PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS

ESCOLA POLITÉCNICA

CURSO DE CIÊNCIAS AERONÁUTICAS

**BENEFÍCIOS DOS ELETROMOTORES NA AVIAÇÃO**

GOIÂNIA

2021

ROGÉRIO PIRES ALVES PEREIRA

**BENEFÍCIOS DOS ELETROMOTORES NA AVIAÇÃO**

GOIÂNIA

2021

ROGÉRIO PIRES ALVES PEREIRA

**BENEFÍCIOS DOS ELETROMOTORES NA AVIAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Pontifícia Universidade Católica de Goiás como exigência parcial para a obtenção do grau de bacharel em Ciências Aeronáuticas.

Orientador: Professor M.Sc. Raul Francé Monteiro.

GOIÂNIA

2021

ROGÉRIO PIRES ALVES PEREIRA

**BENEFÍCIOS DOS ELETROMOTORES NA AVIAÇÃO**

GOIÂNIA – GO, 7/11/2021.

**BANCA EXAMINADORA**

Me. Raul Francé Monteiro \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ CAER/PUC-GO \_\_\_\_\_

 Assinatura Nota

Esp. Andreluiz da S. Fernandes \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_CAER/PUC-GO \_\_\_\_\_

 Assinatura Nota

Esp. Willian de Carvalho Xavier \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_CAER/PUC-GO \_\_\_\_\_ Assinatura Nota

**BENEFÍCIOS DOS ELETROMOTORES NA AVIAÇÃO**

***BENEFITS OF ELECTROMOTORS IN AVIATION***

Rogério Pires Alves Pereira[[1]](#footnote-1)

Raul Francé Monteiro[[2]](#footnote-2)

**RESUMO**

Ao longo da história da sociedade humana, observa-se o empenho na busca do bem-estar. O desenvolvimento das tecnologias nos meios de transporte faz parte desse contexto, propiciando mais segurança, agilidade e conforto. Porém, algumas tendências podem apresentar, com o passar do tempo, equívocos que necessitam ser repensados e corrigidos, especialmente quando se trata de impactar o meio em que vivemos e, por conseguinte, a própria existência humana. É nessa conjuntura de necessidade de preservação do meio ambiente que esta pesquisa se desenvolve, ao se dedicar à análise das condições climáticas apontadas em estudos de diversas entidades globais e da contribuição da aviação para o cenário atual de degradação e possíveis soluções. Sob a ótica da classificação científica, o trabalho é de natureza básica de objetivo exploratório e abordagens qualitativa e quantitativa, pois, além de apresentar os argumentos relacionados à temática, buscou nos números e gráficos alguns dados ambientais em discussão na atualidade, por meio de consulta a livros, teses, artigos e projetos científicos, adotando, portanto, os procedimentos bibliográficos de pesquisa. Considerando a busca por soluções para mitigar esse processo de degradação ambiental no âmbito da aviação, a pesquisa mostra como os eletromotores no meio aeronáutico podem contribuir para a redução de emissões de gases tóxicos que provocam o aumento do efeito estufa. São mencionados os benefícios da adoção desse motores, seu funcionamento, suas aplicações e feitas comparações com os motores convencionais utilizados na aviação. O interesse dos grandes fabricantes e os projetos futuros e em andamento também são evidenciados na pesquisa. Vale ressaltar que o estudo dos eletromotores abarca as áreas da física e da química, tornando-se necessário um entendimento básico desses conceitos a fim de facilitar a compreensão do todo. O uso dos motores elétricos na aviação ainda é prematuro, contudo, há inúmeros projetos para o desenvolvimento de aeronaves 100% elétricas ou híbridas que precisam vencer alguns obstáculos que igualmente são abordados por este estudo. Importantes instituições ligadas à temática associam-se para oferecer cooperação nos processos de desenvolvimento dos propulsores elétricos, que vêm sendo pauta recorrente em encontros mundiais, atendendo à lógica proposta pela ONU quanto ao futuro do planeta, visando garantir seu usufruto para as atuais e futuras gerações.

**Palavras-Chave:** Eletromotores; energia sustentável; meio ambiente; tecnologia.

***ABSTRACT***

*Throughout the human society history, the continuous effort for the pursuit of well-being is identified. The development of technologies in the means of transport is part of this context, aiming to provide more safety, agility, and comfort. However, some trends may prove to be wrong and need to be rethought and corrected, especially when it comes to impact environment and, consequently, the human existence. This research is carried out in this context of needing to preserve the environment as it is dedicated to the analysis of climatic conditions identified in various global entities’ studies and of aviation contribution to the current degraded scenario and its possible solutions. Regarding scientific classification, this article is a basic nature one, with exploratory objective and qualitative and quantitative approaches, as, in addition to presenting the fundamentals related to the theme, it sought environmental data under discussion in numbers and graphs today, by consulting books, theses, articles and scientific projects adopting, therefore, bibliographic research procedures. Considering the search for solutions in order to reduce the environmental degradation process in aviation field, the research shows how electromotors in the aeronautical environment can mitigate toxic gas emissions that increases the greenhouse effect. The benefits of using these electric engines, their functioning and their applications are mentioned, and comparisons with conventional engines used in aviation are made. The interest of large manufacturers and future and ongoing projects are also evidenced in the research. It should be noted that the study of electromotors is an object of physics and chemistry areas, making a basic understanding of these concepts necessary in order to understand the whole. The electric motors' use in aviation is still incipient, however, there are numerous projects for the development of 100% electric or hybrid aircraft that need to overcome some obstacles that are also addressed in this study. Important institutions related to the theme have joined together to offer cooperation in the development processes of electric thrusters, which have been a recurrent agenda at world meetings, in response to the UN proposal regarding the future of the planet, in order to ensure its use for current and future generations.*

***Keywords:*** *Electromotors; sustainable energy; environment; technology.*

**INTRODUÇÃO**

Devido a diversos problemas climáticos e ambientais enfrentados pela população mundial, vários órgãos públicos e privados de diversas localidades do planeta se manifestaram à procura de uma solução eficaz para combater e diminuir o problema que vem, cada vez mais, se agravando. Modais de transportes podem ser considerados um complicador nesse contexto de degradação ambiental, uma vez que, em sua maior parte, necessitam utilizar meios de propulsão movidos a combustíveis fosseis, que, quando queimados para produzir energia, liberam gases tóxicos e geram calor, impactando diretamente a camada de proteção ambiental do planeta e, de efeito, contribuindo para o aquecimento global.

