GESTÃO ENERGÉTICA SUSTENTÁVEL: NOVOS COMBUSTÍVEIS PARA A AVIAÇÃO E ESTRUTURAS DE SUPORTE

Leandro José Casas[1]
Jairo Afonso Henkes[2]

RESUMO

A operação da aviação civil atualmente ocorre utilizando combustíveis fósseis. Porém, esses combustíveis fósseis provêm de uma fonte esgotável, o petróleo. Logo, existe a necessidade de criar um substituto viável economicamente, sustentável, e que diminua os impactos ambientais causados pela utilização dos atuais tipos de combustíveis usados na aviação. Este trabalho teve como principal objetivo, investigar o que foi feito na aviação referente a preparação das estruturas aeroportuárias para a vinda de novos combustíveis. Verificou como será feito o gerenciamento dessas operações e dos seus insumos. Investigou e descreveu os principais combustíveis que estão em estudo para suprir a necessidade dessa consumidora de combustíveis fósseis que é a aviação civil. Investigou como os gestores aeroportuários estão se preparando para essa nova tendência. O trabalho apresentou uma breve investigação do uso de combustíveis fosseis na história e o que a aviação tem como parcela de poluição com o uso desses combustíveis. Para obter os resultados, foi utilizado uma pesquisa qualitativa, descritiva, bibliográfica e documental, a fim de se obter os resultados sobre as questões levantadas e os objetivos gerais e específicos. Como resultado, pretendeu-se responder as perguntas de pesquisa que este trabalho apresentou, juntamente com a meta de atingir os objetivos gerais e específicos estabelecidos. A conclusão obtida com a pesquisa atendeu ao objetivo geral e aos objetivos específicos propostos nesse trabalho, no qual apresentou os combustíveis em estudo para serem os substitutos dos combustíveis fósseis, e colocando o SAF como tendência a ser o substituto ideal. Apresentou as possíveis medidas que terão que ser tomadas nos sítios aeroportuários caso o SAF se torne realidade, e como as empresas fornecedoras estão se preparando para a vinda desse novo combustível.

Palavras-chave: Combustíveis; Estruturas; Futuro; Aviação.

[1] Graduando no Curso Superior de Tecnologia em Transporte Aéreo. AEROTD. E-mail: leandrojosecasas@gmail.com

[2] 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

SUSTAINABLE ENERGY MANAGEMENT: NEW FUELS FOR AVIATION AND SUPPORT STRUCTURE

ABSTRACT

Civil aviation currently operates using fossil fuels. However, these fossil fuels come from an exhaustible source, oil. Therefore, there is a need to create an economically viable, sustainable substitute that reduces the environmental impacts caused by the use of current types of fuels used in aviation. This work's main objective was to investigate what was done in aviation regarding the preparation of airport structures for the arrival of new fuels. Verified how these operations and their inputs will be managed. Investigated and described the main fuels that are being studied to meet the need for this consumer of fossil fuels that is civil aviation. Investigated how airport managers are preparing for this new trend. The work presented a brief investigation of the use of fossil fuels in history and the share of pollution that aviation has with the use of these fuels. To obtain the results, qualitative, descriptive, bibliographic and documentary research was used, in order to obtain results on the questions raised and the general and specific objectives. As a result, the aim was to answer the research questions that this work presented, together with the goal of achieving the general and specific objectives established. The conclusion obtained from the research met the general objective and the specific objectives proposed in this work, in which the fuels under study were presented to be substitutes for fossil fuels, and placing SAF as a tendency to be the ideal substitute. He presented the possible measures that will have to be taken at airport sites if SAF becomes a reality, and how supplier companies are preparing for the arrival of this new fuel.

Keywords: *Fuels; Structures; Future; Aviation.*

1 INTRODUÇÃO

A aviação comercial atualmente utiliza combustíveis fósseis, recursos naturais não renováveis. Com a ampliação da aviação civil e do transporte aéreo,

cada vez mais são demandados volumes de combustíveis. Como os combustíveis utilizados na aviação são praticamente todos originários do petróleo, existe a necessidade de se desenvolver pesquisas sobre novos combustíveis, preferencialmente renováveis, para alimentar a frota de aeronaves em circulação.

O presente trabalho desenvolveu uma investigação sobre quais medidas estão sendo adotadas para o uso de um novo combustível para a aviação. São descritos alguns dos combustíveis em estudo para a aviação civil, objetivando a sustentabilidade econômica e ambiental.

1.1 Contextualização do problema

Atualmente, existem os impactos ambientais causados pela aviação. Onde são construídos os sítios aeroportuários, ocorre modificações locais que:

> [...] acontecem os impactos relacionados às instalações aeroportuárias e às atividades ali empreendidas, com afetação direta ao meio ambiente local e adjacente e indireta ao ambiente macro. Já no ar, a poluição sonora causada pelas aeronaves é a maior causa de impacto ambiental, seguida da emissão de gases na atmosfera (AMARAL, 2021, p. 10).

Revista Brasileira de Aviação Civil & Ciências Aeronáuticas

A aviação tem uma parcela para o agravamento do efeito estufa no planeta. Dando embasamento a isso:

ISSN 2763-7697

> [...]Stefan Gössling, diz que a contribuição da aviação para o efeito estufa é, pelo menos, duas vezes maior, chegando a 5%, quando levado em consideração não apenas o efeito isolado do CO2. Não obstante, o grupo ambiental Germanwatch realizou alguns anos atrás um cálculo a fim de demonstrar quanto uma única pessoa emite de CO2 em um voo entre a Alemanha e o Caribe. O resultado mostrou que o passageiro impacta o meio ambiente com quatro toneladas métricas de dióxido de carbono, o que corresponde ao volume produzido em média por 80 residentes da Tanzânia (SULLIVAN, 2018, *apud* FENATO, 2022, p. 11-12).

Através de pesquisas, nota-se que a busca por novos combustíveis para a aviação vem crescendo gradativamente. Segundo Basseto (2022, *apud* FENATO, 2022, p. 14), “Visando essa nova era da aviação, em que os voos serão zero emissões de carbono, não só será necessária uma mudança de combustível, como também nos motores que equiparão os futuros aviões [...]”. Porém, para tornar a

utilização de um novo combustível na aviação uma realidade, uma série de modificações técnicas tanto nas aeronaves, quanto na estrutura aeroportuária serão necessárias. E visando isso, esse trabalho buscou investigar os combustíveis alternativos e o que está sendo preparado para vinda do futuro combustível sustentável na aviação.

1.1.1 Pergunta de Pesquisa

Qual a estrutura e logística necessárias para que companhias aéreas e empresas possam gerenciar novos combustíveis para a aviação?

1.2 OBJETIVO GERAL

Verificar como as atuais estruturas aeroportuárias estão se preparando para o manuseio e gerenciamento de novos combustíveis para a aviação.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Apresentar as tendências de novos combustíveis para a aviação civil.
- Investigar e descrever como os gestores aeroportuários e das companhias aéreas estão se preparando para os suprimentos dos novos combustíveis.

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

1.4 JUSTIFICATIVA

Existe uma busca por combustíveis renováveis e que substituam os combustíveis fósseis, pois as fontes de combustíveis fosseis um dia acabarão. Desde quando foi descoberto o petróleo, no final do século XIX, seu uso e consumo foram de forma abundante. Porém, desde a década de 70, quando se descobriu que ele é uma fonte esgotável, os preços dos barris sempre sofreram grandes aumentos e oscilações. E a estimativa é que ele se esgote em 70 anos, forçando ainda mais essa busca por fontes renováveis (FREITAS, 2022).

Atualmente, os combustíveis mais utilizados na aviação são de origens fosseis: *AVGAS (Aviation gas)* e o *QAV* (querosene de aviação). Segundo a ANAC (2019), cerca de 6 bilhões de toneladas desses combustíveis são usados no Brasil por ano. E os preços desses combustíveis sofrem bastante flutuação devido a variação do barril de petróleo, além de outros efeitos como a variação da moeda, efeitos políticos e econômicos. E agravando o preço, tende-se que os combustíveis aumentem no mesmo ritmo que as reservas de petróleo forem diminuindo (STAHLHOEFER, 2021).

Os dados apontam que, a aviação é responsável por cerca de 2,1% de toda a emissão de CO2 produzido pelo homem, que é o principal gás do efeito estufa (ATAG, 2022). Tendo em vista isso entre outros fatores, a comunidade da aviação estabeleceu metas para redução das emissões de dióxido de carbono, com fins de sustentabilidade, principalmente o incentivo ao uso de combustíveis sustentáveis, de modo que sejam eficientes, vantajosos, tanto do ponto de vista social, econômico e ambiental (ANAC, 2019).

1.5 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO

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

Este trabalho de Conclusão de Curso (TCC) se delimitou em fazer a análise sobre as tendências de novos combustíveis a aviação e o que as estruturas aeroportuárias estão fazendo para se preparar para o futuro. Foi pesquisado aeroportos do grupo 4, das regiões sul e sudeste do Brasil.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esse capítulo do trabalho vem dar sustentabilidade e uma introdução do que se trata a pesquisa. Abordou-se sobre a origem do petróleo, a evolução dos combustíveis fósseis na aviação, emissão da aviação com o uso dos combustíveis fósseis e os combustíveis alternativos para os derivados do petróleo.

2.1 A ORIGEM DO PETRÓLEO

A descoberta do petróleo e seu uso datam desde os tempos da antiga babilônia para uso em asfaltos e betumes. Os egípcios também possuem registros no embalsamento de corpos e na construção das pirâmides. Gregos e romanos usavam para fins bélicos. Entre outras civilizações que durante toda a história usaram para os mais diversos fins. Ele era extraído de exsudações naturais em todos os continentes (THOMAS, 2001).

O marco de início da era do petróleo data de 1859 quando teve início a exploração do petróleo nos Estados Unidos. Cel. Drake em Tittusville, Pensilvânia perfurou com sistema movido a vapor, um poço de 21 metros que produzia 2 m^3/dia de óleo. Descobriu-se então que, após seu processo de destilação, era possível obter produtos que substituíam, por exemplo, o óleo de baleia usada na iluminação pública. Posteriormente, outros derivados deram origens aos motores a diesel e a gasolina (THOMAS, 2001).

Outro evento importante foi o início da perfuração rotativa, em 1900, quando no Texas, foi encontrado óleo por Anthony Lucas, a uma profundidade de 354 metros. Com o passar dos tempos, o aumento expressivo das perfurações em diversos países, a busca pelo petróleo, as melhorias das técnicas de perfuração, e os avanços com incursões marítimas, criaram um cenário geopolítico um pouco diferente. Antes, os Estados Unidos possuíam a maior parte da produção mundial, mas com esse novo cenário, já começa a se afirmar um polo produtor potencialmente forte no hemisfério oriental (THOMAS, 2001).

Na década de 60, a grande quantidade do petróleo desencadeia um consumo desenfreado, estimulado pelo seu baixo preço de mercado. E desde então, os avanços tecnológicos, as formas de captação adaptadas, as novas profundidades de captação alcançadas estimularam a diversidade do seu uso. Além de fonte de energia, com os avanços da petroquímica, seus derivados e dezenas de novos compostos passaram a ser utilizados em nosso dia a dia, como plásticos, borrachas, corantes, detergentes, tintas, produtos farmacêuticos. E um dos principais usos de seus derivados, é como combustível (THOMAS, 2001).

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

2.2 A EVOLUÇÃO DOS COMBUSTÍVEIS FOSSEIS NA AVIAÇÃO

Historicamente, temos como o primeiro voo homologado por uma aeronave, o voo realizado por Santos Dumont em seu projeto denominado 14-bis. Foi um voo ocorrido em 23 de outubro de 1906, em Paris, que atingiu 2 metros de altura e uma distância de 60 metros. O combustível utilizado em seu abastecimento foi a gasolina, em um motor náutico 50 cavalos (BARROS, 2006).

