



ConBRepro

XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

I CIGELUBRA

Congresso Internacional de Gestão e Engenharia Luso-Brasileiro

04 a 06 de dezembro de 2024

Energias Limpas nas Engenharias

FLYERCLEAN: DESENVOLVIMENTO DO PROCESSO DE CRIAÇÃO DE UM DRONE COM ABASTECIMENTO DE ENERGIA LIMPA

ALEXANDER VINICIUS DE SOUSA JUSTINIANO

Engenharia de Produção – Faculdades Integradas de Bauru (FIB)

JACQUELINE APARECIDA GONCALVES FERNANDES DE CASTRO

Engenharia de Produção – Faculdades Integradas de Bauru (FIB)

TATIENE MARTINS COELHO TREVISANUTO

Engenharia de Produção – Faculdades Integradas de Bauru (FIB)

GUILHERME DE ANDRADE USSUNA

Engenharia de Produção – Faculdades Integradas de Bauru (FIB)

Resumo: Este trabalho apresenta o desenvolvimento do FlyerClean, um drone inovador alimentado por energia solar fotovoltaica, com foco na sustentabilidade e eficiência energética. Utilizando as metodologias TRIZ e DFSS, o projeto combina tecnologia avançada e design inteligente para criar um drone autossustentável, capaz de realizar longas missões com baixo impacto ambiental. O estudo analisa três modelos principais – Zephyr Solar, Solar Impulse 2 e Sun Eagle – que servem de base para otimizar o desempenho e a autonomia do FlyerClean. A proposta busca oferecer uma solução viável e econômica para o transporte aéreo de cargas, reduzindo emissões e aumentando a eficiência logística. Além disso, o projeto visa explorar o potencial das energias renováveis na aviação, promovendo uma alternativa sustentável frente aos desafios climáticos atuais. Com foco em inovação e impacto ambiental positivo, este trabalho demonstra como tecnologias limpas podem transformar o setor de drones.

Palavras-chave: Drones, Energia Sustentável, Inovação, Design de Produto.

FLYERCLEAN: DEVELOPMENT OF THE PROCESS FOR CREATING A DRONE WITH CLEAN ENERGY SUPPLY

Abstract: This study presents the development of FlyerClean, an innovative solar-powered drone focused on sustainability and energy efficiency. Using the TRIZ and DFSS methodologies, the project combines advanced technology and intelligent design to create a self-sustaining drone capable of long-duration missions with minimal environmental impact. The study analyzes three key models – Zephyr Solar, Solar Impulse 2, and Sun Eagle – to optimize the performance and autonomy of FlyerClean. The goal is to offer a viable and cost-effective solution for aerial cargo transportation, reducing emissions and enhancing logistical efficiency. Additionally, the project explores the potential of renewable energy in aviation, providing a sustainable alternative to address current climate challenges. This work demonstrates how clean technologies can revolutionize the drone industry, combining innovation with environmental responsibility.

Keywords: Drones, Sustainable Energy, Innovation, Product Design.

1. Introdução

Hoje denota-se a busca por alternativas energéticas renováveis para vários setores. O problema abordado neste estudo está na complexidade de desenvolver um sistema de drone com abastecimento de energia renovável, enfrentando desafios técnicos, operacionais e de viabilidade.

Como desenvolver um sistema eficaz e confiável que permita o abastecimento de energia do drone utilizando fontes renováveis? O desafio envolve além da concepção do sistema de energia, também sua integração eficiente com as operações do drone, garantindo autonomia e desempenho adequados em diversas condições de voo e do ambiente.

Objetiva-se desenvolver um drone para serviço auto recarregável, para entrega, visando aumentar a autonomia e a eficiência energética das operações logísticas por meio de métodos bem estruturados, para analisar tecnologias disponíveis e entender o processo projetual, analisando metodologias que abordam inovação com rigor, identificar requisitos do mercado e implementar soluções inovadoras no Design e na operação do drone.

Dessa forma busca-se alternativas sustentáveis para a logística de transporte, considerando o impacto ambiental das práticas convencionais, pois é crescente e perturbadora as mudanças climáticas, assim como a necessidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa.

Pressupõe-se que a transição para fontes de energia renovável é crucial para reduzir os efeitos das mudanças climáticas e promover o desenvolvimento sustentável, assim como, o desenvolvimento de drones autônomos pode auxiliar diversos setores, incluindo o de entregas, promovendo a eficiência e a rapidez nas operações.

Dessa maneira, este estudo busca contribuir ao desenvolver um drone com abastecimento de energia limpa, demonstrando viabilidade técnica e oferecendo uma alternativa mais sustentável para o transporte de carga. Ao analisar várias metodologias de projeto, chegou-se a uma analogia e justaposição entre a metodologia denominada Teoria da Resolução de Problemas Inventivos - TRIZ e a Metodologia de *Design for Six Sigma* – DFSS, buscando aprimorar o processo de inovação e garantir a eficácia do drone desenvolvido.