Uma das formas para solucionar tal problema seria a adoção de meios de propulsão que utilizem e armazenem energia proveniente de fontes limpas. Os motores elétricos estão entre aqueles que atendem a esta proposta, uma vez que são alimentados por baterias capazes de armazenar energia de diversas fontes sustentáveis e gerar força motriz necessária. Tal feito obteve a atenção de várias montadoras e fabricantes de veículos, pois estaria dentro das normas sugeridas pelos órgãos de controle ambientais.

O modal aéreo se encaixa nesse contexto como um dos contribuintes para degradação do meio ambiente. Desse modo, tem-se como necessária a melhoria de seus meios propulsores, que, assim como em outros veículos, também são movidos a combustíveis fósseis. Órgãos que regulam e estudam a aviação, como ICAO, FAA, ANAC e NASA, vêm desenvolvendo e apoiando novos métodos e tecnologias para mitigar tal feito e, para tanto, os motores elétricos são vistos por eles como uma solução viável. As declarações e documentos emanados desses órgãos são fontes de consulta desta pesquisa.

À vista disso, o objetivo do estudo concentra-se em apontar os benefícios que os motores elétricos podem trazer para a aviação, expondo seu funcionamento, como são alimentados, o potencial dos projetos aeronáuticos existentes, as adaptações necessárias em aeronaves para seu uso, bem como o interesse e o desenvolvimento por parte de grandes fabricantes, como Airbus e Embraer.

Além disso, discorre sobre o esforço conjunto de órgãos ambientais, agências reguladoras, organismos privados da aviação mundial e empresas e indústrias aeronáuticas na busca por soluções relacionadas aos motores elétricos para a aviação mediante o desenvolvimento de projetos que visam reduzir as emissões e atendam os regulamentos e protocolos definidos nos encontros internacionais.

**1 RELAÇÃO ENTRE O EFEITO ESTUFA E AVIAÇÃO**

A aviação utiliza em seus projetos aeronáuticos motores do tipo térmico, que são conhecidos por transformar energia térmica em energia mecânica. Neles ocorre a combustão da mistura ar combustível e, logo após, são emitidos os gases provenientes da queima deste combustível para a atmosfera, conforme Homa (2015a). A Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), órgão público que regula a aviação no Brasil, realizou pesquisas para obter informações sobre as emissões de gases dos motores das aeronaves comerciais brasileiras e confirmou a emissão de dióxido de carbono (CO2), metano (CH4) e óxido nitroso (N2O) (ANAC, 2019).

Quanto ao dióxido de carbono (CO2), em específico, trata-se de um gás encontrado na atmosfera terrestre na proporção de 0,038% do total de gases e é o responsável pela absorção de 15% de toda a radiação infravermelha emitida pelo Sol, antes que ela seja devolvida ao espaço. Possui assim papel fundamental para o equilíbrio térmico do planeta, nos dizeres de Oliveira (2009). O autor descreve, contudo, que o excesso de CO2 traz um efeito contrário: ao invés da eliminação do calor, acaba por armazená-lo na atmosfera e não retorna a radiação para o espaço, resultando no aumento da temperatura na superfície terrestre.

Antes do ano 1760, com a Revolução Industrial, o dióxido de carbono na atmosfera tinha a proporção 280 partes por milhão de volume (ppmv), que se resume em 0,028% do ar em estado seco. Na atualidade, os valores giram em torno de 380 ppmv (0,038%) e, em algumas localidades onde a concentração de pessoas e veículos é maior, os valores podem passar dos 400 ppmv (0,040%), resultado diretamente relacionado à queima de combustíveis fósseis, de acordo com Oliveira (2009).

Ainda em relação ao carbono, em 2018, a Organização de Aviação Civil Internacional (OAIC ou ICAO, sigla em inglês) realizou uma análise a partir de 38 milhões de voos em todo o planeta, incluindo o transporte de passageiros e de cargas. A análise envolvia cálculos realizados por um *software* que apurou como resultado a quantidade de 918 milhões de toneladas métricas (MMT) de CO2 emitidos na atmosfera, o que corresponde a 2,4% do total das emissões no globo (ICAO, 2019).

A ICAO fornece *software* para cálculos de emissão de carbono, em que pode ser observada a quantidade de gases emitidos por passageiros transportados, quantidade de combustível gasto e a distância entre os aeroportos. Como exemplo, realizou-se uma simulação de um voo entre o aeroporto de Brasília (BSB) e o de Guarulhos (GRU) – distância de 851 Km –, em uma aeronave de modelo A-320 (Airbus), na qual o consumo total seria em média de 4.738,7 Kg de combustível tipo querosene de aviação, também conhecido pela sigla QAV-1, transportando, em média, 120 passageiros. Com esses dados, o *software* calcula que será emitido 87.4 Kg de dióxido de carbono por passageiro. Somados todos os passageiros, a bagagem embarcada e a tripulação, o total será de 10487.2 Kg de CO2 liberados para atmosfera, conforme demonstração de tela do *software* mencionado, exposta na Figura 1 a seguir (ICAO, 2019).

**Figura 1** – Simulação com software ICAO – Brasília/Guarulhos



Fonte: ICAO (2021).

Os cálculos fornecidos pela ICAO são formulados por meio de combinações de vários dados coletados em diferentes companhias e empresas de táxi-aéreos e, para isso, são utilizados dados genéricos. O tempo de táxi será de 25 minutos, devido às inúmeras variações climáticas em diferentes partes do mundo. Assim, foi utilizada a referência geográfica padrão de 50 km a 125 km da linha do equador. A carga útil será de 100 Kg por passageiro (ICAO, 2019).

Tomando como base o cálculo de emissão realizado pelo *software*, a ICAO (2019) diz que é necessário desenvolver novas estratégias para a redução de emissões de carbono na aviação comercial, sem afetar o fornecimento de aeronaves para as empresas e companhias, pois a demanda do mercado tende a aumentar com o passar dos anos. Oliveira (2009), em complemento, diz que se o aumento da produção de CO2 nos meios de transportes não for interrompido, haverá grande concentração de gases, e consequentemente, o aumento do efeito estufa, o que acarretará acréscimo ainda maior da temperatura atmosférica e, de efeito, maior desequilíbrio ambiental.

A *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) realizou pesquisas entre os anos de 1880 até 2015 e traduziu seus resultados em gráficos para a exposição de dados relacionados ao aumento da temperatura. Evidencia-se na Figura 2 que a Terra sofreu um aumento de 1º C ao longo de 135 anos (NASA, 2020).

**Figura 2** – Gráfico de temperatura



Fonte: NASA (2020).