No início da aviação, após esse primeiro voo de Santos Dumont, o uso de motores a pistão radiais e em linha a gasolina foram os mais utilizados. Porém, com o avanço da guerra, considerando a crescente exigência do mercado aeronáutico, teve que se formular um uma gasolina diferenciada da automotiva, utilizando aditivos (CGEE, 2010).

Após a segunda guerra mundial, a turbina a gás foi aperfeiçoada e usada nas aplicações aeronáuticas, passando a utilizar-se de um novo combustível, o querosene de aviação. Tendo várias versões (jato puro, *turbofan, propfan*), motores a reação são as mais utilizadas em aeronaves atualmente (CGEE, 2010).

2.3 EMISSÕES DA AVIAÇÃO COM O USO DE COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS

Atualmente, os combustíveis mais utilizados na aviação são o *Jet Fuel* e o *Avgas*, ambos derivados do petróleo, portanto combustíveis fosseis. E cada qual, tem suas vantagens e aplicações dentro da aviação. O *Avgas* é mais utilizado em motores a pistão, e evitado muito na aviação comercial por conter uma substância, tóxica e cancerígena chamada chumbo tetraetila, além de suas dificuldades de manuseio. O combustível mais usado é o querosene de aviação (*Jet Fuel)*, utilizado nas aeronaves de motores a reação, que além de ter os requisitos exigidos pela Agência Nacional do Petróleo (ANP), possui ótimas características químicas, físicas e de variação de temperatura e pressão (FIGUEIREDO, 2013).

Porém, apesar do uso eficiente com aeronaves mais evoluídas tecnologicamente, com motores mais econômicos e menos poluentes consequentemente, o setor da aviação é responsável por emissões globais de gás carbônico, com perspectivas substanciais de aumentar. Existe uma estimativa que

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

no último século, a quantidade de monóxido de carbono aumentou em 25%, o que é equivalente a 270 milhões de toneladas na atmosfera, que ocasiona a dificuldade na passagem livre de calor do sol, agravando o efeito estufa. Outra estatística afirma que, a aviação colocou na atmosfera entre os anos de 1975 e 2003, cerca de 180 milhões de toneladas de CO^2. Além de outros problemas climáticos como: chuvas ácidas e névoas (FIGUEIREDO, 2013).

2.4 COMBUSTÍVEIS ALTERNATIVOS PARA OS DERIVADOS DO PETRÓLEO

O petróleo é um recurso esgotável. A quantidade utilizada atualmente é superior ao que a natureza pode produzir em milhares de anos, consequentemente tornando mais caro e escasso com o passar do tempo. Por isso, se tem trabalhado no processo de desenvolvimento e evolução de aeronaves mais aerodinâmicas e motores mais eficientes, que reflete no consumo de combustível, retardando um pouco essa escassez (FIGUEIREDO, 2013).

Com as melhorias, espera-se que os motores tenham uma melhora de 15% a 20% na sua eficiência termodinâmica, reduzindo um consumo de combustível na casa de 16% a 18%. Além de reduzir a emissão de CO^2, gera uma grande economia financeira. Quanto mais eficiente um motor, menos combustível, menos custo de operação e mais rentável uma aeronave se torna (FIGUEIREDO, 2013).

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

2.4.1 Bioquerosene

Entre as alternativas para a substituição dos combustíveis fosseis, o uso de biocombustíveis é algo viável para a aviação. As principais matérias-primas para a obtenção do bioquerosene são os óleos vegetais e matérias açucaradas, e é definido como combustível derivado de biomassa renovável destinado ao uso em turbinas de aeronaves que atendam os processos estabelecidos pela ANP (BONASSA, 2014).

Os testes desse tipo de combustível iniciaram em 2009 nos EUA e na Europa, com óleo de camelina. A Embraer fez testes para validar o bioquerosene de camelina em um motor E-170. As ambições por trás desse tipo de combustível

geram expectativas, pois prometem reduzir em 50% as emissões de dióxido de carbono sobre os níveis estimados entre 2005 até 2050 (BIODIESELBR, 2014).

2.4.2 Etanol

O etanol é uma fonte alternativa renovável, derivada da cana-de-açúcar, que além de reduzir o impacto ambiental, reduz também custos de manutenção e a melhora no desempenho geral da aeronave. A primeira aeronave a utilizar desse tipo de combustível, foi o Ipanema 202 em 2005. Em 2017, a Embraer demonstrou na Agrishow 2017, a sua mais nova versão, o Ipanema 203. Essas aeronaves possuem o seu principal uso na aviação agrícola (EMBRAER, 2017).

Apesar das vantagens, ele continua restrito a utilização na aviação agrícola por algumas razões, entre elas, a inexistência de pontos de abastecimentos nos aeroportos brasileiros (SOUZA, 2023). Uma outra desvantagem de seu uso é que o etanol é 10% mais pesado que o Avgas e possui menor densidade energética. Porém, essa diferença pode ser quebrada no poder calorífico do etanol, que é cerca de 40% inferior ao da gasolina, produzindo maior potência de saída que a gasolina (COSTA, 2011).

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

2.4.3 Avião movidos a energia elétrica

Outra viabilidade a fim de não degradar o meio ambiente e apresentar maior eficiência e economia, são os aviões movidos a energia elétrica. Os motores desses aviões seriam alimentados por baterias como fonte de alimentação. O grande desafio tem sido aumentar a capacidade de armazenamento das baterias, pois quanto maior o número de baterias necessárias, consequentemente gera o aumento o peso da aeronave (NASA, 2019).

Em contrapartida, teria grandes vantagens. Entre elas, é possível citar que se trata de um meio que não gera emissão de gases, os motores são bem mais eficientes que os motores a combustão, já que utilizam cerca de 90% da energia gerada em força útil. Vale também ressaltar que diminuiria bastante o ruído gerado

pelo modal, que é outro grande problema gerado pelos aviões atualmente (NASA, 2019).

2.4.4 Hidrogênio

Uma das principais maneiras que está sendo estudada para a substituição dos combustíveis fósseis é através do uso do hidrogênio. É o elemento mais abundante no universo, sendo necessário um processo de separação dos meios que o contêm para a sua produção. Em seu estado natural, é encontrado na forma gasosa (OLIVEIRA *et al.,* 2011).

Apesar de ser um elemento que possui grande potencial sustentável, ele possui alguns desafios para tal. Entre eles, o armazenamento do hidrogênio, pois além de ser o elemento mais leve da tabela periódica, possui o ponto de ebulição -252,87º Celsius. Ele precisa de processos de separação dos demais elementos, tais como: hidrólise, eletrólise da água e biofotólise. Também, se trata de uma substância de fácil combustão em contato com oxigênio, e em caso de alta exposição, pode causar a morte (OLIVEIRA *et al.,* 2011).

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

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Esse capítulo do trabalho apresenta a metodologia usada para realizar o trabalho. Descreveu-se tipo de pesquisa utilizada, a metodologia para realizar a pesquisa e a seleção dos materiais. Especificou-se as delimitações do grupo investigado e o tipo de análise usada para a pesquisa, para que os resultados fossem alcançados.

3.1 TIPO DE PESQUISA

A pesquisa é classificada como qualitativa, descritiva, bibliográfica e documental. Segundo Winge e Sacramento (2020), a pesquisa qualitativa se divide em dois eixos, o teórico e o argumentativo. O teórico envolve uma teoria e estudo

a fundo para poder aplicá-la em situação específica. A argumentativa analisa outros aspectos e teorias a partir da leitura de uma obra.

A pesquisa descritiva tem como uma das suas principais características, a coleta de dados, através de questionários e de observação sistemática (GIL, 2002). Nessa etapa, é feito a elaboração de perguntas com o intuito de se aprofundar se estão sendo tomadas algumas medidas para o futuro de um novo combustível, e quais são essas medidas.

Segundo Gil (2002), a pesquisa bibliográfica baseia-se em materiais elaborados, como livros e artigos científicos. E por ser dessa maneira, uma de suas grandes vantagens permite que seja investigada uma gama muito maior do que aquela que poderia pesquisar diretamente.

Para Oliveira (2007), a pesquisa documental é muito próxima da pesquisa bibliográfica. O que a difere é a natureza das fontes. Enquanto a bibliográfica possui uma análise de documentos com domínio científico, sendo um estudo direto de fontes científicas sem precisar recorrer diretamente aos fatos/fenômenos da realidade, “a documental caracteriza-se pela busca de informações em documentos que não receberam nenhum tratamento científico, como relatórios, reportagens de jornais, revistas, cartas, filmes, gravações, fotografias, entre outras matérias de divulgação” (OLIVEIRA, 2007, p. 69).

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

Na pesquisa, foram utilizadas monografias, artigos e trabalhos acadêmicos, entre outros materiais extraídos de revistas digitais de cunho científico da área de aviação e combustíveis. Criado o roteiro a ser seguido pela pesquisa, através das palavras chaves foram feitas as pesquisas, selecionando materiais datados a partir do ano de 2000.

Além da utilização de materiais mais recentes para se obter informações atualizadas da arte, outro critério usado foi a relevância dos autores nos artigos e trabalhos acadêmicos. Observado que, determinados autores eram frequentemente citados, e que suas obras apareciam em diversos trabalhos, logo a conclusão obtida era de uma fonte confiável de informação.

Outro fator determinante na seletiva dos materiais foi a relevância das instituições em que esses materiais foram publicados. As instituições de ensino

voltadas para o cunho científico da aviação apareceram com maior frequência e apresentaram uma quantidade de informações maior comparada a outras fontes de conhecimento de outras instituições.

Nos artigos científicos e monografias, as leituras dos respectivos resumos de cada trabalho foram essenciais para saber o que encontrar em cada material e o que seria útil para atingir os objetivos do trabalho. Também foram usados como fonte de pesquisa, revistas digitais da área da aviação civil e meio ambiente que possuem publicações periódicas e de autores com relevância.

Na seleção dos materiais, um dos critérios usados também foi a especificidade do tema abordado. Materiais com detalhamento e especificações possuem maiores informações e que foram usadas no trabalho.

Para iniciar a fundamentação da pesquisa, foram coletadas informações do início do uso do petróleo como insumo energético e suas diversas aplicações, um dos autores pesquisados foi Thomas (2001), este relata que os primeiros usos de petróleo registrados foram para embalsamento de corpos pelos egípcios. Seguido do seu uso para fins bélicos, até chegar ao seu uso como combustível. Encontraram-se informações das primeiras perfurações para achar petróleo até grandes perfurações e explorações em larga escala do petróleo. As palavras chaves utilizadas foram: petróleo, origem, aplicações e combustível.

Dando continuidade a fundamentação, foi feito uma cronologia datada desde o 1º voo homologado, realizado por Santos Dumont em Paris, no dia 12 de novembro de 1906, evidenciando o uso de combustíveis fosseis na aviação. E que após suas necessidades ampliadas, buscaram-se combustíveis mais eficientes para seu uso na guerra, e que futuramente sofreram novas mudanças para novos tipos de motores. Para tal levantamento de informações, o “Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE)” e o autor Barros (2006), apresentaram conteúdos fundamentais para esse embasamento científico.

Para fundamentar a justificativa do problema da pesquisa, foi realizada uma busca por dados estatísticos que, mostrassem o quão a poluição causada pelos combustíveis fósseis na aviação é prejudicial ao meio ambiente.

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

Tendo em vista os problemas que os combustíveis fósseis apresentam com seu uso em larga escala, para abastecer a imensa frota de aviões no mundo inteiro, foi verificado quais medidas e soluções com combustíveis alternativos estão sendo pesquisados e cotados como promissores substitutos dos combustíveis fósseis. Para isso, na busca do Google Acadêmico, foram utilizadas palavras chaves como: combustíveis alternativos, sustentabilidade, aviação e futuro.

