

## **UMA ANÁLISE SOBRE A POSSIBILIDADE DE USO DOS MOTORES ELÉTRICOS EM AERONAVES COMERCIAIS**

**Rafael Schafhauser Oliveira<sup>1</sup>**  
**Jairo Afonso Henkes<sup>2</sup>**

### **RESUMO**

Devido a necessidade da humanidade de rever seus conceitos em relação a utilização de força motriz proveniente de combustíveis fósseis, os quais são limitados e poluentes, precisa para isso buscar fontes alternativas e mais eficientes como também sustentáveis para utilizar na propulsão, procurando diminuir de forma ainda mais expressiva o impacto já baixo da aviação quando comparado à outras formas de transporte em relação a poluição. Esta pesquisa teve como objetivo geral compreender e analisar todos os fatores que interferem na substituição de motores a combustão atualmente utilizados, por motores elétricos em aeronaves comerciais em ampla escala. Analisar e descrever os fatores necessários, demonstrar as atuais limitações para concretização dessa transição. Apresentar os impactos econômicos, ambiental e na saúde da população. Propor medidas operacionais alternativas utilizando energia força motriz elétrica nas operações. Procedimentos de obtenção de dados de forma bibliográfica e de característica exploratória com abordagem qualitativa. O resultado mostrou a complexidade na implementação em larga escala de motores elétricos nas aeronaves comerciais em função de limitações tecnológicas e de armazenamento, porém mostrou alternativas operacionais já em uso, como aplicações em desenvolvimento.

**Palavras-chave:** Aviação Comercial. Motores Elétricos. Sustentabilidade.

<sup>1</sup> Bacharel em Ciências Aeronáuticas. Unisul (2020). E-mail: [rafael.oliveira29@unisul.br](mailto:rafael.oliveira29@unisul.br)

<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)

# AN ANALYSIS ON THE POSSIBILITY OF USE OF ELECTRIC MOTORS IN COMMERCIAL AIRCRAFT

## ABSTRACT

Due to the need for humanity to review its concepts in relation to the use of driving force from fossil fuels, which are limited and polluting, it needs to look for alternative and more efficient as well as sustainable sources to use in propulsion, trying to decrease even more significant the already low impact of aviation when compared to other forms of transport in relation to pollution. This research had as general objective to understand and analyze all the factors that interfere in the substitution of combustion engines currently used, by electric motors in commercial aircraft in large scale. Analyze and describe the necessary factors, demonstrate the current limitations to achieve this transition. Present the economic, environmental and health impacts of the population. Propose alternative operational measures using electric driving force energy in operations. Procedures for obtaining data in a bibliographic form and with an exploratory characteristic with a qualitative approach. The result showed the complexity in the large-scale implementation of electric motors in commercial aircraft due to technological and storage limitations, but showed operational alternatives already in use, such as applications in development.

**Keywords:** Commercial Aviation. Electric motors. Sustainability.

## 1 INTRODUÇÃO

A matriz energética utilizada nos motores das aeronaves comerciais é o querosene, combustível mineral que se obtém através da destilação do petróleo. Entretanto, o petróleo é um recurso fóssil finito e a razão de consumo e da quantidade de suprimento disponível vem sendo motivo de preocupação há anos (MILLER, SORREL, 2014).

Além de fadada a extinção, a utilização dessa fonte de energia na combustão pelos reatores impacta na emissão de gases poluentes e agravantes

do aquecimento global e mudanças climáticas, resultando também no desenvolvimento de doenças na população, como é o caso do dióxido de carbono (Co<sub>2</sub>) e os óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>); a atmosfera terrestre em certas condições, como baixa temperatura e alta umidade em conjunto com o vapor de água liberado pelos motores à combustão, conseqüentemente favorece à formação e também aumento de nuvens do tipo Cirrus, que também é um fator contribuinte no aquecimento global (PARDEE, 2000).

Dito isso, torna-se imprescindível o empenho da comunidade aeronáutica em busca de uma resolução autossustentável para essa questão, garantindo assim a conservação plausível do meio-ambiente. A pergunta que se pretende responder trata do que é necessário para a implementação de motores elétricos em aeronaves de transporte comercial e o que ainda impede dessa transição acontecer em larga escala?

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

Compreender e analisar todos os fatores que interferem a substituição de motores a combustão por motores elétricos em aeronaves comerciais em ampla escala.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- a) Analisar e descrever os fatores necessários para a implementação de motores movidos a energia elétrica em aeronaves comerciais.
- b) Demonstrar as atuais limitações, como problemas de armazenamento de energia e o agravamento de maior peso ao voo.
- c) Apresentar o impacto econômico e ambiental que os motores elétricos proporcionariam às empresas aéreas e à sociedade.

- d) Propor medidas operacionais alternativas como utilização da propulsão elétrica nas operações;

## 1.2 JUSTIFICATIVA

É dever do ser humano buscar melhorias tecnológicas para o benefício da sociedade como um todo. Essas melhorias devem estar atentas para com os impactos ambientais resultantes de forma também prioritária e alinhadas com sua preservação.

Alguns problemas são encarados como quase impossíveis de serem resolvidos, porém, são esses os problemas importantes o suficiente e que valem à pena se pensar, pesquisar, produzir e de alguma forma contribuir para sua resolução. A resolução desses problemas modifica a sociedade como conhecemos e traz benefícios inenarráveis a todos. São essas questões que fazem a sociedade saltar para o futuro e conseqüentemente aprimorar sua eficiência.

Motores à reação são eficientes, mas além de produzirem ruídos em excesso, a matéria prima que origina seu combustível é limitada e não se tem a certeza de quando irá acabar. Por isso, para o progresso da aviação, um dos fatores necessários é o desenvolvimento de métodos alternativos de combustível, principalmente através de energia renovável amplamente acessível, motores providos por energia elétrica são fortes candidatos a essa missão (LUONGO et al. 2009).

## 1.3 METODOLOGIA

### **1.3.1 Natureza e tipo de pesquisa**

A presente pesquisa possui característica exploratória, o que contribui para a familiarização do pesquisador e explicativa, a fim de aprofundar o conhecimento (DUARTE, 2006).

### **1.3.2 Materiais e métodos**

Procedimentos de obtenção de dados de forma bibliográfica conforme Fonseca (2002, p.32 apud GERHARDT, Tatiana; SILVEIRA, Denise 2009 p. 37) com uma abordagem da pesquisa qualitativa. Os Material bibliográficos utilizados foram: Livros sobre motores à reação (empregados nos aviões comerciais) e administração aeroportuária, por tratar-se da infraestrutura aeronáutica, artigos científicos, relatórios técnicos, regulamentos, materiais promocionais e outros sobre temas referentes às questões como o petróleo, eletricidade e formas de armazenamento dessas energias.

## **2 COMBURENTE UTILIZADO NA AVIAÇÃO E SEUS IMPACTOS**

A força propulsiva das aeronaves comerciais de grande porte utilizadas em sua maioria na aviação comercial, como as de motores de jato puro, motores a turbina, turbo fan ou turbo hélice utilizam o querosene (QAV-1 /A-1) como comburente na obtenção de energia calorífica nesses motores a reação (PETROBRAS, 2014).

Sua composição química é deveras diversificada, sendo majoritariamente composto de parafinas e naftenos (uma classe de hidrocarboneto) e uma pequena porção de hidrocarbonetos aromáticos, incluindo hexano e benzeno (STENHOUSE et al. 2017).

O Quadro 1, a seguir, representa a exata composição da fórmula do querosene segundo a patente de propriedade intelectual da organização de propriedade intelectual mundial (2005):

Quadro 1 – Composição química do querosene

Chemical Name	Concentration Wt%	Chemical Name	Concentration wt%
n-Heptane	0.01	n-Dodecane	0.73
iso-Heptane	0.07	iso-Dodecane	0.73
n-Octane	0.50	n-Tridecane	0.05
iso-Octane	5.66	iso-Tridecane	0.05
n-Nonane	26.95	n-Tetradecane	0.04
iso-Nonane	16.13	iso-Tetradecane	0.01
n-Decane	20.96	n-Pentadecane	0.02
iso-Decane	15.48	iso-Pentadecane	0.01
n-Undecane	3.83	n-Hexadecane	0.02
iso-Undecane	8.74	n-Heptadecane	0.01

Fonte: World Intellectual Property Organization, (2005).