Para a Nasa, essa variação é considerada uma anomalia, pois em um meio ambiente equilibrado ela pode ser prejudicial, causando danos e desequilíbrio. Oliveira (2009) traz um exemplo desse desequilíbrio: o aumento do nível médio do mar proveniente do derretimento das geleiras polares. Essa variação é entre 18 cm e 59 cm e afetará parte das atividades humanas em localidade ao nível do mar (NASA, 2020)

Não se pode negar que, de acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU, 2019), o meio de transporte faz parte do desenvolvimento mundial: corresponde a cerca de 12% do produto interno bruto (PIB), e outros ativos, como aeroportos, rodovias, aeronaves e veículos, podem equivaler, somados, até 50% do PIB. Desse modo, é relevante que o crescimento econômico seja compatibilizado com a preservação ambiental e, para tanto, é necessário que haja uma evolução na concepção dos meios de transporte no sentido de mitigar a emissão de dióxido de carbono. Sem essa transformação, a ONU acredita que em 2050 o meio ambiente e os seres humanos estarão ameaçados, pois haverá grande contaminação do ar, da terra, da água e uma significativa transformação do clima, uma vez que a degradação está aumentando à medida que aumenta a população e não se mitigam os efeitos ambientais desse crescimento (ONU, 2019)

Assim, o transporte aéreo é considerado pela ONU uma área de grandes desafios, pois é complexa e de difícil mudança, uma vez que para que haja a reformulação de projetos nos modais é necessário muito investimento financeiro e estudos pelas fabricantes. De acordo com a Organização (2019), 93% dos meios de transportes ainda são movidos a combustível fóssil, sendo este um enorme desafio para as instituições que prezam pela integridade do meio ambiente. Há de se ponderar que alguns projetos de descarbonização já foram criados para restaurar a integridade ambiental, porém, se houver a continuidade de demanda de veículos movidos a motores convencionais, 10 bilhões de toneladas de CO2 serão liberadas até o ano de 2050.

A ICAO (2019), na mesma linha, informa que as emissões dos gases causadores do efeito estufa estão aumentado exponencialmente e isso traz para a indústria aeronáutica uma necessidade de criação de novos modelos e projetos de aviões para diminuir os impactos ambientais, uma vez que os meios de transportes já estão evoluindo para a tecnologia elétrica, como já vem ocorrendo com os automóveis. Na aviação, presume-se que se nada for feito seus níveis de poluição continuarão a subir, pois ainda não há soluções 100% eficazes para a redução. Estima-se que as emissões tripliquem até o ano 2050, o que significa que a aviação contribuirá com 25% do total de gases emitidos no mundo, caso não haja a evolução dos motores para energias limpas, como, por exemplo, os motores elétricos.

A Federal Aviation Administration (FAA, 2015), por sua vez, relata que a combustão incompleta dos motores aeronáuticos pode liberar compostos químicos que geram riscos à saúde humana, tais como os hidrocarbonetos (HC), metano (CH4) e o carbono negro. Sabe-se, por outro lado, que os motores atuais estão cada vez mais eficientes e tecnológicos visando evitar, entre outras coisas, esse tipo de problema. Porém foram registradas nos últimos anos pela FAA modernas aeronaves ainda liberando esses tipos de compostos químicos (FAA, 2015).

Vale mencionar que para que haja uma combustão incompleta, é necessário que o combustível fóssil, como o próprio termo indica, não seja queimado de forma completa. Na combustão, o motor mistura o oxigênio proveniente da atmosfera ao combustível, conforme descreve Homa (2015a). Em elevadas altitudes, como as voadas pelas aeronaves, o oxigênio é escasso e possui pequenas proporções, de acordo com Sonnemaker (2017), ocorrendo a mistura rica nos motores, que é o aumento do combustível e a diminuição do oxigênio. Portanto, a queima completa do combustível é ideal, mas nem sempre é possível devido à falta de oxigênio, gerando o carbono negro.

Viana (2014) explica os efeitos do carbono nos seres humanos de forma minuciosa. O autor lembra que corpo humano é formado por várias células e cada uma delas possui um diferente tipo de atuação, como as células ósseas, que são responsáveis pela formação do esqueleto humano; as células epiteliais, que formam a pele; as células sanguíneas, que formam o sistema circulatório. A respiração é uma função básica do corpo humano e tem a missão principal de oxigenar e extrair todo gás carbônico das células presentes no corpo, garantindo que elas se renovem e realizem suas tarefas. Juntamente com os alimentos, a respiração gera energia para as pessoas, ou seja, é algo essencial para a vida. Desse modo, na falta de boa qualidade de ar no planeta, os seres vivos estão destinados a doenças e deficiências em toda a sua estrutura corporal.

Nessa mesma esteira, complementa a Organização Mundial da Saúde – *World Health Organization* (WHO, 2012), ao dizer que o carbono negro é altamente tóxico para os seres vivos e que o contato prolongado com esse tipo de composto químico ataca diretamente os pulmões e pode gerar doenças respiratórias. Algumas pessoas sujeitas à exposição prolongada ao composto possuem potencial para desenvolver doenças cardiorrespiratórias, uma vez que ele ataca diretamente os pulmões que são responsáveis pela oxigenação de todo o corpo humano.

A interação entre o carbono negro e alguns compostos químicos presentes no voo de cruzeiro podem potencializar esses prejuízos. Conforme a FAA (2015), compostos químicos, como ácido sulfúrico e ácido nítrico, estão presentes em grandes altitudes e, quando entram em contato com a carbono negro liberado pelas aeronaves, geram partículas e formam nucleação para a condensação do vapor de água, criando as famosas trilhas de vapor deixadas pelas aeronaves no céu. Com o passar do tempo, algumas delas podem virar nuvens do tipo *cirrus* que interagem diretamente com a troca de radiação do planeta com o espaço, atrapalhando na troca de calor e interferindo diretamente no clima.

 Kumar (2013) relata em seu livro de patologia que estudos comprovam que a poluição atmosférica gera ainda radicais livres que prejudicam o desenvolvimento das células que compõem o sistema respiratório. O ozônio, em específico, é um gás bastante liberado em meios de transportes. Em algumas regiões, onde possuem níveis baixos, não fazem efeito em algumas pessoas; porém, foram identificados riscos em indivíduos que possuem doenças relacionadas ao trato respiratório, como a asma e o enfisema, ou seja, pessoas que tenham predisposições para doenças respiratórias são afetadas mesmo com o ozônio em níveis baixos.

