

## UM ESTUDO SOBRE O USO DE AERONAVES ELÉTRICAS E HÍBRIDAS NA AVIAÇÃO DE MÉDIO PORTE E SEUS IMPACTOS NO AMBIENTE

Natália de Melo Guimarães <sup>1</sup>  
Jairo Afonso Henkes <sup>2</sup>

### RESUMO

O setor aéreo é um dos maiores emissores de gases de efeito estufa (GEE's), responsável por 2,5% do total das emissões de CO<sub>2</sub>. Isso ocorre não somente devido aos elevados volumes de combustíveis fósseis empregados como força motriz das aeronaves, mas também devido aos materiais empregados na confecção das aeronaves, na sua maioria metais ou compósitos com matriz metálica. Neste trabalho, buscou-se fazer um estudo exploratório, de natureza descritiva e com busca sistemática na literatura, acerca da sustentabilidade na aviação. Os dados foram coletados por meio de buscas nas principais bases de dados para estudos acadêmicos: Periódicos CAPES, Google Acadêmico e na *Scientific Electronic Library Online* (SciELO). Os descritores utilizados foram: Aeronaves elétricas; Tecnologia híbrida; Sustentabilidade. A principal conclusão da busca é que está ocorrendo a substituição progressiva dos combustíveis fósseis pelos biocombustíveis. Verifica-se que pesquisas em diferentes países estão sendo realizadas para viabilizar a hibridização das aeronaves ou a sua propulsão total com motores elétricos, algo no momento viável apenas para curtas e médias distâncias, incluindo as viagens regionais. O fato de a maioria das viagens ocorrer nessa faixa já torna a hibridização economicamente possível. Percebe-se que a sustentabilidade se encontra em um nível avançado nas atividades relacionadas à voos, por meio de políticas de *Net Zero* nas empresas e nos aeroportos.

**Palavras-chave:** Aeronaves elétricas. Tecnologia híbrida. Sustentabilidade. Meio ambiente.

<sup>1</sup> Graduanda em Ciências Aeronáuticas. AEROTD. E-mail: [nataliamg09@hotmail.com](mailto:nataliamg09@hotmail.com)

<sup>2</sup> Doutorando em Geografia (UMINHO, 2019). Mestre em Agroecossistemas (UFSC, 2006). Especialista em Administração Rural (UNOESC, 1997). Engenheiro Agrônomo (UDESC, 1986). Professor e Pesquisador nas Áreas de Gestão Ambiental, Ciências Aeronáuticas, Agronomia, Administração e Engenharia Ambiental. AEROTD. <https://orcid.org/0000-0002-3762-471X>. E-mail: [jairohenkes333@gmail.com](mailto:jairohenkes333@gmail.com)

# A STUDY ON THE USE OF ELECTRIC AND HYBRID AIRCRAFT IN MID-SIZE AVIATION AND ITS IMPACTS ON THE ENVIRONMENT

## ABSTRACT

The airline industry is one of the largest greenhouse gases (GHG's) emitter, responsible for 2,5% of total CO<sub>2</sub> emissions. This occurs not Only due to the high fossil fuels volumes used as the driving force of aircraft, but also due to the materials used in the aircraft manufacture, mostly metals or composites with a metallic matrix. In this work, we sought to make an exploratory study, of a descriptive nature and with a systematic Search in the literature about sustainability in aviation. Data were collected through searches in the main databases for academic studies: CAPES Periodicals, Google Scholar and Scientific Electronic Library Online (SciELO). The descriptors used were: Electric aircraft; Hybrid technology; Sustainability. The research main conclusion is that the progressive replacement of fossil fuels by biofuels is taking place. It appears that research in different countries is being carried out to enable the aircraft hybridization or their total propulsion by electric motors, something that is currently Only viable for short and medium distances, including regional trips. The fact that most travel takes place in this range already makes hybridization economically possible. It can be seen that sustainability is at an advanced level in activities related to flights, through Net Zero Policies in companies at airports.

**Keywords:** Electrical aircrafts. Hybrid technology. Sustainability. Environment.

## 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, é de interesse geral a redução da emissão de gases de efeito estufa (GEE's) a fim de amenizar o aquecimento global. Dentro deste contexto, o setor aéreo está sendo avaliado cuidadosamente, afinal, conforme apresentado nos trabalhos de Guimarans *et al.* (2021) e Lee *et al.* (2021), a aviação comercial é responsável por cerca de 2,5% das emissões globais de CO<sub>2</sub>. Além disso, o *Air Transportation Action Group* (ATAG) reportou no ano de 2020 que cerca de 80% dessas emissões de gás carbônico são advindas de voos com mais de 1500 quilômetros de distância.

Nestas situações seria bastante conveniente o uso da tecnologia híbrida, com o uso de motores que possuem duas fontes de alimentação, uma com um combustível fóssil, mais convencional, e outra por um motor elétrico, por exemplo (McMANNERS, 2016). Contudo, o impacto ambiental causado pela aviação é deveras controverso, afinal, embora outros setores consumam menos

combustíveis fósseis, a cadeia operacional envolvida geralmente acaba emitindo mais GEE's para a atmosfera (LINO; HENKES, 2021).

Assim, o setor busca aumentar a sua sustentabilidade com base nos objetivos 13 e 17 dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (Figura 1) (IBGE, 2022). Lino e Henkes (2021) vão além e reportam em seu trabalho que os ODS 1, 7, 8, 10 e 12 também seriam norteadores dessa mudança. Essa busca está fundamentada em três pilares: forças motrizes, materiais e operações.

Além da ODS, outros projetos tentam buscar o aumento da sustentabilidade, como por exemplo, o *Net Zero*, um conceito que faz parte do Acordo de Paris, firmado em 2015. O *Net Zero* é um compromisso que busca reduzir as emissões de gases efeito estufa na atmosfera. Sendo um dever de todos, envolvendo assim, indivíduos, empresas e governos, objetivando a redução ou eliminação de atividades que produzam gases nocivos ao ambiente, o incentivo de uso de matrizes energéticas “verdes” e a adoção, uso e fiscalização de políticas públicas sustentáveis (JOKURO, 2021).

Figura 1 - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)



Fonte: Brasil, 2015.

A sustentabilidade na aviação deve ser estimulada pela Organização Internacional da Aviação Civil (OACI) e praticada por todos os *players*. Entretanto, os consumidores, negligenciam esse fato no momento da compra de

passagens, dando valor a características como preço, conforto e rapidez. Além disso, os maiores *stakeholders* da aviação possuem negócios no ramo dos combustíveis fósseis e, logicamente, não desejam uma mudança de postura a curto prazo (MCMANNERS, 2016; GUIMARANS *et al.*, 2019).

Tendo isso em mente, o objetivo desse artigo é identificar os avanços na produção de aeronaves elétricas e híbridas, principalmente para a aviação de médio porte, seus impactos, benefícios e desafios, principalmente ligados a sustentabilidade. Para tanto, fez-se uma revisão da literatura a fim de descrever o funcionamento de aeronaves com motores elétricos, dos sistemas híbridos e do grau de hibridização para estes sistemas na aviação de médio porte.