Na parte de pesquisa dos combustíveis sustentáveis para substituição dos combustíveis fósseis, baseado na pesquisa de fundamentação teórica, foram utilizadas as palavras de busca: combustíveis, sustentáveis, aviação, hidrogênio, biocombustíveis, etanol, bioquerosene, solar, eólica e hidráulica. Para cada tipo de combustível, alguns autores e fontes se destacaram. Dentre eles, podem ser citados: CGEE (2010), Nova Cana (2007), Empresa de Pesquisa de Energia (EPE, 2019), Dewan (2021), etc.

Para cada combustível tendência, foram analisados vários aspectos para sua implementação, os prós, os contras e os desafios encontrados no processo. Para essa análise, foi criado um item a parte no trabalho. E entre os autores e fontes que foram usados para essa análise, os destaques foram: FAPESP (2013), CGEE (2010), Souza e Henkes (2021), Costa (2011), Oliveira *et al.* (2011), Viana (2020), Almeida (2022), Airbus (2020).

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

3.2 DEFINIÇÃO DO AMBIENTE E SUJEITOS DE PESQUISA

Para a escolha da região e aeroportos para se realizar a pesquisa, os critérios utilizados foram o fato de os aeroportos serem: internacionais, pois é onde provavelmente se iniciará as mudanças da vinda de novos combustíveis; grande movimentação anual, a classe IV de aeroportos especificada possui uma elevada movimentação de passageiros e aeronaves todos os anos; região sul e sudeste, que é onde se concentra a maior parte dessa classe de aeroportos. Foram escolhidos para a pesquisa, investigar o que está sendo realizado pelos gestores aeroportuários nas regiões sul e sudeste do Brasil, assim como as empresas envolvidas com o fornecimento dos combustíveis para a aviação e como os

aeroportos estão projetando a adaptação de suas estruturas para os novos combustíveis da aviação. Foram abordadas nesta pesquisa, empresas concessionárias de combustíveis para os aeroportos de classe IV da região sul e sudeste do Brasil.

Na pesquisa dos respectivos aeroportos que correspondem a essa classe e das regiões citadas, foi feita a busca direta no site da ANAC. E entre os aeroportos que correspondem a essas duas classificações, foram encontrados 8 aeroportos, que são respectivamente: Aeroporto Internacional Tancredo Neves (Confins, MG), Aeroporto Internacional de Curitiba Afonso Pena (Curitiba, PR), Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro – Galeão Tom Jobim (Rio de Janeiro, RJ), Aeroporto Internacional de São Paulo – Cumbica (Guarulhos, SP), Aeroporto Internacional de Viracopos (Campinas, SP), Aeroporto Internacional de Porto Alegre – Salgado Filho (Porto Alegre, RS), Aeroporto Santos Dumont (Rio de Janeiro, RJ) e Aeroporto de São Paulo (Congonhas, SP).

Na pesquisa de campo, 100% dos aeroportos foram contactados, porém 50% da amostra respondeu as indagações. Esses aeroportos são os de primeira linha entre os aeroportos nacionais.

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

3.3 PROCEDIMENTOS PARA COLETA DE DADOS

Foi realizada a pesquisa bibliográfica e documental utilizando todos os meios disponíveis na Internet e consulta a documentos físicos sobre o tema. Na pesquisa de campo, foi desenvolvido um questionário que foi aplicado na entrevista com gestores aeroportuários para verificar o atual estado da arte. Esse questionário desenvolvido de maneira pelo qual os gestores poderiam responder de forma livre, sem resposta pré-fixadas, foi enviado via e-mail para os representantes que retornaram os contatos iniciais. A pesquisa bibliográfica serviu para fundamentar e contextualizar a problemática existente.

Para encontrar os representantes aeroportuários, foram realizadas buscas na internet, nos sites de cada respectivo aeroporto, no site da ANAC, e nos números de telefone das ouvidorias de cada aeroporto, com o intuito de encontrar

pessoas que atuassem diretamente com a logística, gerenciamento e do abastecimento dos aeroportos citados. Nessa etapa do processo, houve muita dificuldade para encontrar essas pessoas. Também, o tempo de resposta de cada e-mail, telefonema ou retorno via "*Whats App*" foram demorados, dificultando assim o processo e análise da coleta de dados, logo, tiveram cenários diferentes do esperado, como algumas negativas de responder o questionário, outros com uma burocracia maior para conseguir se obter as respostas. Em alguns casos, a solicitação de ofício timbrado foi necessária. Em alguns aeroportos ainda, o contato encontrado foi após a ajuda de outras pessoas nas cidades em que esses aeroportos se localizam. O processo de coleta de dados da pesquisa em campo apresentou várias dificuldades para que se conseguisse aplicar o questionário desenvolvido.

O questionário aplicado na pesquisa de campo foi desenvolvido com o intuito principal de responder a pergunta de pesquisa apresentada neste trabalho, alcançar o objetivo geral e os objetivos específicos propostos. Logo, foi desenvolvido uma linha de raciocínio nas perguntas formuladas, para que o representante pudesse responder de maneira clara, simples e com suas palavras, a tendência de qual combustível seria, o que está sendo desenvolvido, pesquisado, e preparado como futuro combustível em cada sítio aeroportuário.

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

3.4 ANÁLISE DOS DADOS

A análise qualitativa tem menos formalidade que a quantitativa, pois dependem de muitos fatores como a extensão de amostragem, natureza dos dados coletados, instrumentos e os pressupostos teóricos. Define-se como uma sequência de atividades, com redução de dados, interpretação e redação do relatório (GIL, 2002).

Para a análise de dados, após a pesquisa de campo e retorno dos questionários e a pesquisa teórica realizada nas fontes encontradas via internet, foi verificado o estado atual da arte e qual o cenário atual. Verificou-se o que se

tem pesquisado cientificamente, os combustíveis em potencial, o que se espera e a realidade atual das estruturas dos sítios aeroportuários.

Foi realizado a análise dos dados buscando pontos em comum do grupo de amostragem da pesquisa de campo. Junto com a pesquisa bibliográfica e documental, foram cruzados os pontos onde as tendências pesquisadas e as respostas obtidas eram semelhantes. Como combustíveis encontrados nas pesquisas, foram vistos o etanol, hidrogênio, biocombustíveis (SAF) e aviões movidos a energia elétrica. E na pesquisa de campo, o SAF foi o combustível citado por todos os entrevistados. A partir desses fatos, foi realizada análise e obtidas as conclusões.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo aborda a tendência encontrada atualmente no que com diz respeito aos combustíveis renováveis com maior propensão e potencial para se tornar os combustíveis do futuro na aviação. Traz uma abordagem de todos os que estão em destaque, e investiga a preparação das estruturas, a logística e os insumos que serão usados.

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

4.1 COMBUSTÍVEIS DA AVIAÇÃO

Atualmente, há dois combustíveis mais utilizados na aviação: a gasolina de aviação (*AVGAS*) e o querosene de aviação (com suas variações). Para que o querosene de aviação funcione de maneira correta no motor, ele precisa ser aditivado para que em voo, ele não se congele ou ainda cause corrosões químicas ou biológicas nos tanques. Entre os aditivos utilizados, estão: antioxidantes, antiestáticos, inibidores de formações de gelo, inibidores de corrosões, biocidas e desativadores de metal (ROBERTO, 2020). Figueiredo (2013) descreve de maneira clara, demonstrando que o uso eficiente com motores tecnologicamente mais evoluídos, pode retardar o esgotamento dos combustíveis fósseis, reduzir a emissão de CO^2, porém não seria a solução para o problema.

Sobre os atuais combustíveis utilizados na aviação em larga escala, Roberto (2020) apresentou em seu artigo para a revista Aeroflap, informações científicas para apresentar de forma simples quais são eles, gasolina de aviação e querosene de aviação. Trouxe um conteúdo explicativo de suas classificações, tipos e modo de obtenção. Como palavras chaves para essa parte do trabalho, foram utilizadas: combustíveis, aviação, querosene de aviação e Avgas.

4.1.1 Gasolina de aviação

A gasolina de aviação (AVGAS) é o combustível responsável por abastecer os motores menores, aqueles de pequeno porte que podem, ou não, ser a pistão, com ignição a centelha. Não é comercializado em postos de automóveis e nem recomendado para motores de carros, por conter chumbo tetraetila, que pode causar danos gravíssimos no catalisador do veículo (ROBERTO, 2020).

O AVGAS é livre de etanol anidro, e pode aparecer nas cores verde, vermelho ou bem comumente azul. As cores foram criadas para demarcar a octanagem:

-Vermelho: AVGAS 80: entre 80 e 87;

-Verde: AVGAS 100: entre 100 e 130;

-Azul: AVGAS 100LL: entre 115 e 145.

As aeronaves que usam desses combustíveis são: Cirrus, Baron, Robinson 22, 44 entre outras (ROBERTO, 2020).

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

4.1.2 Querosene de aviação (QAV)

Utilizado em aviões com motores a reação e jato puro, o querosene de aviação (QAV) é o principal combustível utilizado na aviação. A Figura 1 a seguir, representa a cadeia de destilação do Querosene:

Figura 1- Destilação do Querosene

Fonte: CBIE, (2020).

O processo de fabricação de produção do Querosene, é alcançado através de um refino denominado “fracionamento por destilação atmosférica”. Ele vai da vaporização dos hidrocarbonetos ao ponto mais elevado de ebulição do petróleo (entre 170 ºC a 240 ºC a mais que gasolina comum).

Existem basicamente 3 tipos de querosene para motores a jato no mundo:

- JET A: possui o ponto de congelamento em -40ºC, e disponível em aeroportos canadenses e americanos;
- JET A-1 (ou no Brasil, QAV-1): para motores a reação, possui o ponto de congelamento em -47ºC;
- JET B: possui de característica ser mais volátil e com o ponto de congelamento bem menor que os anteriores citado. Utilizado em regiões extremamente frias. Possui hidrocarbonetos de 5 a 15 átomos de carbono por molécula, praticamente uma mistura de querosene com gasolina comum (ROBERTO, 2020).

O JET A-1 é o encontrado no Brasil e em todos os aeroportos do mundo (ROBERTO, 2020).

4.2 FUTUROS COMBUSTÍVEIS

As pesquisas que investigam os substitutos dos principais combustíveis fósseis utilizados hoje na aviação é bem ampla e com várias possibilidades. Porém, cada qual encontra dificuldades para se tornarem viáveis e colocadas em produção numa escala a atender a demanda existente hoje na aviação.

E entre os combustíveis e soluções encontradas, foram vistos os seguintes: hidrogênio, bioquerosene, etanol, avião elétrico. Entre os autores que fundamentaram essa parte do trabalho, pode-se citar: Bonassa (2014), Souza (2021), Costa (2011) e Oliveira (2011). Outras informações foram encontradas no site da Embraer (2017). A seguir serão apresentadas algumas alternativas de combustíveis.