A justaposição e rearranjo dessas metodologias oferecem uma estrutura sólida para a resolução de problemas complexos e a otimização de processos de *Design*, como destacado por (Jones e Smith, 2020). Assim, entre TRIZ e DFSS aplica-se as etapas do projeto da TRIZ, desde a concepção inicial até a fase de testes e validação. Na sequência para validação do Mínimo Produto Viável – MVP, aplica-se a DFSS como sistematização iterativa que permite identificar desafios de forma eficiente, garantindo a qualidade e o desempenho do drone. O processo é guiado por uma abordagem colaborativa, envolvendo especialistas da indústria, pesquisadores e potenciais usuários, garantindo que as necessidades e expectativas do mercado.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Energia Limpa e Utilização de Drones

2.1.1 Estudo de Energia Limpa

A energia solar fotovoltaica é reconhecida como uma fonte promissora e sustentável do século XXI, convertendo a luz solar em eletricidade de forma eficiente e limpa. Sua

integração em setores como transporte, agricultura e construção destaca seu potencial para impulsionar a inovação e o desenvolvimento sustentável (Santos; Almeida, 2020)

Em consonância a Santos e Almeida (2020) verifica-se que essa abordagem revoluciona campos como monitoramento ambiental, agricultura de precisão e infraestrutura, reduzindo custos operacionais e impactos ambientais (Garcia *et al.*, 2021)

Segundo Oliveira; Silva (2019) e Garcia *et al.* (2021) a transição para uma matriz energética mais limpa e sustentável é prioridade global, impulsionada pela necessidade de reduzir os efeitos das mudanças climáticas e garantir a segurança energética. Logo, a energia solar fotovoltaica pode ser uma solução viável e de baixo carbono, capaz de fornecer eletricidade de forma confiável e econômica.

À medida que os avanços tecnológicos e as economias de escala continuam a impulsionar a queda dos custos, a adoção de sistemas fotovoltaicos está acelerando, alimentando o crescimento sustentável e ajudando a alcançar metas de energia renovável. (IRENA, 2020)

Os drones solares têm o potencial de transformar setores inteiros, tornando-os mais eficientes e ecologicamente sustentáveis. (Ramos; Oliveira, 2019). Ao reduzir as emissões de carbono, criar empregos e fortalecer a resiliência do sistema energético, os sistemas fotovoltaicos desempenham um papel crucial na construção de um futuro mais sustentável e próspero para os sucessores (Silva *et al.*, 2021).

Além das aplicações tradicionais em residências e indústrias, a energia solar está encontrando novos horizontes na tecnologia de drones, como o aproveitamento da energia solar para operar por longo tempo, para uso em áreas remotas, trabalhando com monitoramento ambiental, mapeamento e inspeção de infraestrutura (Rocha; Souza, 2022).

A energia solar fotovoltaica desempenha um papel importante na transformação do setor energético, proporcionando uma fonte de eletricidade limpa, confiável e acessível. Com seu potencial de expansão e custos decrescentes, vem se tornando fundamental na matriz energética global, reduzindo emissões de carbono e mudanças climáticas (IEA, 2021).

A integração de drones movidos a energia solar na agricultura são positivos, pois fornecem informações precisas sobre as plantações, solo e necessidades hídricas, otimizando o uso de insumos, reduzindo impactos ambientais e aumentando a produtividade, para segurança alimentar e sustentabilidade (Gomes; Lima, 2020). Países como Estados Unidos, China, Israel e alguns países europeus têm investido significativamente em tecnologia de drones para diversas aplicações, incluindo agricultura, segurança, entrega de mercadorias e monitoramento ambiental (*World Bank*, 2019).

2.1.2 Drones pesquisados para o Projeto

O *Zephyr Solar* é um drone movido a energia solar, conhecido por suas capacidades de voo de longa duração e alta altitude, criado pela Airbus, é um pseudo-satélite de alta altitude (HAPS) podendo voar por meses, operando como uma plataforma aérea vigilante, comunicando e monitorando. Tem asas revestidas de células solares e baterias para operar à noite. A sua autonomia e a capacidade de operar em regiões remotas fazem dele um marco no uso de tecnologias renováveis para propósitos civis e militares. Segundo Basseto (2022), ele usa só energia solar, com baterias secundárias fazendo-o neutro em carbono.

O drone *Solar Impulse 2*, conhecido por sua aplicação tripulada no campo da aviação, é um marco na história do uso de energia solar em aeronaves e drones. Desenvolvido por uma equipe suíça liderada por Bertrand Piccard e André Borschberg, ele foi o primeiro avião movido a energia solar a dar a volta ao mundo, sem utilizar uma gota de combustível. Ele voou por cinco dias e cinco noites consecutivas, alimentado exclusivamente por energia solar. Equipado com mais de 17.000 células solares, acumula energia de dia e utiliza baterias de lítio durante à noite. Ele não é tecnicamente um drone, porém suas inovações em termos de design e eficiência energética influenciaram diretamente o desenvolvimento de veículos aéreos não tripulados (VANTs) movidos a energia solar.