O autor também comenta os efeitos do dióxido de carbono (CO2), um gás que não possui cor, cheiro, cujo contato direto com as pessoas não produz irritação, ou seja, seria um gás aparentemente pacífico. Contudo, Kumar (2013) afirma que indivíduos que possuem níveis baixos de contato com esse gás não correria riscos, mas aqueles que possuem contato diário e recorrente podem apresentar com o tempo deficiência no sistema respiratório – uma intoxicação crônica –, afetando o revestimento do trato respiratório e dos alvéolos.

Ele ainda elucida que o monóxido de carbono é considerado um poluente atmosférico, mas também uma causa importante de mortes acidentais e suicídios. Em uma garagem pequena e fechada, o escape do motor de um carro de corrida pode induzir ao coma letal dentro de cinco minutos. O monóxido de carbono é, desse modo, um asfixiante sistêmico que mata por estar ligado à hemoglobina, impedindo o transporte de oxigênio (KUMAR, 2013).

A FAA (2015) também relata os efeitos na saúde de pessoas que são expostas a partículas de poluição, com impacto nas vias aéreas e nos sistemas cardiovascular e neurológico. Essas partículas possuem o tamanho de 2,5 micrômetros característicos das emissões liberadas pelas aeronaves. Essas partículas tendem a oferecer mais riscos para os pulmões e para a corrente sanguínea; consequentemente, gera um número maior de atendimentos, internações hospitalares, ausências no trabalho e na vida estudantil, propiciando, desse modo, impactos na área da saúde e na economia em todo o planeta.

Uma pesquisa feita pela FAA mostra que, de todas as mortes prematuras relacionadas à emissão de gases no mundo, cerca de 1% delas está associada a emissões de poluentes originadas da aviação. Com o passar do tempo, esse número será maior, pois o número populacional crescerá e a demanda de transporte aéreo consequentemente aumentará, contribuindo para novos casos de doenças e deficiências respiratórias ao decorrer do tempo (FAA, 2015).

Em vista de tudo isso, a ONU realizou um anuário global para discutir as ações climáticas do planeta, sabendo-se, repita-se, que os meios de transportes são responsáveis por grande parte da economia e 93% deles são movidos a petróleo, o que, consequentemente, gera problemas relacionados ao clima e à qualidade de ar, como já esmiuçado. Isso considerado, a ONU observou a necessidade de implantação de novas tecnologias para diminuir ou talvez mitigar esse tipo de poluição em favor de meios de transportes sustentáveis (ONU, 2019).

Devido às consequências indesejáveis ao meio ambiente, a Organização realiza todos os anos conferências para debater o aumento da temperatura mundial. A primeira foi realizada em 1992, no Rio de Janeiro (Rio 92) – Convenção Quadro da nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC) –, encontro do qual participaram 97 países na tentativa de criar uma agenda global ou um tratado visando estabilizar as concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera. A ideia pretendia diminuir os riscos de aumento da temperatura para evitar que esta gerasse situações limítrofes para a vida no planeta. Desde então todos os anos ocorrem convenções com todos os países signatários (ONU, 2021).

Em 31 de outubro de 2021, aconteceu a COP26, cujo nome se refere à vigésima sexta conferência, que, de acordo com a ONU (2021), foi considerada uma das últimas oportunidades de apresentação de planos para ajuste aos parâmetros de controle, antes que consequências prejudiquem todas as formas de vida, com menor ou maior intensidade. De acordo com as narrativas apresentadas no encontro, milhões de pessoas foram atingidas ou mortas por desastres decorrentes destas mudanças climáticas e milhares de animais ou vegetais acabaram mortos ou destruídos pelos mesmos motivos.

Cada dia que deixamos de agir é um dia em que nos aproximamos um pouco mais de um destino que nenhum de nós deseja, um destino que ecoará por gerações nos danos causados ​​à humanidade e à vida na Terra. Nosso destino está em nossas mãos (ONU, 2021, p. 1).

Entre as constatações validadas pela ciência, foi identificado pela Organização um aumento da temperatura de 1,5 graus Celsius em todo o mundo. Como resultado, já se demonstrou que esse “pequeno” aumento pode alterar o ciclo da vida e o meio ambiente em que vivemos, sendo necessária uma redução de 50% nos próximos oito anos. De acordo com o G1 (2021), não houve qualquer proposta concreta na conferência voltada para a diminuição dos gases e a mitigação do aumento da temperatura, diante da complexidade do tema, que abrange vários setores, e da falta de vontade política por parte de alguns países participantes, sendo necessária não somente uma solução única, mas soluções múltiplas que abranjam diferentes áreas.

Desse modo, novos métodos de concepção de transportes são vistos como uma necessidade pela ONU, entre eles os veículos elétricos ou os combustíveis alternativos, como o hidrogênio, sempre, frisa-se, na tentativa de reduzir os impactos ambientais e diminuir o excesso de dióxido de carbono no planeta, melhorando a qualidade de vida das pessoas. Para que essas ideias sejam concretizadas, é indispensável o envolvimento das autoridades, dos Ministérios do Transporte, Turismo e Meio Ambiente, além da colaboração do contexto social e uma tomada de posição de todos nós, para que deixemos melhores oportunidades e um mundo mais sustentável a nossos descendentes (ONU, 2019).

**2 BENEFÍCIOS DOS MOTORES ELÉTRICOS**

O primeiro veículo com propulsão elétrica foi criado em 1835 pelo professor e cientista irlandês Sibrandus Stratingh, da Universidade de Groningen, na Holanda. O cientista utilizava baterias eletroquímicas que alimentavam o motor e, desde então, os motores elétricos obtiveram a atenção das pessoas pelas suas características de simplicidade e confiabilidade, pois não necessitavam de combustível ou vapor para se transformar em energia cinética e se auto locomover, segundo Santos (2020).

Ainda de acordo com Santos (2020), a principal característica positiva do motor elétrico em relação ao meio ambiente reside em sua força motriz, que utiliza baterias recarregáveis e descarta a necessidade de uso de combustíveis fósseis nos veículos que utilizam os motores convencionais de combustão interna, que, segundo Oliveira (2009), liberam gases tóxicos no meio ambiente, causando diversos problemas relacionados à saúde.

Santos (2020) elucida que o motor elétrico funciona por meio da indução magnética. Segundo o autor, esse fenômeno é capaz de transformar a capacidade energética das baterias em energia cinética. Existem dois tipos de motores elétricos: os estáticos (que não possuem movimento) e os rotativos, que possuem partes móveis. Nos aviões, carros, navios e meios de transportes em geral são usados os motores rotativos, pois são aptos a realizar energia cinética e movimentar os veículos. Já os motores estáticos são usados em transformadores, que são capazes de abaixar ou elevar a energia de determinada linha elétrica, bastante utilizados em companhias elétricas e industriais onde a energia elétrica não pode sofrer variações.