## 2 REVISÃO TEÓRICA

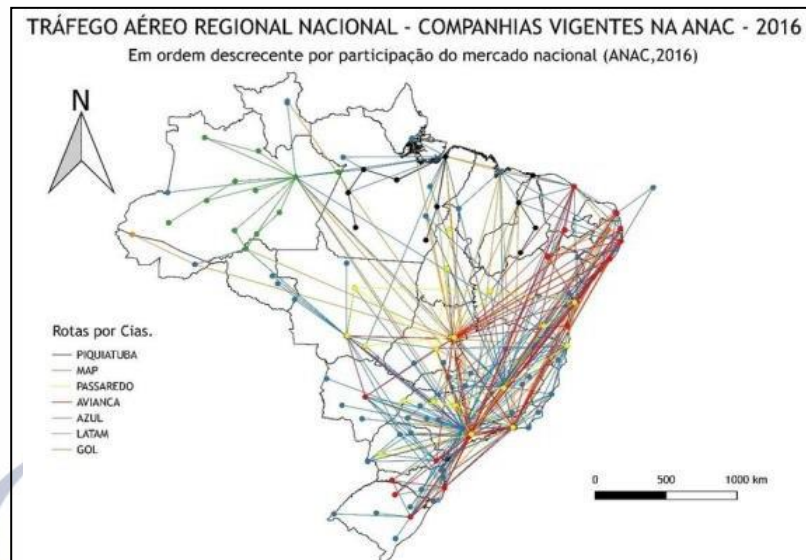
Para se buscar a sustentabilidade, é necessário determinar a atual capacidade da aviação, os fatores limitantes ao crescimento e a projeção futura para a demanda do serviço. Do ponto de vista social, deve-se atentar para os impactos diretos causados nas vizinhanças dos aeroportos, a exemplo do ruído, da elevação dos custos de moradia e da poluição. Portanto, a tomada de qualquer decisão deve ser pautada em estudos e projeções e as políticas, devem prezar no reaproveitamento ao invés da aquisição (GUIMARANS *et al.*, 2019).

As práticas sustentáveis não se restringem ao uso de biocombustíveis. Segundo a ANAC (2019), no Brasil outras medidas vêm sendo tomadas para tornar a aviação mais sustentável, como por exemplo a adoção de uma aproximação mais longa no pouso, empregando um menor grau de *flap*, ou do emprego de apenas um motor durante o taxiamento e ainda a diminuição do uso de reversores. Entretanto, a proposta mais interessante é o emprego de aeronaves elétricas e híbridas, estas a curto prazo e aquelas à longo prazo.

O segmento aéreo regional brasileiro será o quarto maior de todo o mundo em 2030. A malha aérea nacional (Figura 2) deve expandir e descentralizar suas atividades para regiões mais ao norte. Em virtude disso, uma maior atenção deve ser dada a sustentabilidade das operações regionais, por envolver aeroportos e

aeronaves de menor porte, o uso de práticas antiquadas tende a ser realizadas sem a devida fiscalização (PEREIRA, 2016).

Figura 2 - Malha aérea nacional em 2016



Fonte: Rodrigues, 2019.

O conceito da indústria 4.0 já é uma realidade no mundo contemporâneo e está ingressando no setor aeronáutico. Em linhas gerais, ela implica numa mudança tecnológica centrada na evolução de sistemas integrados para sistemas ciber-físicos. Especificamente para a aviação, ela está representada em seis *clusters*: inteligência artificial, tecnologia de redes, internet das coisas, produção inteligente e conectada, inovação com materiais e armazenamento de energia (FERREIRA; NERIS JÚNIOR, 2022).

## 2.1 FORÇAS MOTRIZES NA AVIAÇÃO

As forças motrizes empregadas na aviação tradicional se resumem a sistemas de propulsão a combustão de fontes energéticas não renováveis. Entretanto, pensando em reduzir custos de operação e a emissão de gases nocivos ao meio ambiente, o setor vêm buscando duas alternativas: usar misturas de combustíveis tradicionais e biocombustíveis ou promover aeronaves com propulsão elétrica, seja ela total (aviões elétricos) ou parcial (aviões híbridos),

situação na qual a aeronave é suprida por dois sistemas de propulsão: um elétrico e outro a combustão.

Para a aviação local, o uso de aeronaves de pequeno porte com pouso e decolagem vertical, ou seja, os *Verticals take off and landing* (VTOL's) são uma alternativa promissora em virtude desses veículos poderem ser movimentados exclusivamente por motores elétricos, passando a serem chamados de eVTOLS. Outra vantagem está relacionada ao seu pequeno porte, não demandando de grandes espaços para pouso/decolagem. O custo de operação de aeronaves elétricas, de cerca de US\$ 220/h, já é bastante inferior ao de jatos convencionais, US\$ 2.100/h. Além disso, outro fato impulsionador dos motores elétricos é o seu rendimento, muito superior aos motores à combustão (VOSKUIJL, 2018; BRASIL, 2019; MONTERO BARRIGA, 2021).

## 2.2 BIOCOMBUSTÍVEIS

Segundo a *International Energy Agency* (IEA), a aviação é responsável por cerca de 15% do crescimento da demanda global do petróleo até 2030. Com o intuito de garantir a sustentabilidade das operações aéreas, legislações europeias já determinaram como sendo obrigatória a presença de biocombustíveis misturados aos combustíveis de aviação de origem fóssil atualmente empregados. Entretanto, apesar de mais de 150 mil voos terem sido realizados com biocombustíveis, apenas 5 aeroportos no mundo têm a distribuição de biocombustíveis regularmente (Bergen, Brisbane, Los Angeles, Oslo e Estocolmo).

Em 2018, foram produzidos cerca de 15 milhões de litros, todavia representa menos de 0,1% do total do combustível de aviação consumido. Isso significa que é necessário um desenvolvimento de mercado significativamente mais rápido para atingir os níveis de produção de *Sustainable Aviation Fuel* (SAF) exigidos pela indústria da aviação para sua demanda (THANIKASALAM *et al.*, 2018; IEA, 2019).

A princípio, os biocombustíveis não seriam empregados em estado puro, mas sim misturados aos não renováveis. Além do menor custo, eles são mais

sustentáveis, uma vez que são oriundos de uma matriz renovável e emitem menos gases de efeito estufa. Até o momento, os maiores obstáculos estão relacionados à segurança em seu fornecimento e a comprovação da real sustentabilidade deles, afinal, eles também são poluentes. A inexistência de pontos de abastecimento nos aeroportos, a necessidade de uma maior densidade energética, neste quesito os combustíveis fósseis são superiores, a problemas de ordem técnica e ao cumprimento dos requisitos de qualidade (CGEE, 2010; SOUZA; HENKES, 2021).

Embora o consumo de etanol seja cerca de 30% maior que o AVGAS (denominação do combustível de aviação), a economia final seria de cerca de 60%, algo que justificaria sua substituição. Entretanto pela necessidade de que o sistema de combustão opere com maior vazão ar-combustível, os motores precisariam ser ajustados para receber o etanol (CGEE, 2010; SOUZA; HENKES, 2021). Todavia estes ajustes devem ser submetidos à aprovação da ANAC antes de serem aplicados. Com a edição da Portaria IS 20-001A de 2022, esse tipo de processo ficou mais rápido (ANAC, 2021; ROMANO, 2022).

### **3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

Tipo de pesquisa foi um estudo exploratório de natureza descritiva e com busca sistemática na literatura. Definindo os sujeitos da pesquisa como: Aeronaves elétricas, tecnologia híbrida e sustentabilidade. E a definição do ambiente de pesquisa foi: Periódico CAPES, Google Academics e *Scientific Electronic Library Online* (SciELO).

O procedimento para a coleta de dados foi uma busca sistemática na literatura restrito aos trabalhos com *open data*. Essa busca foi desenvolvida em seis etapas: identificação do tema e formulação da questão norteadora; seleção de critérios de inclusão e exclusão; definição das informações a serem selecionadas para os estudos, avaliação dos estudos incluídos; interpretação dos resultados e conclusão do conhecimento.

## 4 RESULTADOS

Os estudos desenvolvidos apontam para o uso de motores com a propulsão convencional a reação, propulsores elétricos ou propulsores híbridos.

### 4.1 PROPULSÃO ELÉTRICA

Uma alternativa no uso de energia renovável seria a eletrificação do sistema de propulsão das aeronaves, por meio da utilização de baterias elétricas como fonte total ou parcial de energia. Outra alternativa seria a instalação de geradores para fornecer potência elétrica às aeronaves em determinadas fases do voo, principalmente nos períodos de transição, e do emprego de novas configurações motrizes para as aeronaves, a exemplo da propulsão distribuída. Os motores elétricos apresentam uma vida útil maior que os tradicionais. A expectativa é que estes e os sistemas pneumático e hidráulico sejam atualizados para sistemas elétricos (ABDEL-FADIL *et al.*, 2013; VOSKUIJL *et al.*, 2018; OLIVEIRA; HENKES, 2021; UNICAMP, 2022).