O drone *Sun Eagle* foi criado pela NASA, para realizar missões de reconhecimento de longa duração em ambientes hostis, como desertos e regiões polares. Ele é leve com asas longas, cobertas por painéis solares eficientes, que permitem operar por longos períodos. Essa autonomia o torna ideal para missões científicas e de monitoramento, projetado para monitorar o aquecimento global e coletar dados sobre mudanças climáticas. Como enfatiza Quick (2010), o desejo de desenvolver uma aeronave que possa permanecer no ar por longos períodos para atuar como um pseudossatélite para aplicações de inteligência.

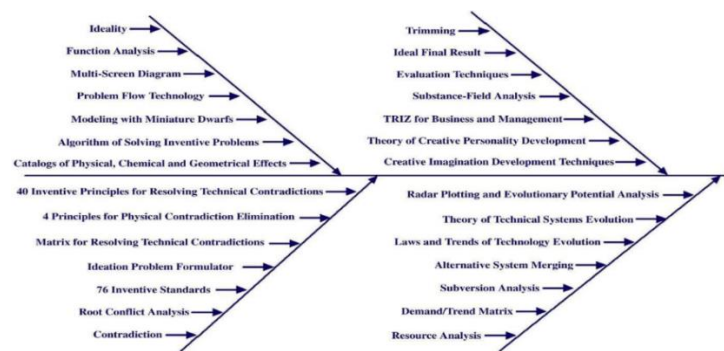
2.2 Metodologias TRIZ e DFSS

A TRIZ é uma metodologia sistemática fundamentada em princípios de inovação. Ela fornece uma abordagem estruturada para identificar soluções criativas e resolver problemas complexos, auxiliando a resultados eficientes e eficazes. (Altshuller, 1996). Ela foi desenvolvida pelo engenheiro russo Genrich Altshuller, entre 1940 e 1980. O engenheiro se dedicou ao estudo de padrões de inovação e resolução de problemas (Pires, 2014).

Ela permite a análise de sistemas técnicos, identificando contradições e definindo princípios de solução, contribuindo para o desenvolvimento de produtos e processos mais competitivos. (Mann, 2007). A TRIZ oferece abordagem estruturada na resolução de problemas de engenharia para inovação por meio hierárquico. Suas ferramentas ajudam a identificar padrões evolutivos e soluções criativas e eficazes (Kossoff, 1999)

A TRIZ possui diversas ferramentas de acordo com a Figura 1, de Zhang *et al.* (2009) com abordagens sistemáticas e princípios generalistas para formular e analisar problemas, gerar ideias criativas, e projetar a tendência de evolução de um sistema ou projeto.

Figura 1: Conceitos e Ferramentas da TRIZ



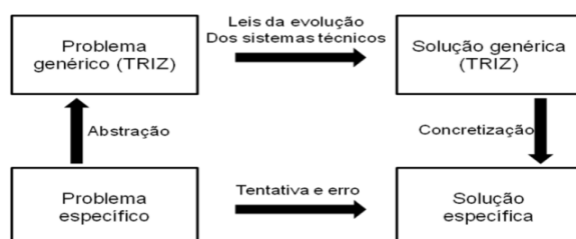
Fonte: Zangh *et. al.*, 2009.

Conforme Figura 1, ela se baseia em princípios universais de inovação e padrões de evolução técnica para solucionar desafios complexos, envolvendo várias etapas, incluindo:

- Identificação do problema: Definir claramente o problema que precisa ser resolvido;
- Análise do sistema: Compreender o sistema em que o problema está inserido, identificando suas partes e interações;
- Identificação de contradições: Identificar contradições ou conflitos no sistema que impedem a solução do problema, para na sequência aplicar os princípios TRIZ: que são diretrizes para resolver contradições e superar obstáculos de forma criativa;
- Geração de ideias: Gerar uma variedade de soluções usando os princípios TRIZ;
- Seleção da melhor solução: Avaliar e selecionar a solução mais adequada com base em critérios como viabilidade, eficácia e impacto;
- Implementação da solução: Implementar a solução escolhida e monitorar seus resultados;

Assim, a TRIZ oferece uma abordagem estruturada e sistemática na resolução de problemas complexos, ajudando as organizações a alcançarem resultados melhores e mais eficientes (Stratton; Mann, 2009; Kim *et. al.* 2011; Zangh, *et. al.* 2009).

Figura 2: Percurso metodologico da TRIZ



Fonte: Stratton e Mann, 2009; Kim *et. al.* 2011; Zangh, *et. al.*, 2009.

Segundo Mann (2007) a metodologia Design for Six Sigma DFSS foi desenvolvida como extensão do conceito de *Six Sigma* pela Motorola na década de 1980. O *Six Sigma* foi introduzido como abordagem para melhorar a qualidade dos processos e reduzir a variação nos produtos, se tornando uma metodologia para garantir que novos produtos ou serviços atendessem aos requisitos do cliente desde a concepção até a implementação.

