013). Segundo Markus (2011, p. 23), eletricidade pode ser relacionada com hidráulica como é representado na figura 3, onde uma corrente de água é gerada a partir de uma diferença de potencial gravitacional gerada pela caixa-d'água.

Figura 3-Analogia entre eletricidade e hidráulica



Fonte: Markus (2011)

2.9.3 Potência

Potência é a velocidade com que se consome ou se absorve energia medida em watts (W) e é necessário entender quanta potência um dispositivo é capaz de manipular, pois isso ajuda no entendimento de uma lâmpada de 100 watts ser capaz de iluminar mais do que uma lâmpada de 60 watts (Alexander ; Sadiku, 2013).

Segundo Markus (2011, p. 49), a potência elétrica está associada à quantidade de energia elétrica desenvolvida por um dispositivo elétrico em um intervalo de tempo, e por essa definição sua unidade é joule por segundo (J/s). Segundo o mesmo autor, potência também pode ser entendido como a quantidade de carga elétrica que uma fonte de tensão pode fornecer a um circuito em um determinado tempo, resultando na seguinte expressão matemática:

$$P = \frac{V \cdot Q}{\Delta t} \quad (1)$$

A potência (P) pode ser descrita em termos da tensão (V), da quantidade de carga (Q) e da variação do tempo (Δt), como mostra a Eq. (1) acima. Porém, quantidade de carga por um determinado tempo corresponde a definição de corrente elétrica, sendo assim a expressão matemática pode ser escrita como sendo o produto da tensão em relação a corrente (I), como mostra a Eq. (2) logo abaixo (Markus, 2011):

$$P = V \cdot I$$

O wattímetro é o instrumento de medida de potência, sendo composto por um medidor de corrente e por um medidor de tensão. Sempre deve ser observado as especificações máximas de corrente, tensão e potência do produto, caso contrário, o medidor poderá sofrer danos (Cruz, 2014).

2.9.4 Resistência elétrica

A resistência elétrica é a oposição a condução da corrente elétrica, provocada pela dificuldade de os elétrons livres se movimentarem por determinado material. A resistência elétrica é medida em ohm, em homenagem ao físico alemão que trabalhou como professor de física e matemática publicando seu trabalho em 1826 demonstrando as leis de Ohm. O valor da resistência elétrica pode depender da natureza dos materiais, de suas dimensões e da sua temperatura. O choque dos elétrons entre os átomos provoca uma transferência de sua energia, resultando em uma maior vibração entre eles aumentando a temperatura do material, conhecido como efeito Joule (Markus, 2013).

Motores podem sofrer perdas de potência na forma de aquecimento devido a resistência interna dos enrolamentos do estator e do rotor quando um fluxo de correntes elétrica passa pelo mesmo (Petruszella, 2013).

2.9.5 Gerador de tensão

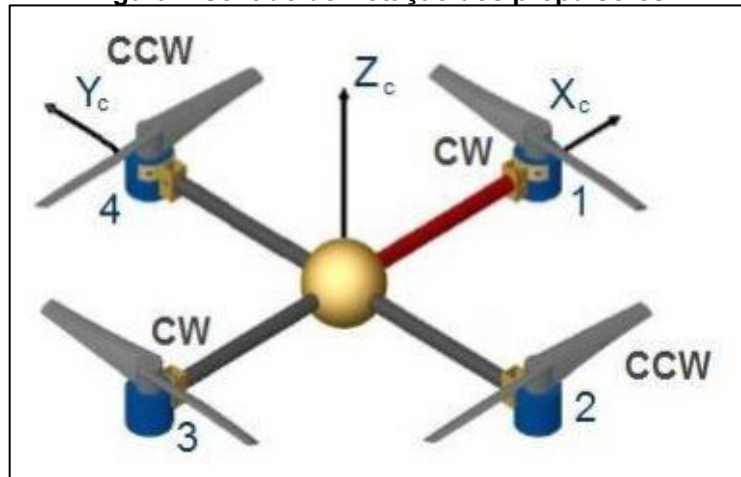
Segundo Cruz (2014, p.11), o gerador de tensão ideal é aquele que consegue fornecer uma tensão constante independente da corrente que o circuito que está sendo alimentado, entretanto qualquer gerador apresenta perdas internas resultando em uma queda de tensão quando cargas muito baixas ou correntes muito altas são alimentados. As baterias de íons-lítio apresentam uma elevada densidade de carga, uma boa durabilidade, massa reduzida, taxa de descarga baixa e menor toxicidade em relação a outros tipos de baterias, sendo utilizados em diversos aparelhos eletrônicos atualmente, ocupando mais de 60% de toda energia portátil (Silva ; Afonso ; Mahler, 2018).

2.9.6 Empuxo de um propulsor

Em um veículo quadrotor temos um conjunto de quatro motores que possuem forças e torques independentes. De acordo com Pfeifer (2013), um drone que possui

4 motores terá pares de hélices contra-rotoras, no caso da figura 4 a rotação dos propulsores 1 e 3 é no sentido horário, já o 2 e 4 giram no sentido anti-horário. E apesar destes propulsores terem orientações diferentes estes irão gerar empuxos positivos.

Figura 4-Sentido de Rotação dos propulsores.



Fonte: Pfeifer (2013)

Quando o VANT se encontra no estado estacionário, temos que todas as hélices se encontram girando com a mesma velocidade e a força gerada para cima deve ser igual a força gravitacional que o puxa para baixo, com isso o veículo se encontra sem a variação movimento, ou seja, o veículo se encontra em um estado em que todas suas forças e torques estão em equilíbrio, o que faz com que se encontre parado no ar (Bresciani,2008).

Vale lembrar que o empuxo gerado irá depender do desempenho do motor, das características das hélices e pelos efeitos causados por outras hélices. Quando o veículo se encontra próximo ao solo, temos um fenômeno chamado efeito solo, que faz com que a eficiência das hélices seja aumentada tornando maior o empuxo gerado pelo propulsor (Pfeifer, 2013).

2.10 Força, trabalho e potência mecânica

Força é uma interação capaz de provocar em um objeto, uma deformação ou uma mudança de movimento. A primeira lei de newton afirma que um corpo em repouso tende a permanecer em repouso caso as forças que atuam sobre o corpo forem nulas. A segunda lei de newton afirma que a aceleração de um objeto é diretamente proporcional a resultante das forças externas agindo sobre ele, com mesma direção e mesmo sentido. A seguinte formula é a representação da afirmação

anterior, no qual (F) representa a força, que é igual a massa (m) multiplicado pela aceleração (a), como podemos ver na Eq. (3) (Marques, 2016).

$$F = m \cdot a \quad (3)$$

Trabalho é a energia transferida para um objeto e possui a mesma unidade de energia, sendo uma grandeza escalar. A transferência de energia em consequência da aplicação de uma força é representada pela seguinte forma, em que trabalho (W) é descrito em termo da força (F) e da distância percorrida (d), como mostra a Eq. (4) logo abaixo (Halliday, 2016):

$$W = F \cdot d \quad (4)$$

Por último, potência (P) é a taxa de variação do trabalho (W) em relação ao tempo (t), podendo ser representado pela Eq. (5) (Marques, 2016):

$$P = \frac{W}{\Delta t} \quad (5)$$

2.11 Energia cinética

Uma definição menos rigorosa pode servir como ponto de partida. A energia pode ser considerada como uma medida associada a um sistema composto por um ou mais objetos. Quando uma força atua sobre um desses objetos, por exemplo, impulsionando-o a se mover, a quantidade de energia do sistema é afetada. Após inúmeros experimentos, cientistas e engenheiros confirmaram que, ao atribuímos um valor adequado à energia utilizando um método de definição apropriado, podemos usá-lo para prever os resultados de experimentos e, o que é ainda mais significativo, para construir máquinas capazes de realizar feitos incríveis, como a capacidade de voar (Halliday, 2016).

A energia cinética, de forma análoga ao trabalho, é uma grandeza escalar. Nunca possui valor negativo e é igual a zero somente quando a partícula está em repouso. A determinação da energia cinética (K), depende exclusivamente da massa (m) e do módulo da velocidade (v) da partícula, não sendo afetada pela direção do movimento, podemos ver sua representação abaixo (Sears *et al*, 2016).

$$K = \frac{m \cdot (v)^2}{2} \quad (6)$$

A energia cinética corresponde à energia relacionada ao estado de movimento de um objeto. Quanto mais rápido o objeto se desloca, maior é sua energia cinética. No caso em que um objeto está em repouso, a energia cinética é igual a zero. Esse conceito é válido para um objeto de massa cuja velocidade seja muito menor do que a velocidade da luz (Halliday, 2016).

2.12 Energia potencial

Existe uma energia que está relacionada à posição dos corpos em um sistema. Essa forma de energia proporciona o potencial ou a capacidade de realizar trabalho. Quando um objeto é levantado no ar, há um potencial para que o trabalho seja realizado sobre ele pela força da gravidade, mas isso só ocorre quando o objeto é solto. Por esse motivo, a energia relacionada à posição é chamada de energia potencial (Sears *et al*, 2016).