Em função das baixas temperaturas que encontram-se em níveis de cruzeiro, a gasolina da aviação, utilizada em aeronaves menores e de pequeno porte torna-se inviável, pois possuem ponto de congelamento de -30 graus Celsius, enquanto o querosene possui ponto de congelamento a -47 graus Celsius, temperatura essa compatível com os níveis de voo de uma aeronave comercial. Além disso, o querosene é menos volátil o que ajuda na combustão controlada da aeronave, evitando o fenômeno prejudicial da detonação, onde a combustão se dá muito antes do momento ideal e diminuindo o tempo entre manutenções não programadas requerido nos motores. Assim como tudo na aviação, o comburente utilizado não é exceção e precisa seguir padrões rigorosos de qualidade, precisão e atender requisitos de performance. O querosene torna-se a melhor opção e a mais viável no emprego de combustível para motores à reação em aviões de grande porte, devido sua massa específica; poder calorífico, teor aromático e ponto de fulgor, que evita os problemas supracitados. Requisitos esses são fundamentais, pois além de estarem ligados ao poder calorífico do combustível, preservam a câmara de combustão e o motor como um todo, contribuindo com uma maior vida útil do motor (PETROBRAS, 2014).

Contudo, conforme descreve Miller, Sorrel (2014), em seu estudo a respeito da quantidade de reservas do petróleo, o mundo utiliza 1/3 de sua matriz energética total proveniente deste recurso natural, esse número torna-se ainda maior quando trata-se de meios de transporte, pois cerca de 95% dos meios de transporte são impulsionados por derivados do petróleo no mundo inteiro. O processo para a formação deste recurso é deveras lento, pois o petróleo é

originado de material orgânico, principalmente marinho, que se sedimenta em rochas e ao longo de um vasto tempo torna-se então o tão famoso combustível fóssil. Logo necessita-se buscar e repensar a força motriz utilizada pelos motores a reação, pois a demanda por transporte aéreo não corresponde proporcionalmente como a capacidade natural de produção de petróleo, matéria prima do querosene.

Além da preocupação relacionada a escassez dessa matéria prima, a qual se vê como uma necessidade de resolução a longo prazo, uma questão de efeito imediato começa a ser discutida, pois o petróleo e seus derivados como o querosene e sua aplicação específica na aviação resulta em efeitos nocivos à saúde da população e impacta negativamente no meio-ambiente.

A emissão dos poluentes como Óxidos de Nitrogênio (NO<sub>x</sub>), Monóxido de Carbono (CO), Hidrocarbonetos resultantes da combustão e da composição do próprio combustível, assim como material particulado emitido pelo bocal de escapamento das aeronaves e outras formas de equipamentos nos aeroportos, como os tratores responsáveis pelo abastecimento de combustível, trânsito de malas e passageiros; determinados tipos de geradores de energia, muitas vezes antigos e o próprio tráfego existente para dar acesso à população de suas residências ao aeroporto, são grandes responsáveis pela diminuição da qualidade do ar de superfície, ocasionando impacto direto sobre a qualidade de vida e saúde humana que estão próximos a esse ambiente. Quando inalados, esses gases são altamente tóxicos e embora estejam dissolvidos com o oxigênio, ainda sim é fator contribuinte expressivo para o desenvolvimento de doenças crônicas como as doenças respiratórias (GARCIA, 2014).

Fica claro que além da emissão prejudicial que resulta no agravamento do aquecimento global, toda a zona circundada pelo aeródromo ou aeroporto fica comprometida, até porque, para os usuários do transporte chegarem ao aeroporto necessitam de meios de transporte terrestre.

É imprescindível enfatizar que não somente os gases emitidos pelas aeronaves e infraestrutura aeroportuária têm impacto abrupto na saúde humana, pode-se dizer que o maior e pior efeito adverso proporcionado pela aviação nas

peças cardiovasculares, aumento de pressão arterial; como também no desempenho acadêmico e cognitivo, já que a capacidade de concentração é negativamente afetada (BASNER et al. 2017)

Sem dúvidas esse problema é ainda maior em aeroportos internacionais que em sua maioria possuem vastas demandas de voos durante o período do dia e da noite, como é o caso do aeroporto internacional de Brasília, localizado bastante próximo da cidade, ao contrário do aeroporto de Confins (Belo Horizonte) que está afastado da metrópole.

A combustão proveniente dos motores das aeronaves em rota tem como resíduo majoritariamente o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), que representa 70% dos gases expelidos pelas aeronaves, conseqüentemente, vapor de água, o qual não faz parte da composição do ar atmosférico, e em sua minoria encontram-se os gases responsáveis pela degradação de nosso ar em função da poluição que estes causam à atmosfera, essa parte representa menos de 1% e engloba óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>), monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos produtos da queima como também os que fazem parte da composição do querosene usado como comburente (HC). A grande maioria desses poluentes, entretanto, não são dispensadas em baixas altitudes, ar que geralmente encontra-se em contato com a superfície terrestre, atingindo florestas, seres humanos, animais, mares e rios. A vasta maioria é dispensada em rota, sendo muito acima do ar em contato com a superfície, exceto no caso de hidrocarbonetos e monóxido de carbono que são liberados nos momentos em que se tem menor eficiência do motor, ou seja, no período de táxi e percussor das decolagens (FAA, 2015).

O CO<sub>2</sub>, gás carbônico, é formado após o contato do resíduo de hidrocarbonetos queimados, como no caso do querosene, que saem dos motores através do bocal de escapamento e entram em contato com o ar atmosférico (O<sub>2</sub>), formando o gás poluente que impacta diretamente na mudança climática, esse gás é encontrado na aviação de forma mais expressiva na operação normal dos

motores tão como na operação da unidade auxiliar de energia (APU) utilizada pelas aeronaves antes dos motores serem acionados como forma de obtenção de energia para atender os sistemas elétricos do avião, como também manter o ar condicionado, funcionando basicamente como um gerador pequeno (FAA, 2015).

O óxido nitroso, NO<sub>x</sub>, outro poluente que contribui com as mudanças climáticas e na qualidade do ar, impactando diretamente na formação do ozônio, camada que circunda e protege o planeta; assim como o CO<sub>2</sub>, também é encontrado principalmente no processo de combustão como no uso da unidade auxiliar de energia, sua formação é produto do ar que passa por altas temperaturas e pressões dos motores, misturando-se com nitrogênio e oxigênio (FAA, 2015).

Hidrocarbonetos (HC), alguns dos seus componentes são altamente tóxicos e são emitidos à atmosfera pela combustão incompleta, logo, fica explícito que sua liberação ocorre em fases do voo onde não se tem uma alta eficiência por parte dos motores, entre o táxi e a decolagem, já que os reatores são feitos para serem eficientes no regime mais prolongado do voo, o que ocorre em voo de cruzeiro, com a aeronave nivelada. Além de impactar na qualidade do ar, contribui assim como o NO<sub>x</sub> na formação do ozônio. Além dos hidrocarbonetos, o monóxido de carbono (CO) também é formado pela combustão ineficiente e incompleta (FAA, 2015).

Dióxido de enxofre (SO<sub>x</sub>) é produzido durante o processo de combustão quando pequenas partículas de enxofre entram em contato com o oxigênio, componente básico do petróleo, matéria prima dos combustíveis, também tem impacto negativo na qualidade o ar e nas mudanças climáticas. Embora as aeronaves e seus componentes não sejam os únicos a produzirem mudanças no clima e na qualidade do ar no âmbito aeronáutico, lideram como fontes de emissão desses gases poluentes, conforme mostra o Quadro 2, produzida pela FAA (2015).