O DFSS é uma metodologia abrangente para o desenvolvimento de produtos e processos que visa garantir a entrega de produtos de alta qualidade, incorporando ferramentas e técnicas para entender as necessidades do cliente, e assim, traduzir essas em requisitos de projeto e otimizar o processo mais eficiente e eficaz (Rechtin; Maier, 1997).

Figura 3: Metodologia DFSS



Fonte: Labone, 2024.

Logo, percebe-se que a DFSS é uma abordagem para o desenvolvimento de produtos e processos que utiliza uma variedade de ferramentas e técnicas, incluindo QFD (Desdobramento da Função Qualidade), DOE (Experimento de Projeto), FMEA (Análise de Modo e Efeitos de Falha) e análise estatística avançada para alcançar altos níveis de desempenho e qualidade do produto. (Snee; Hoerl, 2003)

De acordo com Mann (2007) a DFSS é uma metodologia de desenvolvimento de produtos ou serviços que atendem aos requisitos do cliente desde a concepção até a implementação, trabalhando esse alinhamento: **Definição** - os objetivos e requisitos são estabelecidos, juntamente com as expectativas do cliente, incluindo a identificação das características críticas para a qualidade do produto ou serviço; **Medição** - Fase métrica identificada para quantificar o desempenho atual do processo ou produto em relação aos requisitos do cliente, podendo envolver a coleta de dados e a realização de análises estatísticas para entender a variabilidade e capacidade do processo; **Análise** - Identifica-se as relações causais entre as entradas do processo (Xs) e as saídas do processo (Ys), envolvendo ferramentas como diagramas de causa e efeito, análise de regressão e técnicas estatísticas na compreensão das variáveis que afetam o resultado; **Design** - Sobre a análise realizada, são desenvolvidas soluções potenciais que atendam aos requisitos do cliente, podendo envolver a geração de conceitos de projeto, a realização de simulações e prototipagem para validar as soluções propostas; **Verificação** - as soluções de design são verificadas na garantia dos requisitos do cliente para implementação eficaz, envolvendo a realização de testes e validações adicionais para confirmar a eficácia das soluções propostas; **Validação** - As soluções de Design validadas são implementadas no processo ou produto são realizados ajustes finais e são estabelecidos sistemas de controle para garantir o desempenho do produto ou serviço atenda aos requisitos do cliente.

Assim como o DFSS busca identificar e atender às necessidades dos clientes, a TRIZ visa identificar e resolver contradições inerentes aos sistemas técnicos. Ambas as metodologias empregam técnicas estruturadas para inovação e a resolução de problemas (Mann, 2007).

Segundo Fernandes *et al.* (2018): a DFSS compreende 5 fases: definição, medida, análise, design e verificação. A aplicação da TRIZ, se dá na fase de análise, pois tem parâmetros de engenharia para identificar os conflitos, com 40 princípios para resolver as contradições, e a Análise Campo-Substância para modelar problemas técnicos e derivar soluções. Conforme Quadro 1 em Fernandes *et al.* (2018).

Quadro 1: TRIZ associada a DFSS

Resumo das fases da DFSS integrando a TRIZ	
1.	Fase de definição: determinação das responsabilidades de cada membro do time de projeto, assim como os objetivos do projeto. Definir os requisitos dos consumidores;
2.	Fase de medição: tradução da voz dos consumidores em requisitos críticos através de ferramentas de medição.
3.	Fase de análise: utiliza-se as ferramentas TRIZ (IFR, recursos, contradição, IFM, método de Pugh) para gerar os conceitos para produtos e peças. Ainda que não seja utilizado pelo autor, um trabalho que incorpora a metodologia da TRIZ e o método de Pugh, que é utilizado para estabelecer um critério lógico e significativo para definir a melhor ideia encontrada para apoiar as estratégias de fabricação, pode ser encontrada em 'TRIZ-PUGH Model, New Approach for Creative Problem Solving and Decision Making (KARNJANASOMWONG; THAWESAENGSKULTHAI, 2015).
4.	Fase de design: usar DOE (Design of Experiments, cujo método constitui na alteração de uma variável independente, ou fator de entrada, para observar as mudanças na variável dependente, ou saída do sistema) para testar e selecionar o design final.
5.	Fase de verificação: serve para assegurar a efetividade das mudanças da última fase.

Fonte: Adaptada de Wang, Yeh e Chu (2016)

Contudo, Pahl e Beitz (2007) trabalharam a DFSS concentrada na otimização do processo de desenvolvimento para garantir a qualidade do produto, e a TRIZ se concentra na identificação de soluções inovadoras para problemas técnicos. No entanto, elas compartilham a busca por soluções e na redução de riscos desde o início do ciclo de vida do produto, verificado em Pahl e Beitz, 2007 e Fernandes *et. al.*, 2018.