Os motores rotativos dividem-se em motor do tipo AC (corrente alternada) e DC ou CC (corrente contínua) e ambos são utilizados na aviação. De acordo com Santos (2020), os motores de corrente contínua possuem uma vantagem: eles aceitam variações em sua corrente, sendo, assim, benéficos à aviação, pois o motor aeronáutico sofre grandes variações de potência em um mesmo voo, as chamadas fases operacionais do motor, quais sejam: marcha lenta, táxi, decolagem, subida, cruzeiro, descida e parada (HOMA, 2015b).

Para alimentar os motores elétricos é necessário o uso de baterias do tipo secundárias que possuem a característica de ser recarregada e capacidade de armazenamento da energia em suas células eletroquímicas, responsáveis pelo processo químico de troca de elétrons ou oxirredução (SANTOS, 2020). As baterias podem ser compostas por uma ou mais células, cada uma delas responsável por armazenar uma específica quantidade de carga, e quando unidas, formam mais células, tendo, de efeito, suas cargas aumentadas. As baterias de aeronaves normalmente são formadas por várias células, uma vez que necessitam de boa capacidade para resistir aos voos, conforme atesta Michelini (2020).

Michelini (2020) atesta que as baterias mais utilizadas na aviação e outros meios de transportes são as de lítio; porém, ela possui algumas limitações prejudiciais à aviação: seu peso ainda é considerado alto para os padrões aeronáuticos e impactam o peso máximo de decolagem, que, segundo Saintive (2019), se ultrapassado causar diminuição da vida útil da aeronave e danos estruturais permanentes, acarretando prejuízos à indústria e às companhias aéreas.

O autor ainda relata que a bateria deve possuir uma boa capacidade de descarga de energia, pois isso ajuda nos momentos de decolagem, quando o motor precisa de uma boa margem de potência para alcançar o regime de cruzeiro. De acordo com Homa (2015b), em alguns regimes de decolagem é necessário o uso da potência nominal, - em que é extraído o máximo de potência do motor em um período de um minuto, que, se ultrapassado, pode causar danos estruturais no motor. Trata-se, portanto, de uma fase do voo em que as baterias devem ter capacidade de fornecer energia suficiente para o motor, sem variações, pois a decolagem é considerada um momento crítico de voo, e uma falha pode resultar em um grave acidente, de acordo com Costa Filho (2017).

Santos (2020) relata que a exploração de elementos químicos, como o lítio, nióbio, chumbo e grafeno, aumentará a demanda por fabricação de baterias. O lítio, em específico, pode ser encontrado em grande quantidade em algumas regiões, como a Bolívia, Chile, Argentina, e recentemente foi encontrado no Brasil, que acabou por se tornar um dos maiores fornecedores no mundo. O Serviço Geológico dos Estados Unidos relatou que existe mais de 14 milhões de toneladas de lítio em todo mundo, algo positivo para as fabricantes de veículos elétricos, pois assim os custos com combustíveis e emissões de gases poluentes iriam diminuir, de acordo com a ICAO (2019).

No Brasil, a extração de nióbio aumentou exponencialmente por conta da crescente demanda de montadoras, que procuram novos meios para o armazenamento de energia que viabiliza menor tempo de recarga, conforme relata Bruziquesi (2019). De acordo com Steffen e Hotchkiss (2012), essa nova tecnologia tornou-se viável para o mercado aeronáutico que carece de abastecimento rápido de energia, em geral entre as operações de embarque e desembarque de cargas e passageiros. Em uma grande companhia aérea que tenha 1.500 voos por dia, os custos de um minuto para uma aeronave parada no solo giram em torno de 30 dólares; em um ano, esse prejuízo será de mais de 16 milhões de dólares e, portanto, quanto mais rápido o abastecimento de combustível (ou energia) se der, mais consistentes serão os lucros e retornos, juntamente com a satisfação dos clientes.

Bruziquesi (2019) relata que na cidade de Araxá, localizada no estado de Minas Gerais, foram encontradas grandes jazidas do minério nióbio. A Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração (CBMM) é considerada a maior extratora e produtora do mundo, capaz de tornar o minério um elemento de alto valor agregado e procurado por grandes companhias e indústrias relacionados com a tecnologia elétrica.

Recentemente, a indústria de veículos Volkswagen investiu no nióbio para desenvolvimento de novas baterias, na expectativa de alimentar seus veículos de tecnologia híbrida, ou seja, com baterias elétricas. Isso permite tempo de recarga reduzido, menor tempo de espera entre os ciclos de recarga e maior capacidade de energia por volume, além de as células que compõem o conjunto apresentarem baixo peso, segundo Barros (2021). Reafirma-se aqui um ponto favorável para a indústria aeronáutica que necessita de um carregamento rápido e ágil entre as operações e diminuição da carga operacional que, de acordo com Saintive (2018), é a soma do peso básico com o combustível (bateria) contida na aeronave, pois o peso das baterias de nióbio é menor.

A fabricante de motores elétricos aeronáuticos Magnix, criada em 2005 com a intenção de reduzir os custos operacionais e emissões de poluentes, afirma que os motores elétricos podem reduzir até 80% dos custos operacionais e anular as emissões de gases poluentes, abrandando, ainda, os gastos com impostos relacionados à preservação do meio ambiente e melhorando as oportunidades de investimento em outras áreas das companhias e empresas aéreas, uma vez que novas tecnologias desta bateria estão sendo desenvolvidas, na tentativa de expandir e atrair novos mercados do setor aeronáutico (MAGNIX, 2019).

Resultado de grandes pesquisas e desenvolvimento, a Magnix e a *Harbour Air Seaplanes* criaram a primeira aeronave comercial 100% elétrica, capaz de realizar o transporte de carga e passageiros em um voo sem emissão de poluentes e com baixo ruído. O feito ocorreu em 2019, com uma aeronave do modelo Cessna-207 “Caravan”, que, por se tratar de um modelo elétrico, possui capacidade reduzida para transportar até 5 pessoas. O voo obteve sucesso e tornou-se uma vitrine mundial, com olhares especiais de grandes indústrias aeroespaciais e aeronáuticas, como a Nasa e Embraer, que também estão ligadas a programas e projetos na busca de resultados semelhantes (MAGNIX, 2019).

O voo do Cessna “Caravan”, da Magnix, foi um exemplo da economia que os motores elétricos trarão para a indústria de serviços do transporte aéreo, pois em voos de teste o valor da hora voada custou em média 16 dólares. No entanto, pesquisas e simulações que conduziam à ideia de mitigação dos poluentes também estabeleceram que uma aeronave igual, equipada com os atuais motores convencionais, com o mesmo tempo de voo, custaria aproximadamente 270 dólares (valor cotado a partir do querosene aeronáutico) (MAGNIX, 2019).