Existem duas formas de descrever o que acontece quando um objeto cai sem a resistência do ar. Uma delas é que a energia cinética do objeto em queda aumenta à medida que a força gravitacional da Terra (seu peso) realiza trabalho sobre ele. A outra maneira é afirmar que a energia cinética aumenta à medida que a energia potencial gravitacional diminui. Essas duas descrições de um objeto em queda são equivalentes. (Sears *et al*, 2016).

A energia potencial gravitacional é diretamente proporcional à altura do objeto. Quanto maior a altura, maior será a energia potencial gravitacional. Essa energia é armazenada no objeto e pode ser convertida em outras formas de energia quando o objeto se move ou é liberado. A energia potencial gravitacional (U) pode ser descrita pelo produto da massa (m) do objeto, da aceleração fornecida pela gravidade (G) e a altura que o objeto se encontra (h), como vemos na fórmula abaixo (Halliday, 2016).

$$U = m \cdot g \cdot h \quad (7)$$

2.13 Conservação de energia mecânica

A lei de conservação de energia é um princípio fundamental da física que afirma que a energia total de um sistema isolado permanece constante ao longo do tempo, desde que nenhuma energia seja adicionada ou removida do sistema. Em outras palavras, a energia não pode ser criada nem destruída, apenas transformada de uma forma para outra (Halliday, 2016).

Uma força conservativa é aquela em que o trabalho realizado ao longo de uma trajetória fechada é independente do caminho percorrido, mas apenas depende das posições inicial e final do objeto (Sears *et al*, 2016). A energia mecânica total (E_{mec}) de um sistema, é equivalente a soma da energia potencial gravitacional (U) energia cinética (K) do objeto.

$$E_{mec} = U + K \quad (8)$$

2.14 Microcontrolador arduino

O microcontrolador é um componente eletrônico em formato de chip integrado que realiza a combinação de todas as principais partes de um computador em miniatura, incluindo um microprocessador, memórias voláteis e não voláteis, além de portas de entrada e saída. Normalmente, apresenta limitações em relação à capacidade de memória e é empregado em aplicações especializadas, especialmente aquelas que não requerem o armazenamento de grandes volumes de dados (Taira ; Siqueira, 2018).

De acordo com Souza *et al* (2011) o Arduino Uno é uma placa de desenvolvimento de código aberto baseada em microcontrolador, amplamente utilizada na prototipagem e criação de projetos eletrônicos. É uma das placas mais populares da família Arduino devido à sua facilidade de uso e versatilidade.

2.15 Sensor ultrassônico

Os sensores ultrassônicos funcionam emitindo pulsos de ondas ultrassônicas, que são ondas sonoras com frequências acima do alcance da audição humana. Esses pulsos são emitidos pelo sensor em direção ao objeto em movimento e, quando

encontram o objeto, são refletidos de volta ao sensor. O sensor, então, mede o tempo que leva para o eco retornar. (Custodio *et al*, 2017)

Ao medir o tempo entre a transmissão e a recepção do eco, o sensor ultrassônico pode calcular a distância entre o sensor e o objeto em movimento. A velocidade pode ser determinada ao medir as mudanças na distância ao longo do tempo. Quanto mais rápido o objeto se move, maiores serão as mudanças na distância medida pelo sensor. (Carneiro ; Lugli, 2014)

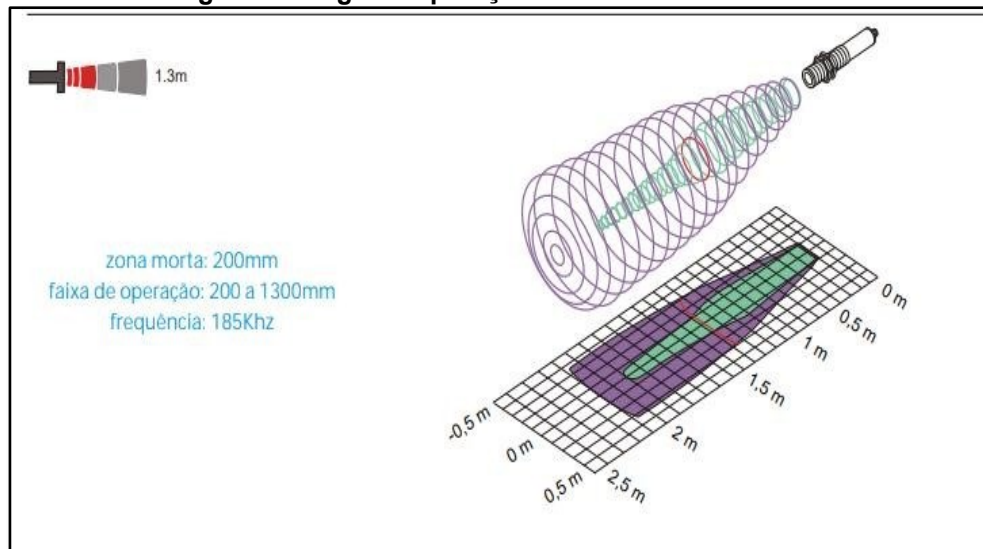
Os sensores ultrassônicos são projetados de forma a emitir o feixe ultrassônico em forma de um cone. Isso significa que apenas os objetos dentro do raio do cone serão detectados pelo sensor. Esses objetos podem ser sólidos, líquidos ou granulares, e o material do objeto não afeta a detecção, podendo ter qualquer formato, tonalidade, superfície lisa ou áspera, ou até mesmo ser translúcido ou colorido. (Sense, 2014).

Portanto, utilizando um par de sensores ultrassônicos posicionados em relação aos objetos em movimento, é possível medir a velocidade entre eles com base nas mudanças de distância ao longo do tempo. Portanto, iremos considerar a velocidade do som no ar (340 m/s) e com a equação abaixo é possível o cálculo da velocidade do sensor, onde temos distância entre o sensor e o obstáculo (d), velocidade do objeto

(v) e o Tempo que o sinal leva para ir do sensor até o objeto e voltar, medido pelo módulo (t) (Custodio *et al*, 2017).

$$d = \frac{v \cdot t}{2} \quad (9)$$

A distância entre os sensores é o que nos garante a precisão que o nosso sensor vai entregar para o experimento, portanto é muito importante trabalhar dentro das distâncias especificada pelo fabricante do sensor. Os sensores utilizados para medir distâncias máximas de 1,3m devem contar com objetos que possuam boa reflexão, a imagem abaixo mostra o range de operação dos sensores (Sense, 2014).

Figura 5-Range de operação sensores ultrassônicos

Fonte: Sense (2014)

A atenuação do som no ar depende da temperatura, pressão e umidade relativa. As relações físicas são complexas e têm vários efeitos em várias frequências ultrassônicas. Simplificando, podemos dizer que quando a temperatura sobe e a quantidade de umidade aumenta, a atenuação do ar aumenta. Isso implica uma redução no tamanho da área de detecção (Sense, 2014).

3 METODOLOGIA

3.1 Construção do vant e seleção de componentes

Para construir um VANT será necessário seguir as etapas desse capítulo. Cada processo deve ser realizado com muita atenção, pois existe inúmeras formas de realizar essa montagem, e uma ligação incorreta pode resultar nas perdas de componentes, ou até mesmo causar um incêndio devido a um curto-circuito.

A seleção correta de materiais é essencial para garantir a segurança e durabilidade do drone. Para garantir que o drone funcione corretamente, é essencial escolher cuidadosamente os componentes eletrônicos. Os componentes devem ser escolhidos com as especificações adequadas para o tipo de drone a ser construído. Além de garantir a compatibilidade dos componentes eletrônicos, para evitar problemas de funcionalidade.

3.2 Seleção dos componentes mecânicos

3.2.1 Estrutura

O modelo da estrutura escolhida para a construção do drone foi a F-450. A F-450 é uma estrutura amplamente utilizada na montagem de drones de médio porte, conhecida por sua resistência e durabilidade. Ela é fabricada em materiais como nylon reforçado e possui um design modular, o que facilita a montagem e manutenção do drone.

A F-450 apresenta uma configuração de quatro braços, dispostos em formato de X, proporcionando estabilidade e equilíbrio durante o voo. Essa estrutura é compatível com hélices de 10 polegadas, que foram escolhidas com base nas especificações dos motores, garantindo um encaixe adequado e seguro.

Além disso, a F-450 possui pontos de fixação para os demais componentes, como os motores, a controladora de voo, os controladores de potência dos motores (ESC) e a bateria. Esses pontos de fixação são estrategicamente posicionados, permitindo uma distribuição adequada do peso e uma montagem organizada do drone.

A imagem abaixo ilustra o modelo da estrutura F-450, demonstrando sua configuração e características. Essa estrutura foi selecionada levando em consideração a sua qualidade, compatibilidade com os demais componentes e a

possibilidade de personalização e expansão do drone conforme as necessidades do projeto.

Figura 6-Frame do VANT



Fonte: Autor (2023)

3.2.2 Hélices

As hélices de 10 polegadas foram selecionadas levando em consideração as especificações dos motores, incluindo o tipo de motor, sua potência e eficiência. A escolha adequada das hélices desempenha um papel fundamental no desempenho do drone, afetando o empuxo gerado, a eficiência aerodinâmica e a estabilidade durante o voo.