Os sistemas elétricos são totalmente abastecidos por geradores elétricos, enquanto os sistemas híbridos operam em regime de potência compartilhada, oriunda de um motor à combustão tradicional e um gerador elétrico (KIM *et al.*, 2018; VOSKUIJL *et al.*, 2018). Atualmente, o maior obstáculo para o emprego destas aeronaves está ligado a políticas públicas e a baixa autonomia que as atuais baterias elétricas possuem. Entretanto, para rotas de curta ou média distância, sua aplicação já é viável (ABDEL-FADIL *et al.*, 2013).

Iniciativas nesse sentido e seus resultados vêm sendo feitas nos últimos anos e seus resultados foram reportados por Voskuijl (2018), em um deles, baterias com densidade de potência energética de cerca de 1500 Wh/kg (energia/massa) promoveram a redução do consumo de combustível em 16%. Essa constatação foi feita em testes para curtas distâncias e nos quais a potência elétrica supriu 18% de toda a demanda de carga da aeronave. Em outro estudo



avaliado, uma aeronave Boeing 737-800 foi adaptada a um motor de propulsão híbrida elétrica que empregou baterias com densidade de 750 Wh/kg. Ao final de duas horas de operação, percebeu-se uma economia de 10,4% do combustível, embora o peso da aeronave tenha aumentado 10.000 kg (VOSKUIJL, 2018).

Outro projeto criou um conceito de aeronave totalmente elétrica, o VOLTAIR, projetada para 70 passageiros e suprida com baterias de densidade igual a 750 Wh/kg. Este projeto apresentou autonomia de 1.667 km. Além de dispensar o consumo de combustível, a aeronave possui um *design* que possibilitou melhora de 25% na eficiência energética. O projeto está sendo desenvolvido na Europa desde os anos 2010 pela EADS CTO<sup>(C)</sup>.

Em outro caso, um grupo de pesquisa adaptou uma aeronave Airbus A320 a um sistema híbrido. Ele apresentou autonomia de 1000 Km, uma economia de 7,5% em relação às aeronaves tradicionais e empregou baterias com densidade de 600 Wh/kg que foram usadas apenas nos momentos de decolagem e manobras, ou seja, a parte elétrica atuou apenas em momentos de maior demanda de potência.

Para completar, a NASA projetou a aeronave N3-X com um sistema de propulsão turboelétrica distribuída. Em todos os trabalhos analisados constatou-se um problema em comum: baixa autonomia. Entretanto, para a maioria das operações de curtas e médias distâncias, já seria suficiente (VOSKUIJL *et al.*, 2018).

Servindo de exemplo, a fabricante de aeronaves Pipistrel vem desenvolvendo diversas aeronaves elétricas com emissão zero de carbono. Dentre seus modelos pode se destacar o *Velis Electro*, a primeira aeronave de tipo elétrica no mundo a receber a certificação EASA.A.573 TCDS, que é a certificação de segurança de aeronaves da União Europeia (PIPISTREL, 2018).

Outro modelo da fabricante é a *Alpha Electro*, que segundo a Pipistrel (2018), é ideal para voos de treinamento em escolas, sendo mais acessível para a formação de pilotos. A princípio, a ideia da eletrificação das aeronaves surgiu para reduzir o peso das aeronaves militares, melhorar sua confiabilidade, sua performance e reduzir o custo das manutenções.

Os resultados promissores serão aos poucos implementados na aviação comercial, que deve utilizar sistemas híbridos AC/DC (corrente contínua ou alternada) com múltiplos estágios de voltagem (405VAC, 200VAC, 28VDC e 27VDC). O sistema de geração consiste em dois ou mais geradores responsáveis por fornecer a carga alternada ao longo da aeronave. A carga contínua é produzida por meio de unidades de retificação transformadoras alimentadas com carga alternada. Estas fontes operam ciclicamente de modo harmônico. O gerador, síncrono, é regulado com três estágios. A possível redução no peso do sistema é decorrente da combinação de motor e gerador numa mesma unidade (ABDEL-FADIL *et al.*, 2013).

Entre os anos 40 e 50, os sistemas de potência elétrica utilizados eram os 28VDC com uma ou duas baterias de corrente contínua para fornecer a carga durante uma emergência. A carga alternada era suprida por uma voltagem de 200 VAC. A partir dos anos 60, sistemas elétricos 200 VAC com frequência constante de 400 Hz começaram a ser empregados e os sistemas de frequência variável surgiram apenas nos anos 90 (ABDEL-FADIL *et al.*, 2013).

Mais tarde a pesquisa científica desenvolveu sistemas com entrega variável, porém com frequência constante, e estes são mais flexíveis na medida que os componentes podem ser distribuídos ao longo da aeronave, em contraste com os sistemas de entrega constante, que devem ser construídos em um mesmo local. A principal diferença entre os sistemas VSCF está na necessidade de um *DC-link* para suprir a alta demanda de cargas e carregar as baterias. Já a diferença entre estes e os sistemas VF está relacionada a presença de um conversor DC/AC antes de enviar a potência ao sistema. Nas aeronaves comerciais, os geradores são conectados a pontos de distribuição de maneira simples (ABDEL-FADIL *et al.*, 2013).

A geração sincronizada fornece as cargas em frequência constante. Retificadores AC/DC são usados para converter a voltagem em corrente alternada com uma frequência fixa para dos principais pontos AC até as tensões em corrente contínua em multinível localizadas em pontos secundários. Por outro lado, nas aeronaves militares, esta conexão é feita de modo paralelo para evitar problemas em caso da falha de uma das aeronaves (ABDEL-FADIL *et al.*, 2013).

Entretanto, apesar dos benefícios, a inserção dos propulsores elétricos encontra muitos desafios. Por exemplo, o peso operacional tende a afetar a autonomia de voo, pois com as dimensões e o peso das atuais baterias, se tornaria inviável voar longas distâncias requeridas em voos comerciais. Conseqüentemente, as viagens teriam que ser mais curtas para poder sustentar o peso de todas as baterias dentro da aeronave, reduzindo seu alcance de voo para um máximo entre 160 e 400 quilômetros (OLIVEIRA; HENKES, 2021).

A Tabela 1, a seguir, fornece a descrição dos principais tipos de sistemas elétricos de aeronaves.

**Tabela 1 - Principais tipos de sistemas de geração elétrica em aeronaves**

<p><b>Sistema de geração <i>variable-speed constant-frequency</i> (VSCF)</b></p>	<p>- Este sistema fornece uma voltagem em corrente alternada com uma frequência constante de 400 Hz, gerando um <i>DC-link</i> entre o gerador e as cargas de corrente alternada, ou por meio de conversores de potência AC/DC ou DC/AC, ou usando um ciclo conversor (conversor AC/AC). O <i>DC-link</i> atua suprimindo a alta demanda de cargas e carregando as baterias. São os mais empregados atualmente (Fig. 2c);</p> <p>- Suas vantagens são um melhor sistema de partida, uma alta confiabilidade e um custo menor;</p>
<p><b>Sistema de geração <i>variable-frequency</i> (VF)</b></p>	<p>- Neste sistema, a velocidade do motor é variável e conseqüentemente a frequência gerada também é, variando entre 360-800 Hz com uma tensão de saída de 200 volts. É a forma mais simples, barata e confiável de gerar eletricidade. As tensões em frequência variável impactam outros subsistemas da aeronave, como motores e controladores <i>on board</i> (Fig. 2d).</p>
<p><b>Unidade de potência auxiliar (APU)</b></p>	<p>- A maior parte da viagem, quando sob condições normais de voo, é fomentada por geradores em corrente alternada. Contudo, nos momentos de transiência, principalmente na partida, a potência deve ser fornecida pela UPA. Além desta situação, a maioria das aeronaves usa o UPA como uma fonte de <i>backup</i> quando ocorrem falhas na geração. Trata-se de um gerador de velocidade constante com uma saída trifásica de 400 Hz e 200 V.</p>

**Fonte de potência de emergência**

- Caso a UPA falhe, as turbinas RAM ou células a combustível são usadas como fonte de emergência. Essas turbinas são um tipo de gerador em velocidade constante com uma fonte trifásica de 400 Hz e 200VAC. As células a combustível são usadas como uma fonte de emergência com uma saída em corrente contínua. Para a conversão da eletricidade gerada, elas precisam de conversores. Baterias também são usadas para fornecer potência em caso de falha nos sistemas alternativos ou de *backup*. Enquanto as baterias fornecem energia em períodos transientes, as células a combustível são usadas em operações no estado estacionário.