Entende-se que a DFSS e a TRIZ compartilham uma abordagem metódica para a resolução de problemas complexos, com o DFSS focado na qualidade do produto e a TRIZ focada na inovação técnica. Juntas, elas oferecem uma abordagem abrangente para o desenvolvimento de produtos, tanto inovadores quanto de alta qualidade (Gonzalez, 2008).

A DFSS busca aperfeiçoar o processo de desenvolvimento de produtos para garantir que as necessidades do cliente sejam atendidas, já a TRIZ busca identificar soluções inovadoras para problemas técnicos. Logo, ambas compartilham o objetivo de maximizar o valor do produto e minimizar o desperdício (Mann, 2002).

Corroborando com a mesma ideia Soh (2012) afirma que a DFSS se baseia em análises estatísticas e ferramentas de qualidade para garantir a eficácia do processo de desenvolvimento e a TRIZ utiliza princípios de inovação e resolução de problemas para encontrar soluções criativas e eficientes. Dessa forma, ao relacioná-las em seu processo, inicia-se o processo de sondagem do objetivo deste artigo por meio da TRIZ, dando sequência no desenvolvimento do produto pela complementariedade da TRIZ a DFSS.

3. Procedimentos Metodológicos

Este artigo foi gerado sobre o estudo e realização de um projeto de conclusão de curso de Engenharia de Produção, baseado em um referencial bibliográfico atual, e pesquisa sobre os últimos drones com especificações da lista de requisitos do projeto. Efetuou-se um protocolo de ação, sob sistema de *checklist* baseado na TRIZ somadas a DFSS para a geração de análise de construção para a viabilidade do sistema sustentável de operações de transporte de cargas.

3.1 Desenvolvimento de Projeto

Inicia-se pela justaposição de 3 drones independentes, com energia solar, no Quadro 2.

O Zephyr Solar é um projeto de avião movido a energia solar desenvolvido pela Airbus. É um pseudo-satélite de alta altitude (HAPS - *High Altitude Pseudo-Satellite*) que opera na estratosfera, podendo permanecer no ar por meses, com diversas aplicações é usado como vigilância, comunicação e monitoramento ambiental, oferecendo uma alternativa mais econômica e flexível aos satélites tradicionais.

O Solar Impulse 2 é um avião movido a energia solar que completou uma volta ao mundo entre 2015 e 2016, criado pelos suíços Bertrand Piccard e André Borschberg, ele demonstrou o potencial da energia solar. A aeronave tem envergadura de asas semelhante à de um Boeing 747, mas pesa menos do que um carro médio. É alimentado por mais de 17.000 células solares e baterias para voos noturnos.

O Sun Eagle é um drone a energia solar criada pela Universidade de Tóquio. Este UAV (Veículo Aéreo Não Tripulado) projetado para missões de longa duração, utilizando células

solares para alimentar seus sistemas e prolongar seu tempo de voo. Ele serve como drones solares em aplicações como monitoramento ambiental, agricultura de precisão e vigilância.

Quadro 2: Lista de Requisitos e Checklist dos Drones pesquisados

Característica	Zephyr Solar	Solar Impulse 2	Sun Eagle
Nome	Zephyr Solar	Solar Impulse 2	Sun Eagle
Desenvolvedor	Airbus	Bertrand Piccard e André Borschberg	Universidade de Tóquio
Tipo de Veículo	Pseudo-satélite de alta altitude (HAPS)	Avião tripulado	Drone UAV
Peso	Aproximadamente 75 kg	Aproximadamente 2.300 kg	Geralmente leve, menos de 20 kg
Envergadura	25 metros	72 metros	Varia, geralmente entre 4-6 metros
Fonte de Energia	Células solares	Células solares	Células solares
Capacidade de Bateria	Baterias de lítio recarregáveis	Baterias de lítio-polímero	Baterias de lítio recarregáveis
Autonomia de Voo	Meses	Vários dias (com voo contínuo de 5 dias)	Vários dias, dependendo das condições
Altitude de Operação	Até 21.000 metros	Até 12.000 metros	Geralmente até 5.000 metros
Aplicações	Vigilância, comunicação, monitoramento	Demonstração de tecnologias limpas	Monitoramento ambiental, agricultura de precisão, vigilância
Primeiro Voo	2008	2014	2015
Duração do Projeto	Contínuo	Concluído (projeto específico)	Contínuo
Destaques	Longa duração, flexibilidade	Primeira volta ao mundo em um avião solar	Eficiência, versatilidade
Estrutura das Asas	Longas e finas, para alta altitude e resistência	Largas e robustas, maximizando eficiência solar	Compacta e leve, adaptável a diferentes missões
Material das Asas	Fibra de carbono	Fibra de carbono ultraleve	Materiais compostos e alumínio
Capacidade de Carga	Limitada a sensores e equipamentos leves	Inclui piloto, baterias, sistemas de navegação e comunicação	Sensores de monitoramento ou câmeras
Sistema de Propulsão	Motores elétricos	Quatro motores elétricos	Motores elétricos de alta eficiência
Flexibilidade	Alta, pode permanecer no ar por meses	Projetado para demonstração de potencial da energia solar	Alta, devido ao tamanho compacto e leveza, fácil adaptação

Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

Neste estágio, será conduzido o processo de criação e elaboração do design do drone, com foco na otimização do desempenho e na disposição estratégica das placas solares para maximizar sua eficiência energética. Para isso, selecionamos cinco modelos de drones diferentes para uma análise comparativa, levando em consideração aspectos como aerodinâmicos, distribuição de peso, área disponível para as placas solares e capacidade de carga. A comparação será fundamentada em critérios de desempenho que atendam às necessidades do projeto, como autonomia de voo, capacidade de carga de sensores e equipamentos, além da robustez da estrutura para suportar as condições operacionais. A análise dos sketches de cada modelo permite uma visão clara das vantagens e desvantagens das configurações, orientando a escolha final do design que melhor equilibre inovação tecnológica e viabilidade prática, conforme Figura 4, 5, 6, 7 e 8.

Figura 4 - Drone DJI Mavic 3 Pro Fly More Combo RC Pro



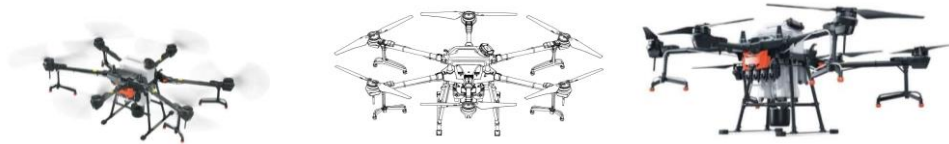
Fonte: NW DRONES (2024)

Figura 5 - Drone DJI Avata



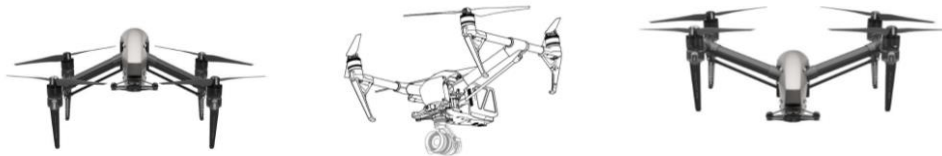
Fonte: NW DRONES (2024)

Figura 6 - Drone Pulverizador Agras DJI T20



Fonte: NW DRONES (2024)

Figura 7 - Drone DJI Inspire 2



Fonte: NW DRONES (2024)

Figura 8 - Drone Multilaser Hawk GPS FPV



Fonte: MULTILASER (2024)

Figura 9 – *Sketch* escolhido



Fonte: Inteligência Artificial (2024) com Adaptação do Autor (2024)

O desenho do drone apresentado foi desenvolvido com o auxílio de Inteligência Artificial, o que permitiu a criação de um modelo otimizado. A partir dos estudos realizados sobre sua montagem, concluiu-se que o processo de construção requer a integração de peças específicas. A junção das metodologias TRIZ (Teoria da Solução Inventiva de Problemas) e DFSS (*Design for Six Sigma*) possibilitou a identificação das peças para a criação do drone.

A lista de componentes inclui: motor elétrico de alta eficiência, hélices de fibra de carbono, célula solar hexagonal para captação de energia, controlador de voo, bateria de lítio recarregável, sistema GPS integrado, sensores de altitude, estrutura em liga de alumínio ultraleve, e câmeras de monitoramento. A união das peças e a aplicação das metodologias garantem a viabilidade técnica do drone e eficiência operacional.

4. Resultados e Discussões

Durante o desenvolvimento do projeto foi avaliado três modelos com energia solar fotovoltaica: o Solar Impulse 2, o Sun Eagle e o Zephyr Solar. Cada um deles possui características já aprovadas por pesquisadores renomados, que apresentaram diferentes vantagens e desvantagens, conforme descrito a seguir.

O Solar Impulse 2 é pioneiro no uso de energia solar para aeronaves, equipado com 17.000 células solares, entre corpo e asa, com bateria de lítio, possibilitando voo diurno e noturno. Ele completou um voo ao redor do mundo, demonstrando a viabilidade da energia fotovoltaica para longas distâncias. Porém, seu tamanho e custo elevado o tornam menos acessível em aplicações comerciais de menor escala.

O *Sun Eagle* é menor e mais acessível que o Solar Impulse 2, projetado para missões de observação e monitoramento. Têm alta eficiência no prolongamento do tempo de voo. Não possui mesma autonomia que o Solar Impulse 2, porém, é mais adequado para operações de curta e média distância devido ao seu custo-benefício e facilidade de manutenção. Contudo, tem limitações de carga e alcance, podendo ser desvantajoso em algumas aplicações.