Dentre as opções disponíveis, a hélice escolhida foi a 1045. Essa hélice possui 10 polegadas de diâmetro e 4,5 polegadas de passo. A seleção da hélice 1045 foi baseada em sua capacidade de fornecer um equilíbrio ideal entre o empuxo necessário e a eficiência aerodinâmica desejada para o drone.

A imagem abaixo ilustra o modelo da hélice 1045, permitindo visualizar sua forma e design específicos. A escolha dessa hélice foi feita considerando não apenas suas características de desempenho, mas também sua durabilidade e resistência a impactos, garantindo sua adequação para as demandas do projeto.

Figura 7-Hélices do rotor



Fonte: Autor (2023)

3.2.3 Parafusos

Para a fixação do frame, foram utilizados parafusos M3x10mm, conforme especificado pelo fabricante do frame. Esses parafusos apresentam um diâmetro de 3mm e um comprimento de 10mm, sendo ideais para garantir uma fixação segura e firme das diferentes partes do drone.

É recomendado utilizar ferramentas apropriadas, como uma chave de fenda ou uma chave Allen, para apertar os parafusos de maneira adequada, evitando o aperto excessivo ou insuficiente. Isso ajudará a alcançar a correta fixação do frame, proporcionando estabilidade e resistência necessárias para as operações do drone.

3.3 Seleção dos componentes elétricos

3.3.1 Motores

Foram adquiridos dois motores de rotação horária e dois motores de rotação anti-horária, visando garantir um impulso equilibrado e um desempenho estável ao drone. A escolha dessa configuração é essencial para assegurar manobras precisas e um voo controlado.

Os motores foram selecionados levando em consideração critérios como potência, eficiência e compatibilidade com a controladora de voo utilizada. Optou-se por utilizar motores brushless com uma classificação de 920kv. Esses motores possuem roscas em sua carcaça para a fixação das hélices.

Figura 8-Motor brushless 920kv



Fonte: Autor (2023)

3.3.2 Bateria

A bateria escolhida para o drone foi uma bateria de lítio polímero (LiPo) com uma capacidade de 5200mAh. Mais especificamente, foi selecionada uma bateria da marca Tattu, que é conhecida por fornecer produtos de alta qualidade para aplicações aeroespaciais. A bateria possui uma configuração de células 3S, o que significa que ela é composta por três células conectadas em série, resultando em uma tensão nominal de 11,1 volts.

Além da capacidade de 5200mAh, a bateria Tattu possui uma classificação de descarga de 15C. Essa classificação indica a taxa máxima de descarga contínua suportada pela bateria. No caso da bateria em questão, ela é capaz de fornecer uma corrente contínua de descarga de até 15 vezes sua capacidade (ou seja, até 78A). Essa capacidade de descarga é essencial para suprir a demanda de energia dos motores e outros componentes eletrônicos durante o voo do drone. A imagem abaixo ilustra a bateria de lítio Tattu selecionada para o drone:

Figura 9-Bateria de LiPo



Fonte: Autor (2023)

3.3.3 Controladora de Voo

Foi adquirida uma controladora de voo do modelo Tarot ZYX, reconhecida por sua capacidade de desempenhar um papel crucial no controle e estabilidade do drone durante o voo. A controladora de voo é um componente essencial que atua como o cérebro do sistema, processando informações dos sensores e transmitindo comandos aos motores para controlar a orientação, estabilidade e movimento do drone.

Além disso, a controladora de voo Tarot ZYX possui um módulo GPS integrado, que permite ao drone obter dados de posicionamento geográfico e informações de altitude. Esse recurso é especialmente útil para funções como o retorno automático ao ponto de partida (RTH), a manutenção de posição (hover) e a execução de trajetórias predefinidas com base em coordenadas GPS. A imagem abaixo ilustra a controladora de voo Tarot ZYX utilizada no projeto.

Figura 10-Componentes da controladora de voo



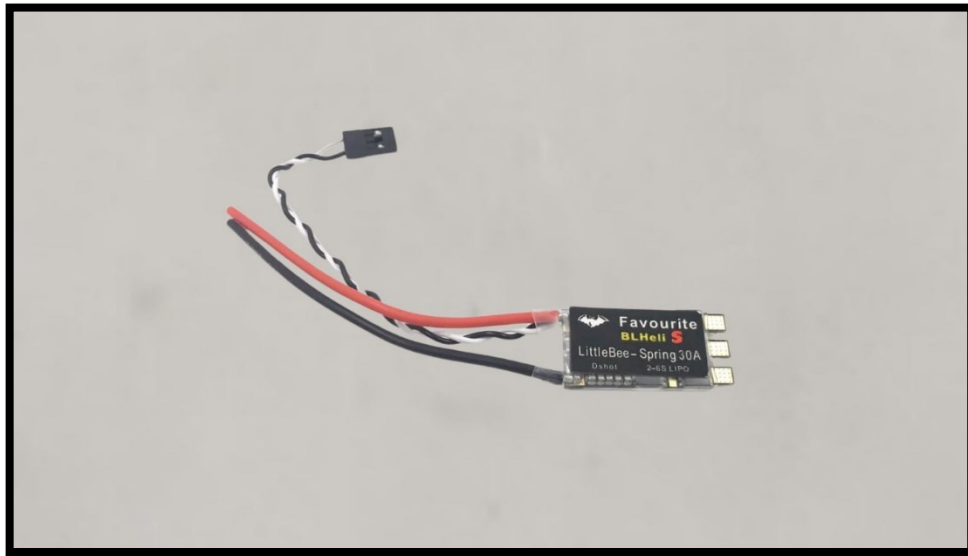
Fonte: Autor (2023)

3.3.4 Controlador de potência dos motores (ESC)

Utilizamos quatro controladores de velocidade eletrônicos (ESC) da marca Favourite, sendo um para cada motor do drone. Esses ESCs desempenham um papel fundamental no controle dos motores, permitindo ajustar a velocidade de rotação de cada um deles de forma independente.

Os ESCs selecionados possuem uma capacidade de corrente de 30A, o que significa que são capazes de fornecer até 30 amperes de corrente elétrica para cada motor. Essa capacidade é adequada para garantir um desempenho eficiente e seguro dos motores, proporcionando potência suficiente para o voo do drone. A imagem abaixo ilustra o controlador de potência utilizado no projeto.

Figura 11-Controlador de potência dos motores



Fonte: Autor (2023)

3.3.5 Radio controle

O rádio controle utilizado é da marca Flysky, um renomado fabricante de sistemas de controle remoto. Ele possui múltiplos canais para controlar várias funções do equipamento simultaneamente, sistemas de telemetria para fornecer informações em tempo real sobre o status do equipamento, entre outras funções, são 6 canais de comunicação, o que permite uma ampla variedade de comandos e funções para o controle do drone. Além disso, os rádios controles modernos também podem incluir recursos adicionais, como a tecnologia de 2.4 GHz, que permite uma comunicação mais rápida e robusta. A imagem abaixo ilustra o rádio controle utilizado no projeto:

Figura 12-Radio Controle Flysky



Fonte: Autor (2023)

3.4 Montagem do vant

A montagem do VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado) envolve um processo cuidadoso e organizado para garantir que todos os componentes estejam corretamente instalados e configurados. A seguir, serão detalhadas as etapas executadas durante a montagem:

1. Montagem do frame: Seguir as instruções fornecidas pelo fabricante para montar o frame (modelo F-450) utilizando parafusos M3x10mm conforme especificado.
2. Fixação dos motores: Fixar os motores nos braços do frame, levando em consideração a rotação de cada motor. Utilizar motores de rotação horária e anti-horária. Garantir uma fixação firme dos motores aos braços do frame.
3. Fixação dos componentes eletrônicos: Fixar a controladora de voo Tarot ZYX no centro do frame. Posicionar os ESCs (controladores de potência) da marca Favourite próximos aos motores. Assegurar que todos os componentes estejam fixados de forma segura e adequada.
4. Ligações de cabos e conectores: Realizar as ligações dos cabos entre os componentes eletrônicos, incluindo os cabos dos motores aos ESCs e a conexão da controladora de voo com os demais componentes. Utilizar

conectores apropriados e organizar os cabos para evitar emaranhados e danos.

5. Realizar comunicação com o rádio controle: Seguir as instruções do fabricante do rádio controle para estabelecer a comunicação entre o controle e o drone. Sincronizar e configurar corretamente a comunicação para permitir o controle remoto do drone.
6. Conectar a controladora no computador e fazer as configurações necessárias: Conectar a controladora de voo ao computador por meio de um cabo USB e utilizar o software de configuração específico. Realizar as configurações necessárias, como calibração dos canais de controle, ajustes de sensibilidade e outras configurações importantes.
7. Calibrar os sensores: Seguir as instruções do fabricante para calibrar os sensores da controladora de voo, como o giroscópio e o módulo GPS. Realizar a calibração de forma precisa para garantir estabilidade e precisão durante o voo.