**Unidade de potência de solo**

- Para operações em longo tempo, é necessária uma fonte elétrica de grande porte. Esta fica a cargo da unidade de potência maior. Ela é constituída por meio do acoplamento de motores e geradores. O padrão mais empregado é um sistema trifásico de 200 VAC e 400 Hz.

Fonte: Abdel-Fadil *et al.*, 2013.

Como o sistema elétrico não pode falhar durante o voo, caso a aeronave seja totalmente elétrica, não dispondo de outro sistema de fornecimento de energia, é necessário que o sistema seja capaz de identificar falhas pontuais e isole-as. Assim sendo, é necessário que a programação faça uma análise profunda para elucidação de todas as possíveis falhas. Ao mesmo tempo, estudos relacionados a redução de peso, a melhoria da performance dos sistemas, a otimização dos processos e a melhoria dos filtros de interferência eletromagnética também estão sendo realizados (KIM *et al.*, 2018).

#### 4.2 PROPULSÃO HÍBRIDA

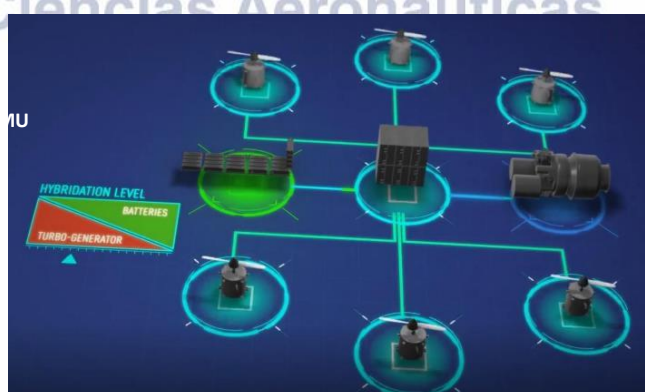
Outra solução, mais sustentável e eficiente para viagens de longa distância, seria a adesão da tecnologia híbrida, na qual motores elétricos e de combustão trabalhariam juntos, dispensando assim o alto peso das baterias de uma aeronave totalmente elétrica. Logo, poderia atender a demanda de viagens mais longas sendo mais sustentável que os motores de combustão interna. A economia de combustível fica na faixa de 7% a 12% com a hibridização dos motores (VOSKUIJL *et al.*, 2018; MARTINS, 2021; MONTERO BARRIGA, 2021; STRASSBURGER, 2021).

A hibridização dos motores com sistemas elétricos vem sendo desenvolvida desde os anos 90, por meio da junção de motores com maior poder de combustão, técnicas aerodinâmicas e componentes eletrônicos, a exemplo de baterias, sensores e monitores. As baterias do sistema, recarregáveis, seriam alimentadas pela própria força motriz da combustão nas turbinas (MOREIRA, 2018; VOSKUIJL *et al.*, 2018; SHMYROV *et al.*, 2020; MONTERO BARRIGA, 2021; STRASSBURGUER, 2021).

A diferença dos sistemas puramente elétricos para os sistemas híbridos (Figura 3), é que neste existem dois sistemas de propulsão que trabalham conectados e monitorados por um sistema de supervisão. Um dos sistemas de propulsão é a turbo hélice, responsável pela queima dos combustíveis, liberando gases de exaustão e gerando o empuxo necessário para o voo.

O outro é o sistema de geração elétrica, que pode ser alimentado pelo próprio sistema de combustão e aproveitando a energia cinética das engrenagens da aeronave. Ou ainda, ele pode ser suprido por um sistema de geração elétrico, a exemplo de painéis fotovoltaicos ou de células a combustível movidas a hidrogênio (VOSKUIJL *et al.*, 2018; STRASSBURGER, 2021).

Figura 3 - Esquema ilustrativo de um sistema de propulsão híbrido



Fonte: SAFRAN, 2019.

Um sistema de supervisão controla a taxa de hibridização entre os sistemas. Controlando a geração de energia, existe uma *Power Management Unit* (PMU) responsável por garantir o compartilhamento da energia total para auxiliar as turbinas e geradores elétricos na propulsão das aeronaves. Com isso, espera-se otimizar o funcionamento dos motores, pois estes seriam auxiliados pelo

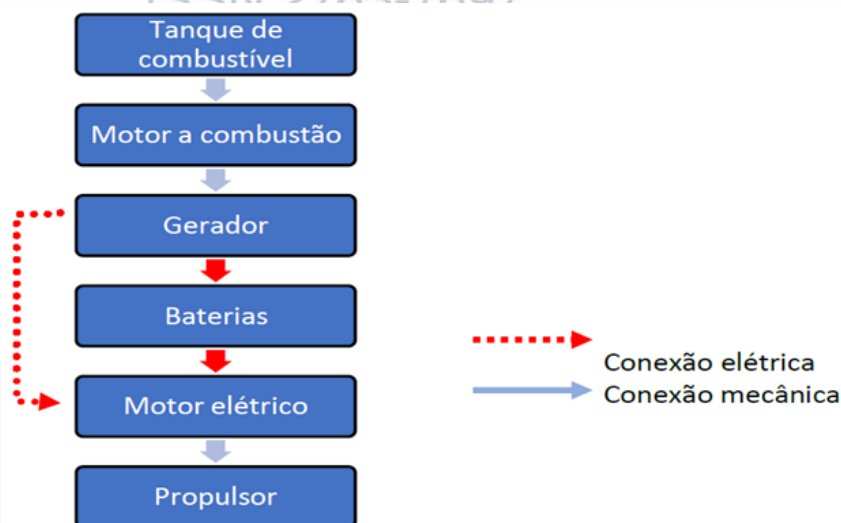
sistema elétrico durante os momentos de maior demanda de potência (partida, chegada ou no *set of height*). Como consequência, o peso, a emissão de gases e o nível de ruído das turbinas seria diminuído, pois seu funcionamento pleno ocorreria na chamada velocidade de cruzeiro (MOREIRA, 2018; VOSKUIJL *et al.*, 2018; SHMYROV *et al.*, 2020; MONTERO BARRIGA, 2021; STRASSBURGUER, 2021).

O trabalho de Shmyrov *et al.* (2020) estudou a implementação de sistemas de propulsão híbrida em aeronaves Antonov (AN-26 e AN-140), dando enfoque na viabilidade da implementação de tais sistemas e seus impactos na performance do voo. O motor elétrico e as baterias, ambos empregados apenas em momentos de alta demanda ou de emergência, e todos os demais estágios do voo, seriam supridos pela turbina a gás.

As turbinas teriam seu tamanho consideravelmente reduzido e ficariam localizadas no fundo da aeronave. Os tanques de combustível, com menor capacidade, ficariam localizados no fundo, e as baterias ficariam instaladas nas asas. Seriam concebidas duas variantes do Sistema Básico de Propulsão Híbrida (sigla do inglês *HBPS*), um sequencial/série (Figura 4) e outro em paralelo (Figura 5).