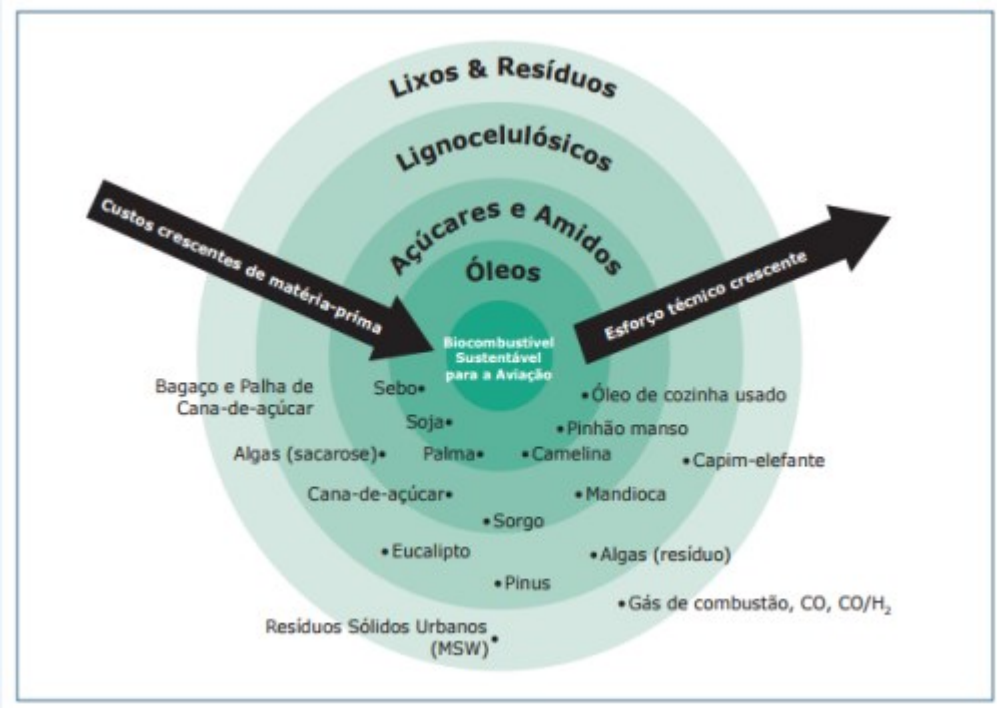
4.2.1 Biocombustíveis

Biocombustíveis são combustíveis de origem não fóssil, que são normalmente produzidos a partir de vegetais ou animais. Qualquer matéria orgânica tem potencial de gerar energia. Segundo a Diretiva nº2003/30/CE do Parlamento Europeu e do Conselho da União Europeia, e do Decreto-Lei nº 62/2006, de 21 de março, são considerados dez tipos de bicombustíveis: biodiesel, biogás, bioetanol, biometanol, bioéter dimetílico, bio-ETBE (bio éter etil-ter-butílico), bio-MTBE (bio éter metil-ter-butílico), biocombustíveis sintéticos, biohidrogénio, oléo vegetal puro produzido a partir de plantas oleaginosas (REIS, 2023).

Na aviação, o biocombustível é uma alternativa muito estudada. A seguir, um esquema sobre os planos de matérias-primas com potenciais para serem usadas no Brasil, mostrando uma relação entre custos e esforços técnicos para a nova tecnologia. No centro do esquema da Figura 2, encontram-se as matérias-primas mais caras, porém, a tecnologia para conversão tende a ser mais fácil.

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

Figura 2 - Relação entre custos e benefícios para as novas tecnologias



Fonte: Fapesp (2003).

Na aviação, para a produção de bioquerosene, as matérias-primas com principais potenciais para substituir as de origens fósseis são obtidos de óleos vegetais e matérias açucaradas (CGEE, 2010). Para caracterizar-se como apta para produção de bioquerosene, a matéria-prima precisa apresentar algumas características, como por exemplo: não interferir nos ecossistemas, proporcionar a redução de emissão e conteúdo energético maior ou igual comparados aos combustíveis tradicionais, não concorrer com o setor alimentício, ser produzido de uma forma que não sobrecarregue o solo e os recursos hídricos (SWAFEA, 2011).

Dentre as que se adequaram a essas características citadas, são propostas algumas fontes, como por exemplo: camelina, pinhão manso, babaçu e algas.

- Camelina: planta do tipo arbusto da família *Brassicaceas*. Resistente a seca e tolerante aos solos fracos. Sementes com cerca de 35% de óleo. Possuem ácidos graxos saturados (NETO, 2010).
- Pinhão manso: planta de poucas exigências, fácil de adequar em climas secos e solos fracos. Possui sementes com teor de óleo de 30% a 40%, composto por ácidos graxos insaturados. Possui ciclo produtivo que se

estende por mais de quarenta anos, fazendo o custo de a produção ficar reduzido (DRUMOND *et al*., 2007).

- Babaçu: é um tipo de palmeira de grande porte, podendo atingir cerca de 20 metros. Possui frutos drupáceos com amêndoas oleaginosas comestíveis, cerca de 7% do seu peso é óleo, sendo mais leve que alguns óleos vegetais, adequando-se a produção de bioquerosene (VIVACQUA, 1968).
- Algas: as algas ainda estão em fase experimental, pois é preciso analisar questões como: vantagens de microalgas sobre macroalgas, algas de água doce frente as de água salgada (CGEE, 2010). Dentre as variedades de algas, algumas são ricas em lipídios, tornando susceptíveis para produção através da extração e utilização desse óleo, para produzir o bioquerosene (AGÊNCIA FAPESP, 2008).

4.2.1.1 Processos de obtenção de bioquerosene

Existem basicamente, 3 rotas de processo para obtenção e produção de bioquerosene: processos químicos, processos bioquímicos e processos termoquímicos.

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

4.2.1.2 Processos químicos

Processo onde os triglicerídeos são convertidos em ésteres metílicos e glicerina (transesterificação). Ocorre através de uma reação na presença de álcool (etanol) e catalisador como bases fortes (SCHUCHARDT *et al.*, 1998). Na produção de combustível aeronáutico, é exigida uma etapa posterior a separação e purificação dos esteres.

Nas etapas anteriores, ocorre a remoção do oxigênio (descarbonilação). O hidrocarboneto obtido gerado é isomerizado e quebrado para que o número de carbonos seja reduzido, ficando com a estrutura semelhante ao JET-A1, em relação as propriedades de ponto de congelamento e centelha (SWAFEA,2011).

4.2.1.3 Processos bioquímicos

Nesse processo, a matéria-prima (carboidratos) é convertida em hidrocarbonetos com uso de leveduras. Esses microrganismos consome o açúcar do meio, produzindo isoprenóides, em vez de etanol. Após, passa por um processo de hidrogenação, para a obtenção de querosene (CGEE, 2010).

4.2.1.4 Processos termoquímicos

Processo que utiliza o craqueamento catalítico ou gaseificação e síntese catalítica.

No craqueamento catalítico, o processo de decomposição térmica do óleo vegetal, elimina os produtos oxigenados. Obtém-se uma mistura de hidrocarbonetos, que passa por uma destilação, gerando frações semelhantes ao querosene de aviação (OLIVEIRA, 2007). No processo de gaseificação e síntese catalítica, ocorre a gaseificação da biomassa sólida, convertendo quase completamente em uma mistura de gases (CO2, CO, H2 e vapor de água).

Por sua vez, esses podem ser utilizados para síntese de hidrocarbonetos líquidos, na presença de catalisadores como cobalto e ferro. Conforme o fluxo dos processos e da concepção adotada, é possível a obtenção de hidrocarbonetos similares ao querosene de aviação (DATAR *et al*., 2004).

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

4.2.2 Etanol

O etanol (álcool etílico) é uma substância composta por moléculas com dois átomos de carbono, cinco de hidrogênio e um grupo hidroxila. Possui dois tipos principais: anidro e hidratado. O que o difere é a concentração de água na sua composição: enquanto o etanol anidro possui cerca de 0,5% de água, o hidratado tem aproximadamente 5% (UNICA, 2007). Para uso como combustível na aviação utiliza-se o hidratado. As matérias-primas para a produção de álcool etílico são diversas espécies de vegetais. No Brasil, a mais amplamente utilizada para

produção desse combustível é a cana-de-açúcar, e além também, é uma alternativa para a geração de eletricidade a partir do resíduo em forma de bagaço. O Brasil é um grande incentivador do uso de cana-de-açúcar no país, através de programas como o Pró-alcool (Programa Nacional do Álcool) lançado pelo governo federal, em 1975. As condições encontradas no Brasil para o desenvolvimento dessa cultura são favoráveis, como solo, topografia e clima favorável. E somado a isso, a cana-de-açúcar apresenta maior produtividade por hectare em comparação a outras espécies vegetais. Segundo a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA), o Brasil é a segunda maior produtora de etanol, ficando apenas atrás dos Estados Unidos (UNICA, 2007).

Os processos de produção de cana-de-açúcar em etanol, ocorre seguindo as etapas conforme a Figura 3:

Figura 3 - Como é produzido o etanol?

Fonte: Nova Cana, 2017.

- Lavagem: a cana-de-açúcar chega de forma pura e submetida a um processo de lavagem para retirar poeira, areia, terra e impurezas. Após isso, é triturada e passada por um eletroímã para retirar materiais metálicos.
- Moagem: nessa etapa, a cana é triturada por rolos, e produz melado. Em torno de 70% do produto vira esse caldo, e os outros 30%, se transforma em bagaço. O melado continua para os próximos processos de fabricação do etanol, enquanto o bagaço é utilizado para geração de energia na usina.
- Eliminação de impurezas: nesse processo, o líquido é peneirado, e em seguida vai para um tanque, onde as impurezas se depositam no fundo, num processo de decantação. Após isso, o melado puro extraído recebe o nome de caldo clarificado. Ocorre então o último processo de extração de impurezas, no qual o caldo é aquecido para eliminação dos micro-organismos presentes.
- Fermentação: após estar puro, o caldo é levado a tanques, no qual recebe mistura de um fermento com leveduras. Esses microrganismos se alimentam do açúcar que está presente no caldo, ocorrendo a quebra de moléculas de glicose, produzindo o etanol e o gás carbônico. Esse processo de fermentação leva horas, e como resultado, produz o vinho fermentado, que contêm açúcar não fermentado, leveduras e cerca de 10% de etanol.
- Destilação: no próximo passo é necessário separar esse etanol misturado ao vinho fermentado da mistura. O líquido é colocado em colunas de destilação, aquecido até se evaporar. Na evaporação, seguida de condensação, é separado o vinho do etanol. Nessa etapa, ele fica pronto para uso como etanol combustível (álcool hidratado, com grau alcoólico 96%).
- Desidratação: para se obter o álcool anidro (99,5% de pureza), é preciso retirar o restante de água contido. Nessa etapa, pode se utilizar várias técnicas, e a desidratação é uma delas, no qual um solvente é colocado ao álcool hidratado, misturando apenas com a água, com os dois sendo evaporados juntos. Esse álcool anidro obtido, pode ser misturado a gasolina como combustível.

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

- Armazenamento: o etanol anidro e hidratado é armazenado em enormes tanques, onde são transportados por caminhões até as distribuidoras (NOVA CANA, 2017).

4.2.3 Hidrogênio

O hidrogênio é o primeiro elemento da tabela periódica, de menor complexidade e de maior abundância no universo. Esse elemento aparece em diferentes formas de plantas, animais, seres humanos e compostos químicos. Na natureza, não existe em seu estado molecular. É encontrado em algumas matérias como o gás natural, biomassa e água. Para a obtenção do hidrogênio, os processos baseiam-se na separação a partir dos materiais que o contêm. Em seu estado natural, ele é um gás incolor, inodoro e insípido. É um elemento quimicamente muito ativo, raramente permanece puro. Quando queimado num ambiente de oxigênio puro, produz vapor de água, sendo assim, produz menos poluentes atmosféricos que os combustíveis fósseis (LEPECKI, 2011).

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

4.2.3.1 Métodos de separação de Hidrogênio

Os métodos para a produção de hidrogênio a partir da biomassa é dividido em duas categorias: termoquímica e vias biológicas. A biomassa pode ser processada por meio de pirólise ou gaseificação para produção de hidrogênio. As vias biológicas é uma nova área de tecnologia em desenvolvimento, que oferece potencial para produzir hidrogênio a partir de várias fontes renováveis.