## O Quadro 2 - Emissão de gases e consequências na aviação

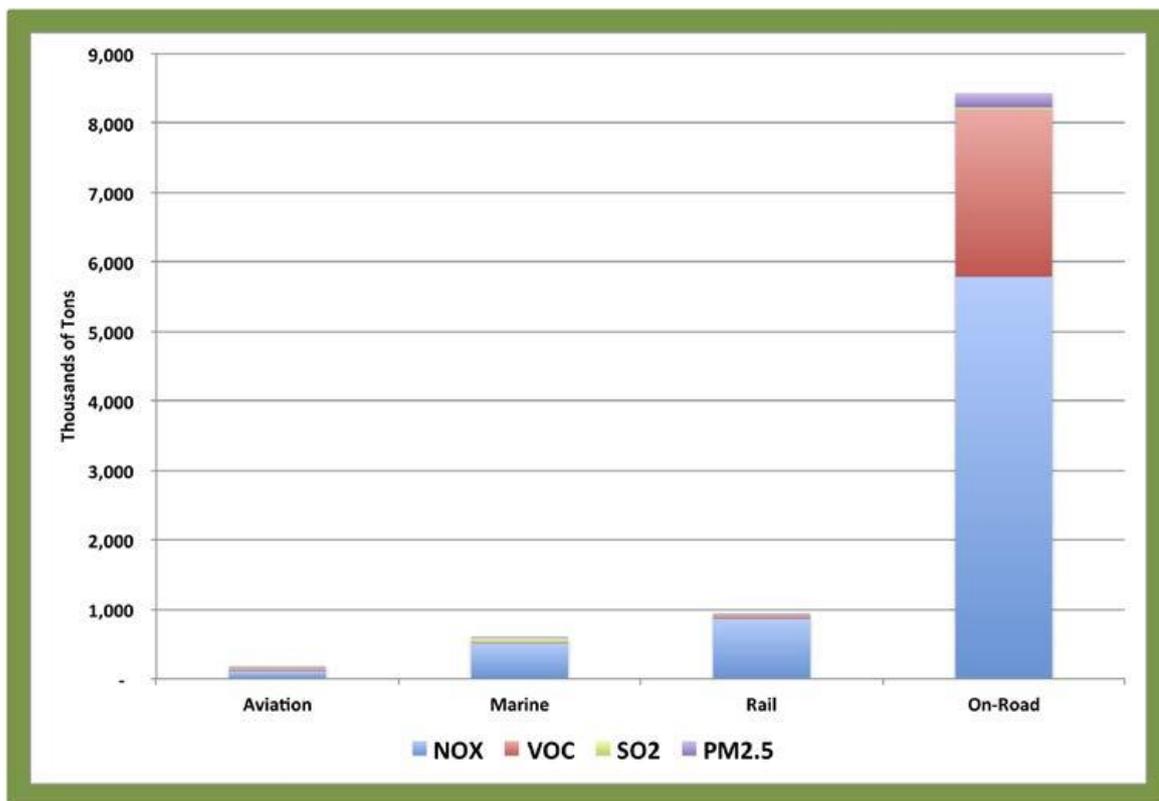
Emission	Description	Emission Sources	Impacts
<b>CO<sub>2</sub></b>	Carbon dioxide is the product of complete combustion of hydrocarbon fuels like gasoline, jet fuel, and diesel. Carbon in fuel combines with oxygen in the air to produce CO <sub>2</sub> .	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aircraft</li> <li>• APU</li> <li>• GSE</li> <li>• Vehicles</li> <li>• Stationary power plants</li> <li>• Construction equipment</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Climate change</li> </ul>
<b>H<sub>2</sub>O</b>	Water vapor is the other product of complete combustion as hydrogen in the fuel combines with oxygen in the air to produce H <sub>2</sub> O. This is the source of water in condensation trails (contrails).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aircraft</li> <li>• APU</li> <li>• GSE</li> <li>• Vehicles</li> <li>• Stationary power plants</li> <li>• Construction equipment</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Climate change</li> </ul>
<b>NO<sub>x</sub></b>	Nitrogen oxides are produced when air passes through high temperature/high pressure combustion and nitrogen and oxygen present in the air combine to form NO <sub>x</sub> . Contributes to ozone and secondary particulate matter formation.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aircraft</li> <li>• APU</li> <li>• GSE</li> <li>• Vehicles</li> <li>• Stationary power plants</li> <li>• Construction equipment</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Air quality</li> <li>• Climate change</li> </ul>
<b>HC</b>	Hydrocarbons are emitted due to incomplete fuel combustion. They are often referred to as unburned hydrocarbons (UHC) or volatile organic compounds (VOCs) [VOC excludes some low reactivity compounds found in measures of HC <sup>9</sup> ]. Some of the compounds in the HC emissions are toxic and hazardous air pollutants (HAPs). Contributes to ozone formation.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aircraft</li> <li>• APU</li> <li>• GSE</li> <li>• Vehicles</li> <li>• Stationary power plants</li> <li>• Construction equipment</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Air quality</li> </ul>
<b>CH<sub>4</sub></b>	Methane is the most basic hydrocarbon. Commercial aircraft are net consumers of methane during cruise and are not listed in the emissions source column. The net impact of methane from airport sources is highly dependent on local circumstances.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• APU</li> <li>• GSE</li> <li>• Vehicles</li> <li>• Stationary power plants</li> <li>• Construction equipment</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Air quality</li> </ul>
<b>CO</b>	Carbon monoxide is formed due to the incomplete combustion of the carbon in the fuel. Contributes to ozone formation.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aircraft</li> <li>• GSE</li> <li>• Vehicles</li> <li>• Construction equipment</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Air quality</li> </ul>
<b>SO<sub>x</sub></b>	Sulfur oxides are produced when small quantities of sulfur, present in essentially all petroleum fuels, combine with oxygen from the air during combustion. Contributes to secondary particulate matter formation.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aircraft</li> <li>• APU</li> <li>• GSE</li> <li>• Construction equipment</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Air quality</li> <li>• Climate change</li> </ul>
<b>Particulate Matter (non-volatile)</b>	Small particles of soot (a.k.a. black carbon) that form as a result of incomplete combustion and aerosols from condensed gases, which are small enough to be inhaled, are referred to as particulate matter. Discussed in detail in Health and Environmental Effects Section.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aircraft</li> <li>• APU</li> <li>• GSE</li> <li>• Vehicles</li> <li>• Stationary power plants</li> <li>• Construction equipment</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Air quality</li> <li>• Climate change</li> </ul>

Fonte: FAA - Aviation Emissions, Impacts & Mitigations: A Primer (2015, p. 3).

O setor rodoviário é responsável pela maior parte de emissões de óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e composto orgânico volátil (VOC), enquanto a aviação R. bras. Av. civil. ci. Aeron., Florianópolis, v. 1, n. 2, p. 112-141, maio. 2021.

possui baixas emissões dos mesmos gases em comparação, conforme se observa na Figura 1 (FAA, 2015).

Figura 1 - Emissões de gases pelos meios de transporte

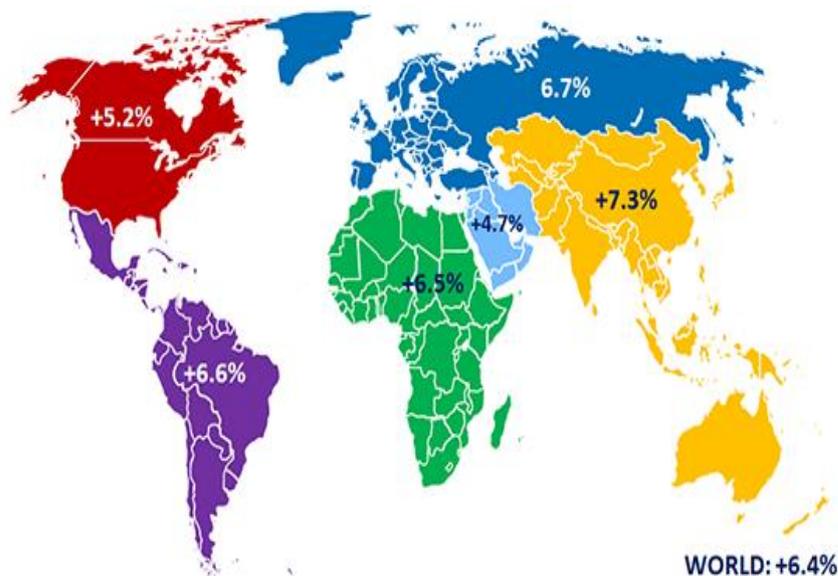


Fonte: FAA – Aviation Emissions, Impacts & Mitigations: A Primer (2015, p. 6).