## Revista Brasileira de Aviação Civil & Ciências Aeronáuticas

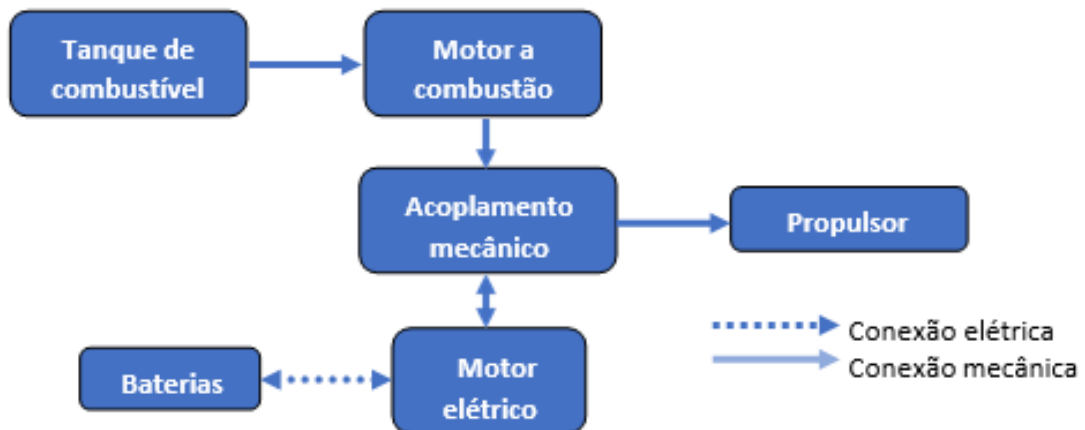
Figura 4 - Sistema HBPS sequencial



Fonte: Shmyrov *et al.*, 2020.

A diferença principal entre elas (sequencial/série e paralelo) está relacionada a transmissão de potência. No primeiro, ela ocorre unicamente do motor elétrico para o propulsor. No último, ela ocorre em paralelo entre turbinas e o motor elétrico para uma engrenagem mecânica comum que vai suprir o propulsor.

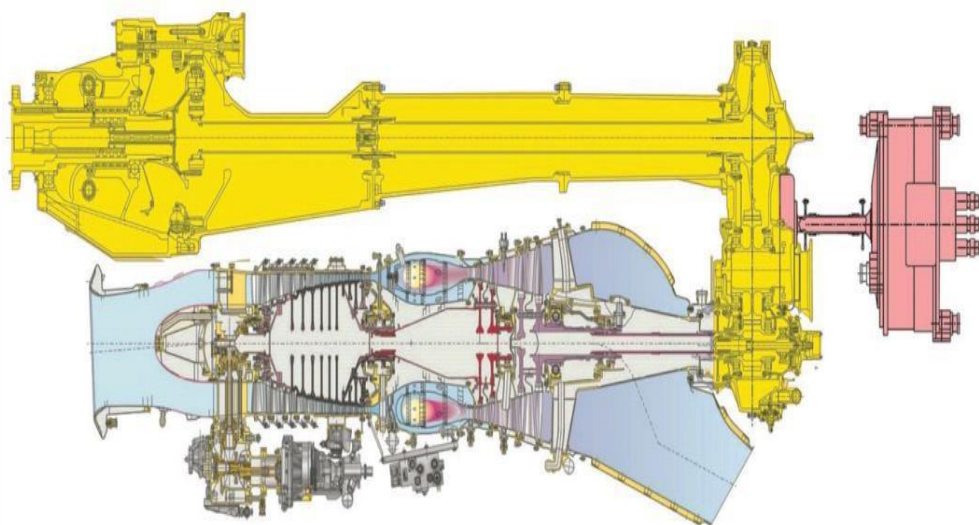
Figura 5 - Sistema HBPS em paralelo



Fonte: Shmyrov *et al.*, 2020.

A escolha dos fabricantes tende a ser para o sistema paralelo mais em virtude de suas vantagens do que de suas desvantagens, principalmente no que diz respeito à redução do peso total do sistema de propulsão, à maximização da eficiência das turbinas, reduzindo o consumo total de combustível e a possibilidade de baterias de tamanho moderado. A Figura 6 apresenta um esquema do sistema HBPS projetado por Shmyrov *et al.* (2020).

Figura 6 - Esquema do sistema HBPS



Fonte: Shmyrov *et al.*, 2020.

O Quadro 1 apresenta as vantagens e desvantagens das duas configurações. Além destes, existe o sistema série-paralelo. O que vem sendo mais pesquisado é o paralelo. Nela, o motor elétrico seria movido pelo mesmo sistema mecânico do motor a combustão. Os motores elétrico e térmico funcionam ao mesmo tempo. Como resultado, obtém-se uma maior eficiência na potência.

RBAC & CIA  
Revista Brasileira de Aviação Civil  
& Ciências Aeronáuticas  
ISSN 2763-7697



Quadro 1 - Vantagens e desvantagens dos sistemas HBPS sequencial e em paralelo

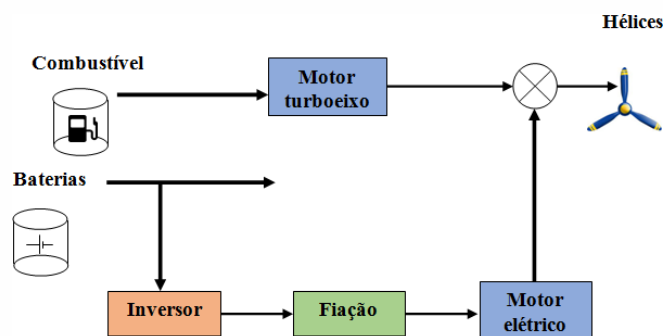
Sistema HBPS sequencial	Sistema HBPS em paralelo
<p><b>Vantagens:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Permite colocar a unidade de potência separada das turbinas;</li> <li>- permite otimizar os processos termodinâmicos nas turbinas no intuito de garantir o menor consumo de combustível e o mínimo de emissões;</li> <li>- permite acumular todo o fluxo de energia elétrica em baterias recarregáveis para garantir a "zero emissão";</li> </ul>	<p><b>Vantagens:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Permite reduzir o peso do sistema de propulsão por meio da combinação de toda a engrenagem mecânica em uma caixa de transmissão comum e dispensa a necessidade de um gerador em separado para carregar as baterias;</li> <li>- Garante que as turbinas operem sob condição ótima no intuito de garantir o mínimo consumo de combustível;</li> <li>- Dispensa o uso do motor elétrico em capacidade total do sistema de propulsão como o motor elétrico é usado no modo "booster" (adição do modo potência em certos modos de voo);</li> <li>- Dispensa o uso de baterias recarregáveis com elevada capacidade (a capacidade das baterias é determinada pela duração do modo <i>booster</i>);</li> <li>- A possibilidade de construção de um sistema de propulsão baseado na existência de um motor de turbopropulsão;</li> </ul>
<p><b>Desvantagens:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- A necessidade de ter um motor elétrico em capacidade máxima (de decolagem), o que demanda de um complexo sistema de resfriamento e equipamentos robustos de distribuição elétrica;</li> <li>- Necessita de baterias recarregáveis com grande capacidade, o que gera peso e ocupa espaço;</li> </ul>	<p><b>Desvantagens:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Não permite que a aeronave tenha "zero emissão";</li> <li>- A dificuldade de construir uma turbina com recuperação de calor ao mesmo tempo que ocupe pouco espaço e seja leve;</li> <li>- A complexidade de um <i>layout</i> para o sistema de propulsão em uma única célula/conjunto;</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Necessita de um gerador separado do "hub" de potência, o que deve aumentar o peso da aeronave;</li> </ul>	

Fonte: Dos autores, adaptado de Shmyrov *et al.*, 2018.

Outra vantagem frente aos outros dois tipos de configuração, está relacionado a demanda por menos equipamentos (VOSKUIJL *et al.*, 2018;

MONTERO BARRIGA, 2021). A Figura 7 apresenta um esquema ilustrativo da arquitetura de um sistema de propulsão híbrida.

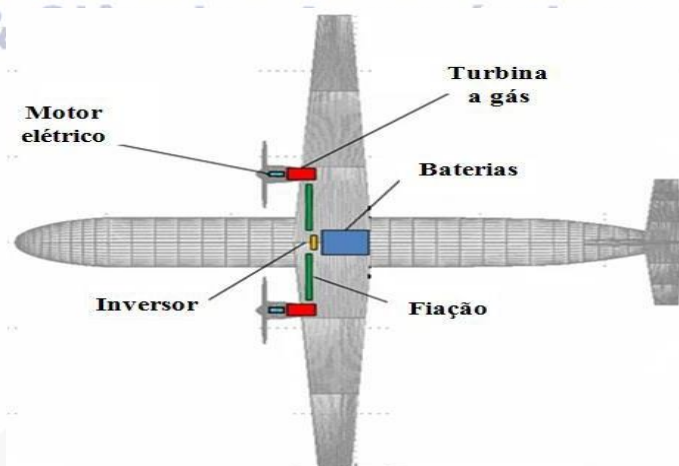
Figura 7 – Esquema ilustrativo da arquitetura de um sistema de propulsão híbrido em paralelo



Fonte: Adaptado de Voskuijl *et al.*, 2018.