Algumas formas de separação do hidrogênio:

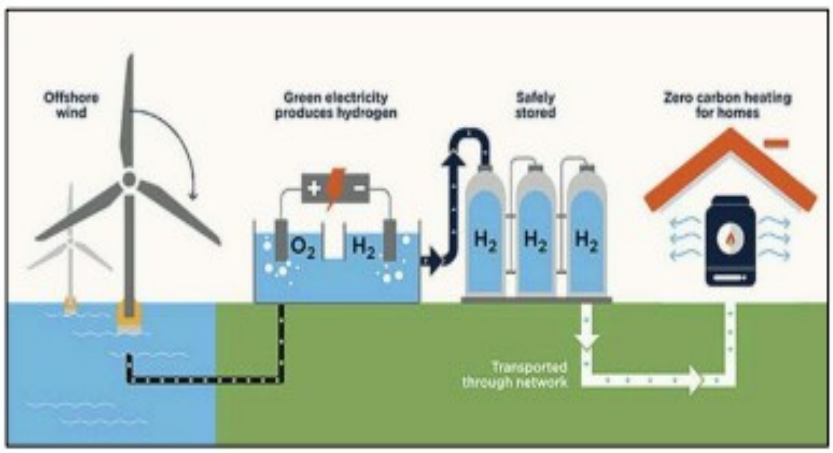
- **Reformação do gás natural*:*** técnica que expõe o gás natural a altas temperaturas para produzir hidrogênio, monóxido de carbono e dióxido de carbono. O hidrogênio possível de se aproveitar do gás natural deste processo é cerca de 70% a 90%. Este método possui algumas desvantagens, como por exemplo, que este método somente se aplica aos combustíveis fósseis, que são uma fonte não renovável de energia. Outra

desvantagem é o fato que libera dióxido de carbono para o meio ambiente (SANTOS, 2005). Essa maneira de obtenção de hidrogênio é tida como “hidrogênio cinza” (DEWAN, 2021).

- **Oxidação parcial de hidrocarbonetos pesados**: nesse processo, o combustível reage com uma quantidade limitada de oxigênio, uma parte sofre total combustão, liberando energia capaz de elevar a temperatura em torno de 1500 ºC. A energia liberada pela primeira reação, é utilizada para a segunda etapa, no qual o hidrocarboneto que não foi consumido, reaja com os produtos da primeira, e formem o H e CO. Esse método produz CO, que é um dos principais causadores do efeito estufa. Essa maneira de obtenção de hidrogênio é tida como “hidrogênio azul” (DE SÁ; CAMAROTAN; FERREIRA-LEITÃO, 2014).
- **Eletrólise da água**: esse método consiste no envio de corrente elétrica através da água para ocorrer a separação de moléculas. Quando essa energia é fornecida através de uma fonte renovável (solar, eólica), ela se torna uma fonte de zero emissão. Essa maneira de obtenção de hidrogênio é tida como hidrogênio verde (DEWAN, 2021). A seguir, a Figura 4 exemplifica como seria a obtenção do hidrogênio verde:

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

Figura 4 – Hidrogênio verde, o que é?



Fonte: Viri, 2021.

O processo acima se refere ao processo de fabricação de hidrogênio, armazenamento e uma carga sendo alimentada por esse hidrogênio (no exemplo, uma casa).

4.3 ANÁLISES DOS COMBUSTÍVEIS – PRÓS, CONTRAS E DESAFIOS

Cada combustível possui as suas particularidades nos processos de implementação. Alguns possuem dificuldades de armazenamento, outros de obtenção, alguns acabam afetando outras áreas de produção, custos e ainda outros dependem de outras fontes para se tornarem viáveis. É importante frisar que a busca por esses novos combustíveis a serem utilizados, precisam estar alinhados com as tecnologias empregadas em motores aeronáuticos, tanto aos novos motores que virão, quanto aos já existentes. A seguir, uma breve análise dos prós, contras e os desafios encontrados por cada combustível.

4.3.1 Biocombustíveis na aviação

O bioquerosene se destaca entre os biocombustíveis para substituição dos combustíveis fósseis, pois pode ser obtido a partir de diversas fontes de matérias-primas, e que não concorrem com o setor alimentício, sendo adaptáveis a várias condições de clima e solo. De acordo com a FAPESP (2013) a busca por um combustível renovável traz uma série de vantagens em comparação ao uso pelos combustíveis fósseis convencionais, transformar essa parte do setor é pensar por um viés economicamente verde.

> Quando produzido e utilizado de maneira sustentável, o biocombustível pode trazer benefícios ambientais, gerar empregos, estimular a atividade econômica e ampliar a segurança energética. Políticas de biocombustíveis de longo prazo, que integrem os combustíveis para todas as modalidades de transporte motorizado e reconheçam a necessidade particular da aviação de alternativas sustentáveis de combustível, terão de ser estabelecidas para tornar o biocombustível para aviação economicamente viável em razão do custo extra adicional para se produzir um combustível "drop-in" que cumpra as estritas exigências aeronáuticas. As políticas também deveriam habilitar a participação de pequenos agricultores e/ou comunidades locais na cadeia de produção de biocombustíveis para

> aviação para que eles também possam se beneficiar dessa nova indústria (FAPESP, 2013, p. 14).

Os biocombustíveis, entre eles o do tipo biodiesel contribui positivamente para causar menos impactos negativos no meio ambiente, inclusive, estando de acordo com as metas governamentais para o baixo carbono e emissão de gases de efeito estufa (IPCC, 2010 *apud* GONÇALVES; BORGES; FRAGA, 2011). Porém, mesmo com inúmeras pesquisas, os resultados práticos de se tornar uma realidade o uso em massa de biocombustíveis ainda está longe de ser alcançado, por conta de algumas incompatibilidades entre as aeronaves e o promissor combustível. O biocombustível deve atender algumas características, como:

> Dentre as características técnicas que o biocombustível deve apresentar, estão inclusas a necessidade de alta densidade energética, boa atomização, evaporação rápida, viscosidade adequada, ponto de congelamento baixo, boa estabilidade química, ser não tóxico, além de ser amplamente disponível e capaz de competir com os combustíveis atuais em termos de custos e disponibilidade (KALLIO, 2014 *apud* GAMARRA; BADEJO; OLIVEIRA, 2015, site).

Ou seja, há uma diversidade de questões a serem pensadas, como por exemplo, a escolha e produção da matéria-prima, viabilidade técnica, os efeitos sobre o meio ambiente e a segurança de voo. Em relação as matérias-primas, seria vantajoso a escolha de uma inteiramente renovável, para produzir moléculas similares do atual querosene de aviação:

> As matérias primas analisadas por estudos já citados anteriormente e vistas como as mais promissoras aliadas a realidade brasileira são as plantas que contém açúcares e amidos, as oleaginosas e em longo prazo os resíduos urbanos e industriais. Apesar de essas matérias-primas terem elevados custos de produção comparados com as outras, como por exemplo, com os resíduos sólidos e a lignocelulose, elas necessitam um esforço técnico menor quando relacionado aos demais insumos (BOEING, *et al*., 2013 *apud* GAMARRA; BADEJO; OLIVEIRA, 2015, site).

Entre as questões a serem pensadas além da matéria-prima, ainda existem outras exigências específicas para viabilização dos biocombustíveis na aeronáutica. Segundo o CGEE (2010, p. 28) destaca-se entre os desafios:

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

> • A necessidade desses biocombustíveis apresentarem elevada densidade energética (da ordem de 42.8 MJ/kg) e atender a especificações rigorosas de qualidade, como temperaturas de congelamento inferiores a -47°C, com aditivação específica e baixa formação de depósitos nas partes quentes dos propulsores. • A necessidade dos processos de produção apresentarem bons indicadores de sustentabilidade ambiental, que impõem boas produtividades em termos de litros de combustível por área cultivada, e energia e água consumidos na produção, além de adequados fatores de mitigação das emissões de GEE em comparação aos combustíveis convencionais. • A necessidade dos produtos finais alcançarem níveis mínimos de competitividade econômica, de modo a não dependerem excessivamente de mecanismos de suporte e subsídios. • A redução do elevado protecionismo existente no mercado de biocombustíveis, equiparados aos demais produtos agrícolas em especial alimentares e sujeitos a altas barreiras tarifárias que promovem produtos ineficientes e dificultam a expansão da comercialização de produtos sustentáveis.

A implementação do biocombustível em larga escala possui inúmeros desafios e testes a serem feitos.

4.3.2 Etanol na aviação

O etanol como matéria-prima possui uma série de vantagens como a combustão mais limpa. Isso melhora a qualidade das emissões de gás, além disso, o combustível à base de etanol apresente resistência superior à autoignição e detonação quando comparado a outros combustíveis como a gasolina, por exemplo.

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

> A combustão do etanol não gera óxidos de enxofre, já que o etanol é composto apenas por carbono, hidrogênio e oxigênio; as emissões de monóxido de carbono, hidrocarbonetos e, dependendo das características do motor, de óxidos de nitrogênio também são menores que as resultantes da combustão da gasolina (MATOS, 2012, p. 50).

O impacto ambiental da utilização de etanol no setor aeronáutico em relação a gasolina é direto pelo simples fato de se evitar o uso de gasolina de aviação. O etanol melhora o desempenho do motor, pois ocorre aumenta a taxa de compressão no interior do cilindro, tendo aumento da potência de saída, porém tendo um aumento da injeção de combustível. O etanol apresenta essa desvantagem, por ele ser cerca de 10% mais pesado que a Avgas, e possuir uma densidade energética menor, a aeronave precisa consumir mais combustível para que o desempenho seja mantido.

A produção do etanol apresenta outras vantagens: redução de custos, sustentabilidade, preservação do meio ambiente, substituições de combustíveis fósseis (BERMANN, 2008). O etanol por ser extraído da cana-de-açúcar, gera empregos e investimentos. É uma fonte renovável, protege os solos e ainda lança menos C02 na atmosfera (MEDEIROS, 2008). Segundo Pacheco (2011), o Brasil está numa posição destaque por apresentar vantagens tecnológicas na produção de etanol, liderança na agricultura sem ampliar a área desmatada ou reduzir a área destinada à produção de alimentos. O Brasil é exemplo de sustentabilidade em relação energética, usando 46,8% dessas fontes.

Entre as aeronaves movidas a etanol, o IPANEMA foi um caso de sucesso. Há cerca de 21 anos ele é a única aeronave produzida em série, que é movida a etanol. Ele é a prova de que o etanol é um combustível viável para a aviação geral, pois seu motor é o mesmo que o da maioria dos aviões da aviação geral. Porém, para isso, a ANAC teria que certificar esse uso, ter uma logística de transporte e armazenamento, que vai gerar um custo elevado (EMBRAER, 2002).

A produção do etanol gera uma preocupação no sentido que, a produção de alimentos poderia ser afetada ou ainda as áreas de plantio destinadas ao cultivo de alimentos (Cana-de-açúcar, milho), no chamado etanol de primeira geração. Diante desse cenário, intensificaram-se as pesquisas, e foi produzida a partir do bagaço da cana-de-açúcar (subproduto da produção de açúcar ou etanol) uma matéria-prima que fez possível aumentar a produção de etanol, sem precisar aumentar a produção de cana-de-açúcar ou área plantada (CARPIO, 2019).

O etanol, por ter uma densidade energética menor que o AVGAS, gera um aumento de consumo de cerca de 30% a mais. Isso diminui a autonomia da aeronave. Apesar disso, o consumo a mais compensa devido ao custo do etanol ser mais barato que o AVGAS (COSTA, 2011). Segundo Souza e Henkes (2021, p. 248), “A redução da autonomia e a falta de pontos de abastecimento nos aeroportos brasileiros, representam dois fatores negativos no uso do etanol para a aviação geral, mas não são relevantes para a aviação agrícola”. Souza e Henkes (2021, p. 248) complementam ainda que:

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

> "A falta de pontos de abastecimento de etanol nos aeroportos brasileiros não impacta as aeronaves agrícolas movidas a etanol. Geralmente o abastecimento das aeronaves agrícolas, sendo elas movidas a AVGAS ou etanol, é feito através de tanques instalados em caminhonetes (...)".

A escolha desse biocombustível como uma alternativa se deve principalmente pela grande oferta de insumo no Brasil. Porém, barra no processo de certificação da modificação de um motor aeronáutico, devido a sua complexidade, principalmente relacionados a bateria de ensaios de bancada definidos pela RBAC 33 (ANAC, 2009).