Pouco tempo depois, em 2020, a Magnix realizou testes em outra aeronave a fim de avançar seus dados na pesquisa sobre a tecnologia elétrica. Na ocasião, foi utilizada uma aeronave anfíbia, monomotora, de asa alta modelo HC-2 “Beaver”, muito usada pelas forças armadas dos Estados Unidos para atividades de busca, salvamento e patrulha, com a capacidade de transporte de cinco pessoas e uma carga útil de 953kg. O Beaver recebeu um motor elétrico Magni-500 de 700HP que, além da alta eficiência energética, teve sua velocidade final aumentada em 20%. O motivo desse ganho relaciona-se com o menor arrasto produzido, por conta do formato e tamanho do motor (MAGNIX, 2020).

Além do fator economia e emissão de gases, a Magnix (2020) descreve que o ruído reduziu, pois o motor não apresenta combustão (explosão) interna. Portanto, os únicos ruídos presentes são aqueles gerados pela hélice, pois, de acordo com Homa (2015b), o deslocamento das pás cria um vento relativo contrário, empurrando o ar que gera o ruído. A ANAC (2021) informa uma diminuição de 20dBA em relação aos motores convencionais equipados no mesmo modelo, redução essa benéfica para a saúde do ser humano.

A fim de se traçarem comparações de eficiência, foram escolhidos por este autor dois motores: o primeiro de categoria convencional à combustão interna, modelo Continental Série 500 (300hp), e o segundo um motor elétrico Magnix Magni Série 250 (375hp). A eficiência energética do motor Continental gira em torno de 30% a 45% declarados pela indústria Continental; já o Magnix declara a eficiência próxima de 95%, ou seja, a relação de custo e retorno dos motores elétricos demonstra o dobro da eficiência em comparação aos motores Continental para a aviação. Isso reflete em uma economia para as empresas e uma melhora no ciclo ambiental, que não terá impactos relacionados a emissão de gases (CONTINENTAL, 2021; MAGNIX, 2021).

Após o grande sucesso com a tecnologia de motores elétricos, a Magnix obteve atenção da NASA por meio de seu setor aeronáutico, que demonstrou interesse nos motores elétricos e fechou contrato com a empresa para desenvolver novos projetos na expectativa de acelerar o processo de transição da nova tecnologia, afirmando que até 2060 quase 100% da frota aeronáutica da Nasa será movida a propulsão elétrica e consideradas de ultra alta eficiência, alimentada com energia sustentável baseada em tecnologia e inovação (MAGNIX, 2021; NASA, 2021).

Por sua vez, a fabricante de motores aeronáuticos General Electric Company (GE), considerada uma das mais importantes do mundo – produzindo motores para aviões militares e civis desde 1917 para suprir a demanda por novos motores aeronáuticos, ainda nos tempos da Primeira Guerra Mundial – vem demonstrando o seu potencial tecnológico e a eficiência de seus propulsores. Com o passar do tempo, a GE viu a necessidade de criação de novos métodos de motorização, uma vez que os órgãos relacionados ao meio ambiente estão procurando alternativas que diminuam as emissões de poluentes (GE, 2020).

Com a intenção de se adaptar às necessidades do mercado, a GE, a Magnix e a NASA se uniram. O grupo tem a intenção de criar tecnologias sustentáveis para a mobilidade aérea, como o complexo programa EPFD – *Eletric Power Flight Demonstration –*, que visa melhorias ambientais e econômicas no âmbito mundial, pois a ICAO, principal responsável pela normatização da aviação no mundo, estabeleceu mecanismos de proteção ambiental como orientação aos fabricantes de motores aeronáuticos, forçando novas mudanças para estabilizar as emissões. Esse projeto tem o objetivo de reduzir em até 50% das emissões até 2050 (GE, 2021; ICAO, 2019; NASA 2021).

A brasileira Embraer estabeleceu que o estudo e testes com aeronaves elétricas são parte de suas prioridades. Agosto de 2021 é considerada uma data histórica que trouxe mudanças significativas para um futuro sem emissões de poluentes, quando a empresa apresentou um avião 100% elétrico que não impacta o meio ambiente, nomeado de “Demonstrador”. O nome faz alusão ao fato de ele ter “demonstrado”, na prática, o funcionamento de uma aeronave movida a energia elétrica. O teste realizado em Gavião Peixoto, uma cidade do interior de São Paulo, foi um sucesso, beneficiando áreas da tecnologia e desenvolvimento, uma vez que confirma um avanço nos estudos que vem sendo empreendidos (EMBRAER, 2021).

A empresa afirma que a segurança, o desempenho, a força, a confiabilidade e o gerenciamento não foram afetados pelo fato de a aeronave ser elétrica, e que vários testes foram realizados por simuladores para que nada de inesperado ocorresse durante o teste. As simulações em laboratório vinham acontecendo desde 2019, em virtude da grande complexidade de introduzir novas tecnologias em uma área tão delicada (EMBRAER, 2021).

O vice-presidente de engenharia da Embraer, Luís Carlos Affonso (2021), declara que é compromisso da Embraer realizar novas pesquisas em busca de sustentabilidade e do correto direcionamento do futuro da aviação. Tudo começou pela substituição dos propulsores e, para tanto, foi necessária a cooperação com outras empresas, como a WEG – especializada em soluções e inovações elétricas, uma parceira importante para o desenvolvimento de um motor aeronáutico elétrico – e a EDP, especializada em armazenagem de energia que em muito contribuiu para as baterias embarcadas na aeronave modelo EMB-203 Ipanema, modelo fabricado pelo grupo Embraer desde 1970. Em 2004, este modelo voou utilizando etanol e agora, em 2021, ele voou como uma nave de propulsão elétrica.

Outras grandes empresas aeronáuticas estão desenvolvendo novas tecnologias para a diminuição da poluição, como a Airbus, que vê a necessidade reduzir as emissões e os ruídos liberados pelas aeronaves. Com vistas a atingir seu objetivo, a empresa criou um projeto chamado “*On the path to zero-emission flight*”, que visa projetos de tecnologia elétrica ou híbridos. Em conjunto com uma parceira de outra área, confirmou a necessidade de parcerias amplas, para que novos conhecimentos entrem no vocabulário da aviação. Regulamentos, segurança e confiabilidade devem estar presentes nos caminhos a ser percorridos (AIRBUS, 2021).