A Figura 8 apresenta um esquema de aeronave indicando as posições dos componentes do sistema híbrido paralelo.

Figura 8 – Localização dos principais equipamentos de um sistema de propulsão híbrida em paralelo



Fonte: Adaptado de Voskuijl *et al.*, 2018.

Para o controle de aeronaves híbridas, a literatura e a indústria vêm dedicando tempo e estudos aos sistemas embarcados. Esses sistemas são constituídos por cinco componentes básicos: baterias, controladores eletrônicos

de velocidade (ESC), sensores (magnetômetro, acelerômetro, altímetro, giroscópio e GPS), motores e microcontroladores. Impor esses sistemas apresenta uma série de desafios que devem ser contornados, a exemplo do limite de carga, das dinâmicas rápidas e estáveis, do tempo de voo e da integração entre os sensores e os controladores (MOREIRA, 2018; SAFRAN, 2019).

Tão difícil quanto montar aeronaves com propulsão híbrida está em fazer adaptações das aeronaves comerciais existentes (STRASSBURGUER, 2021). Deve-se ter em mente que sistemas de propulsão híbridos elétricos são mais adequados para aeronaves com demanda flutuante de energia. O melhor desempenho é obtido quando os motores a combustão fornecem potência continuamente e a demanda extra de potência é suprida pelos motores elétricos. Esta otimização vai resultar em um menor consumo de energia (MONTERO BARRIGA, 2021).

Portanto, diferente do que o senso comum prega, os sistemas híbridos seriam úteis na maior parte do voo, principalmente quando este é de média ou longa distância, situações nas quais as aeronaves ficam um bom tempo em regime de cruzeiro. Nestes casos, as eventuais demandas adicionais seriam supridas pelo motor elétrico, enquanto o motor à combustão se encarregaria em suprir o *bulk* de demanda de energia da aeronave. O problema maior está no aumento de peso que o sistema elétrico, principalmente as baterias, iria ocasionar (LIMA, 2021).

#### 4.3 PROJEÇÕES FUTURAS

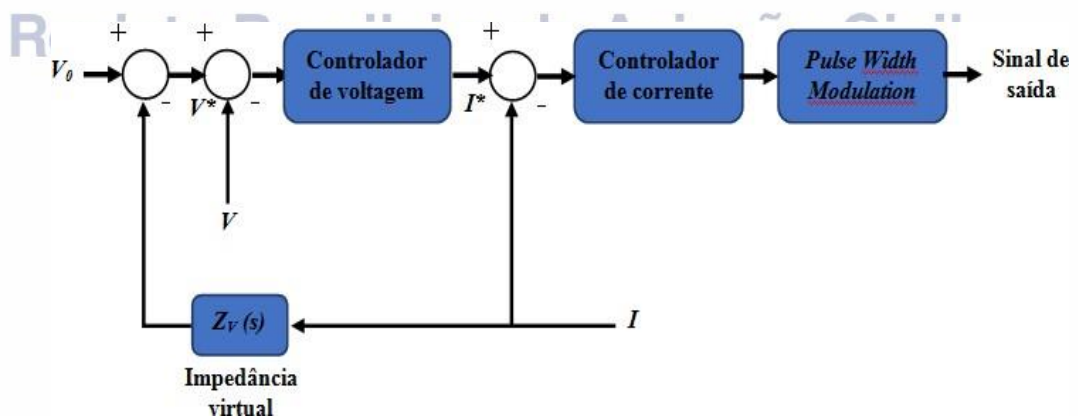
A Faculdade de Engenharia Elétrica e da Computação (FEEC) da UNICAMP firmou uma parceria com a EMBRAER e o Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) para desenvolver projetos sobre mobilidade aérea. Mais precisamente, serão desenvolvidos motores elétricos e sistemas eletrônicos para as aeronaves visando a zero emissão de carbono. Além da eletrificação, vai ser estudado também a aerodinâmica e a composição material das aeronaves (NUNES, 2022).

Uma linha de pesquisa diferente, fomentada por empresas do setor, são as aeronaves movidas a hidrogênio. Nestas, o gás seria armazenado liquefeito (-

250°C) na parte de baixo das aeronaves, diminuindo o tamanho das asas. Esse combustível é cerca de três vezes mais energético que o QAV e sessenta vezes mais energético que as baterias de lítio por quilograma. Outra vantagem, obviamente, é a não emissão de CO<sub>2</sub>. Entretanto, ainda haverá pequena emissão de óxidos de nitrogênio (Nox) em virtude da queima do O<sub>2</sub> com o N<sub>2</sub> do ar nas elevadas temperaturas das turbinas. Outra questão importante é que dentro da aeronave, devem existir células eletroquímicas (células à combustível) que sejam capazes de fazer a conversão do hidrogênio em eletricidade (INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, 2021).

A fim de viabilizar o uso de sistemas elétricos de potência em aeronaves, busca-se empregar o 'sistema de potência compartilhada'. Nele, utiliza-se uma impedância virtual que inclui um fator resistivo e um fator indutivo. A Figura 9, a seguir, apresenta um diagrama de blocos de um sistema de gerenciamento de potência baseado na impedância virtual.

Figura 9 – Diagrama e blocos de um sistema de gerenciamento de unidade de potência baseado na impedância virtual



Fonte: Kim *et al.*, 2018.

Como ela depende da frequência, diferentes razões de compartilhamento da potência elétrica entre os estados permanente e transiente podem ser avaliadas. Uma vantagem desse sistema seria o controle descentralizado do funcionamento de várias fontes elétricas diferentes, embora mantendo-se o controle do perfil de operação de cada uma delas. Os sistemas elétricos seriam responsáveis desde

funções simples na aeronave até funções mais complexas, como a propulsão, os sistemas de atuação e o controle do voo (KIM *et al.*, 2018).

Além da maior eficiência, o advento desses sistemas diminuiria o peso das aeronaves. Por outro lado, a necessidade de baterias nas aeronaves iria compensar essa economia. Além disso, a autonomia destas baterias, responsável por controlar a autonomia de voo, ainda não é suficiente para voos de grandes distâncias (KIM *et al.*, 2018). Mesmo assim, pesquisas científicas estão sendo realizadas para contornar esses desafios e com o tempo, novas classes de aeronaves passam a dispor de sistemas de potência elétrica mais suficientes.

Os sistemas de potência elétrica compartilhada ainda demandam de estudos para a sua disseminação. Até o momento, os sistemas de distribuição de potência por corrente direta e tensão de 270 volts são a alternativa mais factível para a aviação, principalmente do ponto de vista da estabilidade e do menor peso. Uma solução para redução do número de baterias é utilizar painéis fotovoltaicos nas aeronaves. Desse modo, o sistema de potência elétrica vai ser constituído por uma célula a combustível, células fotovoltaicas e um conjunto de baterias com menor porte. Como a demanda por potência varia ao longo do voo, o sistema elétrico deve ter sua saída controlada para fornecer essa carga. Além disso, o estágio de carga das baterias deve ser mantido em níveis acima dos pré-definidos para o voo (KIM *et al.*, 2018).

A expectativa para o horizonte próximo (2020 a 2025) são os motores *turbofan* com parâmetros melhorados, e constituído por compósitos tanto na parte quente quanto nas partes frias da turbina, sejam os dominantes nessa geração de aeronaves. Entretanto, para o horizonte a médio prazo (2030 a 2040), os sistemas híbridos (turbo elétricos) e os sistemas de propulsão elétricos estão sendo avaliados. Estes seriam divididos em seis classes diferentes: totalmente elétricos, híbridos paralelos, híbridos em série, híbridos parcialmente paralelos, totalmente turbo elétricos e parcialmente turbo elétricos. Outra particularidade que está sendo avaliada é a inserção de materiais supercondutores em alta temperatura (SHMYROV *et al.*, 2020).