4.3.3 Hidrogênio na Aviação

Dentre as tendências de combustíveis para aviação, o hidrogênio é um dos que possui maior potencial de se tornar realidade. Historicamente, o hidrogênio teve seu primeiro voo com um motor a reação modificada para essa finalidade em 15 de abril de 1988, nos meados da Guerra Fria. A União Soviética utilizou um TU-155, da empresa Tupolev. O voo com tempo aproximado de 21 minutos, conseguiu manter o composto na forma liquida, estando a 252 graus negativos, usando um reservatório térmico bastante apropriado, evitando que entrasse em ebulição durante seu armazenamento.

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

O hidrogênio é um composto simples, com maior quantidade no planeta e pouco denso. E para obtê-lo, é preciso separá-lo dos materiais que o contenham. O hidrogênio é encontrado na forma gasosa na natureza. Possui grande quantidade de energia, que supera qualquer combustível conhecido (OLIVEIRA *et al*., 2011).

Segundo Almeida (2022, p. 22), sobre as vantagens do uso do hidrogênio, diz que:

> O hidrogênio é um combustível no qual é muito leve, ou seja, é possível armazenar grandes quantidades dentro de uma aeronave sem que aumente muito o peso, assim, melhorando a relação peso potência da aeronave e permitindo que ela carregue mais carga útil. Além do peso, quando o hidrogênio entra em combustão ele gera mais energia que o querosene de aviação (Jet Fuel), desse modo, sendo uma ótima alternativa para ser utilizado nos atuais motores aeronáuticos existentes, pois esse ele pode ser

> usado nos motores turbofan e turboélice com as devidas modificações. Quando ocorre a queima ele libera apenas vapor de água.

O hidrogênio também é considerado o combustível dos sonhos, pois além da queima limpa, proporcionaria inúmeros benefícios sociais, econômicos e ambientais. Entre os benefícios, a eliminação da dependência de combustíveis fósseis, eliminação das emissões de carbono na atmosfera, e de uma maneira geral, a redução dos impactos causados pela queima de combustíveis fosseis (Almeida. 2022).

Apesar das inúmeras vantagens que o uso do hidrogênio pode proporcionar com o seu uso, existem muitas dificuldades para a implementação em larga escala de seu uso. Dentre as dificuldades, Almeida (2022, p. 23) aponta que:

> O hidrogênio necessita ser armazenado em estado líquido, mas para isso ele precisa estar a -253°C ou em alta pressão, por esses motivos não pode ser armazenado nas asas como o querosene, sendo necessário o armazenamento e um tanque na calda da aeronave, ocupando um espaço onde poderia carregar carga ou passageiro. Além de estar nessa temperatura na aeronave, o combustível precisa ser transportado e armazenados nos depósitos a essa baixa temperatura ou pressão, os atuais óleos dutos não sendo capaz de transportá-los, precisando criar toda uma nova logística inexistente atualmente.

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

Outro fato é que o hidrogênio precisa chegar líquido nos bicos injetores dos motores, logo, as linhas de pressurização do sistema do motor devem se adequar. Nas aeronaves já ocorre um sistema de pressurização de alta pressão nas linhas do sistema hidráulico. Porém, existe a necessidade de criar um sistema muito resistente, pois um vazamento pode gerar situações perigosas (VIANA, 2020).

Em solo, as operações devem ser revistas também para maiores cuidados com o manuseio do hidrogênio. Devem-se adotar novos procedimentos de armazenamento, manuseio, os cuidados com os vazamentos, a pressão ideal de armazenamento para mantê-lo na forma líquida, com a devida segurança com os sítios aeroportuários, adequando novos tanques subterrâneos e as tubulações para a pressurização. Lembrando que, os tubos que abastecem as aeronaves já são pressurizados, logo necessitam de reforços (AIRBUS, 2020).

O armazenamento do hidrogênio é claramente um dos maiores desafios para a implementação do hidrogênio como novo combustível. Por se tratar do elemento mais leve da tabela periódica, possui o menor ponto de ebulição, -252,87º Celsius (negativos), logo, é necessário o uso de tanques criogênicos para seu armazenamento. Além da dificuldade de manuseio, é necessário maior cuidado, pois o seu vazamento e o contato com o oxigênio podem gerar a combustão. E a exposição à matéria pode causar até a morte (OLIVEIRA *et al.,* 2011).

Todos encontraram os mesmos problemas para o uso do hidrogênio, seja armazenamento em aeroportos, transporte, meios de separação entre outros. O problema de fabricação de hidrogênio "verde" em alta escala (produzido de forma sustentável), transporte até aeródromos menores, e com segurança são mais alguns desafios encontrados (AIRBUS, 2020).

Os custos dos processos de obtenção de hidrogênio verde custam caro, pois precisam ser retirados de fontes inteiramente renováveis. E ainda podem variar de acordo com o custo da energia renovável de cada região. Ainda sobre custos, segundo Oliveira (2011, p. 3):

> Qualquer outro tipo de armazenamento de hidrogênio em larga escala é muito mais caro. Ainda não foi identificado nenhum tipo de armazenamento de hidrogênio em pequena ou média escala. Tanques de alta pressão e vários outros tipos de armazenamento têm custos de armazenamento muito mais altos do que os de instalações subterrâneas. O hidrogênio líquido pode ser armazenado em tanques criogênicos a 21,2 K à pressão ambiente. Devido à baixa temperatura crítica de hidrogênio (33 K), na forma líquida só podem ser armazenados em sistemas abertos, pois não há fase líquida existente acima da temperatura crítica.

O transporte do hidrogênio gasoso pode ser efetuado como já é feito com o gás natural, através de gasoduto. O problema com a distribuição dessa maneira, é o hidrogênio reagir com as paredes de metal do gasoduto, ocorrendo desgastes, e podendo aparecer até fugas. Para tal problema, a solução seria o uso de cimento comprimido, vários aços na construção do gasoduto, plásticos ou ainda, adicionar inibidores, o que causa custos a mais (OLIVEIRA, 2011).

Para que o hidrogênio seja utilizado como combustível, diversas alterações deverão ocorrer, tanto nas aeronaves quanto na estrutura aeroportuária. Os tanques de combustíveis devem ser modificados e levados para parte da

fuselagem do avião, ou ainda na parte traseira do avião, e os dutos que levarão o hidrogênio precisam ser executados. Os tanques deverão ser em formato cilíndrico ou redondo, capazes de suportar significativas mudanças de pressão e temperatura, e mantidos os 250 graus celsius negativos e liquefeito (INSTITUTO DE ENGENHARIA, 2021).

O Brasil possui grande destaque pela sua diversidade de recursos naturais renováveis. Isso torna favorável a inserção do hidrogênio como fonte de combustível totalmente renovável (hidrogênio verde), tornando esse combustível altamente estratégico para a economia, tecnologia e meio ambiente (DOS SANTOS, 2012).

Pensando na diversidade de aeronaves, o uso de hidrogênio pode ou não ser viável. Na aviação comercial regional, por exemplo, Almeida (2022, p. 24) diz:

> Tendo em vista que o projeto dessas aeronaves inclui a operação em aeroportos com pouca estrutura, podendo ser isolados e de difícil acesso, a logística para o transporte de combustível para esse aeroporto não pode ser muito complexa, por causa dos custos que não poderiam ser cobertos pela operação aérea, sendo assim, o hidrogênio tendo mais dificuldade de ser implementado nesses locais, já que esse combustível exige ser transportado e armazenado de forma líquida a -253°C, tornando mais viável o uso da energia elétrica ou do biocombustível nas aeronaves regionais.

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

Já tratando de aeronaves a turbo jato, o hidrogênio é o combustível renovável ideal. Almeida (2022, p. 25) afirma que:

> Diferente da aviação regional, a aviação doméstica e internacional exige aeronaves capazes de viajar médias e longas distâncias, carregando uma grande quantidade de passageiros e cargas, não se limitando a falta de infraestrutura, já que ela atende média e grandes cidades. O motor a jato atende bem esses requisitos, ele gera uma grande quantidade de potência, além de, atingir velocidades transônicos e elevadas altitudes, o tornando mais econômico para esses tipos de operação. O combustível renovável ideal para os motores turbofan é o hidrogênio, ele gera mais energia que o Jet Fuel usado atualmente.

As grandes fabricantes de aeronaves também têm um interesse em buscar alternativas para reduzir e zerar as emissões de gases poluentes na atmosfera utilizando o hidrogênio como combustível. A Airbus anunciou em 2020, 3 projetos de aeronaves, com a nomenclatura de “ZEROe”, conforme a Figura 5:

Figura 5 - Airbus ZEROe

Fonte: Airbus, 2020.

A Airbus, fabricante de aviões traduz em seus princípios o interesse e a estratégia conceitual sobre novos combustíveis.

> Na Airbus, nós temos a ambição de desenvolver a primeira aeronave comercial emissão zero do mundo até. A propulsão a hidrogênio nos ajudará a cumprir essa ambição. Nosso conceito de aeronave ZEROe nos permite explorar uma variedade de configurações e tecnologias de hidrogênio que moldarão o desenvolvimento das nossas futuras aeronaves zero emissão (AIRBUS, 2020, site).

Em fevereiro de 2022, um novo projeto desenvolvido pela Pratt e Whitney e o departamento de energia dos Estados Unidos da América foi apresentado. Um motor a reação que utiliza o hidrogênio como fonte de energia. Esse motor é movido a hidrogênio de vapor injetado, e inter-resfriado (HySSIITE), que através de um ciclo termodinâmico, incorporará injeção de vapor para redução considerável de Nox (BASSETO, 2022).

Também na busca de desenvolver aeronaves totalmente utilizando hidrogênio, o Reino Unido através do Instituto de Tecnologia Aeroespacial criou o avião batizado de Fly Zero. O Fly Zero promete voar na mesma velocidade que as atuais aeronaves, não emitir poluentes e sua autonomia aumentada. A promessa é

que esse projeto realize voos entre Londres e San Francisco, sem emitir poluição, e que esteja disponível até 2030 (AQUINO, 2021).

4.4 PESQUISAS COM OS REPRESENTANTES AEROPORTUÁRIOS

No estudo realizado, mostrou-se necessário uma pesquisa de campo para saber o atual estado da arte, das estruturas aeroportuárias, as tendências e o que se espera da logística e gerenciamento da vinda de um futuro combustível sustentável. Foram feitos questionamentos aos representantes de aeroportos da Classe IV, da região sul e sudeste, conforme especificados no início do trabalho. A Figura 6 apresenta todos os aeroportos da classe IV do Brasil:

Figura 6 – Lista dos aeródromos de uso público por classes do RBAC nº 153 e por perfil operacional da Classe I

CLASSE IV				
CIAD	OACI	NOME DO AERÓDROMO	MUNICÍPIO	UF
DF0001	SBBR	PRESIDENTE JUSCELINO KUBITSCHEK	BRASÍLIA	DF
MG0001	SBCF	TANCREDO NEVES	CONFINS	MG
PR0001	SBCT	AFONSO PENA	CURITIBA	PR
CE0001	SBFZ	PINTO MARTINS	FORTALEZA	CE
RJ0001	SBGL	RIO DE JANEIRO/GALEÃO – ANTÔNIO CARLOS JOBIM	RIO DE JANEIRO	RJ
SP0002	SBGR	GUARULHOS - GOVERNADOR ANDRÉ FRANCO MONTORO	GUARULHOS	SP
SP0003	SBKP	VIRACOPOS	CAMPINAS	SP
RS0001	SBPA	SALGADO FILHO	PORTO ALEGRE	RS
PE0001	SBRF	GUARARAPES - GILBERTO FREYRE	RECIFE	PE
RJ0002	SBRJ	SANTOS DUMONT	RIO DE JANEIRO	RJ
SP0001	SBSP	CONGONHAS	SÃO PAULO	SP
BA0001	SBSV	DEPUTADO LUIS EDUARDO MAGALHÃES	SALVADOR	BA

Fonte: Anac, 2023.