### 3 DEMANDA TRANSPORTE AÉREO E SEU IMPACTO ECONÔMICO

A demanda por transporte aéreo tanto de carga quanto de passageiros vem aumentando, como mostra a Figura 2, a seguir, da Organização Internacional de Aviação Civil (ICAO) 2018:

Figura 2 - Aumento da demanda por transporte aéreo de cargas e passageiros em 2018



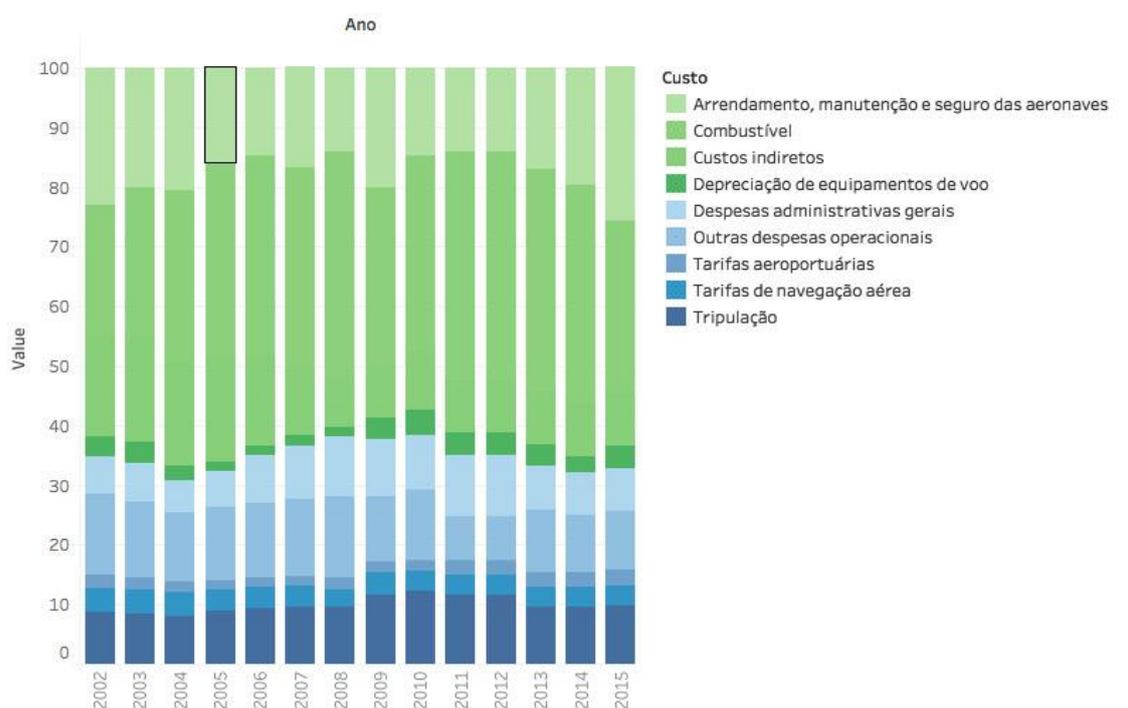
Fonte: ICAO (2018).

Além do aumento de demanda pelo meio de transporte aéreo, por ser rápido e ter acesso a lugares que outros meios de transporte não teriam, com relativamente baixo investimento em infraestrutura, torna-se uma preocupação, embora que não a curto prazo, sobre a capacidade de regenerar a matéria prima do querosene, com o aumento da demanda mundial.

O petróleo, por ser vendido na cotação em dólar estadunidense, promove oscilações para os países que não possuem a mesma moeda como sua moeda oficial, como é o caso do Brasil que adota o Real. O preço torna-se volátil e dependente da visão do mercado internacional, como também medidas políticas internacionais para decretar o preço do barril de petróleo que resulta diretamente no impacto na valorização ou desvalorização do dólar diária.

Um estudo de 2016, da Associação Brasileira de Empresas Aéreas demonstra a parcela do custo referente ao combustível num orçamento de uma empresa aérea, como pode se observar na Figura 3.

Figura 3 - Demonstrativo de custos de uma empresa aérea brasileira



Fonte: Associação das Empresas Aéreas Brasileiras (2016).

Em 2006, esse valor chegou a quase 50%, conforme mostra o estudo, o que impacta diretamente no preço das passagens já que nenhuma empresa arca com os custos e os mesmos são repassados ao consumidor, consequentemente, desmotivando o mercado de forma não intencional, influenciando aumento ainda maior do preço da passagem em função da menor demanda.

É notável a necessidade de procurar medidas alternativas e combustíveis que reduzam ainda mais o impacto ambiental como também o impacto econômico, tornando assim o transporte aéreo mais barato, acessível e contribuindo para uma maior diversidade de empresas aéreas e estabilidade dos negócios para uma efetiva gestão.

#### 4 MÉTODOS ALTERNATIVOS

A transição, porém, rumo a utilização de fontes alternativas de energia ocorrerá de maneira gradual, começando por esferas menores na aviação, tais

como infraestrutura aeroportuária, veículos de transporte e motores elétricos para o táxi das aeronaves.

#### 4.1 TAXIAMENTO EFETUADO COM MOTORES ELÉTRICOS

Apesar da utilização de sistema de táxi elétrico (ETS) resultar em um aumento de peso nas aeronaves, esse sistema poderia operar de forma híbrida, utilizando parcialmente os motores disponíveis na aeronave ou então a ajuda da fonte de energia auxiliar. Além de reduzir o consumo de combustível já que em solo a aeronave precisa se movimentar lentamente como medida de segurança, também reduziria a necessidade de um operador conduzindo o trator no push-back da aeronave (BASU, 2019).

Embora difícil de ser implementado rapidamente e a curto prazo em larga escala com apenas essa medida, tornar-se possível uma redução na emissão dos gases de efeito estufa, assim como também uma economia de combustível, pois os motores aeronáuticos utilizados em aviões comerciais são mais eficientes em rota de voo, ou seja, a altitudes superiores a 15mil pés, onde o ar é rarefeito, e não em solo. Casos como o BOEING 747 chegam a gastar uma tonelada de combustível em apenas 15 minutos taxiando entre o Gate e a pista de decolagem, o que representa um enorme gasto de combustível desnecessário às empresas aéreas no decorrer do ano. Uma alternativa viável para esse problema foi a utilização de um aparelho robô-trator que fica incumbido de movimentar as aeronaves do Gate à pista de decolagem com as aeronaves em regime de potência em marcha lenta, o TaxiBot, como é chamado está em operação rebocando aeronaves BOEING 737 da empresa alemã Lufthansa no Aeroporto de Frankfurt desde 2014, economizando cerca de 11.000 toneladas de combustível por ano, reduzindo assim a porcentagem de poluição proveniente da operação, como também reduzindo substancialmente os custos da companhia aérea supracitada (GEBICKI, 2018).