Quanto as baterias e aos capacitores, espera-se descobrir materiais que possibilitem uma maior densidade de energia, reduzindo o peso e o espaço

destes equipamentos, ao mesmo tempo que reduzam o tempo de carga, ou seja, apresentem maior densidade de potência (energia/tempo). Voskuijl *et al.* (2018) reportaram que a gasolina apresenta uma densidade de energia de cerca de 13.000 Wh/kg, enquanto as baterias comuns não ultrapassam os 200 Wh/kg. No melhor dos cenários, as baterias de lítio-ar apresentariam densidade energética em torno de 11.680 Wh/kg.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O setor aéreo vem passando por mudanças no intuito de manter a sua viabilidade financeira por meio do corte de custos e um dos mais importantes está relacionado à força propulsora das aeronaves. Os resultados de pesquisas relacionadas desde o final do século passado já estão sendo postos em prática, a exemplo da adição de biocombustíveis aos seus homólogos não renováveis e os sistemas de propulsão puramente elétricos ou híbridos.

Assim, conclui-se que a adoção de biocombustíveis e aeronaves híbridas ou puramente elétricas têm impacto positivo na questão financeira, contribuindo também com a questão ambiental, afinal, iriam diminuir o uso de combustíveis fósseis e reduzir as emissões de gases nocivos à atmosfera. Portanto, essas alterações poderão contribuir para alcançar o *Net Zero* do setor.

De acordo com a pesquisa realizada, atualmente a alternativa mais viável apontam para as aeronaves híbridas, uma vez que a autonomia de aeronaves puramente elétricas ainda impede que ela seja aplicada em voos de longa duração, restringindo-as aos voos de curta/média duração. No entanto, com a autonomia de aeronaves híbridas, se torna possível poder voar tanto curta quanto longa distância, sendo seu uso mais versátil no transporte aéreo. Dessa forma, o objetivo central dos grupos de pesquisa deve focar no aumento da autonomia das baterias por meio de sistemas de armazenamento mais eficientes (maior carga e menor peso) e eficiência de hibridização maior.

O objetivo desse trabalho foi trazer à comunidade acadêmica a discussão sobre esse tema e a reflexão sobre a evolução apresentada pelos novos

motores. O trabalho não se aprofundou para verificar de fato a eficiência, as garantias e a questão custo-benefício dos novos motores das aeronaves, entretanto recomenda-se novos estudos e trabalhos acadêmicos são recomendados, para acompanhar a evolução de motores e sistemas híbridos em aeronaves.

## REFERÊNCIAS

EID, A.; ABDEL-SALAM, M. *Electrical distribution power systems of modern civil aircrafts*. In: **International Conference on Energy Systems and Technologies**. 2<sup>nd</sup>, 2013, Cairo, Egito. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/235932771\\_Electrical\\_distribution\\_power\\_systems\\_of\\_modern\\_civil\\_aircrafts](https://www.researchgate.net/publication/235932771_Electrical_distribution_power_systems_of_modern_civil_aircrafts). Acesso em: 11 out. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). **Brazil's Action Plan on the reduction of Greenhouse Gas Emissions from aviation**. Agência Nacional da Aviação Civil. 2019. Disponível em: [http://cdieselbr.com.br/Documents/Brazil\\_ActionPlan%20for%20reduction%20of%20GG%20Emissions%20from%20aviation.pdf](http://cdieselbr.com.br/Documents/Brazil_ActionPlan%20for%20reduction%20of%20GG%20Emissions%20from%20aviation.pdf). 2013. Acesso em: 01 mai. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). **Regulamento Brasileiro da Aviação Civil (RBAC nº 91) – Requisitos gerais de operações em aeronaves civis**. 2021. Disponível em: [https://www.anac.gov.br/assuntos/21tamaraty21/21tamaraty21-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-91/@@display-file/arquivo\\_norma/rbac91emd03.pdf](https://www.anac.gov.br/assuntos/21tamaraty21/21tamaraty21-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-91/@@display-file/arquivo_norma/rbac91emd03.pdf). Acesso em: 06 out. 2022.

BRASIL. MINISTÉRIO DAS RELAÇÕES EXTERIORES. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)**. 2015. Disponível em: [http://www.itamaraty.gov.br/images/ed\\_desenvsust/20160119-ODS.pdf](http://www.itamaraty.gov.br/images/ed_desenvsust/20160119-ODS.pdf). Acesso em: 10 set. 2022.

CGEE – Centro de Gestão e Estudos Energéticos. **Biocombustíveis aeronáuticos – Progressos e desafios**. 2010. Disponível em: [https://www.cgee.org.br/documents/10182/734063/biocombustiveis\\_aeronauticos\\_2401\\_2011\\_9559.pdf](https://www.cgee.org.br/documents/10182/734063/biocombustiveis_aeronauticos_2401_2011_9559.pdf). Acesso em: 25 ago. 2022.

FERREIRA, M. J. B.; NERIS JÚNIOR, C. P. Uma avaliação dos impactos da indústria 4.0 sobre o setor aeronáutico. **Revista Brasileira de Inovação**. v. 19, R. bras. Av. civil. ci. Aeron., Florianópolis, v. 3, n. 1, p. 170-196, jan-mar. 2023.

p. 1-31, 2020. Disponível em:  
<https://www.scielo.br/j/rbi/a/bMxZKYqswmtSRHRV8CLpSrb/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 11 out. 2022.

FORMANEK, P. **Aeronaves mais leves, eficientes e seguras: as inovações do setor**. AEROMAGAZINE. 2021. Disponível em:  
[https://aeromagazine.uol.com.br/artigo/aeronaves-mais-leves-eficientes-e-seguras-inovacoes-do-setor\\_7540.html](https://aeromagazine.uol.com.br/artigo/aeronaves-mais-leves-eficientes-e-seguras-inovacoes-do-setor_7540.html). Acesso em: 26 ago. 2022.

GUIMARANS, D.; ARIAS, P.; TOMASELLA, M.; WU, C. *A review of sustainability in aviation: a multidimensional perspective*. In: FAULIN, J.; GRASMAN, S. E.; JUAN, A. A.; HIRSCH, P. **Sustainable Transportation and Smart Logistics**. Elsevier, 2019, p. 92-117. Disponível em:  
<https://research.monash.edu/en/publications/a-review-of-sustainability-in-aviation-a-multidimensional-perspec>. Acesso em: 11 out. 2022.

INOVAÇÃO TECNOLÓGICA. **Aviões a hidrogênio prometem aviação livre de emissões**. 2021. Disponível em:  
<https://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=avioes-hidrogenio-prometem-aviacao-emissao-zero&id=010170211208>. Acesso em: 26 ago. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Indicadores Brasileiros para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em:  
<https://odsbrasil.gov.br/>. Acesso em: 28 ago. 2022.

ICONE444. **UAVision OGASSA OGS42 VTOL of the Portuguese Navy**. 2022. Disponível em:  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:UAVision\\_OGASSA\\_OGS42\\_VTOL\\_of\\_the\\_Portuguese\\_Navy.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:UAVision_OGASSA_OGS42_VTOL_of_the_Portuguese_Navy.jpg). Acesso em: 30 set. 2022.  
IEA. *Are aviation biofuels ready for take off?*. **International Energy Agency**. Disponível em: <https://www.iea.org/commentaries/are-aviation-biofuels-ready-for-take-off> 2019. Acesso em: 02 jun. 2022.

JOKURO, T. **O que é Net Zero?** 2021. Disponível em:  
<https://netzero.projeto-draft.com/glossario-o-que-e-net-zero-compromisso-zerar-emissoes/> Acesso em: 16 out. 2022.

