



UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA

LEONARDO ROSA DA SILVA

**COMBUSTÍVEIS SUSTENTÁVEIS DE AVIAÇÃO E OS SEUS
BENEFÍCIOS**

Palhoça

2023

LEONARDO ROSA DA SILVA

**COMBUSTÍVEIS SUSTENTÁVEIS DE AVIAÇÃO E OS SEUS
BENEFÍCIOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Ciências Aeronáuticas da
Universidade do Sul de Santa Catarina como
requisito parcial à obtenção do título de
Bacharel em Ciências Aeronáuticas

Orientador: Prof. Cleo Marcus Garcia, MSc

Palhoça

2023

LEONARDO ROSA DA SILVA

**COMBUSTÍVEIS SUSTENTÁVEIS DE AVIAÇÃO E OS SEUS
BENEFÍCIOS**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Bacharel em Ciências Aeronáuticas e aprovado em sua forma final pelo Curso de Ciências Aeronáuticas da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Palhoça, 07 de dezembro de 2023.

Professor e orientador Cleo Marcus Garcia, MSc
Universidade do Sul de Santa Catarina

Prof. Avaliador Antônio Carlos Vieira de Campos, MSc
Universidade do Sul de Santa Catarina

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo apresentar os combustíveis sustentáveis de aviação que podem ser utilizados, com o objetivo de diminuir as emissões dos gases de efeito estufa, e por consequência o aquecimento global, identificando os benefícios que podem ser obtidos com a utilização destes. Para tal, foi realizada uma pesquisa exploratória, com procedimentos de pesquisa bibliográficos e documentais, com análise de dados qualitativa. O tema combustíveis sustentáveis de aviação, tem grande relevância mundial, dada a importância do setor aéreo, e a sua contribuição nas emissões dos gases poluentes. Atualmente existem metas definidas para o setor, e esforços contínuos para a redução destes gases. A utilização dos combustíveis sustentáveis de aviação serão a principal mudança responsável por tornar o setor aéreo mais sustentável e menos dependente dos combustíveis fósseis, além de contribuir com diversos outros benefícios, não só para o meio ambiente, para também para o resto da sociedade.

Palavras-chave: Combustíveis sustentáveis de aviação; efeito estufa; aquecimento global; meio ambiente; benefícios.

ABSTRACT

This work aimed to present sustainable aviation fuels that can be used, with the aim of reducing greenhouse gas emissions, and consequently global warming, identifying the benefits that can be obtained with their use. To this end, an exploratory research was carried out, using bibliographic and documentary research procedures, with qualitative data analysis. The topic of sustainable aviation fuels has great global relevance, given the importance of the airline sector and its contribution to polluting gas emissions. Currently there are goals defined for the sector, and continuous efforts to reduce these gases. The use of sustainable aviation fuels will be the main change responsible for making the airline sector more sustainable and less dependent on fossil fuels, in addition to contributing to several other benefits, not only for the environment, but also for the rest of Society.

Keywords: Sustainable aviation fuels; greenhouse effect; global warming; environment; benefits.

LISTA DE SIGLAS

ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
AVGAS	Aviation Gasoline (Gasolina de Aviação)
ASTM	American Society for Testing and Materials
CAEP	Committe on Aviation Enviromental Protection (Comitê de Proteção Ambiental da Aviação)
CORSIA	Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation
CO2	Gás Carbônico
GEE	Gases do Efeito Estufa
IATA	International Air Transport Association (Associação Internacional de Transportes Aéreos)
ICAO	International Civil Aviation Organization (Organização da Aviação Civil Internacional)
ONU	Organização das Nações Unidas
QAV	Querosene de Aviação
RBAC	Regulamento Brasileiro de Aviação Civil
SAF	Sustainable Aviation Fuel (Combustível Sustentável de Aviação)
SARPS	Standards and Recommended Practices

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	07
1.1 PROBLEMA DA PESQUISA	07
1.2 OBJETIVOS.....	07
1.2.1 Objetivo Geral	07
1.2.2 Objetivos Específicos	08
1.3 JUSTIFICATIVA	08
1.4 METODOLOGIA.....	09
1.4.1 Natureza da pesquisa e tipo de pesquisa	09
1.4.2 Materiais e métodos	09
1.4.3 Procedimentos de coleta de dados	09
1.4.4 Procedimentos de análise dos dados.....	09
1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	10
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	11
2.1 O AQUECIMENTO GLOBAL E O EFEITO ESTUFA.....	11
2.2 O ACORDO DE PARIS	13
2.3 DESCARBONIZAÇÃO DO SETOR AÉREO	14
2.4 COMBUSTÍVEIS SUSTENTÁVEIS DE AVIAÇÃO.....	16
2.5 TIPOS DE SAF	17
2.5.1 Hefa	17
2.5.2 Spk-Hc-Hefa	17
2.5.3 Ft-Spk.....	18
2.5.4 Ft/A.....	18
2.5.5 Hfs-Sip.....	19
2.5.6 Atj.....	19
2.5.7 Chj.....	19
2.6 BENEFÍCIOS PROVENIENTES DA UTILIZAÇÃO DO SAF.....	20
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	22
REFERÊNCIAS	23

1 INTRODUÇÃO

Uma das grandes metas em grandes metas em diferentes áreas do mundo na atualidade se refere em como as mesmas estão comprometidas em se tornarem o mais sustentáveis possíveis, contribuindo para a diminuição da emissão de gases que causam o efeito estufa. Com o setor aeroespacial, não é diferente, segundo a IATA (2018), ele é responsável por emitir de 2% a 3% de CO₂ na atmosfera. Sendo o meio de transporte mais utilizado do mundo, e desempenhando um papel de grande relevância na economia mundial, tem como consequência, ser um dos setores que tem grande contribuição na emissão de tais gases, pois atualmente depende exclusivamente do combustível fóssil, o setor aeroespacial é um dos principais nomes para que esta mudança, que tem como meta, e o compromisso de até o ano de 2030, ser um setor neutro com relação a emissão de CO₂.