3.5 Medição da potência elétrica

A medição de energia elétrica é uma das principais medidas utilizadas para avaliar a eficiência energética de um VANT. Isso se deve ao fato de que a potência elétrica mostra a quantidade de eletricidade que o VANT está usando em um determinado momento. Entender a capacidade de carga e o alcance do VANT é crucial, assim como detectar potenciais problemas de sistema elétrico, como falhas na bateria ou outros componentes.

É muito importante ter cautela ao determinar a potência elétrica de um VANT. Primeiro de tudo, é importante garantir que o VANT esteja ligado a uma fonte de alimentação confiável, estável e segura. Isso ajuda a evitar possíveis falhas no sistema elétrico do VANT e a garantir que as medições sejam precisas e confiáveis.

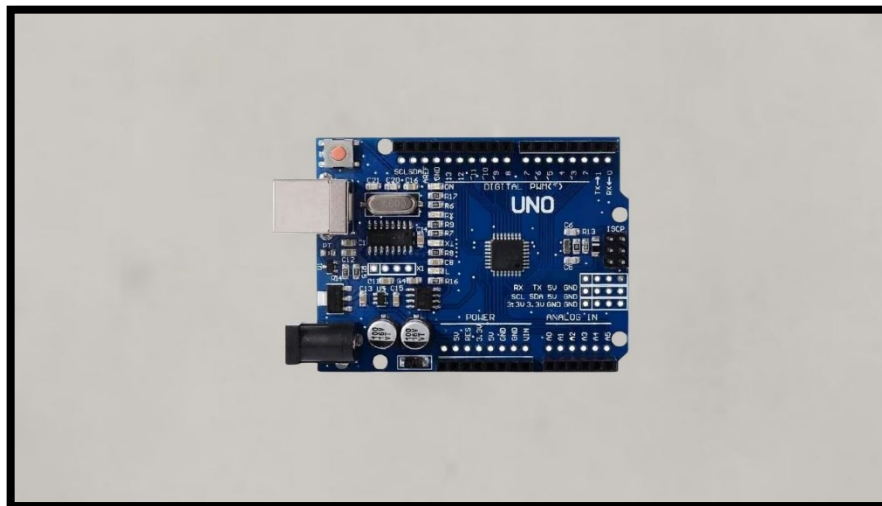
Além disso, é importante utilizar ferramentas de medição apropriadas, no caso será utilizado um wattímetro que deve ser ligado entre a bateria e o circuito do VANT. Tanto a tensão quanto a corrente que é entregue ao VANT podem ser medidas por esses dispositivos. Ao utilizarmos a Eq. (2) que nada mais é do que a multiplicação da tensão (V) pela corrente elétrica (I), é possível determinar a quantidade de eletricidade que o VANT usa.

3.6 Medição da potência real

Com base nos princípios de conservação de energia, é possível calcular a potência considerando a energia adquirida pelo drone ao ganhar energia potencial gravitacional e velocidade cinética. Para realizar essa análise, serão utilizados os seguintes componentes e procedimentos, um microcontrolador arduino UNO e um sensor ultrassônico HC-SR04

Para auxiliar na medição de velocidade o microcontrolador escolhido foi o Arduino Uno pois ele é composto por um microcontrolador Atmega328P, que possui uma arquitetura AVR de 8 bits, clock de 16 MHz e uma quantidade suficiente de memória flash, RAM e EEPROM para executar programas e armazenar dados. Ele também possui uma série de pinos de entrada e saída digital e analógica, que permitem conectar sensores, atuadores e outros componentes eletrônicos. A placa Arduino Uno pode ser programada usando a linguagem de programação Arduino, que é baseada em C/C++. Através do ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) do Arduino, é possível escrever e carregar programas na placa usando um cabo USB, a imagem abaixo ilustra o Arduino Uno.

Figura 13-Arduino Uno



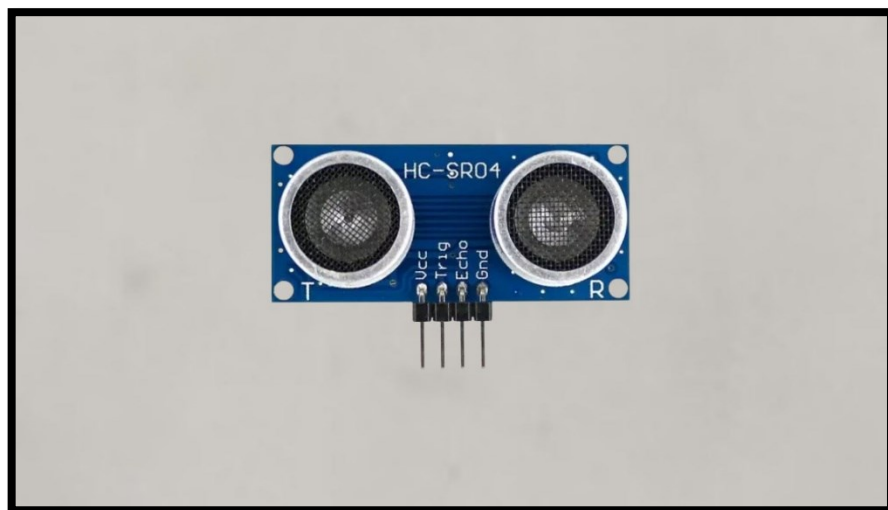
Fonte: Autor (2023)

O sensor ultrassônico HC-SR04 é um dispositivo eletrônico utilizado para medir distâncias por meio de ondas sonoras de alta frequência. Ele é frequentemente utilizado em projetos de eletrônica, robótica e automação, onde a detecção de objetos ou a medição de distâncias é necessária. O HC-SR04 é composto por um transmissor de ultrassom e um receptor. O transmissor emite uma onda sonora ultrassônica de

curta duração e alta frequência, geralmente em torno de 40 kHz. Essa onda sonora se propaga pelo ar e, quando encontra um objeto, parte dela é refletida de volta em direção ao sensor.

O receptor do HC-SR04 captura a onda sonora refletida e, por meio de cálculos baseados no tempo de ida e volta da onda, determina a distância entre o sensor e o objeto detectado. Isso é possível porque a velocidade do som no ar é conhecida e, com base no tempo de viagem da onda sonora, é possível calcular a distância percorrida. O sensor ultrassônico HC-SR04 possui uma boa precisão na medição de distâncias, geralmente na faixa de alguns centímetros a vários metros, dependendo das condições ambientais e das características do objeto refletor. Ele é fácil de usar e pode ser conectado a placas de desenvolvimento, como o Arduino, por meio de pinos digitais.

Figura 14-Sensor ultrassônico HC-SR04



Fonte: Autor (2023)

Foi realizada a montagem de uma estrutura de madeira com o intuito de fixar de maneira adequada o microcontrolador e os sensores utilizados no experimento. A imagem a seguir ilustra o sistema montado.

Figura 15-Setup de medição de velocidade



Fonte: Autor (2023)

O processo de medição será da seguinte maneira: o drone será ligado e acelerado ao máximo para ganhar altitude. O microcontrolador iniciará a contagem do tempo quando o drone passar pelo primeiro sensor e interromperá a contagem quando o drone atravessar o segundo sensor. Dessa forma, teremos o tempo necessário para percorrer uma determinada distância vertical e obteremos os dados necessários para calcular a energia adquirida.

Para calcular a energia potencial gravitacional, utilizaremos a Eq. (7). Já a energia cinética será considerada nula, pois o drone passara pelo primeiro sensor com sua velocidade máxima e passara pelo segundo sensor com a mesma velocidade, não havendo assim variação de velocidade e consequentemente variação de energia cinética. A potência poderá ser obtida dividindo a soma das energias adquiridas pelo tempo necessário para percorrer a distância vertical.

3.7 Eficiência do vant

Uma vez que já foi calculado a potência elétrica e a potência real, pode ser considerado que diferencia entre essas duas potencias ocorrem por perdas internas do VANT, seja por resistência dos motores e fios condutores, ou pela eficiência das

hélices. A razão entre essas duas potências então pode ser considerada a eficiência do drone, e quanto mais próximo de 1 indica melhor eficiência do dispositivo.