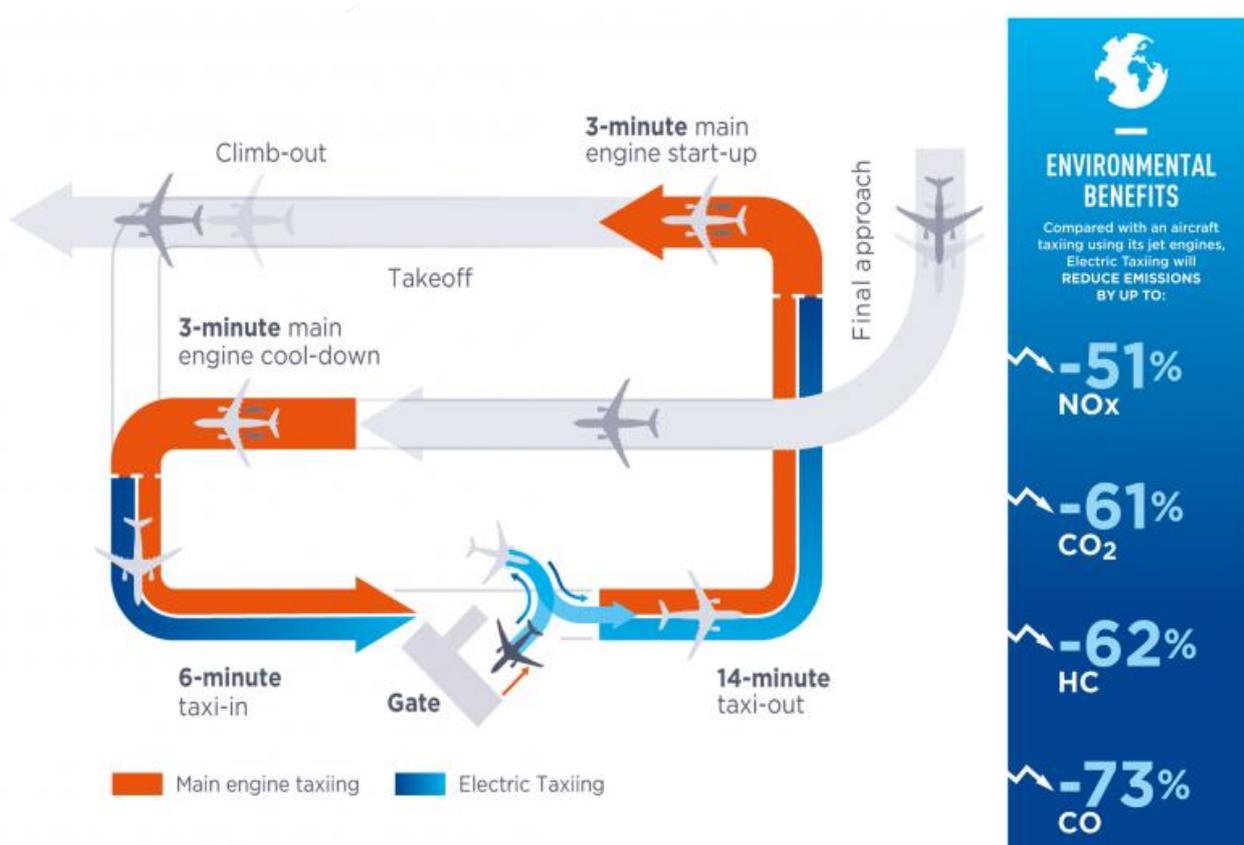
Um sistema de táxi elétrico chegou a ser brevemente implementado pela empresa francesa Safran em parceria com a fabricante de aeronaves também francesa,

Airbus, com foco nos modelos da família 320, como demonstrado na Figura 4 a seguir (SAFRAN, 2019).

O projeto consistia em aplicar motores elétricos no trem de pouso principal o qual permitia o táxi e o push-back de aeronaves sem o consumo de combustível e a não necessidade de veículos como tratores disponíveis para realizar tal ação.

Apesar da economia proporcionada de até 4% por voo curto a tecnologia não justificou o emprego, pois em longos voo aeronaves carregarem até 400kg a mais seria ineficiente (HEPHER, 2019).

Figura 4- Demonstrativo do sistema de táxi elétrico da empresa Safran.



Fonte: Safran (2019).

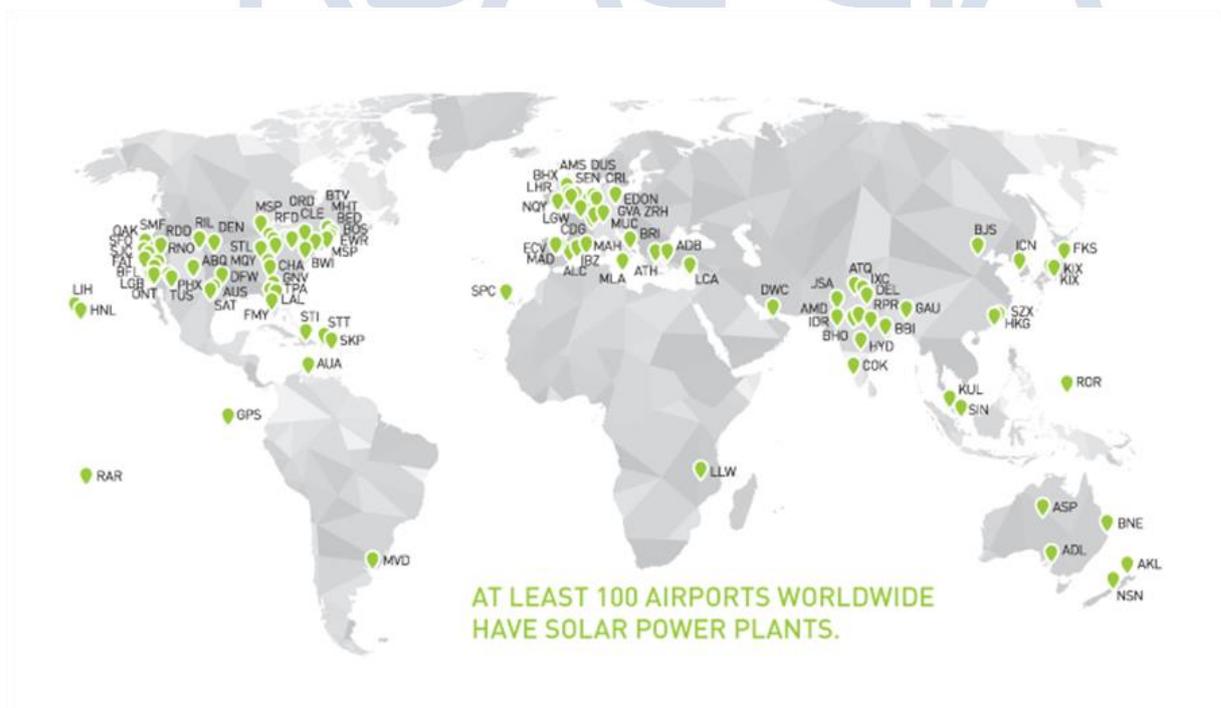
Apesar da boa intenção em desenvolver tecnologias que minimizem ainda mais as consequências negativas, percebe-se a eficácia em relação a tecnologia atualmente em uso na aviação.

#### 4.2 MÉTODOS ALTERNATIVOS DE INFRAESTRUTURA AEROPORTUÁRIA

Outra iniciativa que tem sido tomada em direção a métodos alternativos visando a redução de emissão corresponde à mudança fundamental da estrutura e design dos aeroportos, como é o caso do aeroporto de Chattanooga, Tennessee, o qual é o primeiro Aeroporto dos Estados Unidos a ser totalmente alimentado por painéis solares, produzindo 2.64 megawatts através de 10mil painéis solares; além dele, 15mil painéis solares foram instalados no Terminal 2 do Aeroporto internacional de Dubai. Aeroportos com o conceito ambientalista e ecologicamente amigáveis como esses são tendências para o futuro (BARAN, 2019).

Abaixo, pode se observar na figura 5, da Aviation Benefits Beyond Borders (2019) demonstrando a utilização de painéis solares para produção de energia por aeroportos.

Figura 5 - Aeroportos no mundo utilizando painéis solares



Fonte: Aviation Benefits Beyond Borders (2018).