Segundo pesquisas, 80% da energia consumida no mundo, é proveniente de combustíveis fósseis (Mónico; Rincón; Vega, 2020), o que gera um impacto negativo no clima do planeta. O setor aeroespacial vem buscando alternativas para a substituição destes, visando minimizar a emissão de gases de efeito estufa, garantindo a segurança do abastecimento, e preços acessíveis (Huq et al., 2021). Conforme Braun-Unkkoff; Riedel (2014), relataram, o uso do combustível sustentável de aviação, ou, Sustainable Aviation Fuel (SAF), demonstrou reduzir a emissão de gases, através da diminuição de fuligem e aerossol relacionadas à aviação em 50 e 70%. Este trabalho, portanto, irá se orientar no sentido de como a adoção do combustível sustentável de aviação, o SAF, vai ajudar o setor a alcançar seu objetivo de ser neutro na emissão de gases causadores do efeito estufa.

1.1 PROBLEMA DA PESQUISA

Quais são os benefícios que podem ser obtidos com a utilização do SAF em aeronaves?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Identificar os diferentes benefícios que podem ser gerados com a utilização do SAF em aeronaves.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Apresentar o aquecimento global e o efeito estufa;
- b) Analisar a atualidade da descarbonização do setor aéreo;
- c) Apresentar o SAF e seus tipos;
- d) Identificar os benefícios oriundos da utilização do SAF.

1.3 JUSTIFICATIVA

É notável, em que à medida que o tempo vai passando, cada vez mais o mundo vem sofrendo consequências, muitas vezes catastróficas, pelas alterações climáticas causadas pelo aquecimento global, onde o principal causador desta mudança, são os GEE. A aviação é um setor, que quando não sofre alguma consequência por crises globais, já que é dos primeiros setores a serem atingidos, está em constante crescimento, como podemos perceber, no número de encomendas e aeronaves fabricadas cada vez maior, a projeção da falta de pilotos e a demanda de viagens aéreas devido ao crescimento econômico e populacional de algumas regiões. Sendo uma das indústrias mais poluentes do planeta (Filippe, 2023), o seu crescimento refletirá em maiores queimas de combustíveis fósseis, aumentando cada vez mais a emissão dos GEE. Na atualidade, as medidas aplicadas para a diminuição destes são paliativas, sendo a implementação de fontes renováveis e sustentáveis de energia, um fator determinante na ajuda para parar o aquecimento global. Uma das grandes dependências do setor aeroespacial, é o combustível, sendo fonte de energia das aeronaves, assim como grande parte do custo que o mesmo tem em suas operações. A indústria aeronáutica tem cada vez mais buscado alternativas para a substituição dos combustíveis fósseis, para ter uma menor dependência deste, assim como por razões econômicas e ambientais. Segundo a Boeing (s.d), os combustíveis sustentáveis de aviação, são peça-chave para que a meta de descarbonização do setor seja alcançada.

A presente monografia, visa entender melhor o que é o SAF, seus tipos, e os diferentes tipos de benefícios que a utilização do mesmo trará para indústria aeronáutica, e para o mundo.

1.4 METODOLOGIA

1.4.1 Natureza e Tipo de Pesquisa

A monografia realizada caracteriza-se como exploratória, que visa familiarizar e aproximar o pesquisador com o universo do tema proposto, conforme Marconi e Lakatos, este tipo de pesquisa tem três principais objetivos “desenvolver hipóteses, aumentar a familiaridade do pesquisador com o ambiente, fato ou fenômeno, para a realização de uma pesquisa futura mais precisa ou modificar e clarificar conceitos.” (Marconi; Lakatos, 2003, p.188).

1.4.2 Materiais e Métodos

A pesquisa bibliográfica, abrange toda a bibliografia já tornada pública em relação ao tema de estudo e sua finalidade é colocar o pesquisador em contato direto com tudo o que foi escrito, dito ou filmado sobre determinado assunto (Marconi; Lakatos, 2003). Já a pesquisa documental “é que a fonte de coleta de dados restrita a documentos, escritos ou não, constituindo o que se denomina de fontes primárias.” (Marconi; Lakatos, 2003, p.174). Esta monografia utilizou materiais com temas sobre poluição, efeito estufa, aquecimento global, energias renováveis e sustentáveis, assim como documentos digitais focados em combustíveis sustentáveis de aviação, das principais fabricantes de aeronaves e motores da atualidade, agências reguladoras, abrangendo também notícias, artigos, reportagens e conteúdo audiovisual.

1.4.3 Procedimentos de Coleta de Dados

A coleta de dados bibliográficos e documentais, é a análise de materiais já publicados (Marconi; Lakatos, 2003). A coleta de dados desta monografia, foi realizada através da leitura, análise e registros de conteúdos pesquisados, por meio de palavras-chave pertinentes ao tema.

1.4.4 Procedimentos de Análise de Dados

A análise de dados foi realizada de forma qualitativa. Segundo Gerhardt e Silveira (2009, p. 31) “a pesquisa qualitativa não se preocupa com representatividade numérica, mas, sim, com o aprofundamento da compreensão de um grupo social, de uma organização, etc.” Os

registros realizados, foram organizados, de modo a facilitar a compreensão, interpretação e o aprofundamento sobre o referido tema.

1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho, a fim de atingir os objetivos propostos, tem a seguinte estrutura. O capítulo 1, compreende a introdução, o problema de pesquisa, objetivos, metodologia e justificativa.

O capítulo 2, compreende a fundamentação teórica, abrangendo o aquecimento global e efeito estufa, a descarbonização do setor aéreo, o SAF e seus tipos, e quais benefícios podem ser obtidos com a utilização destes.

O capítulo 3, compreende as considerações finais.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

As emissões dos GEE estão cada vez maiores, e como consequência, as mudanças climáticas ocorrem de forma mais rápida e severa. O setor aéreo possui grande contribuição nestas emissões, e a utilização dos combustíveis sustentáveis de aviação nas aeronaves é o principal fator para tornar este mais sustentável e menos dependente dos combustíveis fósseis.