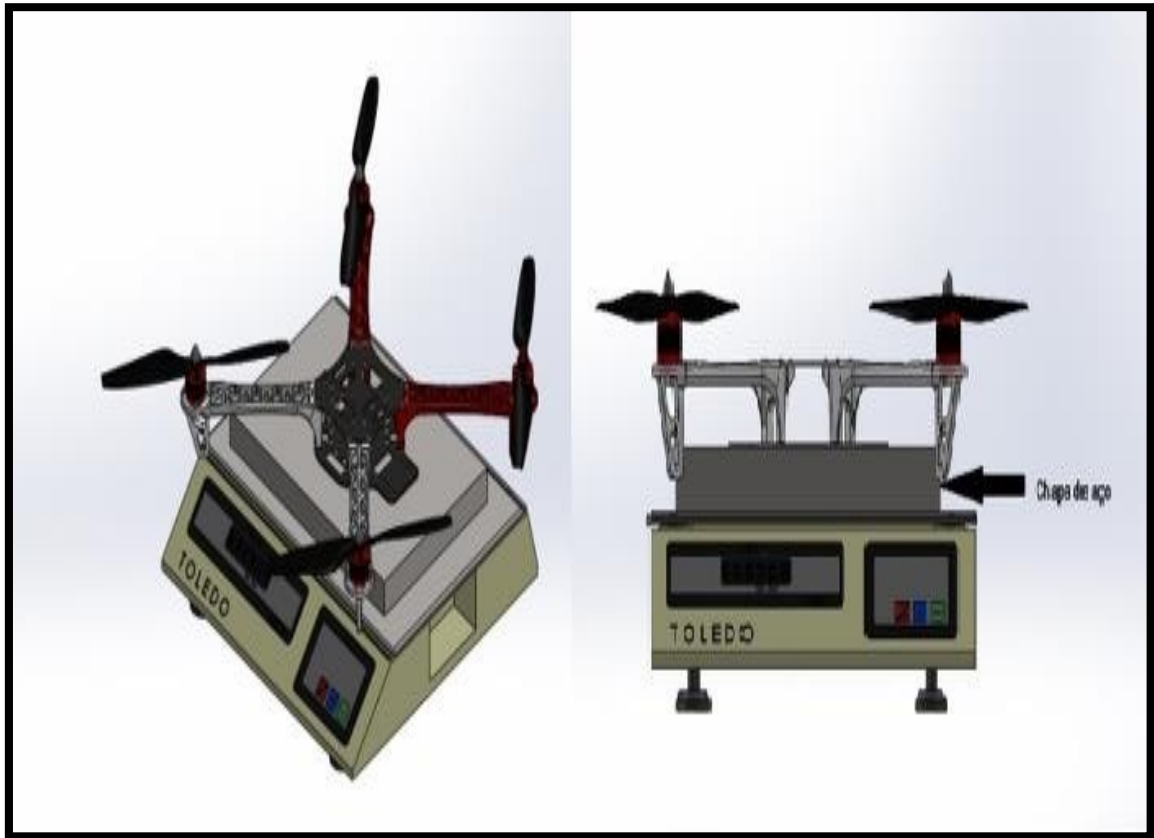
3.8 Medição do empuxo

Para medir o empuxo do VANT, será utilizado uma simples balança de pesagem. O VANT só conseguirá levantar do chão caso o empuxo seja maior do que a força peso, portanto vamos fixar um peso muito superior do que o drone consegue sustentar e colocar todo esse conjunto em cima da balança.

A balança agora irá indicar um peso, o qual está resultando em uma força peso, podendo ser calculado utilizando a segunda lei de newton. Após esse processo, o VANT será ligado e colocado em potência máxima, porém devido ao peso fixado nele, não irá sair do lugar.

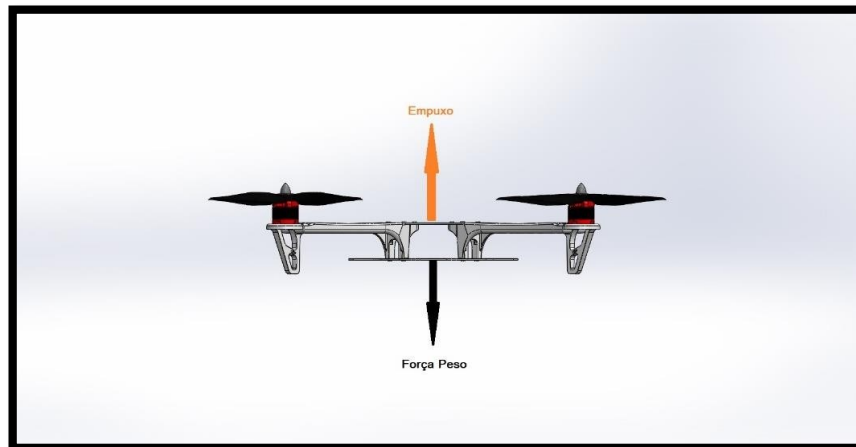
A balança então irá indicar um novo valor, entretanto a massa do conjunto não foi alterada, e a única explicação para essa mudança será o surgimento de uma força chamada empuxo que aponta para cima. Por fim, utilizando um somatório de forças, será possível saber o empuxo gerado pelo VANT. Os materiais que utilizamos para esse processo foram uma balança de pesagem de 40kg e uma chapa de alumínio, pesando aproximadamente 15kg, como mostra a seguir.

Figura 16-Representação de medição do empuxo



Fonte: Autor (2023)

Figura 17-Representação das forças de um VANT



Fonte: Autor (2023)


4 RESULTADOS

Após uma série de modificações no protótipo, a equipe chegou a um design final que foi avaliado através de simulações no eCalc, um programa de código aberto. Essas simulações indicaram melhorias significativas na duração da bateria. O eCalc possibilita a previsão do desempenho de drones com base em suas especificações técnicas. Além disso, a equipe conduziu ensaios de voo para verificar a performance da estrutura recém-desenvolvida. Durante o processo de aprimoramento, foi dada ênfase aos testes iterativos para mensurar o impacto de cada modificação feita. De maneira concisa, todos os resultados e dados coletados foram registrados para análise posterior.


Figura 18 -Dados inseridos na simulação do eCalc

todos os dados sem garantia - Precisão: +/-15% **xcopterCalc - Calculadora para Multicópteros** News | Toolbox | Easy View | Help | Tutorial | Language: português


Geral	Peso do aeromodelo: 1080 g com componentes 38.1 oz	Nº de rotores: 4 simples	Tamanho do quadro: 450 mm 17.72 pol.	Limite de inclinação em voo: 40°	Elevação: 300 m ASL 984 pés ASL	Temperatura do ar: 25 °C 77 °F	Pressão (QNH): 1013 hPa 29.91 polHg	
Célula de bateria	Tipo (C cont. / C máx) - condição de carga: LiPo 6000mAh - 80/120C - normal	Configuração: 3 S 1 P	Capacidade da célula: 6000 mAh 6000 mAh total	descarga máxima: 90%	Resistência: 0.0022 Ohm	Tensão: 3.7 V	Taxa C: 80 C cont. 120 C máx.	Peso da célula: 171 g 6 oz
ESC	Tipo: max 30A	Corrente: 30 A cont. 30 A máx.	Resistência: 0.008 Ohm	Peso: 40 g 1.4 oz	Acessórios			Fuga de corrente: 0 A 0 g 0 oz
Motor	Fabricante - Tipo (KV) - refrigeração: (T = descontinuado) T-Motor Antigravity MN2214-920 (920)	Kv (sem torque): 920 rpm/V	Corrente sem carga: 0.75 A @ 10 V	Limite (até 15s): 250 W	Resistência: 0.098 Ohm	Tamanho do invólucro: 22 mm 0.87 pol.	# polos magnéticos: 14	Peso: 57 g 2 oz
Hélice	Tipo - torção no nariz: Genenc - thin 0°	Diâmetro: 10 pol. 254 mm	Passo: 4.7 pol. 119 mm	# pás: 2	PConst / TConst: 1.07 / 1.0	Relação de engrenagem: 1 : 1	calcular	




Carga: 8.8




Tempo de voo pairado: 29.3




Potência elétrica: 141



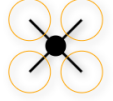
Temperatura est.: 40



Peso-empuxo: 2.8



Empuxo específico: 8.87



Configuração

Fonte: Autor (2023)

Figura 19 -Dados obtidos na simulação do eCalc

Notas:		Motor @ Eficiência ótima		Motor @ Máximo	Motor @ Pairado	Totais	Multirrotor:
Bateria		Corrente:	8.70 A	Corrente:	13.25 A	Peso componentes:	Peso total:
Carga:	8.83 C	Tensão:	10.80 V	Tensão:	10.64 V		1080 g
Tensão:	10.75 V	Revoluções*:	9005 rpm	Revoluções*:	8496 rpm		38.1 oz
Tensão nominal:	11.10 V	Potência elétrica:	94.0 W	Potência elétrica:	141.0 W	Peso-empuxo:	Carga adicional:
Energia:	66.6 Wh	Potência mecânica:	78.5 W	Potência mecânica:	115.7 W	2.8 : 1	1496 g
Capacidade total:	6000 mAh	Eficiência:	83.6 %	Peso-potência:	522.3 W/kg	Corrente @ Pairado:	52.8 oz
Capacidade utilizada:	5400 mAh				236.9 W/lb	P(entrada) @ Pairado:	Inclinação máxima:
Tempo de voo mínimo:	6.1 min					P(saida) @ Pairado:	40 °
Tempo de voo variado:	18.5 min					Eficiência @ Pairado:	45 km/h
Tempo de voo pairado:	29.3 min					Corrente @ máx:	28 mph
Peso:	513 g					52.99 A	intervalo estimado:
	18.1 oz					P(entrada) @ máx:	- m
						588.2 W	- mi
						P(saida) @ máx:	Taxa estimada de ascensão:
						462.9 W	8.6 m/s
						Eficiência @ máx:	1693 pé/min
						78.7 %	20.27 dm²
							314.19 in²
							Tolerância a perda de motor:
							✖

Compartilhar

Adicionar >> Baixar em .csv (0) << Limpar

Fonte: Autor (2023)