Da lista acima, foram investigados os aeroportos do sul e sudeste:

- Aeroporto Internacional Tancredo Neves (Confins, MG);
- Aeroporto Internacional de Curitiba Afonso Pena (Curitiba, PR)
- Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro – Galeão Tom Jobim (Rio de Janeiro, RJ);
- Aeroporto Internacional de São Paulo – Cumbica (Guarulhos, SP);
- Aeroporto Internacional de Viracopos (Campinas, SP);
- Aeroporto Internacional de Porto Alegre – Salgado Filho (Porto Alegre, RS);
- Aeroporto Santos Dumont (Rio de Janeiro, RJ);
- Aeroporto de São Paulo (Congonhas, SP).

Para todos os 8 aeroportos da classe IV da região sul e sudeste do Brasil, foi pesquisado dentro dos sítios aeroportuários quem eram as empresas que fornecem os combustíveis atualmente para as companhias aéreas. E dentro dessas empresas, quem eram as pessoas que trabalham diretamente com o gerenciamento e a logística de abastecimento das aeronaves. Foram enviados a todos esses aeroportos via e-mail ou através dos números de ouvidoria, as solicitações para iniciar a tratativa de entrevista com esses representantes.

Nessa parte da pesquisa, houve uma grande dificuldade em achar esses representantes para responder o questionário. Feito contato com 100% dos aeroportos da classe IV. Destes, 50% retornaram ao contato. Sendo que, dos aeroportos que contribuíram com a pesquisa, 75% responderam positivamente o questionário e 25% optaram por não responder.

Dentre os aeroportos que foram obtidas respostas, registram-se os aeroportos de Viracopos, Confins e Guarulhos. Nas Figura 7, mostra o Aeroporto de Viracopos e seu sítio aeroportuário:

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

Figura 7 – Aeroporto Brasil Viracopos

Fonte: Aeroin, 2019.

Na Figura 8, observa-se o aeroporto Internacional de Belo Horizonte:

Figura 8 – Aeroporto Internacional de Belo Horizonte, em Confins

Fonte: Aeroin, 2023.

A Figura 9, mostra o aeroporto de Guarulhos:

Figura 9 – GRU Airport

Fonte: Aeroin, 2023.

O estudo mostrou uma tendência para o uso do bioquerosene, conhecido como SAF (*Sustainable Aviation Fuel)*. Esse combustível, que é produzido a partir da Biomassa e biocombustível, pode ter como composto biogênico uma variação conforme a sua localização (Dados da pesquisa de campo, 2023).

O SAF por ser um combustível muito similar ao utilizado atualmente, fará com que seja possível aproveitar de grande parte da atual estrutura aeroportuária, sendo necessárias poucas alterações. Desde que as propriedades físico-químicas sejam compatíveis com os dutos existentes, será possível usar os mesmos dutos em toda canalização do combustível, e em todos os pontos de contato das aeronaves. As alterações necessárias serão voltadas para a parte das placas de sinalização e identificação do produto (Dados da pesquisa de campo, 2023).

Para a logística de armazenamento, haverá a necessidade específica de verificar a capacidade dos atuais tanques, e se necessário, a construção de novas estruturas de armazenamento para esse tipo de combustível. Além disso, as novas sinalizações e identificações do produto se fazendo necessário para o respectivo gerenciamento.

Nos EUA, já se usa esse tipo de combustível misturado com o querosene de aviação (Dados da pesquisa de campo, 2023). A exemplo disso, a Figura 10 mostra uma aeronave da United Airlines, sendo abastecida com SAF, em San Francisco, EUA.

Figura 10 – Biocombustível de aviação abastece aeronave da United no Aeroporto Internacional de San Francisco, nos EUA

Fonte: EPBR, 2023.

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

Quanto a previsão de entrada em vigor desse novo combustível, ainda não se tem prazos definidos. Isso porque, dependerá de vários fatores, pois ainda é um combustível em teste, logo, precisa de toda uma certeza para sua efetiva implementação. E um segundo fator e de grande relevância, é o fato de que o SAF precisa atender a grande demanda por combustível que a aviação necessita (Dados da pesquisa de campo, 2023).

Num cenário internacional, já se tem além de testes, voos comerciais sendo abastecidos com o SAF. Cerca de 2% de voos comerciais são abastecidos com esse combustível, e esse número só não é maior por uma falta maior da produção desse combustível (Dados da pesquisa de campo, 2023).

Quantos aos testes desse novo combustível, já se tem pesquisas para a produção, armazenamento e distribuição em parceria com as cias aéreas e entidades governamentais. Porém, testes nos aeroportos brasileiros ainda não

estão ocorrendo, pois o projeto está em fase de estudo/pesquisa (Dados da pesquisa de campo, 2023).

4.5 SAF

O SAF's (*Sustainable Aviation Fuel),* de maneira geral:

> são combustíveis não fósseis produzidos de forma sustentável – note-se que o termo é mais genérico do que biocombustíveis. Embora o atual desenvolvimento tecnológico permita a produção de SAFs a partir de diversas fontes, como resíduos de materiais plásticos ou pneus, as principais matérias-primas têm origem animal ou vegetal, tais como sobras de produção vegetal ou resíduos sólidos urbanos. Por conta disso, é usual que os SAFs sejam frequentemente chamados simplesmente de biocombustíveis de aviação, ou ainda de bioquerosene de aviação (BioQAV) (MILANEZ *et al.,* 2021, p. 373-374).

Segundo a ICA0 (2017), por ter características Físico-Químicas semelhantes, os SAF's permitem misturas aos combustíveis tradicionais, permitem também usarem os mesmos tanques de armazenamento e o mesmo transporte. Isso, os caracteriza como "drop-in", que significa que eles podem ser adicionados aos combustíveis convencionais em qualquer proporção.

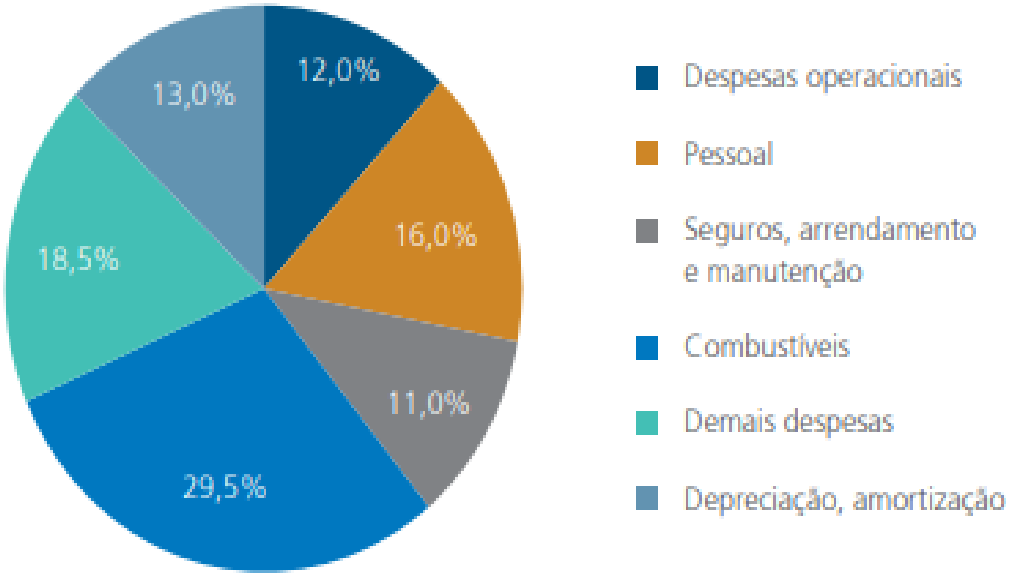
Num cenário nacional, sobre o mercado de biocombustíveis no Brasil, Milanez (2021, p. 378) afirma que:

> O Brasil destaca-se como um relevante produtor mundial e, por sua condição atual, tem grande potencial para a produção de biomassa, adicionando valor a essa matéria-prima ao transformá-la em energia. Do ponto de vista da competitividade, é necessário compreender que múltiplos fatores afetam o custo, o preço e a lucratividade dos biocombustíveis, sendo os principais a matéria-prima utilizada, a área plantada e a produtividade da colheita. À guisa de exemplo, estima-se que o custo de produção de etanol no Brasil seja ligeiramente mais alto do que nos EUA, algo da ordem de 6% a 7% (QUÃO..., 2019). Já os custos médios de produção de biodiesel são alinhados nos dois países, principalmente porque em ambos a produção é feita a partir da soja. Esses fatores são influenciados por políticas de estímulo à produção, estrutura tributária e estabelecimento de percentuais obrigatórios de biocombustíveis.

É possível observar que, o combustível em uma aeronave, tem uma parcela considerável nas despesas de um voo, conforme a Figura 11 a seguir:

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

Figura 11 – Composição de custos e despesas do setor de aviação civil no Brasil



Fonte: Milanez *et al.*, 2021.

Em uma análise, diminuindo alguns custos com os combustíveis, através do uso dos SAF's, sendo eles mais viáveis economicamente, sustentáveis e a matéria-prima disponível de maneira logística correta, segundo a IATA (2019), o Brasil poderá aumentar significativamente a sua conectividade aérea nacional e internacional, potencializando o crescimento da aviação no país.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista o cenário atual, e a medida que o petróleo vai se tornando cada vez mais escasso, é de grande importância o investimento do governo, das companhias aéreas e das entidades nacionais e internacionais da aviação, em pesquisas para encontrar um substituto para os combustíveis de origem fóssil. A consequência de encontrar uma fonte renovável de combustível, que seja economicamente viável e que atenda a enorme demanda diária que a aviação exige, vai ser além de não depender mais do petróleo, também irá diminuir

drasticamente os níveis de poluição ao meio ambiente. Além disso, irá diminuir outros problemas que a aviação causa em torno dos seus sítios portuários.

Os atuais fornecedores de combustíveis fósseis já estão investindo e apresentando projetos para a produção de biocombustíveis em parceria com companhias aéreas e entidades governamentais de pesquisa. Tendo em vista o fato de que em breve não haver mais a disponibilidade dos combustíveis fósseis e a demanda de combustíveis para aviação tender acrescer é de importância fundamental estas pesquisas e a preocupação com os fornecedores aos aeroportos.

O gerenciamento deste novo combustível (SAF) é muito similar ao atual. Logo, com uma produção consistente desse combustível, os procedimentos não mudarão radicalmente. Alguns poucos processos internos terão que ser reavaliados.

Por enquanto, as equipes aeroportuárias estão atuando conforme as normas vigentes nos regulamentos atuais. Porém, com essa nova tendência do SAF na aviação, já se visa as melhorias necessárias referentes as estruturas aeroportuárias, como novas identificações, ampliação dos tanques de combustíveis para suprir a atual demanda, e ampliá-la conforme a crescente tendência de mais voos nacionais e internacionais, treinamentos para as equipes de solo, entre outras medidas.

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

A tecnologia vem em encontro a esse processo de aperfeiçoamento das aeronaves, confeccionando motores aeronáuticos mais eficientes, econômicos, testando novos combustíveis, objetivando ainda a solução dos problemas causados pelos combustíveis fósseis. A preparação das estruturas aeroportuárias, junto às equipes de suprimentos em solo, terá que estar preparada e treinada para que a implementação dessa nova tendência, ocorra de maneira segura, eficiente e sem grandes problemas.

Antes de a pesquisa de campo ter sido realizada, a hipótese prevista como tendência de um substituto eficiente para os atuais combustíveis, era a do uso do hidrogênio. Por todas as suas propriedades de fornecimento energético, por ser

uma fonte renovável, com grande quantidade disponível na natureza e por emitir menos gases poluentes, talvez seria o substituto ideal.

Porém, diante de todas as dificuldades de obtenção de maneira isolada de hidrogênio, organização do seu armazenamento e distribuição, as novas estruturas que teriam que ser construídas com suas respectivas logísticas, além do pouco aproveitamento das atuais estruturas existentes, ele acaba se tornando caro e inviável de imediato. A pesquisa de campo revelou que o SAF tende a ser o combustível mais viável para substituir os atuais, pois entre as vantagens principais, se encontra o fato do reaproveitamento das estruturas existentes quase como um todo, tendo que haver poucas alterações e mudanças logísticas.