2.1 O AQUECIMENTO GLOBAL E O EFEITO ESTUFA

Alguns anos atrás se tinham dúvidas se o planeta estava, ou não se tornando mais quente, foi quando na década de 1820, um matemático e físico francês, chamado Jean Baptiste Joseph Fourier realizou estudos científicos, e segundo sua hipótese obtida através destes, a atmosfera terrestre estava se comportando como uma estufa, e influenciando na temperatura terrestre (Wilson; Law, 2010). Anos mais tarde, um cientista irlandês chamado John Tyndall, resolveu testar a hipótese criada por Fourier, medindo o calor absorvido pelos gases atmosféricos. Dentro dos gases que constituem a atmosfera terrestre estão o nitrogênio, oxigênio, dióxido de carbono, e o vapor da água, John Tyndall percebeu que o vapor da água e o dióxido de carbono absorviam o calor, e o oxigênio e nitrogênio não (Wilson; Law, 2010). O aquecimento global é o aumento da temperatura média dos oceanos e da camada de ar próxima a superfície terrestre, causadas pelo aumento dos gases que causam o efeito estufa, dentre eles, principalmente o CO₂.

O efeito estufa corresponde a uma camada de gases que cobre a superfície da terra, composta principalmente pelo dióxido de carbono, metano, óxido nitroso e vapor da água sendo um fenômeno natural responsável pela manutenção da vida na terra, regulando a temperatura média global, sem ele o planeta poderia se tornar muito frio (World Wide Fund for Nature, s.d).

Parte da radiação solar emitida, e que chega na terra, é refletida e retorna para o espaço, já a outra parte é absorvida pelos oceanos e pela superfície terrestre. Com as grandes quantidades de CO₂ depositadas diariamente na atmosfera, grande parte da quantidade de radiação solar que deveria retornar ao espaço, acaba sendo absorvida pelo efeito estufa, aumentando os níveis da temperatura terrestre, ocasionando o aquecimento global (World Wide Fund for Nature, s.d).

Com o passar dos anos, cada vez mais tecnologias à base de combustíveis fósseis, foram sendo desenvolvidas, aliado ao constante crescimento populacional, o grande fator

contribuinte para o aumento da temperatura terrestre, é o constante crescimento das emissões de CO₂ na atmosfera, tendo como as principais causas (ONU, s.d).

- Geração de energia: Grande parte da geração de energia ou calor, é proveniente da queima de combustíveis fósseis, como carvão, petróleo ou gás. No mundo todo, apenas cerca de um quarto da eletricidade é gerada por vento, sol, ou outros recursos renováveis.
- Fabricação de produtos: Queima de combustíveis fósseis pelas indústrias e manufatura para produção de cimento, ferro, aço, eletrônicos, plástico, roupas e outros produtos.
- Desmatamento florestal: O desmatamento para criação fazendas ou pastos, assim como construções, ao serem cortadas, as árvores liberam o CO₂ que estavam armazenando. Cerca de 12 milhões de hectares florestais são destruídos por ano, impactando na absorção do CO₂, e limitando a capacidade da natureza em manter as emissões fora da atmosfera.
- Uso de transporte: A maioria dos meios de transporte da atualidade, funcionam a base da queima de combustíveis fósseis.
- Produção de alimentos: A produção de alimentos gera emissões dos GEE de diversas maneiras, tanto pelo desmatamento e limpeza das terras para agricultura e pastagem, utilização de maquinários agrícolas, assim como pela produção de alimentos industrializados que tem como fonte de energia os combustíveis fósseis.
- Excesso de consumo: Quanto maior o consumo de energia gerada pela queima de combustíveis fósseis, e itens no qual para que a fabricação ocorra é necessária a referida queima, maiores são as emissões dos GEE.

Tais causas ao longo do tempo, estão mudando os padrões climáticos e atrapalhando o equilíbrio da natureza, refletindo especificamente no aumento da temperatura global, que por sua vez, é responsável pela causa de outros efeitos significativos, que estão sendo sentidos cada vez mais com frequência, como tempestades destrutivas mais intensas e severas, aumento da seca, escassez de água, incêndios começando com mais facilidade, oceanos mais quentes e menores, perda de espécies, diminuição da produção de alimentos, degradação da saúde humana com o aumento de doenças relacionadas ao calor e fatores que influenciam na economia

global, aumentando a pobreza e influenciando no deslocamento de algumas populações (ONU, s.d).

2.2 O ACORDO DE PARIS

O acordo de Paris, celebrado em dezembro de 2015, durante a Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, representa um marco histórico na luta contra as mudanças climáticas e a diminuição dos gases de efeito estufa (GEE). Este acordo internacional, visa estabelecer uma resposta global coordenada para mitigar os impactos das mudanças climáticas, através de uma estrutura de cooperação, aonde os principais pontos deste acordo incluem (CEBDS, 2019):

- **Objetivos e Limitações de Temperatura:** O acordo visa reduzir as emissões de GEE, para limitar o aumento médio da temperatura global até o final do século, deixando este aumento abaixo de 2 graus Celsius, se possível com um limite de 1,5 graus Celsius.
- **Contribuições Nacionalmente Determinadas:** Cada país é incentivado a estabelecer suas próprias metas de redução de emissões de GEE, com base em sua capacidade e circunstâncias individuais.
- **Florestas:** Os países devem adotar medidas para conservar e fortalecer sumidouros e reservatórios de GEE.
- **Transparência e Balanço Global:** A meta de redução de emissões dos países deve ser atualizada ou revisada a cada 5 anos, devendo ser progressiva. As partes devem comunicar entre si e ao público, como estão implementando a ação climática, e acompanhar os progressos no cumprimento dos compromissos assumidos no acordo, através de um sistema sólido de transparência e responsabilização.
- **Perdas e Danos:** Reconhece a importância de evitar, minimizar e resolver as perdas e danos associadas aos eventos climáticos extremos.
- **Financiamento Climático:** O acordo reconhece a necessidade de financiamento para ajudar os países em desenvolvimento a lidar com as mudanças climáticas e mitigar as emissões, tendo como objetivo mobilizar US\$ 100 bilhões por ano até 2025.
- **Adaptação:** Enfatiza a importância da adaptação às mudanças climáticas, e busca aumentar a resiliência das comunidades vulneráveis.

Desde a celebração do acordo, mais de 190 países já aderiram ao mesmo, demonstrando o compromisso global na luta contra o aquecimento, já implementando práticas para reduzir a emissão dos GEE, como a transição para fontes de energia mais limpas, como a energia solar e eólica, incentivando a pesquisa e desenvolvimento de tecnologias de baixa emissão de carbono, como combustíveis, veículos elétricos e sistemas de armazenamento de energia, incentivando cada vez mais instituições financeiras em fornecer financiamento climático.