KIM, M.; LEE, S. G.; BAE, S. *Decentralized Power Management for Electrical Power Systems in More Electric Aircrafts*. **Electronics**. v. 7, n. 187, p. 1-19, 2018. Disponível em: file:///C:/Users/lab/Downloads/electronics-07-00187.pdf. Acesso em: 11 out. 2022.



LEE, D. S. *The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000 to 2018*. **Atmospheric Environment**. V. 244. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117834>. Acesso em: 07 jun. 2022.

LIMA, J. H. S. **Fontes alternativa de energia para a aviação: análise na manutenção entre avião com motor elétrico e avião com motor a combustão**. (Trabalho de Conclusão de Curso) - Universidade do Sul e Santa Catarina – UNISUL. 2021. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/17680/1/TCC%20final%20%281%29.pdf>. Acesso em: 11 out. 2022.

LINO, L. N.; HENKES, J. A. **Impactos do transporte aéreo de passageiros, uma análise da aplicação dos ODS: um estudo de caso da United Airlines**. Revista Brasileira de Aviação Civil & Ciências Aeronáuticas. v. 1, n.1, p. 258-313, 2021. Disponível em: <https://rbaccia.emnuvens.com.br/revista/article/view/14>. Acesso em: 11 out. 2022.

MARTINS, J. **A viabilidade da utilização de motores elétricos em aviões Comerciais**. (Trabalho de Conclusão de Curso) - Universidade do Sul e Santa Catarina – UNISUL. 2021. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/17696/1/GIOVANE%20MARTINS%2C%20A%20VIABILIDADE%20DA%20UTILIZA%C3%87%C3%83O%20DE%20MOTORES%20EL%C3%89TRICOS%20EM%20AVI%C3%95ES%20COMERCIAIS.pdf>. Acesso em: 05 jun. 2022.

McMANNERS, P. *The action research case study approach: A methodology for complex challenges such as sustainability in aviation*. **Sage Journals**. v. 14, n. 2, p. 201-216, 2015. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/1476750315597979>. Acesso em: 11 out. 2022.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, PORTOS E AVIAÇÃO CIVIL. **Plano aeroviário nacional 2018-2038: objetivos, estratégias e investimentos para o desenvolvimento do transporte aéreo brasileiro**. 2018. Disponível em: [https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/centrais-de-coneudo/pan2018\\_ebook.pdf](https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/centrais-de-coneudo/pan2018_ebook.pdf). Acesso em: 29 mar. 2022.

MONTERO BARRIGA, A. **Motores híbridos en aeronaves de transporte de pasajeros**. (Tese de Doutorado). *Universitat Politècnica de València*. 2021. Disponível em: <https://riunet.upv.es/handle/10251/169500?show=full>. Acesso em: 11 out. 2022.

MOREIRA, J. L. **Projeto de uma aeronave híbrida de quatro rotores e asa inclinável.** (Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Mecânica). Universidade Federal Rural do Semi-Árido. 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/handle/prefix/5119>. Acesso em: 11 out. 2022.

NUNES, T. **Unicamp irá desenvolver motores elétricos para aviões.** UNICAMP. Disponível em: <https://www.unicamp.br/unicamp/noticias/2022/05/27/unicamp-ira-desenvolver-motores-eletricos-para-avioes>. Acesso em: 26 ago. 2022.

OLIVEIRA, R. S; HENKES, J. A. Uma análise sobre a possibilidade de uso dos motores elétricos em aeronaves comerciais. **Revista Brasileira de Aviação Civil & Ciências Aeronáuticas**, v. 1, n. 2, p. 112-141, 2021. Disponível em: <https://rbac.cia.emnuvens.com.br/revista/article/view/27>. Acesso em: 05 jun. 2022.

PEREIRA, A. P. C. Quem são? Para onde vão?: o segmento aéreo regional no Brasil. **CONFINS**. v. 29, 2016. Disponível em: <https://journals.openedition.org/confins/11419>. Acesso em: 11 out. 2022.

PIPISTREL. 2018. Disponível em: <https://www.pipistrel-aircraft.com/aircraft/electric-flight/>. Acesso em: 05 jun. 2022.

RODRIGUES, L. A. **"Por uma Geografia dos fluxos": Transporte aéreo de passageiros no Brasil no século XXI.** 2019. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/333632787\\_POR\\_UMA\\_GEOGRAFIA\\_DOS\\_FLUXOS\\_Transporte\\_Aereo\\_de\\_Passageiros\\_no\\_Brasil\\_no\\_seculo\\_XXI/link/5cf7e657a6fdcc84750888ff/download](https://www.researchgate.net/publication/333632787_POR_UMA_GEOGRAFIA_DOS_FLUXOS_Transporte_Aereo_de_Passageiros_no_Brasil_no_seculo_XXI/link/5cf7e657a6fdcc84750888ff/download). Acesso em: 30 set. 2022.

ROMA, J. S. **Os objetivos de desenvolvimento do milênio e sua transição para os objetivos de desenvolvimento sustentável.** 2019. Disponível em: [http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0009-67252019000100011](http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252019000100011). Acesso em: 11 out. 2022.

ROMANO, L. **IS 20-001A entra em vigor dia 01/09/22.** *November Aviation*. Disponível em: [https://www.november-aero.com/post/is-20001a-entra-em-vigor?gclid=EAlalQobChMIwtmj27fL-glVCiSRCh1q\\_gA-EAMYASAAEgL9NPD\\_BwE](https://www.november-aero.com/post/is-20001a-entra-em-vigor?gclid=EAlalQobChMIwtmj27fL-glVCiSRCh1q_gA-EAMYASAAEgL9NPD_BwE). Acesso em: 06 out. 2022.

SAFRAN. **Discover the SAFRAN hybrid-electric propulsion system.** YouTube. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=wE4gwsOyjlo>. Acesso em: 10 ago. 2022.

SHMYROV, V.; LOGINOV, V.; FIL, S.; KHAUSTOV, A.; BONDARCHUK, O.; KALASHNIKOV, A.; KHMELNITSKIY, G. *The modernization concept of aircraft AN-26 and AN-140 based on the use of a hybrid power system. **Engineering Technological Systems***. v. 5, p. 6-17, 2020. Disponível em: <https://cyberleninka.ru/article/n/the-modernization-concept-of-aircraft-an-26-and-an-140-based-on-the-use-of-a-hybrid-power-system>. Acesso em: 29 out. 2022.

SOUZA, V. A.; HENKES, J. A. O uso do etanol além da aviação agrícola: um dos caminhos para a aviação geral. **Revista Brasileira de Aviação Civil & Ciências Aeronáuticas**. v. 1, n. 2, p. 227-266, 2021. Disponível em: <https://rbac.cia.emnuvens.com.br/revista/article/view/32>. Acesso em: 11 out. 2022.

STRASSBURGER, N. **Impactos econômicos e operacionais na utilização de motores híbridos em aeronaves de transporte aéreo regular**. (Trabalho de Conclusão de Curso – Ciências Aeronáuticas). Universidade do Sul de Santa Catarina. 2021. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/17631>. Acesso em: 11 out. 2022.

THANIKASALAM, K.; RAHMAT, M.; MOHAMMAD FAHMI, A. G.; ZULKIFLI, A. M.; NOORSHAWAL, N.; ILANCHELVI, K.; ANANTH, M.; ELAYARASAN, R. *A review of phase separation issues in aviation gasoline fuel and motor gasoline fuels in aviation. **Materials Science and Engineering***. v. 370, p. 1-5, 2018. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/370/1/012007>. Acesso em: 11 out. 2022.

ISSN 2763-7697

UNICAMP. Unicamp irá desenvolver motores elétricos para aviões. **UNICAMP**. Disponível em: <https://www.unicamp.br/unicamp/noticias/2022/05/27/unicamp-ira-desenvolver-motores-eletricos-para-avioes>. Acesso em: 31 mai. 2022.

VOSKUIJL, M.; van BOGAERT, J.; RAO, A. G. *Analysis and design of hybrid electric regional turboprop aircraft. **CEAS Aeronautical Journal***. v. 9, p. 15-25, 2018. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13272-017-0272-1>. Acesso em: 11 out. 2022.