A indústria francesa relata que novos meios de mobilidade aérea já são realidade. O projeto Vahana, criado pela Airbus, trata-se de um veículo 100% elétrico com um moderno e avançado sistema de controle de voo, que permite viagens aéreas sem a necessidade de piloto a bordo, além de decolar e pousar verticalmente, beneficiando o transporte em áreas restritas e pequenas. O projeto foi um avanço para a indústria, que visa praticidade e sustentabilidade em um único meio (AIRBUS, 2021), uma vez que todos os meios de transportes estão em transição pelas razões já exaustivamente expostas.

A Airbus afirma que o veículo aéreo possui algumas vantagens em relação a outros meios de transporte, quais sejam: quatro vezes mais rápido que os carros convencionais; não emite ruídos; não libera poluentes na atmosfera. apresenta um voo autônomo, além de possuir autonomia de 50 km, pois se trata de um veículo de mobilidade urbana de pequenas distâncias. Alguns testes foram realizados pela equipe da indústria nas seguintes frentes: autonomia, voo vertical e custos. Os resultados são importantes para a evolução e introdução do equipamento no mundo dos negócios: cerca de 138 voos foram realizados e 500 milhas náuticas percorridas, apenas utilizando energias provenientes de baterias (AIRBUS, 2021).

A FAA igualmente está trabalhando em parceria com outros setores com o objetivo de reduzir a emissão de poluentes, traçando novos métodos e estratégias. Alguns projetos por ela realizados estão em processo de implementação, como o Nextgen, um programa capaz de rastrear aeronaves e, de forma inteligente, diminuir as emissões por meio de economia de combustível e os ruídos em algumas áreas. Porém, ela vê a necessidade de outras criações e novos meios de propulsão. Na qualidade de órgão regulatório, a FAA facilitará e incentivará a criação de novos meios de propulsão por parte das fabricantes de aeronaves, de modo a contribuir no que for possível para que esses novos projetos sejam realidade (FAA, 2015). A FAA ainda acrescenta:

Estratégia tecnológica prevê uma frota de aeronaves mais silenciosas e limpas que operam com mais eficiência e menos energia. A FAA e a NASA, junto com o Departamento de Defesa, coordenam de perto os esforços em tecnologia aeronáutica pesquisa por meio do Plano Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento Aeronáutico (FAA, 2015, p. 24).

De acordo com a ICAO (2018), os novos projetos criados pelas indústrias aeronáuticas são mais que necessários para a diminuição de emissões de carbono em âmbito mundial, motivo este de discussão internacional, a teor do que se viu na COP26 (2021), que reuniu quase todos os países para debater assuntos relacionados ao aumento da temperatura no planeta causado pelas emissões de gases, pleiteando que até 2030 50% dos gases poluentes emitidos sejam mitigados de forma que não afetem economicamente nenhum setor dos países signatários.

**CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Esta pesquisa apresentou algumas soluções para os problemas relacionados ao meio ambiente no que diz respeito às emissões de carbono, consolidando fundamentos de órgãos ambientais e organismos responsáveis pela aviação em todo o mundo. Historicamente, as novas tecnologias no setor aéreo sempre são criadas com vistas a diminuir as emissões de gases prejudiciais e aumentar a eficiência das aeronaves, assim como ocorreu com os motores a turbojato que possuíam alto consumo de combustível e altos níveis de ruído e foi substituído pelos motores turbofan, considerados altamente eficientes e silenciosos. Considerando a evolução tecnológica, é de se prever que os próximos motores possuirão vantagens em relação aos atuais, resultando em aeronaves ainda mais silenciosas e com emissões limpas.

Algumas pesquisas relacionadas ao clima e meio ambiente, realizadas com base em diretrizes constantes de documentos oficiais, foram apresentadas no intuito de demonstrar a importância da redução da emissão do carbono, em especial. Apontou-se que problemas climáticos são resultado das emissões de CO2 liberadas em virtude do uso de combustíveis fósseis por diversos modais de transporte, entre eles o aéreo. Nesse sentido, os meios de transportes são uma área em pleno desenvolvimento e para que as emissões não aumentem proporcionalmente é indispensável traçar novos caminhos tecnológicos, político-sociais e comportamentais.

Há, contudo, perspectivas para que a aviação seja vista com outros olhos e otimismo, esperando-se que em um futuro não tão distante possa ser considerada limpa e sustentável. Os motores elétricos, de acordo com grandes indústrias aeronáuticas, são o caminho mais rápido e eficaz para se obter sucesso no que se tange à sustentabilidade socioeconômica-ambiental. Diversos projetos e protótipos de fabricantes com a nova motorização elétrica foram apresentados neste estudo, com o objetivo de demonstrar as soluções e caminhos que estão sendo utilizados para atingir a descarbonização mundial.

É possível inferir que os motores elétricos na aviação são uma solução sustentável com zero emissão de carbono, além de outros benefícios, trazendo como resultado uma melhor qualidade de vida a partir da produção de um ar mais limpo, livre de contaminações, sem comprometer a segurança nas operações aéreas, consequência da simplicidade e confiabilidade dos novos motores e do aumento ao acesso dos transportes aéreos decorrente dos baixos custos de operações com a nova tecnologia.

Espera-se com este breve estudo demonstrara importância do compromisso com o meio ambiente, sem deixar de considerar a viabilidade econômica do setor aéreo, com vistas a garantir um futuro melhor para as presentes e futuras gerações.

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO**

Av. Universitária, 1069 ● Setor Universitário Caixa Postal 86 ● CEP 74605-010

Goiânia ● Goiás ● Brasil

Fone: (62) 3946.1021 l Fax: (62) 3946.1397

[www.pucgoias.edu.br](http://www.pucgoias.edu.br/) l prograd@pucgoias.edu.br

**RESOLUÇÃO nº 038/2020 - CEPE**

**ANEXO I**

APÊNDICE ao TCC

**O estudante Rogério Pires Alves Pereira**

do Curso de Ciências Aeronáuticas, matrícula 2018.1.0047.0032-7, telefone: (62)99484-2467, email rogerioblocd@gmail.com , na qualidade de titular dos direitos autorais, em consonância com a Lei nº 9.610/98 (Lei dos Direitos do autor), autoriza a Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC Goiás) a disponibilizar o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado “Benefícios dos eletromotores na aviação”, gratuitamente, sem ressarcimento dos direitos autorais, por 5 (cinco) anos, conforme permissões do documento, em meio eletrônico, na rede mundial de computadores, no formato especificado (Texto (PDF); Imagem (GIF ou JPEG); Som (WAVE, MPEG, AIFF, SND); Vídeo (MPEG, MWV, AVI, QT); outros

específicos da área; para fins de leitura e/ou impressão pela internet, a título de divulgação da produção científica gerada nos cursos de graduação da PUC Goiás.