2.3 DESCARBONIZAÇÃO DO SETOR AÉREO

O setor aeronáutico desempenha um papel crucial na economia global, permitindo a conectividade de pessoas e mercadorias por todo o mundo de forma rápida. No entanto, suas taxas de emissões de GEE, tem um impacto significativo no efeito estufa, sendo fonte crescente de preocupação. A descarbonização do setor aeronáutico é essencial para combater as mudanças climáticas e atingir as metas de redução das emissões de GEE. Tanto a ICAO, IATA assim como as agências reguladoras de cada país signatário, tem desempenhado papéis essenciais na busca por soluções para reduzir as emissões de carbono na aviação.

Através do CAEP, que é um comitê de suporte técnico do conselho, a ICAO criou um programa chamado CORSIA, destinado a redução e compensação de emissões de CO₂ proveniente dos voos internacionais, com o objetivo de atingir o crescimento neutro de carbono, ou seja, que as emissões estejam estabilizadas nos níveis observados em 2020, sem que o setor aéreo para de crescer.

A ICAO, através de uma série de medidas, promove a mitigação do impacto ambiental da aviação, medidas estas que incluem melhorias tecnológicas, operacionais, além da promoção de combustíveis sustentáveis. Porém dada a urgência quando se fala em aquecimento global, tais medidas sozinhas não são suficientes para apresentar uma resposta rápida do setor, sendo identificada a necessidade se de adotar medidas baseadas em mercado como alternativa de transição. O CORSIA, procura garantir que a aviação cumpra seu papel no esforço global de combate às mudanças climáticas, ao mesmo tempo que ocorre a redução dos custos gerados pelo transporte aéreo, com a aquisição de créditos de carbono, que são créditos emitidos para outros setores da economia que possuem alternativas mais eficientes e baratas para reduzir as emissões de CO₂, do que o próprio setor aéreo.

Durante a 77ª Assembleia Geral Anual da IATA, realizada na cidade de Boston, em 04 de outubro de 2021, foi aprovada uma resolução para que o setor de transporte aéreo, em apoio ao Acordo de Paris e juntamente com o programa CORSIA, atinja zero emissões de carbono até o ano de 2050. Estipula-se que para tal cenário, 65% do carbono seja eliminado através da utilização do SAF, 13% sejam eliminados através de novas tecnologias de propulsão, como o hidrogênio, e 3% com melhorias de eficiência. O restante do que é emitido, poderá ser resolvido com a captura e armazenamento, cerca de 11%, e com compensações, cerca de 8%.

A resolução exige que os grupos envolvidos no setor aéreo se comprometam a abordar o impacto ambiental de seus produtos, suas políticas e atividades com ações concretas e prazos claros, incluindo: Empresas produtoras de SAF trazendo o mesmo para o mercado em grande escala e por valores competitivos, governos e provedores de serviços de navegação aérea melhorando a infraestrutura e gestão do espaço aéreo, fabricantes de aeronaves e motores produzindo tecnologias de estrutura e propulsão mais eficientes, e operadores aeroportuários fornecendo estrutura necessária para fornecer o SAF.

Segundo Willie Walsh (2021), diretor geral da IATA, o SAF promoverá a maior parte da redução das emissões globais da aviação em 2050, sendo assim metas com relação ao SAF foram estipuladas, para que se alcance os 65% da eliminação de carbono com este. Em 2025, a produção do SAF deve chegar em 7,9 bilhões de litros (2% do total necessário), em 2030, a produção deve atingir 23 bilhões de litros (5,2% do total necessário), em 2035, a produção deve atingir 91 bilhões de litros (17% do total necessário), em 2040, a produção deve atingir 229 bilhões de litros (39% do total necessário), em 2045, 346 bilhões de litros devem ser produzidos (54% do total necessário) e em 2050 se atinge o valor de 449 bilhões de litros produzidos (65% do total necessário).

No Brasil, a ANAC, em 2019, criou o programa Aeroportos Sustentáveis, um programa de incentivo não regulatório, o qual visa acompanhar o desenvolvimento da gestão ambiental nos aeroportos, visando disseminar iniciativas sustentáveis adotadas pelos operadores aeroportuários, com a finalidade de promover a redução dos impactos causados pela aviação civil, no meio ambiente, implementando também no ano de 2022, o RBAC 38, que estabelece os requisitos relativos a emissões de CO₂ de aviões.

2.4 COMBUSTÍVEIS SUSTENTÁVEIS DE AVIAÇÃO

Ao se iniciar estudos sobre a viabilidade técnica na utilização de outras fontes de energia na aviação, foi reconhecida a importância da pesquisa e desenvolvimento de combustíveis alternativos que pudessem viabilizar as operações aéreas com menor impacto ambiental (ICAO, 2022). Os combustíveis sustentáveis de aviação, ou, sustainable aviation fuel (SAF), termo utilizado para descrever um combustível de aviação originário de fontes sustentáveis e renováveis, emergiram como a principal alternativa viável e promissora, sendo uma resposta essencial à crescente preocupação ambiental para reduzir as emissões de GEE da aviação, um dos setores mais desafiadores em termos de mitigação das mudanças climáticas, fazendo também com que o setor seja menos dependente dos atuais combustíveis fósseis.

A IATA, descreve que o SAF, deve consistir em três elementos chave, a sustentabilidade, considerando como fonte recursos sustentáveis e renováveis, visando evitar o esgotamento dos recursos naturais, a matéria prima alternativa ao petróleo bruto, incluindo qualquer material ou substância que possam ser usados como combustíveis de origem não convencional, e os requisitos técnicos e de certificação, para o uso em aeronaves comerciais (IATA,2022), que são estipulados pela ICAO, através dos SARPs do programa CORSIA.