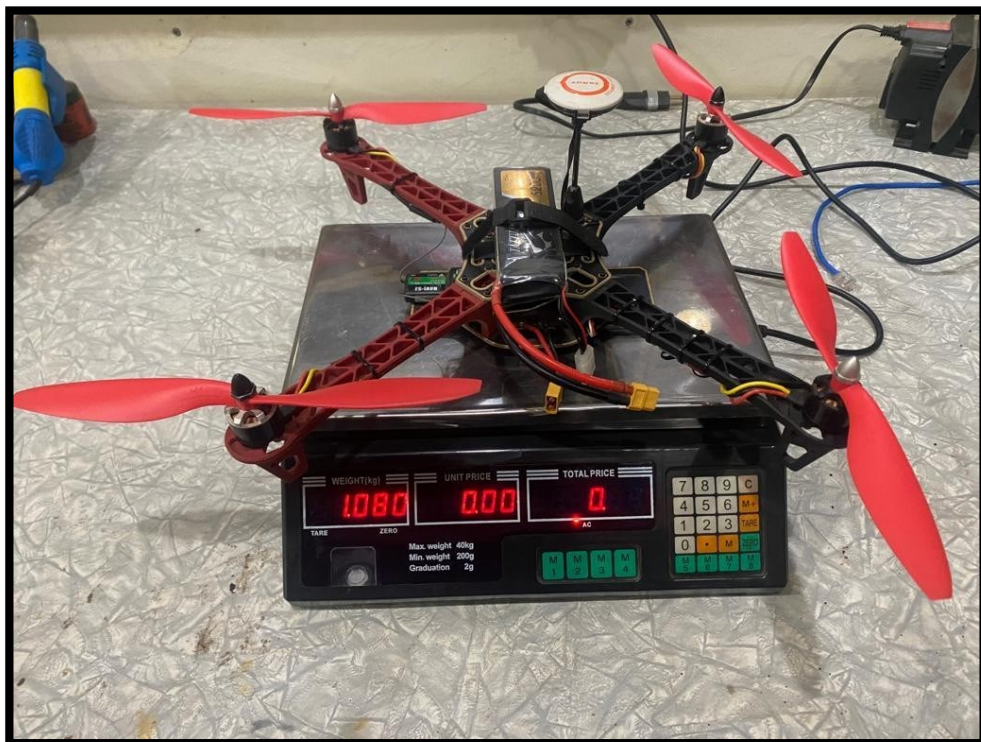
Os experimentos realizados tiveram como objetivo realizar uma análise abrangente do desempenho e eficiência energética de um drone por meio da medição de diferentes parâmetros, incluindo empuxo, corrente elétrica, tensão elétrica, potência elétrica, velocidade, potência real e eficiência. A compreensão dessas

variáveis é de extrema importância para o desenvolvimento e otimização de drones, buscando maximizar a eficiência energética e a autonomia de voo desses dispositivos aéreos não tripulados.

4.1 Resultados obtidos na medição de empuxo

Como primeiro passo para determinação do empuxo foi a pesagem do drone já montado com todos os componentes para termos conhecimento do seu próprio peso, o drone apresentou massa igual a 1,080kg.

Figura 20-Medição da massa do Drone



Fonte: Autor (2023)

Conforme já discutido na metodologia adotada neste estudo, utilizou-se um bloco de alumínio com massa de 14,576 kg, ao qual o VANT foi fixado.

Adicionalmente, foi empregado parafusos adicionais para a fixação do drone no bloco de alumínio, juntamente com o uso de um wattímetro. Após a fixação adequada, posicionou-se o VANT com sua chapa sobre uma balança e procedeu-se à ligação do equipamento, simulando a máxima velocidade como se fosse iniciar o voo.

Todavia, de acordo com as especificações do motor, constatou-se que o VANT não possuía capacidade para erguer a chapa, resultando em uma ação

contrária à força gravitacional por parte dos motores, ocasionando assim uma alteração na medida do peso de todo o sistema.

Utilizando-se a teoria da ação e reação em conjunto com as medições efetuadas, foi possível calcular a força de empuxo gerada pelo VANT. Realizaram-se 5 medições, com duração de 30 segundos cada uma. A tabela abaixo apresenta os resultados obtidos e os valores de empuxo correspondentes.

Tabela 1-Resultado dos experimentos de empuxo

	Peso inicial(kg)	Peso Final (kg)	Diferença de peso(kg)	Empuxo (Kg.f)	Empuxo(N)
1	16,072	13,908	2,164	2,164	21,229
2	16,074	14,125	1,949	1,949	19,120
3	16,072	14,28	1,792	1,792	17,580
4	15,75	13,924	1,826	1,826	17,913
5	15,75	13,756	1,994	1,994	19,561

Fonte: Autor (2023)

4.2 Medição de corrente, tensão e potência elétrica

Por meio da realização do experimento de medição de empuxo, procedeu-se à conexão de um wattímetro entre a fonte de energia (bateria) e o equipamento em estudo como podemos ver na figura abaixo.

Figura 21-Wattímetro conectado entre bateria e sistema



Fonte: Autor (2023)

Essa abordagem permitiu a obtenção de medidas precisas relacionadas à tensão, corrente e potência liberada pela bateria durante o experimento. A seguir, apresentam-se os resultados obtidos a partir dessas medições elétricas.

Tabela 2-Resultados das medições elétricas

	Corrente(A)	Tensão(V)	Potência Elétrica(W)
1	23,14	12,41	287,1674
2	22,17	12,32	273,1344
3	22,14	12,22	270,5508
4	21,54	12,46	268,3884
5	20,74	12,26	254,2724

Fonte: Autor (2023)

4.3 Medição da velocidade

Conforme descrito na metodologia do experimento, desenvolvemos um dispositivo para medir a velocidade de um objeto que se desloca em sua frente. Esse dispositivo consiste em um microcontrolador, dois sensores ultrassônicos posicionados com uma distância fixa de 1 metro entre eles, e uma estrutura de madeira que sustenta os componentes, podemos ver esse setup montado para a medição de velocidade na figura abaixo.

Figura 22-Preparação para medição da velocidade

Fonte: Autor (2023)

Através da medição da distância, os sensores são capazes de detectar a passagem de um objeto em sua frente. Nesse momento, utilizamos uma função

disponível na biblioteca do Arduino chamado de “`millis()`” para registrar o primeiro parâmetro de tempo. Essa função retorna o tempo de funcionamento do microcontrolador desde o momento em que o sistema foi ligado.

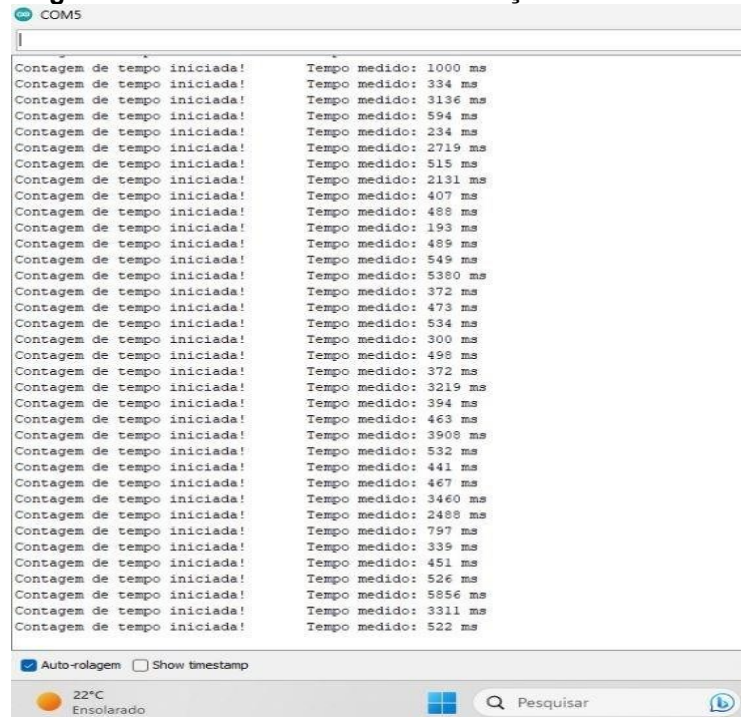
O sistema continua recebendo os dados do sensor superior até detectar a passagem completa do objeto. Nesse momento, registramos a segunda variável de tempo, também utilizando a função “`millis()`”. Considerando que os sensores estão posicionados a uma distância conhecida de 1 metro entre eles, a diferença entre as variáveis de tempo armazenadas corresponde ao tempo que o objeto levou para percorrer essa distância de 1 metro. A partir desse tempo, podemos calcular a velocidade do objeto. A seguir, apresentam-se os resultados obtidos a partir da medição da velocidade utilizando o dispositivo descrito.