Goiânia, 07 de dezembro de 2021 Assinatura do autor: 

Nome completo do autor: Rogério Pires Alves Pereira

Assinatura do professor-orientador:

Nome completo do professor-orientador: Raul Francé Monteiro

**REFERÊNCIAS**

AFFONSO, L. C. **Avião demonstrador elétrico da Embraer inicia campanha de ensaios em voo**. 2021. Disponível em: https://embraer.com/br/pt/noticias?slug=1206909-aviao-demonstrador-eletrico-da-embraer-inicia-campanha-de-ensaios-em-voo. Acesso em: 26 out. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DA AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). **Metodologia de cálculo inventário de admissões atmosféricas**. 2019. Disponível em: https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/meio-ambiente/arquivos/metodologia-de-calculo\_v8.pdf. Acesso em: 10 set. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DA AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). **Plano de zoneamento de ruido de aeródromos**. 2021. Disponível em: https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-161/@@display-file/arquivo\_norma/RBAC161EMD01.pdf. Acesso em: 13 set. 2021.

AIRBUS. **Zero emission**. 2021. Disponível em: https://www.airbus.com/en/innovation/zero-emission. Acesso em: 22 out. 2021.

BARROS, Silvio. **Volkswagen caminhões utilizarão bateria à base de nióbio**. 2021. Disponível em: https://www.cbnmaringa.com.br/noticia/volkswagen-caminhoes-utilizara-bateria-a-base-de-niobio. Acesso em 26 out. 2021.

BRUZIQUESI, C. **Nióbio**: um elemento químico estratégico para o Brasil. 2019 Disponível em: https://www.scielo.br/j/qn/a/GqJxYfqWsqktQHbVYgTvpnS/?lang=pt. Acesso em: 24 out. 2021.

COSTA FILHO, A. S. **Regulamento de tráfego Aéreo**. 3. Ed. São Paulo: Espaço Aéreo, 2017.

EMBRAER. **Avião demonstrador elétrico da Embraer inicia campanha de ensaios em voo**. 2021. Disponível em: https://embraer.com/br/pt/noticias?slug=1206909-aviao-demonstrador-eletrico-da-embraer-inicia-campanha-de-ensaios-em-voo. Acesso em: 26 out. 2021

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA). **Aviation emissions, impacts e mitigation**. 2015. Disponível em: https://www.faa.gov/regulations\_policies/policy\_guidance/envir\_policy/media/primer\_jan2015.pdf. Acesso em 15 set. 2021.

G1. **Meta de redução de carbono do Brasil na COP26 empata com meta de 2015 e reforça pedalada climática, apontam especialistas**. 2021. Disponível em: https://g1.globo.com/natureza/cop-26/2021/noticia/2021/11/01/meta-de-reducao-de-carbono-apresentada-pelo-brasil-na-cop26-empata-com-meta-ja-proposta-em-2015-alertam-especialistas.ghtml. Acesso em 01 nov. 2021.

GENERAL ELETRIC COMPANY (GE). **Energy transition & descarbonization**. 2021. Disponível em: https://www.ge.com/about-us/energy-transition v. Acesso em 27 out. 2021.

HOMA, J. M. **Aeronaves e motores**. Ed. São Paulo: Asa, 2015(a).

HOMA, J. M. **Aerodinâmica e teoria de voo**.Ed. São Paulo: Asa, 2015(b).

INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION (ICAO). **CO2 emissions from commercial aviation**. 2019. Disponível em: https://www.icao.int/Meetings/a40/Documents/WP/wp\_560\_rev1\_en.pdf. Acesso em 10 set. 2021.

KUMAR, V. et all. **Patologia Básica**. 9. Ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **Why So Many Global Temperature Records**. 2015. Disponível em: https://www.giss.nasa.gov/research/features/201501\_gistemp/. Acesso em 11 set. 2021.

MAGNIX. **Magnix claims first for electric aircraft**. 2019. Disponível em: https://www.magnix.aero. Acesso em: 10 out. 2021.

MAGNIX. **Products e services**. 2020. Disponível em: https://www.magnix.aero/services#motorTab. Acesso em 12 out. 2021.

MAGNIX. **Magni350 EPU**. 2021. Disponível em: https://www.magnix.aero/services#motorTab. Acesso em: 28 out. 2021.

MICHELINI, A. **Baterias de lítio**. 1. Ed. São Paulo: STA, 2020.

OLIVEIRA, G. S. **Mudanças climáticas**.12ª edição. Ed. Brasília: MEC, SEB ; MCT ; AEB, 2009.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Yearbook of global climate action**. **2019.** Disponível em: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/GCA\_Yearbook2019.pdf. Acesso em: 11 set. 2021.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **COP26:** O que se sabe e por que realmente importa? 2021. Disponível em: https://news.un.org/pt/story/2021/10/1768682. Acesso em: 01 nov. 2021.

SAINTIVE, N. S. **Performance de aviões a jato**. 15. Ed. São Paulo: Asa, 2018.

SANTOS, M. D. S. **Veículos elétricos e híbridos**. São Paulo: Érica, 2020.

SONNEMAKER, J. B. **Meteorologia**. 32. Ed. São Paulo: Asa, 2017.

STEFFEN et al. **Experimental test of airplane boarding methods**. 2012. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0969699711000986. Acesso em: 15 out. 2021.

VIANA, J. C. F. **Conhecendo o corpo humano**. 3. Ed. Sergipe: Funesa, 2014.

WORD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Health effects of black carbon**. 2012. Disponível em: https://www.euro.who.int/\_\_data/assets/pdf\_file/0004/162535/e96541.pdf. Acesso em: 25 set. 2021.

E-mail: rogerioblocd@gmail.com

Contato: (62) 99484.2467

1. Rogério Pires Alves Pereira, graduando do curso de Ciências Aeronáuticas pela Pontifícia Universidade Católica de Goiás. Piloto privado. Endereço eletrônico: rogerioblocd@gmail.com. [↑](#footnote-ref-1)
2. Raul Francé Monteiro, Mestre em Psicologia e Especialista em Docência Universitária pela Universidade Católica de Goiás. Professor da Escola de Ciências Exatas e da Computação da Pontifícia Universidade Católica de Goiás. Piloto de Linha Aérea – Avião, EC-PREV pelo CENIPA e credenciada SGSO pela ANAC. Endereço eletrônico: cmterfrance@hotmail.com. [↑](#footnote-ref-2)