O SAF, é um produto *drop-in*, ou seja, suas moléculas são idênticas com relação aos combustíveis fósseis, porém são derivados de biomassa, resíduos orgânicos e agrícolas, hidrogênio e até mesmo do CO₂, fazendo com sua pegada de carbono seja até 80% menor em relação aos combustíveis derivados do petróleo (Machado, 2023). O fator *drop-in* é importante, garantindo que os fabricantes de aeronaves em motores, não precisem redesenhar seus projetos para adequações, pois o SAF pode ser misturado com o combustível tradicional, e que os aeroportos não precisem construir novos sistemas de entrega de combustível, o que pode ser necessário com a utilização de outras fontes de combustíveis, como somente o hidrogênio, ou a elétrica (IATA, 2021). A quantidade de determinado tipo de SAF, que pode ser misturado junto ao combustível tradicional, é definida pela ASTM International, uma associação de normas de consenso internacional, sem fins lucrativos, que coleta, padroniza e dissemina informações técnicas.

2.5 TIPOS DE SAF

2.5.1 Hefa

Hydrotreated Esters and Fatty Acids, ou Ésteres e Ácidos Graxos Hidroprocessados, é a rota de SAF, certificada em 2011 pela ASTM, que utiliza em sua produção óleos e gorduras naturais como matéria prima, tanto de fontes animais, como de fontes vegetais, para a produção de bioquerosene de aviação. Por meio de um processo chamado de hidrogenação, o hidrogênio e outras moléculas indesejáveis são retiradas das matérias-primas, sendo transformadas em hidrocarbonetos. Estes por sua vez, são quebrados e isomerizados, possibilitando a sua mistura com os combustíveis convencionais de aviação, sendo limitada a 50% (PROQR, 2022). Este processo demanda grande quantidade de hidrogênio, o qual, geralmente possui origem fóssil, fazendo com que esta rota demande uma maior pegada de carbono para a sua produção (Roitman, 2018).

O HEFA pode ser produzido a partir de diversas e diferentes matérias primas disponíveis, sendo considerada a rota com maior potencial para produção em larga escala a nível mundial, tendo em vista a consolidação de seu mercado e menor custo de produção e tecnológico, no entanto, mesmo possuindo alta eficiência na questão da sustentabilidade, o custo de produção e operacionalização é alto, não apresentando preços competitivos quando comparado ao combustível convencional de aviação, tornando este menos viável economicamente (Escalante et al, 2022).

2.5.2 Spk-Hc-Hefa

Synthesised paraffinic kerosene from hydrocarbon-hydroprocessed esters and fatty acids, ou querosene parafínico sintetizado por hidrocarbonetos bioderivados, ácidos graxos e ésteres hidroprocessados, é a rota propõe o desenvolvimento de biocombustíveis de aviação por meio de algas, desenvolvida pela IHI Corporation em cooperação com a Kobe University, e a New Energy and Industrial Technology Development Organization (PROQR, 2022).

A tecnologia visa a produção de microalgas em larga escala, que poderiam prover óleo para a produção de biocombustíveis, no entanto o produto ainda se encontra em fases de estudos na cadeia de produção e demonstrações em voos comerciais (PROQR, 2022).

Os maiores desafios desta rota estão relacionados as emissões de CO₂, pois ainda estando em fases de estudos, não se sabe ao certo o quando ela ajudará na diminuição deste, e ao cultivo das algas, no que diz a respeito à estabilidade e produção destas em longo prazo, pois a produção de algas demanda altos níveis de consumo de energético, que podem ser facilmente revertidos em altas emissões de GEE, se não forem utilizadas fontes energéticas sustentáveis (Humphris-Bach et al, 2020).

2.5.3 Ft-Spk

A rota Fischer-Tropsch synthesised paraffinic kerosene, ou querosene parafínico sintetizado por Fischer-Tropsch, utiliza biomassa provinda de resíduos urbanos, agrícolas e florestais, ou de fontes de energia não renováveis, como carvão e gás natural, para a conversão em um gás de síntese. Durante a produção, a matéria-prima é gaseificada e transformada em monóxido de carbono e hidrogênio, em seguida uma reação de síntese de Fischer-Tropsch, converte o gás em combustível de aviação idênticos ao de origem fóssil (Machado, 2023). A rota FT-SDPK, possui um limite 50% de mistura, mas é possível utilizar o processo para substituir 100% do combustível de origem fóssil (Roitman, 2018). Com base nas experiências de plantas piloto, Schmidt et al. (2018), afirma que as principais tecnologias Power to Liquid (PtL), o qual é obtido pelo FT, já poderia ser transformada em escala industrial, e que o PtL, pode encontrar futura demanda expressiva, considerando a sua oferta com benefícios em termos de diminuição de recursos como terra e água, e emissões de gases GEE.

2.5.4 Ft/A

Fischer-Tropsch synthesised paraffinic kerosene with aromatics, ou querosene parafínico sintetizado por Fischer-Tropsch com aromáticos. Esta rota que utiliza as mesmas matérias primas e métodos de produção da rota Ft-SPk, porém após este processo há também a alquilação de aromáticos leves a fim de produzir uma mistura de hidrocarbonetos que previnem o vazamento de combustível (Roitman, 2018). Rota certificada desde 2015, e possui limite de mistura de 50% (PROQR, 2022).

2.5.5 Hfs-Sip

Hydroprocessed fermented sugars to synthetic iso-parafins, ou isso-parafinas sintetizadas por hidroprocessamento de açúcares fermentados, é a rota que utiliza açúcares como matéria prima. Através da utilização de leveduras modificadas geneticamente, os açúcares são fermentados e moléculas de hidrocarbonetos são produzidas. Após o hidroprocessamento, as moléculas denominadas farneseno podem ser agregadas ao combustível de aviação (Roitman, 2018). Foi certificada em 2014, e possui um limite de mistura de 10% (PROQR, 2022).

2.5.6 Atj

Rota Alcohol to Jet, ou querosene parafínico sintetizado a partir de álcoois, é a que utiliza amidos, açúcares e biomassa celulósica como matérias-primas. Através do processo de desidratação, oligomerização e hidrogenação de substâncias que contém álcoois, se produz um combustível de aviação hidrocarbônico (Roitman, 2018). Apesar de existirem outros álcoois viáveis para o processo, o etanol pode tornar-se viável como biocombustível pela rota Atj, através de processos de transformação e aprimoramento de sua estrutura molecular, todavia o mercado para essa rota se encontra em fase de desenvolvimento, e o maior desafio está na competitividade em relação aos combustíveis fósseis, pois o processo de transformação do etanol em combustível de aviação ainda requer alto custo, relacionado a tecnologia, logística e matéria-prima (Escalante et al., 2022). A rota Atj foi certificada em 2016, com limite de mistura de 30% (PROQR, 2022).