## 5 FUNCIONAMENTO DO MOTOR A REAÇÃO A COMBUSTÃO E DO MOTOR ELÉTRICO

Os motores utilizados em aviões comerciais de grande porte basicamente possuem uma entrada de ar, compressores de alta e baixa pressão, câmara de combustão, turbinas de alta e baixa e alta pressão e o bocal de escapamento. O ar é admitido, onde lhe é imprimido pressões maiores no compressor, em seguida ele é entregue à câmara de combustão, onde há injeção de combustível (querosene) e a mistura é queimada, ocorrendo a combustão; nisso ocorre a expansão dos gases que serão aproveitados na turbina através da energia cinética, transformando-se em energia mecânica, aumentando a velocidade do compressor e por fim, os gases são expelidos pelo bocal de escapamento para a atmosfera, gerando então tração direta acelerando uma pequena quantidade de ar a grandes velocidades. Torna-se claro o motivo de motores a reação serem eficientes em altas altitudes e ineficientes em solo (PALHARINI, 2014).

Já num motor elétrico, tem seu funcionamento parecido, ao invés de utilizar combustível para produzir expansão de gases e com a energia cinética resultante, transformá-la em energia mecânica através da turbina, aumentando a rotação de todo o eixo, o motor elétrico usa o campo magnético ao redor do estator e do rotor, o qual é acionado por dispositivo eletrônico de potência sendo alimentado por baterias de íons de lítio ou hidrogênio, sendo naturalmente mais eficientes e silenciosos, como também tornando o motor em si mais simples que o motor à reação a combustão, dispensando completamente a emissão de gases poluentes (AIRBUS, 2019).

A eficiência térmica de um motor a combustão se resume a relação entre potência mecânica produzida e a potência térmica liberada pelo comburente, em razão das perdas por calor a eficiência de um motor térmico é da ordem de 25 a 30%, já os motores elétricos de alta potência têm eficiência que superam 90%,

embora isso resulte num ganho de massa estratosférico em comparação ao motor a combustão, afetando seu coeficiente de leveza (HOMA, 2005).

Apesar de otimista, algumas barreiras técnicas e tecnológicas ainda limitam uma aplicabilidade mais ampla de sistemas e motores elétricos totalmente sustentáveis na comunidade aeronáutica.

### 5.1 BARREIRAS TÉCNICAS NA IMPLEMENTAÇÃO DE MOTORES ELÉTRICOS.

O problema majoritário na transição do reator a combustão utilizando querosene como comburente para o elétrico se deve no armazenamento de energia elétrica na aeronave já que a fonte de energia para a realização de um voo deve ser armazenada e transportada com a aeronave, devido a isso, o conceito de potência calorífica por unidade de massa é importantíssimo, por isso o querosene é um dos comburentes mais eficientes já que possui uma densidade baixa, outro parâmetro importante se dá pela quantidade de energia por volume. Mesmo os mais avançados processos de armazenamento de energia em baterias ainda é muito baixo e pouco eficiente quando se comparado com todos os parâmetros positivos e eficientes fornecidos pelo querosene em questão de poder calorífico, massa, densidade e capacidade de armazená-lo na aeronave sendo esse um dos fatores mais restritivos a sistemas que utilizam como fonte de energia e armazenamento através baterias (HEPPERLE, 2012).

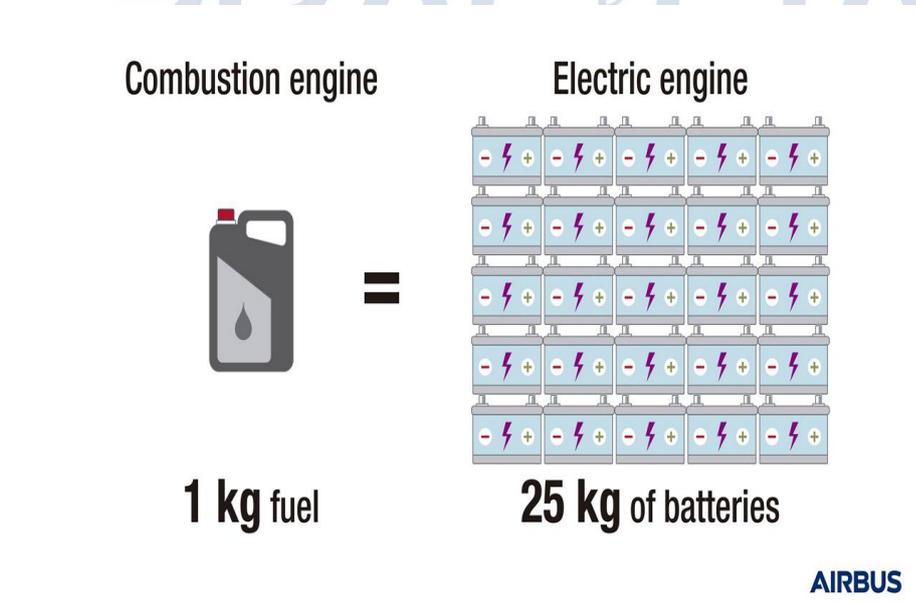
A implementação de motores que utilizam para seu funcionamento energia elétrica ao invés da energia calorífica resultante da combustão, irá acarretar em adição de peso e possivelmente no aumento da própria estrutura da aeronave, como por exemplo alongamento de asas já que o armazenamento de combustível querosene atualmente se dá por tanques internos que ocupam espaços já previstos em projeto, localizando-se dentro das asas, resultando em pouca massa (HEPPERLE, 2012).

Esse poderia ser um efeito negativo de transição de matriz energética, pois poderá ser necessário repensar todo o projeto aerodinâmico e estrutural de uma aeronave e não somente modificar o sistema de alimentação.

No caso da possível utilização de hidrogênio como matriz energética, tanto na forma gasosa como líquida deverá ser atendidas especificações de caráter técnico como o uso de tanques de armazenamento de alta pressão, o que resulta num aumento de risco em relação ao fator de segurança operacional, especialmente sobre o hidrogênio líquido, faz-se necessário métodos para manter o líquido sob temperatura de aproximadamente -250 graus Celsius, contribuindo também para um aumento significativo da complexidade do sistema de alimentação, além de tudo, o querosene é menos denso que ambas as formas de hidrogênio. Já a respeito da utilização de baterias, o sistema elétrico necessita de vedações e constante manutenção para assegurar sua eficiência e operação, tal como de meios de arrefecimento e controle de temperatura (HEPPERLE, 2012).

Um estudo da Airbus (2019) fez a comparação da equivalência entre a proporção de 1kg de querosene e o seu equivalente num motor elétrico, conforme mostra a Figura 6:

Figura 6 - Comparativo do motor a combustão e o motor elétrico



Fonte: Airbus (2019).

Apesar da clara eficiência dos atuais motores a reação aeronáuticos com relação a sua massa e peso, remetendo ao conceito importantíssimo de

leveza para os motores aeronáuticos, a perda de energia através do calor nos motores de combustão interna representam um problema, pois demonstra que ainda não se aproveita em sua totalidade ou ao menos em maior parte sua energia produzida pela combustão. Estima-se que de dois terços a três quartos da energia calorífica é perdida via escapamento nos motores aeronáuticos (AIRBUS, 2019).

Um fator importantíssimo sobre a performance da aeronave com base no armazenamento de combustível é que à medida que se voa, o combustível é consumido, reduzindo o peso total da aeronave como também modificando seu perfil de aproximação. Uma aeronave mais pesada necessita de um maior ângulo de ataque e velocidades de aproximação conseqüentemente maiores, o que não ocorre na utilização de baterias, pois seu peso será invariável durante todo o voo, impedindo as aeronaves de atingirem níveis de voo em rota maiores, reduzindo seu ângulo de ataque nas aproximações, como também a velocidade. Isso impacta diretamente na ação dos freios ao pousar, na estrutura de suporte de peso do trem de pouso devido a maior necessidade de frenagem e de sustentar o peso da aeronave na pista (WILSON, 2018).