Tabela 3-Medição de velocidade

<u>Amostra</u>	<u>Tempo médio (ms)</u>	<u>Tempo médio (s)</u>	<u>Velocidade (m/s)</u>
1	334	0,334	2,994
2	594	0,594	1,684
3	234	0,234	4,274
4	515	0,515	1,942
5	407	0,407	2,457
6	488	0,488	2,049
7	193	0,193	5,181
8	489	0,489	2,045
9	549	0,549	1,821
10	372	0,372	2,688
11	473	0,473	2,114
12	534	0,534	1,873
13	300	0,300	3,333
14	498	0,498	2,008
15	372	0,372	2,688
16	394	0,394	2,538
17	463	0,463	2,160
18	532	0,532	1,880
19	441	0,441	2,268
20	496	0,496	2,016
21	339	0,339	2,950
22	451	0,451	2,217
23	526	0,526	1,901
24	522	0,522	1,916

Fonte: Autor (2023)

A figura abaixo, representa uma captura de tela com os dados dos tempos medidos pelo equipamento.

Figura 23-Resultados obtidos na medição de velocidade


Contagem de tempo iniciada!	Tempo medido:
Contagem de tempo iniciada!	1000 ms
Contagem de tempo iniciada!	334 ms
Contagem de tempo iniciada!	3136 ms
Contagem de tempo iniciada!	594 ms
Contagem de tempo iniciada!	234 ms
Contagem de tempo iniciada!	2719 ms
Contagem de tempo iniciada!	515 ms
Contagem de tempo iniciada!	2131 ms
Contagem de tempo iniciada!	407 ms
Contagem de tempo iniciada!	488 ms
Contagem de tempo iniciada!	193 ms
Contagem de tempo iniciada!	489 ms
Contagem de tempo iniciada!	549 ms
Contagem de tempo iniciada!	5380 ms
Contagem de tempo iniciada!	372 ms
Contagem de tempo iniciada!	473 ms
Contagem de tempo iniciada!	534 ms
Contagem de tempo iniciada!	300 ms
Contagem de tempo iniciada!	498 ms
Contagem de tempo iniciada!	372 ms
Contagem de tempo iniciada!	3219 ms
Contagem de tempo iniciada!	394 ms
Contagem de tempo iniciada!	463 ms
Contagem de tempo iniciada!	3908 ms
Contagem de tempo iniciada!	532 ms
Contagem de tempo iniciada!	441 ms
Contagem de tempo iniciada!	467 ms
Contagem de tempo iniciada!	3460 ms
Contagem de tempo iniciada!	2488 ms
Contagem de tempo iniciada!	797 ms
Contagem de tempo iniciada!	339 ms
Contagem de tempo iniciada!	451 ms
Contagem de tempo iniciada!	526 ms
Contagem de tempo iniciada!	5856 ms
Contagem de tempo iniciada!	3311 ms
Contagem de tempo iniciada!	522 ms

Fonte: Autor (2023)

4.4 Potência elétrica, potência real, e eficiência.

Conforme descrito nas referências bibliográficas deste estudo, a potência elétrica é definida como a quantidade de energia liberada por uma fonte de energia. Ao conectar um wattímetro entre a fonte de energia e o equipamento em análise, é possível obter medições elétricas, incluindo tensão, corrente e potência.

Além disso, de acordo com as referências bibliográficas consultadas neste trabalho, a potência real é caracterizada como a variação de trabalho ao longo de um determinado intervalo de tempo.

No contexto específico do experimento realizado com o drone, foi observado que o dispositivo partiu de uma condição de velocidade constante, e alcançou uma altura de 1 metro acima do solo, conforme os experimentos conduzidos.

Durante esse processo, ocorreu uma variação nas energias potencial gravitacional do VANT, porém assumindo que ele parte de uma velocidade constante assume essa mesma velocidade durante todo o percurso, podemos afirmar que a variação de energia cinética é nula, temos então a variação de energia potencial calculado para cada situação experimental e apresentadas na tabela abaixo.

Tabela 4-Resultado experimentos de potência

Tempo medio(s)	Variação de Energia Potencial(J)	Trabalho (J)	Potencia (W)
0,334	10,59	10,59	31,721
0,594	10,59	10,59	17,836
0,234	10,59	10,59	45,277
0,515	10,59	10,59	20,572
0,407	10,59	10,59	26,031
0,488	10,59	10,59	21,711
0,193	10,59	10,59	54,895
0,489	10,59	10,59	21,666
0,549	10,59	10,59	19,298
0,372	10,59	10,59	28,481
0,473	10,59	10,59	22,399
0,534	10,59	10,59	19,840
0,3	10,59	10,59	35,316
0,498	10,59	10,59	21,275
0,372	10,59	10,59	28,481
0,394	10,59	10,59	26,890
0,463	10,59	10,59	22,883
0,532	10,59	10,59	19,915
0,441	10,59	10,59	24,024
0,496	10,59	10,59	21,360
0,339	10,59	10,59	31,253
0,451	10,59	10,59	23,492
0,526	10,59	10,59	20,142
0,522	10,59	10,59	20,297

Fonte: Autor (2023)

Ao explorar a aplicação da fórmula (9) e definir o alcance do sensor até 70 cm, torna-se viável calcular o tempo necessário para que o sensor ultrassônico detecte um objeto a uma distância de 35 cm (média entre 0 e 70 cm). Após conduzir os cálculos, considerando a velocidade do som de 343 m/s, concluímos que o tempo de resposta é de 2,04 milissegundos. Nesse contexto temporal, ao percebermos que a função do Arduino expressa seus resultados em milissegundos, torna-se evidente que a medição de tempo do sensor impõe uma limitação ao microcontrolador.

Apesar dessa imprecisão de 2,04 milissegundos, que pode parecer considerável, ela se torna menos significativa quando comparada às variações de valores mais expressivas presentes em nossa amostra de dados. Apesar da disparidade nos resultados, as análises realizadas sugerem que a imprecisão não pode ser diretamente atribuída aos sensores. Aprofundar a investigação sobre a razão dessa discrepância emerge como um campo promissor para estudos futuros.

A medição da potência elétrica e potência real em um experimento proporciona uma análise metódica da quantidade de energia que pode ser efetivamente convertida em trabalho. Essa comparação reveste-se de significativa importância para a compreensão da eficiência e desempenho de um sistema elétrico ou dispositivo em estudo. A eficiência foi calculada por meio da média da potência elétrica e da média da potência real, resultando em um coeficiente de eficiência de 9,62%. Na tabela a seguir, podemos observar os dados obtidos.

Tabela 5 - Média dos resultados

Velocidade(m/s)	2,458
Empuxo(N)	19,08
Corrente(A)	21,946
Potência Elet (W)	270,703
Potência Real(W)	26,04
Eficiência (%)	9,62

Fonte: Autor (2023)

4.5 Avaliação de custos

O desfecho desse estudo resultou na criação do quadro 1, que detalha os gastos totais, enumerando os componentes escolhidos junto com uma previsão de custo para os materiais de consumo e conectores. Além disso, o custo final estimado para o drone é apresentado.

Tabela 6 - Relação de Massas e Preços

Componente	Quantidade	Massa Um. (g)	Massa Total (g)	Preço Um. (R\$)	Preço Total (R\$)
Placa Central	1	51.62	51.62	77,00	77,00
Braço	4	73.00	292.00	68,00	272,00
Motor	4	98.00	392.00	161,50	646,00
ESC	4	45.00	180.00	35,20	140,80
Bateria	1	653.00	653.00	383,60	383,60
Cont. de Voo	1	48.00	48.00	420,00	420,00
Hélice	4	7.00	28.00	8,50	34,00
Consumíveis	1	60.00	60.00	65,00	65,00
Total	-	-	-	-	2.038,40

Fonte: Autor (2023)

5 CONCLUSÃO

A construção de um VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado) envolve uma série de etapas cuidadosas e precisas, desde a seleção dos materiais até a montagem dos componentes eletrônicos. É essencial seguir as etapas descritas neste tópico, garantindo atenção e cuidado durante todo o processo.

A seleção correta dos materiais é crucial para assegurar a segurança e durabilidade do drone. Os componentes eletrônicos devem ser escolhidos de acordo com as especificações adequadas para o tipo de drone a ser construído, levando em consideração a compatibilidade entre eles. A soldagem e montagem dos componentes também devem ser realizadas com precisão, tomando precauções para evitar curtos-circuitos ou danos.

A medição da potência elétrica é importante para avaliar a eficiência energética do VANT, e deve ser feita com cautela, utilizando ferramentas de medição apropriadas. Além disso, a medição da potência real leva em consideração a energia adquirida pelo drone ao ganhar energia potencial gravitacional e velocidade cinética. Os resultados obtidos com a construção do VANT foram altamente satisfatórios. O drone demonstrou estabilidade, bom desempenho e capacidade de manobra precisa. A montagem organizada dos componentes eletrônicos contribuiu para um funcionamento adequado do sistema, enquanto os testes realizados confirmaram a eficiência e a segurança do drone.

Através dos experimentos notamos que o empuxo gerado pela propulsão é o dobro de seu peso, portanto isso dá uma capacidade de carga adicional além de uma flexibilização operacional, possibilitando de o drone contornar situações adversas. Uma eficiência de 10% para um drone pode ser considerada como um ponto de partida para otimizações futuras. É importante ressaltar que a eficiência de um drone é influenciada por diversos fatores como as perdas de energia na manutenção do drone no ar, perdas internas nos circuitos e eficiência das hélices, e alcançar uma eficiência mais elevada depende principalmente dessas variáveis específicas. No contexto de aplicações específicas, uma eficiência de 10% pode ser aceitável, desde que atenda às necessidades e requisitos da aplicação em questão. Cada missão e caso de uso terão diferentes demandas de eficiência, e é fundamental considerar todos esses aspectos ao avaliar a eficiência de um drone.