2.5.7 Chj

Catalytic hydrothermolysis jet fuel, ou hidrotermólise catalítica, aprovada em 2020 pela ASTM (PROQR, 2022), a Chj é a rota que utiliza óleos vegetais ou residuais para a produção de biocombustíveis de aviação. Após a limpeza e filtragem, os óleos e gorduras passar por um processo de hidrotermólise, aonde são combinados à água e levados a condições de alta temperatura e pressão. Após, a mistura resultante é quebrada e isomerizada (Pavlenko; Searle, 2021). Ainda, segundo Pavlenko e Searle (2021), esta rota pode ser realizada em refinarias de

petróleo, com a expectativa de uma alta redução das emissões de GEE. De acordo com a sua fabricante, Applied Research Associates, a Chj tem potencial para reduzir em 80% as emissões de GEE, podendo substituir os combustíveis fósseis sem mistura, visto que possui a mesma densidade destes (ARA, 2021).

2.6 BENEFÍCIOS PROVENIENTES DA UTILIZAÇÃO DO SAF

Diante do desafio ambiental para a redução dos GEE, em que a aviação está inserida, o desenvolvimento e a adoção do SAF como fonte energética, é o principal fator para se obter o êxito no alcance das metas estipuladas pelos programas voltados para a mitigação da emissão dos gases poluentes produzidos pelo setor aeronáutico. Ainda assim, o SAF não engloba somente este, mas como também abrange diversos outros setores que estão envolvidos neste contexto, desde os produtores dos diferentes tipos matérias-primas, pesquisadores e produtores de SAF, empresas aéreas, e até a sociedade em geral, que podem se beneficiar com a sua utilização, que já gera, e irá gerar cada vez mais benefícios, tais como:

- Redução das emissões de GEE: Como já abordado anteriormente, a utilização do SAF no setor aeronáutico, tem como principal objetivo reduzir as emissões dos GEE, sendo demonstrado que o mesmo pode proporcionar uma redução de até 80% em alguns casos (IATA, s.d), impactando diretamente no efeito estufa e melhorando a qualidade do ar, fundamental para a preservação de espécies e ecossistemas. Esta redução, não ocorre somente com a utilização propriamente dita do SAF, mas a depender da matéria prima utilizada para a fabricação do mesmo, no caso de matérias-primas verdes, ela se inicia no processo de produção das mesmas, visto que estas absorvem o CO₂ durante o seu crescimento (Chooose, 2023).
- Diversificação de fontes de energia: A produção de SAF, permite a diversificação da matriz energética da aviação, reduzindo a dependência em relação ao petróleo, que é um recurso finito e contribuinte para as mudanças climáticas, aumentando a resiliência do setor em relação a flutuação dos preços e interrupções no fornecimento, podendo otimizar as operações de voo. (ICAO, s.d).
- Redução de ruído: Os motores movidos a SAF, podem produzir menos ruído em comparação com os motores convencionais utilizados em grande parte das

aeronaves na atualidade, podendo beneficiar as comunidades próximas aos aeroportos (EASA, s.d).

- Estímulo à economia rural e agrícola: Muitos dos SAF, são produzidos a partir de matérias-primas de origem agrícola, com o aumento da produção e utilização do SAF, a economia rural e agrícola pode ser impulsionada, gerando novos empregos e aumento de renda para agricultores, reduzindo a dependência de culturas destinadas a alimentação. (FAO, 2017).
- Promoção da inovação e pesquisa: A pesquisa e desenvolvimento do SAF impulsiona a inovação tecnológica com relação as pesquisas e processos de produção, criando oportunidades para o desenvolvimento de novas tecnologias e geração de empregos (McCurdy, 2021).
- Cumprimento de regulamentações ambientais: O uso do SAF ajuda as companhias aéreas a cumprir as regulamentações ambientais mais rígidas, impactando diretamente nas metas definidas de redução dos GEE (ICAO, s.d).
 - Melhoria da imagem da indústria aeronáutica: A adoção do SAF pode mostrar o compromisso da indústria aeronáutica, melhorando sua imagem perante a população, mostrando compromisso com a sustentabilidade e a redução dos GEE, podendo atrair mais passageiros e investidores preocupados com o meio ambiente (World Economic Forum, 2020).

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho científico teve como objetivo identificar os diferentes tipos de benefícios que podem ser obtidos através da utilização dos combustíveis sustentáveis de aviação. Para tal, foi realizada uma pesquisa exploratória, com a utilização de métodos bibliográficos e documentais.

Quando se falam em mudanças climáticas e impactos ambientais causados por estas, pode-se verificar que a diminuição na emissão dos GEE, é urgente, e que o setor aeronáutico tem grande importância, sendo um setor vital para a economia global, com projeções de constante crescimento, ainda dependente dos combustíveis fósseis, possui metas de redução de GEE, que irão impactar de forma significativa o meio ambiente.

Conforme abordado no item 2.3, pode-se verificar que grande parte desta redução de GEE, cerca de 65%, serão obtidas pela utilização do SAF como fonte de energia, tornando-o extremamente necessário.

A utilização do SAF, não somente impactará de forma direta na diminuição da poluição e no efeito estufa, como também será responsável por uma série de outros benefícios. Este, tornará o setor aeroespacial menos dependente dos combustíveis fósseis, ampliando e diversificando a sua matriz energética, promoverá estímulos para a economia, através da geração novos empregos, e para a ciência, nas pesquisas, desenvolvimento e fabricação dos atuais e novos tipos de SAF, assim como nas pesquisas e desenvolvimento de novas tecnologias e aeronaves, mais potentes e econômicas, melhorando a imagem da aviação para os seus usuários e investidores.

Porém há um longo caminho a ser percorrido, apesar de alguns voos já terem utilizado o SAF como combustível, pode-se verificar nas pesquisas realizadas, que o setor de aviação ainda não é capaz de produzir as quantidades requeridas para suprir as operações de voo, e realizar a troca dos combustíveis fósseis puros por este, muito devido à problemas econômicos, pois sua produção ainda é cara, tornando-a limitada, fazendo com que o SAF, seja mais caro que os combustíveis utilizados na atualidade, como o QAV e AVGAS.