O *Zephyr Solar* é para grandes altitudes e longa duração, foi desenvolvido pela Airbus, alimentado apenas por energia solar. Essa capacidade o torna ideal para missões de vigilância, comunicação e monitoramento ambiental. No entanto, como os já supracitados, o *Zephyr* enfrenta desafios relacionados ao custo de fabricação e operação. Em comparação, é evidente que cada drone possui suas próprias forças e fraquezas, dependendo das necessidades da missão. Dessa forma, buscou-se por meio da Quadro 3, a geração de uma ficha de pontos positivos e negativos de cada modelo apresentado.

Quadro 3 – Pontos Positivos e Pontos Negativos de cada modelo

MODELO	PONTOS POSITIVOS	PONTOS NEGGATIVOS
Zephyr Solar	Longa duração e alta flexibilidade (pode ficar no ar por meses)	Capacidade de carga limitada (apenas sensores leves)
	Alta altitude de operação (21.000 metros)	Uso restrito a vigilância e monitoramento
	Células solares para energia limpa	
Solar Impulse 2	Primeira volta ao mundo em um avião solar	Peso elevado (2.300 kg)
	Alta eficiência solar e materiais de construção ultraleves (fibra de carbono)	Requer condições específicas para voo contínuo (dependência de condições climáticas)
	Ideal para demonstração de tecnologias limpas	
Sun Eagle	Compacto e versátil (design adaptável a diferentes missões)	Altitude de operação mais baixa (5.000 metros)
	Eficiência energética elevada com motores de alta eficiência	Capacidade de carga também limitada a sensores e câmeras leves
	Alta flexibilidade devido ao tamanho reduzido e leveza	

Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

A escolha do drone mais adequado dependerá das especificidades de cada aplicação, considerando fatores como custo, alcance, duração do voo e capacidade de carga. O projeto *FLYERCLEAN* visa integrar as melhores práticas observadas nestes modelos para desenvolver um drone eficiente, sustentável e economicamente viável. Esse sistema visa

reduzir a emissão de gases poluentes, diminuir os custos operacionais e aumentar a eficiência logística. Ao integrar tecnologias de energia solar fotovoltaica e outras fontes renováveis, pretende-se criar uma solução ecologicamente responsável e economicamente viável para o setor de transporte aéreo de cargas.

5. Conclusões / Considerações Finais

Devido a demanda por tecnologias sustentáveis, impulsionada pela busca atenuar os impactos ambientais e aumentar a eficiência operacional em diversos setores industriais. Este estudo concentra-se no desenvolvimento de um drone sustentável, utilizando energia solar fotovoltaica, visando reduzir a pegada de carbono associado às operações aéreas.

Nessa análise comparativa dos drones Solar Impulse 2, Sun Eagle e Zephyr Solar revela suas características interessantes, vantagens e desvantagens em termos de autonomia, capacidade de carga e custo operacional. Onde, o Solar Impulse 2 destaca-se pela sua capacidade de voo contínuo de longa distância, mas possui custo elevado. O Sun Eagle é mais acessível e adequado para missões de curta a média distância, enquanto o Zephyr Solar é ideal para missões de alta altitude e longa duração, apesar dos desafios de custo.

Então, foi enfrentado desafios de integração metodológica da TRIZ, mais a DFSS, adicionado o estudo dos descritores de pesquisa e escolha dos Drones supracitados, equiparados por ficha protocolar que ajudam identificar soluções e garantir que o produto (*FLYERCLEAN*) atenda aos requisitos do projeto desde a concepção à prototipação. Os objetivos desse estudo foram alcançados, em relação ao processo de análise do projeto, o qual envolveu o estudo do referencial bibliográfico, estudo de metodologia e escolha por análise de inovação e implementação, pela TRIZ + DFSS, somadas a ficha protocolar de identificação de soluções para o projeto em questão.

Nos próximos estudos deste projeto pode-se criar um sistema de transporte aéreo de cargas sustentável, com o drone *FLYERCLEAN*, alimentado por energia limpa, promovendo práticas de transporte mais sustentáveis. Com intenção de reduzir a emissão de gases poluentes e custos operacionais, buscando aumentar a eficiência logística, para um futuro mais sustentável e ecologicamente responsável.

REFERÊNCIAS

- ALTSHULLER, G. **And Suddenly the Inventor Appeared: TRIZ, the Theory of Inventive Problem Solving**. Worcester, MA: Technical Innovation Center, Inc., 1996.
- ANDERSON, K. **Civilian Drones and the Future of Aviation Safety**. *The Journal of Navigation*, v. 71, n. 4, p. 747-756, 2018.
- Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR). 2023. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/>. Acesso em: 26 jun. 2024.
- BASSETO, M. **Com a aeronave Zephyr, Airbus lança novo negócio de conectividade a partir da estratosfera**. AEROIN. Disponível em: <https://aeroin.net/com-a-aeronave-zephyr-airbus-lanca-novo-negocio-de-conectividade-a-partir-da-estratosfera/>. Acesso em set. 2024.
- CARVALHO, G.; MENEGUETTE, R. **Drones: Princípios e Aplicações**. Viçosa: UFV, 2020.
- DAL BEM, E.; NASCIMENTO, E. **Drones: Fundamentos e Aplicações**. SP: Novatec Edit., 2019.
- DRONESHOW. Disponível em: <https://www.droneshowla.com/>. Acesso em: 26 jun. 2024.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em: <https://www.embrapa.br/>. Acesso em: 26 jun. 2024.