Empresas automotivas que estão liderando o mercado, como a estadunidense Tesla, encontram-se também liderando os aperfeiçoamentos em tecnologia de bateria, entretanto, esses setores não precisam se preocupar tanto com o espaço e o peso que essas baterias impactarão nos automóveis, ao contrário do que acontece com a indústria aeronáutica, onde pouco peso, baixa densidade e pequena massa é fator primordial na eficiência de um projeto de aeronave. Acredita-se que devido a isso, a indústria automotiva por si só não irá avançar com pesquisas em busca das melhorias necessárias e que beneficiariam os projetos aeronáuticos, pois já possuem aquilo que necessitam para operar de maneira eficiente e sua aplicabilidade é totalmente diferente do que ocorreria numa aeronave, restando a opção das empresas de fabricações de aeronaves e projetistas de levarem o projeto e aperfeiçoamento das baterias adiante em busca de soluções aos seus próprios problemas (BERGER, 2018).

As baterias de íons de lítio, comumente conhecidas por equiparem computadores portáteis, celulares e eletrônicos em geral são atualmente as mais

atraentes e possivelmente as mais compatíveis com o âmbito aeronáutico, isso se deve pela sua boa capacidade de armazenamento de energia já demonstrada nos equipamentos eletrônicos e carros elétricos, como a sua vida útil, através de vários ciclos, especula-se que a tecnologia de armazenamento de energia em bateria que esteja à altura de competir com a atual e eficiente utilização do querosene não aconteça antes de 2030 (BERGER, 2018).

## 5.2 AERONAVES TOTALMENTE ELÉTRICAS EM DESENVOLVIMENTO

O avião monomotor Cessna 208B Grand Cavaravan ganhou uma modificação feita pela empresa estadunidense MagniX e é o primeiro avião comercial totalmente elétricos a voar, possui um motor elétrico de 750hp (cavalos de potência) e zero emissões de gases poluentes. É uma das primeiras iniciativas de sucesso na aplicabilidade de motores elétricos em aeronaves, como demonstrado na figura 7, embora ainda seja restrito a (FRANGOUL, 2020).



Figura 7 -O avião monomotor Cessna 208B Grand Cavaravan elétrico adaptado pela empresa MagniX



Fonte: CNBC (2020).

Em 2016, dois pilotos completaram uma volta ao mundo a bordo de uma aeronave experimental equipadas com painéis solares no extradorso da asa, tornando desnecessário o pouso para reabastecimento, permitindo autonomia ilimitada, apesar de terem sido efetuados dezesseis pousos em função da tripulação. O Solar 2, Figura 8, como é chamada possui 17.248 células voltaicas que mantêm o avião durante o dia, enquanto no período noturno se utiliza de baterias, produzindo uma velocidade de cruzeiro de 46 milhas terrestre por hora, fabricado pela empresa Solar Impulse (CNBC, 2016).

Figura 8 – Solar 2, aeronave totalmente elétrica fabricada pela Solar Impulse



Fonte: Solar Impulse (2016).

A empresa israelense Eviation apresentou no Paris Air Show de 2019 sua aeronave totalmente elétrica e com capacidade para até 9 pessoas, com autonomia de 540 milhas náuticas, chamada Alice, mostrando que a aviação de pequeno porte já procura se adaptar a meios mais eficientes e ecologicamente menos danosos, figura 9, a seguir (POPE 2017).

Figura 9 – Aeronave Alice da empresa israelense Eviation



Foto: David McIntosh (2020)

## 6 CONCLUSÃO

A partir da análise dos dados foi possível perceber que implementação dos motores elétricos nas aeronaves comerciais necessita de melhorias tecnológicas voltadas a armazenamento mais eficientes de energia pelas baterias, sendo as de íons de lítio mais compatíveis como o cenário aeronáutico, bem como a melhoria na densidade e volume necessário para utilização dessa fonte de energia, bem como mudanças no projeto da aeronave em relação a peso, distribuição de cargas e aerodinâmica.

Ao contrário do querosene, a implementação de baterias para utilização de força motriz elétrica, resultaria em adição de peso, tão como aumento de ângulo de ataque e velocidade nos regimes de aproximação para efetuação do pouso, como também aumento exponencial no peso suportado pelo trem de pouso e na eficiência maior do sistema de frenagem.

Os motores elétricos certamente ocasionarão economia para as empresas aéreas, tornando o orçamento muito mais estável e menos oscilante como o que acontece na condição atual em que o querosene é pautado pelo preço do barril de petróleo, o qual oscila diariamente. Embora a poluição aeronáutica seja

pequena, representando grande eficiência comparando-a outros meios de transporte, a implementação de motores elétricos torna nula a emissão de gases que contribuem com a degradação da qualidade do ar a poluição e os impactos na saúde humana.

Embora a implementação de motores elétricos seja uma questão a longo prazo na aviação comercial e em aeronaves grandes; na aviação de pequeno porte já está ocorrendo resultados impressionantes e satisfatórios. Outras medidas podem ser exploradas a curto e médio prazo, como modificação de suprimento energético nos aeroportos através de instalação de células foto voltaicas, emprego de motores e sistemas elétricos para efetuar o táxi das aeronaves entre o portão de embarque e a pista de decolagem, como na redução de veículos aeroportuários ou substituição destes por veículos que utilize alternativas mais ecológicas.

Ainda que o problema referente à escassez do petróleo e conseqüentemente do combustível utilizado na aviação atualmente seja algo a se pensar a longo prazo, seus efeitos catastróficos e agravantes nas mudanças climáticas são deveras eminentes, ou seja, com conseqüências a curto e médio prazo. O trabalho mostrou que apesar da aviação contribuir para o agravamento do aquecimento global, entre as formas de transporte primárias, com papel coadjuvante entre os poluentes, o transporte aéreo é o que menos impacta.

Contudo, à medida que a humanidade caminha para o futuro, com seus inenarráveis avanços tecnológicos, faz-se necessário o aperfeiçoamento tanto da infraestrutura como dos veículos a fim de obter-se o menor impacto possível no meio ambiente simultaneamente uma ótima performance e eficiência.

Para alcançar essa meta, a matriz energética de cunho elétrico torna-se um ótimo caminho e candidata a nos aprovisionar eficiência e autonomia energética. Mesmo que os problemas atuais sejam de fato limitantes, como foi mostrado a incapacidade das baterias armazenarem a energia necessária para os voos longos e na aviação comercial, sem com isso, aumentar substancialmente o peso nas aeronaves; há entretanto avanços em relação a questões minoritárias que de fato já contribuem para a redução de emissão de gases nocivos tanto ao nosso meio ambiente como também a população, como aplicação de motores elétricos para efetuar o táxi das aeronaves do portão de embarque à pista de

pouso e decolagem, infraestrutura aeroportuária dotada de energia renovável como a solar no mantimento de suas instalações, como também pequenos avanços no rumo de aeronaves pequenas totalmente elétricas como o Caravan fabricado pela empresa MagniX.

Tudo isso não só impacta na atenuação de ruídos e poluição, mas diretamente na economia das empresas aéreas, contribuindo para uma massificação do transporte aéreo como um todo e acelerando o trânsito de pessoas em nosso planeta.

Apesar dos citados problemas e impedimentos atuais, a indústria de eletrônicos e automóveis, essa última liderada pela Tesla, vem trazendo melhoras significativas, o que nos mostra um futuro próspero neste caminho.

## REFERÊNCIAS

ABEAR - Associação Brasileira das Empresas Aéreas. **O Setor Aéreo no Brasil: Dados e Estatísticas**. 2006. Disponível em: <http://panorama.abear.com.br/dados-e-estatisticas/custos-das-empresas/>. Acesso em: 27 Ago. 2019.

AIRBUS. **Thermal engines vs. electric motors**. Airbus. 2019. Disponível em: <https://www.airbus.com/newsroom/stories/airbus-pursues-hybrid-propulsion-solutions-for-future-air-vehicles.html>. Acesso em: 5 Jun. 2020.

ALCOCK, Charles ; MCINTOSH, David . **All-Electric Aviation Makes Debut at Paris Air Show**. AINOnline. 2020. Disponível em: <https://www.ainonline.com/aviation-news/business-aviation/2020-01-24/aviations-electric-aircraft-catches-fire-during-ground-tests>. Acesso em: 6 Jun. 2020.