Assim, solucionar os problemas existentes, é imprescindível, para que a aviação alcance as metas estipuladas, se torne e continue crescendo de forma sustentável.

O presente trabalho, não esgota as pesquisas sobre este tema. Estudos futuros podem ser realizados, e o mesmo visa contribuir com estes, ampliando e aprofundando o conhecimento na área, para que as metas definidas sejam alcançadas, tornando a aviação um setor sustentável, responsável por não emitir GEE na atmosfera.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA (org.). **World Energy Outlook**. 2021. Disponível em: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/4ed140c1-c3f3-4fd9-acae-789a4e14a23c/WorldEnergyOutlook2021.pdf>. Acesso em: 23 ago. 2023.

ANAC. **Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation**. 2019. Disponível em <https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/meio-ambiente/corsia>. Acesso em: 31 set. 2023.

ANAC. **Regulamento Brasileiro da Aviação Civil RBAC Nº 38**. 2022. Disponível em: <https://anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-38>. Acesso em: 31 set. 2023.

APPLIED RESEARCH ASSOCIATES (ARA). **ReadiJet - ARA's History-Making Sustainable Aviation Fuel (SAF) Technology**. 2021. Disponível em: <https://www.ara.com/products/readijet/>. Acesso em: 20 out. 2023.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO (org.). **Combustíveis Sustentáveis de Aviação no Brasil: Panorama e Perspectivas**. 2021. Elaborado por Ricardo Dupont. Disponível em: https://www.bndes.gov.br/wps/wcm/connect/site/d26fc12f-8cab-4acf-a200-5c4790cb3cd1/RICARDO+DUPONT_ANAC_SAF+webina_rio+BNDES+29_11_21.pdf?MOD=AJPERES&CVID=nSh2gzA. Acesso em: 26 ago. 2023.

BATISTA, Carolina. **Atmosfera terrestre**. Toda Matéria, [s.d.]. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/atmosfera-terrestre/>. Acesso em: 25 ago. 2023

BOEING. **Combustíveis sustentáveis de aviação**. [s.d.]. Disponível em: <https://www.boeing.com.br/sustentabilidade/combustivel-sustent%C3%A1vel.page?>. Acesso em: 16 dez. 2023.

BRAUN-UNKHOFF, Marina; RIEDEL, Uwe. Alternative fuels in aviation. **Aeronautical Journal**, [S.L.], v. 6, n. 1, p. 83-93, 2 set. 2014. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s13272-014-0131-2>. Acesso em: 27 ago. 2023.

CONSELHO EMPRESARIAL BRASILEIRO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (CEBDS). **O que é o Acordo de Paris?** 2019. Disponível em: <https://cebds.org/noticia/o-que-e-o-acordo-de-paris/>. Acesso em: 17 dez. 2023.

CHOOOSE. **The science of SAF: reducing carbon emissions with sustainable aviation fuel**. 2023. Disponível em: <https://www.chooose.today/insights/reducing-carbon-emissions-sustainable-aviation-fuel>. Acesso em: 01 nov. 2023.

CROSTHWAITE, Anne Marie. **Combustível de aviação sustentável: por que é importante e como você pode ajudar**. 2021. Disponível em: <https://www.skyscanner.com.br/noticias/tudo-o-que-voce-precisa-saber-sobre-combustivel-de-aviacao-sustentavel>. Acesso em: 02 out. 2023.

ESCALANTE, Edwin Santiago Rios; RAMOS, Luth Silva; CORONADO, Christian J. Rodriguez; CARVALHO JÚNIOR, João Andrade de. **Evaluation of the potential feedstock for biojet fuel production: focus in the brazilian context. Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [S.L.], v. 153, p. 111716, jan. 2022. Elsevier BV.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2021.111716>. Acesso em: 17 out. 2023.

EUROPEAN AVIATION SAFETY AGENCY (EASA). **Clean Sky**. [s.d.]. Disponível em: <https://www.easa.europa.eu/eco/eaer/topics/technology-and-design/clean-sky>. Acesso em: 02 nov. 2023.

FILIPPE, Marina. **Viajar de avião pode ser sustentável? Com novo combustível, companhias aéreas esperam que sim**. 2023. Disponível em: <https://exame.com/esg/viajar-de-aviao-pode-ser-sustentavel-com-novo-combustivel-companhias-aereas-esperam-que-sim/>. Acesso em: 16 dez. 2023.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Evaluation of the Financial Support by the World Bank Group with the Development Grant Facility to Support the “Partnership for Agricultural Market Information System (AMIS)**. 2017. Disponível em:

<https://www.fao.org/3/i8761en/I8761EN.pdf>. Acesso em: 02 nov. 2023.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

HUMPHRIS-BACH, Alexandra. **Advanced Fuels Fund Launch Event**. 2022. Disponível em: www.ricardo.com/media/2hohszml/aff-launch-event-presentation.pdf. Acesso em: 17 out. 2023.

HUQ, Nabila A.; HAFENSTINE, Glenn R.; HUO, Xiangchen; NGUYEN, Hannah; TIFFT, Stephen M.; CONKLIN, Davis R.; STÜCK, Daniela; STUNKEL, Jim; YANG, Zhibin; HEYNE, Joshua S.. Toward net-zero sustainable aviation fuel with wet waste-derived volatile fatty acids. **Proceedings Of The National Academy Of Sciences**, [S.L.], v. 118, n. 13, p. 1-11, 15 mar. 2021. Proceedings of the National Academy of Sciences. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.2023008118>. Aceso em 25 ago. 2023.

INTERNATIONAL AIR TRANSPORT ASSOCIATION (IATA). **What is SAF?** [s.d.]. Disponível em: <https://www.iata.org/contentassets/d13875e9ed784f75bac90f000760e998/saf-what-is-saf.pdf>. Acesso em: 02 nov. 2023.

INTERNATIONAL AIR TRANSPORT ASSOCIATION (IATA). **Resolution on the industry's commitment to reach zero carbon emissions by 2050**. 2021. Disponível em: <https://www.iata.org/contentassets/dcd25da635cd4c3697b5d0d8ae32e159/iata-agm-resolution-on-net-zero-carbon-emissions.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2023.