REFERÊNCIAS

ALEXANDER, C. K.; SADIKU, M. N. O. **Fundamentos de circuitos elétricos com aplicações**. Porto Alegre: AMGH, 2013. E-book. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788580551730/>. Acesso em: 18 dez. 2023.

BARROS, J. E. M. **Notas de aula da disciplina Propulsão I**, Engenharia Aeroespacial. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2016. Disponível em: http://www.mautone.eng.br/lectures_notes.htm, Acesso em: 2 dez. 2021.

BRESCIANI, T. **Modelling, identification and control of a quadrotor helicopter**. 2008. 180 f. Dissertação (Mestrado em Automação de Controle) - Lund University. Lund, Suécia, 2008.

CARNEIRO, J. B.S.; LUGLI, A. B. Estudo de sensores ultrassônicos e suas aplicações. *In*: SEMINÁRIO DE REDES E SISTEMAS DE TELECOMUNICAÇÕES, 1., 2014, **Anais [...]**, Instituto Nacional e Telecomunicações, Santa Rita do Sapucaí, 2014.

CHEN, Y.T; *et al.* A Driver for the Single-Phase Brushless DC Fan Motor With Hybrid Winding Structure. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, v. 60, 2013.

CRUZ, E. C. A. **Circuitos elétricos: análise em corrente contínua e alternada**. São Paulo: Saraiva, 2014. E-book. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536518220/>. Acesso em: 24 nov. 2021.

CUSTODIO, A.; *et al.* **Radar ultrassônico para medir velocidade**, jun 2017. Disponível em: <http://sistemaolimpo.org/midias/uploads/27322d658a90b5d91b6cdd5b607b3d56.pdf>. Acesso em: 18 dez. 2023.

DEMOLINARI, H. C. **Projeto de construção de um Drone Hexacóptero**. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2016.

EUCHI, J. Do drones have a realistic place in a pandemic fight for delivering medical supplies in healthcare systems problems? **Chinese Journal of Aeronautics**, Tunisia, v. 34, n. 2, p. 182-190, fev. 2020.

FORBES. **What makes the quadcopter design so great for small drones?** Quora, 2013. Disponível em: <https://www.forbes.com/sites/quora/2013/12/23/what-makes-the-quadcopter-design-so-great-for-small-drones/?sh=7a095d4d654f>, Acesso em: 20 nov. 2021.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

ISO (International Organization for Standardization). **ISO/TC 20/SC 16 - Unmanned Aircraft Systems**. Genebra: ISO, 2015. Disponível em: <https://www.iso.org/committee/5336224.html>. Acesso em 15 nov. 2023.

ITU (International Telecommunication Union). **Radio Regulations Articles**: 2020 Genebra, 2020.

JOHNSON, W. **Helicopter theory**. New York: Dover Publications, 1980.

KEANE, J. F., CARR, S. S., **A brief history of early unmanned aircraft**. Johns Hopkins APL Technical Digest, v. 32, n. 3, 2013 Disponível em: <https://secwww.jhuapl.edu/techdigest/Content/techdigest/pdf/V32-N03/32-03-Keane.pdf>, Acesso em: 18 dez. 2023.

KUNOVJANEK, M.; WANKMULLER, C. **Containing the COVID-19 pandemic with drones**. Feasibility of a drone enabled back-up transport system. EUA: Elsevier Ltd, 2021.

LEISHMAN, J. G., **A history of helicopter flight**. Universidade de Maryland, USA, 2000. Disponível em: <https://www.aviatorsdatabase.com/wpcontent/uploads/2013/07/A-History-of-Helicopter-Flight-.pdf>, Acesso em 18 dez. 2023.

MAGNI, J. F., BENNANI, S., TERLOUW, J. **Robust flight control: a design Challenge**. 1. Heidelberg: Springer, 1997.

MARKUS, O. **Circuitos elétricos: corrente contínua e corrente alternada**. São Paulo: Saraiva, 2011. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536518237/>. Acesso em: 24 nov. 2021.

MARQUES, F. C. **Física mecânica**. Barueri: Manole, 2016. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788520454398/>. Acesso em: 24 nov. 2021.

MONTEIRO, J. C. E. **Modelagem e controle de um veículo quadricóptero**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

PERREAUT, M.; BEHDINAN, K. Delivery drone driving cycle. **IEEE Transactions on Vehicular Technology**, v. 70, USA: IEEE, 2021.

PETRUZELLA, F. D. **Motores elétricos e acionamentos**. Porto Alegre: AMGH, 2013. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788580552584/>. Acesso em: 24 nov. 2021.

PFEIFER, E. **Projeto e controle de um UAV quadricóptero**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

PIXHAWK, **Site oficial do Hardware Pixhawk**. Disponível em: <https://pixhawk.org>. Acesso em: 15 dez. 2021.

- ROCHA, L. M. **Estudo e dimensionamento de hélices para propulsão aeronáutica**. 2019. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2019.
- ROSA, M. A. S. **Controle para automatização de um quadricóptero**. 2018 Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Eletrônica) – Universidade de Brasília, Brasília, 2018
- RUEY-HSUN. **A driver the single-phase brushless dc fan motor with hybrid winding structure**. National Yunlin University of Science and Technology, Yunlin-Taiwan: 2013.
- SEARS, F. W.; *et al.* **Física II: termodinâmica e ondas**. 12. ed. São Paulo, SP: Pearson Addison Wesley, 2008.
- SILVA, R. G.; AFONSO, J. C.; MAHLER, C. F. **Lixiviação ácida de baterias íon-lítio**. Rio de Janeiro-RJ: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2018.
- SENSE. **Sensores ultrassônicos**. São Paulo: SENSE, 2014. Disponível em: https://www.sense.com.br/arquivos/produtos/arq1/Sensores_Ultrass%C3%B4nicos_Sense_Folheto_Rev_%20J.pdf. Acesso em: 18 dez. 2023.
- SOUZA, A. R.; *et al.* A placa Arduino: uma opção de baixo custo para experiências de física assistidas pelo PC. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n. 1, p. 1702, 2011.
- TAIRA, D. P; SIQUEIRA, F. M. F. **Prototipagem utilizando plataforma Arduino para sistema de controle de nível**. 2018 Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2018.
- VALAVANIS, K. **Advances in unmanned aerial vehicles: state of the art and the road to autonomy**. Dordrecht: Springer, 2007. v. 70. EUA: IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2021.
- WATTS, A. C.; AMBROSIA, V. G.; HINKLEY, E. A. Sistemas de aeronaves não tripuladas em sensoriamento remoto e pesquisa científica: classificação e considerações de uso. **Sensoriamento Remoto**, v. 4, n. 6, p. 1671-1692, 2012.

APÊNDICE A - Código para os sensores escrito no Arduino

```

// Inclua a biblioteca Ultrasonic
#include <Ultrasonic.h>

// Declaração de variáveis
int dist1 = 0;
int dist2 = 0;
int temp1 = 0;
int temp2 = 0;
int op = 0;

// Inicialização dos objetos Ultrasonic, com os pinos Echo e Trig
Ultrasonic ultrasonic1(9, 8);
Ultrasonic ultrasonic2(3, 2);

void setup() {
  // Inicialização da comunicação serial
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  // Medição da distância pelos sensores ultrassônicos
  dist1 = ultrasonic1.Ranging(CM);
  dist2 = ultrasonic2.Ranging(CM);
  temp1 = 0;
  temp2 = 0;

  // Se a distância medida pelo primeiro sensor ultrassônico for maior que 70 cm,
  considera-se como 0
  if (dist1 > 70) {
    dist1 = 0;
  }

  // Se a distância medida pelo segundo sensor ultrassônico for maior que 70 cm,
  considera-se como 0
  if (dist2 > 70) {
    dist2 = 0;
  }

  // Se a distância medida pelo primeiro sensor ultrassônico for menor que 71 e maior
  que 0
  if (dist1 < 71 && dist1 > 0) {
    // Registra o tempo atual
    temp1 = millis();

    // Imprime mensagem indicando o início da contagem de tempo
    Serial.println("Contagem de tempo iniciada!");

    // Loop para aguardar a condição do segundo sensor ultrassônico
    while (op == 0) {
      // Medição da distância pelo segundo sensor ultrassônico

```

```
dist2 = ultrasonic2.Ranging(CM);

// Se a distância medida pelo segundo sensor ultrassônico for menor que 71 e
maior que 0
if (dist2 < 71 && dist2 > 0) {
    // Registra o tempo atual
    temp2 = millis();

    // Indica que a condição foi satisfeita
    op = 1;

    // Calcula a diferença de tempo
    temp2 = temp2 - temp1;

    // Se o tempo for maior que 100 ms, imprime o tempo medido
    if (temp2 > 100) {
        Serial.print("Tempo medido: ");
        Serial.print(temp2);
        Serial.println(" ms");
    }
}

// Reseta a condição
op = 0;
}
```