AVIATION BENEFITS BEYOND BORDERS. **Power from the sun: AIRPORTS ARE THE PERFECT LOCATION FOR SOLAR ELECTRICITY GENERATING INSTALLATIONS. THE LARGE, FLAT SURFACES BOTH ON THE GROUND AND ON TOP OF TERMINAL AND HANGAR BUILDINGS ALLOW FOR SIGNIFICANT SOLAR INSTALLATIONS TO BE BUILT.** ca. 2018. Disponível em: <https://aviationbenefits.org/case-studies/power-from-the-sun/>. Acesso em: 5 Jun. 2020.

BARAN, Michelle Baran. **This Is the First U.S. Airport to Be Fully Solar-Powered**. AFAR. 2019. Disponível em: <https://www.afar.com/magazine/this-is-the-first-us-airport-to-be-fully-solar-powered>. Acesso em: 4 Jun. 2020.

BASNER, Mathians ; CLARCK, C; HANSELL, A. **Aviation Noise Impacts: State of the Science**. NCBI. 2017. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5437751/>. Acesso em: 8 Set. 2019.

BASU, Avimanyu. **Electric Taxiing Systems: Past, Present and the Possible Future**. Aviationics internacional. Disponível em: <https://www.aviationtoday.com/2019/05/01/electric-taxiing-systems-past-present-possible-future/>. Acesso em: 4 Jun. 2020.

BERGER, Roland . **Aircraft Electrical Propulsion Onwards and Upwards**. Think:Act. 2018. Disponível em: [https://www.rolandberger.com/publications/publication\\_pdf/roland\\_berger\\_aircraft\\_electrical\\_propulsion\\_2.pdf](https://www.rolandberger.com/publications/publication_pdf/roland_berger_aircraft_electrical_propulsion_2.pdf). Acesso em: 10 Mai. 2020.

CERVO, Amado Luiz; BERVIAN, Pedro Alcino; SILVA, Roberto da. **Metodologia Científica**. 6. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007

CNBC. **The definition of adventure': Solar Impulse 2 completes round-the-world flight**. 2016. Disponível em: <https://www.cnbc.com/2016/07/25/solar-impulse-2-plane-lands-in-abu-dhabi-after-first-round-the-world-solar-flight.html>. Acesso em: 5 Jun. 2020.

DUARTE, Vânia. **Brasil Escola**. 2006. Disponível em: <https://monografias.brasilecola.uol.com.br/regras-abnt/pesquisas-exploratoria-descritiva-explicativa.htm>. Acesso em: 29 Set. 2019.

FAA. **Aviation Emissions, Impacts & Mitigation: A Primer**. 2015. Disponível em: [https://www.faa.gov/regulations\\_policies/policy\\_guidance/envir\\_policy/media/primer\\_jan2015.pdf](https://www.faa.gov/regulations_policies/policy_guidance/envir_policy/media/primer_jan2015.pdf). Acesso em: 8 Set. 2019.

FRANGOUL, Anmar . **The world's 'largest all electric commercial aircraft' completes its first flight**. CNBC. 2020. Disponível em: <https://www.cnbc.com/2020/05/29/first-flight-for-worlds-largest-all-electric-commercial-aircraft.html>. Acesso em: 5 Jun. 2020.

GARCIA, Marcus. **Planejamento e Administração Aeroportuária**. Unisul Virtual.

GEBICKI, Michael . **How much fuel do aircraft burn when they taxi?**. 2018. Disponível em: <https://www.traveller.com.au/how-much-fuel-do-aircraft-burn-when-they-taxi-h0vtp4>. Acesso em: 4 Jun. 2020.

HEPHER, Tim . **Safran suspends electric jet taxiing project after Airbus ends talks**. 2019. Disponível em: <https://www.reuters.com/article/us-safran-airbus-taxi/safran-suspends-electric-jet-taxiing-project-after-airbus-ends-talks-idUSKBN1Y72MN>. Acesso em: 5 Jun. 2020.

HEPPERLE , Martin. **Electric Flight: Potential and Limitations** . NATO/OTAN. 2012. Disponível em: [https://www.mh-aerotoools.de/company/paper\\_14/MP-AVT-209-09.pdf](https://www.mh-aerotoools.de/company/paper_14/MP-AVT-209-09.pdf). Acesso em: 7 Set. 2019.

HOMA, Jorge M. **Aeronaves e Motores**. 25. ed. São Paulo: ASA - Edições e Artes Gráficas LTDA, 2005.

LUONGO, Cesar *et al.* **Next Generation More-Electric Aircraft: A Potential Application for HTS Superconductors**. 2009. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/224557800\\_Next\\_Generation\\_More-Electric\\_Aircraft\\_A\\_Potential\\_Application\\_for\\_HTS\\_Superconductors](https://www.researchgate.net/publication/224557800_Next_Generation_More-Electric_Aircraft_A_Potential_Application_for_HTS_Superconductors). Acesso em: 29 Set. 2019.

MILLER, Richard G. ; SORRELL, Steven R.. **The future of oil supply**. 2014. Disponível em: <https://royalsocietypublishing.org/doi/full/10.1098/rsta.2013.0179>. Acesso em: 27 Ago. 2019.

Métodos de Pesquisa. UFRGS. Porto Alegre - RS. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/cursopgdr/downloadsSerie/derad005.pdf>. Acesso em: 10 Set. 2019.

PALHARINI, Marcos J. A. **Motores A Reação**. 12. ed. Brasil: Bianch, 2014.

PARDEE, Vera. **Airplane Emissions**. 2016. Disponível em: [https://www.biologicaldiversity.org/programs/climate\\_law\\_institute/transportation\\_and\\_global\\_warming/airplane\\_emissions/](https://www.biologicaldiversity.org/programs/climate_law_institute/transportation_and_global_warming/airplane_emissions/) Acesso em: 07 de Set. 2019.

POPE, Stephen. **All-Electric Aviation Makes Debut at Paris Air Show**. 2017 Disponível em: <https://www.flyingmag.com/all-electric-aviation-makes-debut-at-paris-air-show/> Acesso em: 19 de Mai. 2020.

**Querosene de Aviação – Informações Técnicas.** Petrobras. 2014. Disponível em: <http://sites.petrobras.com.br/minisite/assistenciaticnica/public/downloads/QAV-Inforna%C3%A7%C3%B5es-T%C3%A9cnicas-v.1.3-29.pdf> Acesso em: 23 de Mai de 2020.

Safran . **Aircraft taxiing along with their engines shut down: Safran believes this is a winner!**. 2019. Disponível em: <https://www.safran-landing-systems.com/systems-equipment/electric-taxiing-0>. Acesso em: 4 Jun. 2020.

Solar Impulse. **Solar Impulse 2**. 2016. Disponível em: <https://aroundtheworld.solarimpulse.com/>. Acesso em: 2 Jun. 2020.

**Solid Passanger Traffic Growth and Moderate Air Cargo Demand in 2018.** ICAO. 2018 Disponível em: <https://www.icao.int/Newsroom/Pages/Solid-passenger-traffic-growth-and-moderate-air-cargo-demand-in-2018.aspx> Acesso em: 29 de Ago. 2019.

STENHOUSE, Kailyn; HANANIA, Jordan; DONEV, Jason. **Kerosene lantern.** Energy Education. 2017. Disponível em: [https://energyeducation.ca/encyclopedia/Kerosene\\_lantern](https://energyeducation.ca/encyclopedia/Kerosene_lantern). Acesso em: 23 Mai. 2020.

WILSON, Richard . **Design Challenges of Fully and Hybrid Electric Aircraft.** RAW Aviation Consulting Ltd. ca. 2018. Disponível em: <https://www.aerosociety.com/media/10212/richard-wilson.pdf>. Acesso em: 5 Jun. 2020.

World International Property Organization . **Kerosene Composition.** 2006. Disponível em: <https://patentimages.storage.googleapis.com/ea/36/99/f60feca00204f6/WO2006056595A1.pdf>. Acesso em: 23 Mai. 2020.