INTERNATIONAL AIR TRANSPORT ASSOCIATION (IATA). **Zero emissão líquida de carbono até 2050**: Press Release No.66. 2021. Disponível em: [/https://www.iata.org/contentassets/dcd25da635cd4c3697b5d0d8ae32e159/2021-10-04-03-pt.pdf](https://www.iata.org/contentassets/dcd25da635cd4c3697b5d0d8ae32e159/2021-10-04-03-pt.pdf). Acesso em: 30 ago. 2023.

INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION (ICAO). **Environmental Protection**. Disponível em: <https://www.icao.int/environmentalprotection/Pages/default.aspx>. Acesso em: 05 set. 2023

INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION (ICAO). **Market-Based Measures**. [s.d.]. Disponível em: https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/market-based-measures_old.aspx. Acesso em: 01 nov. 2023.

INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION (ICAO). **Sustainable Alternative Fuels**. Disponível em: https://www.icao.int/environmentalprotection/Documents/EnvironmentalReports/2016/ENVR_eport2016_pg15. Acesso em: 05 set. 2023

INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION (ICAO). **Sustainable Aviation Fuels**. [s.d.]. Disponível em: <https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/SAF.aspx>. Acesso em: 6 set. 2023.

IHI CORPORATION. **Bio-jet Fuel Manufactured from Microalgae Receives ASTM International Standard Certification -Contributing to the reduction of CO2 emissions from aircraft**. 2020. Disponível em: https://www.ihico.jp/en/all_news/2020/other/1196667_2042.html. Acesso em: 17 out. 2023.

MACHADO, Nayara. **O que é SAF? Conheça as diferentes rotas de combustível sustentável de aviação**. 2023. Disponível em: <https://epbr.com.br/o-que-e-saf-conheca-as-diferentes-rotas-de-combustivel-sustentavel-de-aviacao/#:~:text=Os%20combust%C3%ADveis%20sustent%C3%A1veis%20de%20avia%C3%A7%C3%A3o,rela%C3%A7%C3%A3o%20ao%20similar%20de%20petr%C3%B3leo>. Acesso em: 08 set. 2023.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MCCURDY, Mike. **The nature of the decarbonization problem, and the opportunity for SAF**. 2021. Disponível em: <https://www.icf.com/insights/transportation/sustainable-aviation-fuels-environmental-impact-flying>. Acesso em: 01 nov. 2023.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Acordo de Paris**. [s.d.]. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris.html>. Acesso em: 26 ago. 2023.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA TECNOLOGIA INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES (MCTIC). **Acordo de Paris**. [s.d.]. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/acordo-de-paris-e-ndc/arquivos/pdf/acordo_paris.pdf. Acesso em: 17 dez. 2023.

MÓNICO, Luisa; RINCÓN, Estefanía; VEGA, Cristian Manuel Manrique. Combustibles alternativos en el transporte aéreo nacional. **Ciencia y Poder Aéreo**, [S.L.], v. 15, n. 2, p. 68-76, 11 nov. 2020. Escuela de Posgrados FAC. <http://dx.doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.643>. Acesso em 28 ago 2023.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. (org.). **Acordo de Paris sobre o Clima**. 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/88191-acordo-de-paris-sobre-o-clima>. Acesso em: 26 ago. 2023.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. (org.). **Causas e Efeitos das Mudanças Climáticas**. 2023. Disponível em: <https://www.un.org/pt/climatechange/science/causes-effects-climate-change>. Acesso em: 08 set. 2023.

PAVLENKO, Nikita; SEARLE, Stephanie. **Assessing the Sustainability Implications of Alternative Aviation Fuels**. 2021. Disponível em: <https://theicct.org/publication/assessing-the-sustainability-implications-of-alternative-aviation-fuels/>. Acesso em: 20 out. 2023.

PROQR. **Governança e Políticas Públicas de Incentivo à Produção de Combustíveis Sustentáveis de Aviação**. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/mme-e-giz-lancam-estudo-201cgovernanca-e-politicas-publicas-de-incentivo-a-producao-de-combustivel-sustentavel-de-aviacao201d/estudo1probioqavmmeproqrgizgovernancapoliticassaficial1.pdf>. Acesso em: 10 out. 2023.

ROITMAN, Tamar. **PERSPECTIVAS E PROPOSTAS DE INSERÇÃO DE BIOQUEROSENE DE AVIAÇÃO NO TRANSPORTE AÉREO DE PASSAGEIROS NO BRASIL**. 2018. Disponível em: http://www.ppe.ufrj.br/images/publicações/mestrado/Tamar_Roitman._MESTRADO-2018.pdf. Acesso em: 15 out. 2023.

SCHMIDT, Patrick. **Power-to-Liquids as Renewable Fuel Option for Aviation: A Review**. 2018. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/cite.201700129>. Acesso em: 18 out. 2023.

TEIXEIRA, Mateus da Silva. **Composição e Estrutura da Atmosfera**. 2020. Disponível em: https://wp.ufpel.edu.br/mateusteixeira/files/2020/03/IFA_Unidade_1.pdf. Acesso em: 28 ago. 2023.

WILSON, Jessica; LAW, Stephen. **Um Breve Guia sobre Aquecimento Global**. 2010. Disponível em: https://funag.gov.br/loja/download/651-Um_Breve_Guia_sobre_aquecimento_Global.pdf. Acesso em: 27 ago.2023

WORLD ECONOMIC FORUM. **Clean Skies for Tomorrow Sustainable Aviation Fuels as a Pathway to Net-Zero Aviation**. 2020. Disponível em: https://www3.weforum.org/docs/WEF_Clean_Skies_Tomorrow_SAF_Analytics_2020.pdf. Acesso em: 03 nov. 2023.

WORD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. (org.). **WMO Global Annual to Decadal Climate**. [s.d]. Update. 2023. Disponível em: <https://library.wmo.int/records/item/66224-wmo-global-annual-to-decadal-climate-update>. Acesso em: 27 ago. 2023.

WORD WIDE FUND FOR NATURE (org.). **As Mudanças Climáticas**, [s.d.]. Disponível em: https://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/reducao_de_impactos2/clima/mudancas_climaticas2/. Acesso em: 28 ago. 2023.