FARIAS, R. et al. **Desenvolvimento de um Drone de Baixo Custo para Mapeamento Aéreo**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 22, n. 10, p. 707-712, 2018.

GEORGE, M.; ROWLANDS, D.; KASTLE, B. **What is DFSS?** In: What is Design for Six Sigma?. New York: McGraw-Hill Education, p. 1-30. ISBN 978-007144329-9, 2005.

GONZALEZ, A. et al. **Integration of Solar Energy and Drones: A Review of Potential Applications**. Renewable and Sustainable. Energy Reviews, v.134, p. 110-242, 2020.

JOHNSON, B. **Drones for Dummies**. New Jersey: Wiley, 2017.

KOCHENDERFER, M.; ROY, B. **Algorithms for Autonomous Systems**. Massachusetts: MIT Press, 2019.

KOSSOFF, G. **TRIZ: The Right Solution at the Right Time: A Guide to Innovative Problem Solving**. Insytec BV, ISBN 978-907402109-6, 1999.

MANN, D. **Hands-On Systematic Innovation for Business and Management: The Evolution of TRIZ**. Journal of Marketing Management, v. 18, n. 7-8, p. 823-852, 2002.

MANN, D. **Hands-On Systematic Innovation: For Business and Management**. Clevedon: IFR Press, 2007.

McMICHAEL, T. **The Use of Drones in Precision Agriculture: A Review**. Journal of Agricultural Science and Technology, v. 21, n. 3, p. 485-498, 2019.

MURPHY, R.; RIDDLE, D. **Introduction to AI Robotics**. Massachusetts: MIT Press, 2017.

National Renewable Energy Laboratory (NREL). **Photovoltaics Research**. 2023. Disponível em: <https://www.nrel.gov/pv/>. Acesso em: 26 jun. 2024.

PANDE, P.; NEUMAN, R.; CAVANAGH, R. **Design for Six Sigma: A Roadmap for Product Development**. New York: McGraw-Hill Education, 2000.

PANDE, P.; NEUMAN, R.; CAVANAGH, R. **The Six Sigma Way: How GE, Motorola, and Other Top Companies are Honing Their Performance**. New York: McGraw-Hill, 2000.

PAHL, G.; BEITZ, W. **Engineering Design: A Systematic Approach**. Springer, 2007.

RADHARAMANAN, R. **Uso de impressoras 3-D para projetar, construir e testar um drone quadricóptero**. In: Conferência e Exposição Anual da ASEE, Louisiana, 2016.

RATH & STRONG MANAGEMENT CONSULTANTS. **Design for Six Sigma: The Tool Guide for Practitioners**. Hoboken: Wiley, 2000.

RECHTIN, E.; MAIER, M. **The Art of Systems Architecting**. Boca Raton: CRC Press, 1997.

SAVRANSKY, S. **Engineering of Creativity: Introduction to TRIZ Methodology of Inventive Problem Solving**. Boca Raton: CRC Press, 2000.

SEIA. **Solar Energy**. Disponível em: <https://www.seia.org/solar-energy>. Acesso em: 26 jun. 2024.

SIQUEIRA, G. et al. **Análise da Utilização de Drones em Inspeções de Linhas de Transmissão de Energia Elétrica no Brasil**. Revista de Engenharia e Tecnologia, v. 11, n. 2, p. 124-134, 2019.

SILVA, T. et al. **Aplicações dos Drones na Agricultura Brasileira: Uma Revisão Sistemática**. Revista Brasileira de Agricultura de Precisão, v. 13, n. 1, p. 55-66, 2020.3

SNEE, R; HOERL, R. **Six Sigma Beyond the Factory Floor**. Quality Progress, v 36, n 12, 2003.

Solar Energy Industries Association (SEIA). **Solar Energy**. 2023. Disponível em: <https://www.seia.org/solar-energy>. Acesso em jun. 2024.

SOH, K. L. **An Overview of Six Sigma Applications in Healthcare Industry**. International Journal of Health Care Quality Assurance, v. 25, n. 5, p. 394-404, 2012.

ROCHA, L.; SOUZA, F. **Drones Movidos a Energia Solar: Inovações e Aplicações**. São Paulo: Editora Técnica, p. 45, 2022.

International Energy Agency (IEA). **Renewable Energy**. 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/topics/renewable-energy>. Acesso em: 26 jun. 2024.

QUICK, D. **Boeing SolarEagle solar-powered UAV to fly in 2014**. New Atlas, 2010. Disponível em: <https://newatlas.com/boeing-solareagle-solar-powered-uav/16399/>. Acesso em set. 2024.