Contudo, ainda está longe de uma realidade ideal para a substituição dos combustíveis fósseis. O caminho é longo e o processo será gradual, porém necessário. Concorrer com a gigante indústria do petróleo é um desafio para a sustentabilidade e preservação do meio ambiente. Porém, é preciso para a preservar a vida, para a continuidade dos serviços e benefícios que a aviação proporciona, encurtando tempos de viagem, trazendo conforto e girando a economia em muitos aspectos.

A conclusão apresentada nesse trabalho vai de encontro aos objetivos propostos inicialmente. Como objetivo geral proposto, conclui-se que os aeroportos e os fornecedores estão alinhados e se preparando para a vinda do novo combustível, fazendo o levantamento do que é necessário e as adaptações que terão que ser feitas, sejam elas simples mudanças de sinalizações nas estruturas, e até mesmo a construção de novos tanques, por exemplo.

Através da pesquisa bibliográfica e da pesquisa de campo, atingiu-se os objetivos específicos propostos. Na pesquisa bibliográfica, foi verificado o que está se pesquisando e desenvolvendo em soluções para substituir os combustíveis fósseis e as “tendências” dentro da aviação. E na pesquisa de campo, através da investigação, conclui-se o que na prática se espera para o futuro na aviação, o uso do SAF. Foi verificado e concluído também que, o Brasil tem capacidade de produzir o SAF com os insumos que possui em seu território, e que o efeito de um combustível sustentável, viável economicamente e menos poluente ao meio

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

ambiente, trará inúmeras vantagens ao Brasil, e ao povo brasileiro, entre elas, passagens aéreas mais baratas.

Recomenda-se novos estudos para acompanhar a evolução das pesquisas, estudos e os testes de novos combustíveis, a tendência de uso do SAF, a validação dos testes de segurança para seu manuseio, as possíveis mudanças que ele pode trazer no curto e médio prazo para sua implementação. Além disso sugere-se acompanhar as operações com o uso exclusivo do SAF, analisando os países que já o utilizam, se faz importante para o aprendizado e busca de melhorias nos processos.

REFERÊNCIAS

AEROIN, 2019. **Com 17 altas seguidas, Viracopos novamente bate recorde de passageiros.** Disponível em: <https://aeroin.net/com-17-altas-seguidas-viracopos-novamente-bate-recorde-passageiros/> Acesso em: 01 fev. 2024.

AEROIN, 2023. **Aeroporto de Confins se torna o primeiro do Brasil certificado pelo ACI em experiência do passageiro.** Disponível em: <https://aeroin.net/aeroporto-de-confins-se-torna-o-primeiro-do-brasil-certificado-pela-aci-em-experiencia-do-passageiro/> Acesso em: 01 fev. 2024.

AEROIN, 2023. **Até agosto, 43% da importação via aérea no país passou pelo Aeroporto de Guarulhos.** Disponível em: <https://aeroin.net/ate-agosto-43-da-importacao-via-aerea-no-pais-passou-pelo-aeroporto-de-guarulhos/> Acesso em: 01 fev. 2024.

AGÊNCIA FAPESP, 2008. **Biodiesel feito de algas.** Disponível em: <https://agencia.fapesp.br/biodiesel-feito-de-algas/9839> . Acesso em: 20 set. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **Combustíveis sustentáveis para a aviação.** 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/meio-ambiente/combustiveis-sustentaveis-para-a-aviacao > Acesso em: 21 maio. 2023.

_____.**Lista dos aeródromos de uso público por classes do RBAC nº153 e por perfil operacional da Classe I,** de 24 de agosto de 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/regulados/aerodromos/lista-dos-aerodromos-de-uso-publico-por-classes-do-rbac-no-153-e-por-perfil-operacional-da-classe-i>. Acesso em: 29 jan. 2024.

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

_____. **Regulamento Brasileiro de Aviação Civil (RBAC) 33. Emenda nº 28**, de 22 de abril de 2009. Dispõe sobre os Requisitos de aeronavegabilidade: Motores Aeronáuticos. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/boletim-de-pessoal/2009/16s/rbac-33-2013-22-04-2009>. Acesso em: 10 out. 2023.

AIRBUS INDUSTRY. **Zero E**. 2020. Disponível em: <https://www.airbus.com/en/innovation/zero-emission/hydrogen/zeroe> Acesso em: 26 out. 2023.

ALMEIDA, Caio Pimental Silva de. **O futuro do combustível renovável para a aviação comercial.** 2022. Universidade do Sul de Santa Catarina, Santa Catarina, 2022. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstreams/3d192e41-ffb0-4e71-86a9-3a5df5927635/download> Acesso em: 25 out. 2023.

AMARAL, Monalisa Miranda Nascimento. **Os principais impactos ambientais na aviação: possíveis problemas e ações de mitigação**. Pontificia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, dez. 2021. Disponível em: <https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/handle/123456789/3377>. Acesso em: 29 mar. 2023.

AMOROSO DA SILVA, Inara. Hidrogênio: Combustível do futuro. **Ensaios e Ciências: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, Campo Grande, vol.20, n.2, 2016. Disponível em: **<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=26046651010>.** Acesso em: 16 mar. 2023.

AQUINO. R. **Avião movido a hidrogênio pode ser o futuro da aviação "limpa"**. 2021. Disponível em: <https://tecmasters.com.br/aviao-hidrogenio-futuro-aviacao-limpa/>. Acesso em: 20 out. 2023.

ATAG. **Facts & Figures**. Disponível em: <https://www.atag.org/facts-figures/ >. Acesso em: 21 maio 2023.

BARROS, H. **Santos Dumont: e a invenção do avião**. 1. ed. Rio De Janeiro-RJ: Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas - CBPF, 2006.

BASSETO. M. **EUA escolhe Pratt & Whitney para criar revolucionário motor aeronáutico a hidrogênio e vapor.** 2022. Disponível em: <https://aeroin.net/eua-escolhe-pratt-whitney-paracriar-revolucionario-motor-aeronautico-a-hidrogenio-e-vapor/> . Acesso em: 26 out. 2023.

BERMANN, Célio. **Crise ambiental e as energias renováveis**. 2008. Disponível em: <http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252008000300010>. Acesso em: 02 out. 2023.

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

BIODIESELBR. **Aviação mundial trabalha para desenvolver fontes renováveis**. Disponível em: <https://www.biodieselbr.com/noticias/biocombustivel/bioqav/aviacao-mundial-trabalha-fontes-renovaveis-250814>. Acesso em: 05 jun. 2023.

BONASSA, Gabriela. Bioquerosene: Panorama da Produção e Utilização no Brasil. Paraná: **Revista Brasileira de Energias Renováveis,** 2014.

CARPIO, R. R. **Otimização do processo de produção de etanol de segunda geração em um sistema integrado à primeira geração**, 2019. 243 f. Tese (Doutorado) - Universidade do Rio de Janeiro/COOPE. 2019.

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). **Biocombustíveis aeronáuticos progressos e desafios**. 2010. Disponível em: <https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/biocombustiveis_aeronauticos_24012011_9559.pdf/378f8f90-fa5c-4e0c-aad7-7adcbf607063?version=1.5 > Acesso em: 31 maio 2023.

COSTA, Adriana Aparecida dos Santos. **Caracterização de motor aeronáutico utilizando misturas de gasolina de aviação e etanol: aspectos fluidodinâmicos, termodinâmicos e ecológicos**. Guaratingueta, [s.n], 2011. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/106415/costa_aas_dr_guara.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 14 jun. 2023.

DATAR, R.P.& SHENKMAN, R.M.& CATENI, B.G.& HUHNKE, R.L.& LEWIS, R.S. **Fermentation of biomass-generated producer gas to ethanol.** Biotechnology and Bioengineering, vol. 86, p.587-594, 2004.
DE SÁ, V.; CAMAROTAN, M.C.; FERREIRA-LEITÃO, V.S. **Produção de hidrogênio via fermentação anaeróbia: aspectos gerais e possibilidade de utilização de resíduos agroindustriais brasileiros**. Química Nova, v.37, p.857-867, 2014.

DEWAN. A. **Hidrogênio verde pode ser o combustível do futuro. Mas ainda não deve resolver todos os problemas.** 2021. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/economia/o-hidrogenio-verde-pode-ser-o-combustivel-do-futuro-mas-ainda-nao-deve-resolver-todos-os-problemas/#:~:text=Pode%20haver%20um%20futuro%20para,%E2%80%9D%2C%20disse%20Cowell%20%C3%A0%20CNN.>. Acesso em: 25 set. 2023.

DOS SANTOS, K. G. **Fermentação anaeróbia: uma alternativa para a produção de hidrogênio.** Rev. Bras. Energias Renováveis, v.1, p.1-12, 2012.

DRUMOND, M. A., JOSÉ, B. DOS A., MARCELINO, R**. Pinhão manso: Pesquisa da Embrapa avalia planta para produção de biodiesel no semi-árido.** 2007. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/25728/1/Drumond-Estudosintegrados.pdf> Acesso em: 17 set. 2023.

EMBRAER. **Agrishow 2017 Embraer apresenta Ipanema 203 preparado para Certificação Aeroagrícola Sustentável**. Botucatu: EMBRAER, 2017.

EMBRAER. **EMBRAER apresenta versão do avião IPANEMA com motor a álcool,** 2002. Disponível em: <Embraer: notícias-EMBRAER APRESENTA VERSAO DO AVIAO IPANEMA COM MOTOR A ALCOOL> Acesso em: 02 out. 2020.

Empresa de pesquisa de Energia (EPE). **Fontes de energia.** 2019. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/fontes-de-energia>. Acesso em: 25 set.2022.

EPBR, 2023. O que é SAF? Conheça as diferentes rotas de combustíveis sustentável de aviação. Disponível em: <https://epbr.com.br/o-que-e-saf-conheca-as-diferentes-rotas-de-combustivel-sustentavel-de-aviacao/>. Acesso em: 01 fev. 2024.

FAPESP. **Plano de voo para biocombustíveis de aviação no Brasil: Plano de Ação.** Boeing/Embraer/ FAPESP e UNICAMP, 2013. Disponível em: <https://fapesp.br/publicacoes/plano-de-voo-biocombustiveis-brasil-pt.pdf?x=2>. Acesso em: 13 set. 2023.

FENATO, Filipe Turcio. **O Hidrogênio como opção futura de combustível de aeronaves.** Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, dez. 2022. Disponível em: <**https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/bitstream/123456789/5504/1/TCC%20II%20FILIPE%20Turcio.pdf >.** Acesso em: 16 mar. 2023.

FIGUEIREDO, L. A. G. **Motores e combustíveis de aviação: O impacto do abastecimento no transporte aéreo e a busca por alternativas ao Jet Fuel e à Avgas**. Revista Aero Magazine, São Paulo-SP, v. 1, n. 224, p. 12-13, jan./2013. Disponível em: <https://aeromagazine.uol.com.br/artigo/motores-e-combustiveis-de-aviacao_808.html>. Acesso em: 31 maio 2023.

FREITAS, Eduardo de. **A Crise do Petróleo; Brasil Escola**. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/geografia/a-crise-do-petroleo.htm > Acesso em: 20 maio 2023.

GAMARRA, J. T. BADEJO, M. S. OLIVEIRA, A. M. F. Trajetórias Tecnológicas para a aviação: o caso das algas. Altec. Porto Alegre: RS, 2015. Disponível em: <Palavras chave: Trajetórias tecnológicas, biocombustíveis, aviação e algas. - PDF Free Download (docplayer.com.br)>. Acesso em: 30 set. 2023.

GIL, A. C. **Como elaborar Projetos de Pesquisa.** 4ª. ed. São Paulo, Atlas, 2002.

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

GONÇALVES, F. dos R.; BORGES, L. E. P.; FRAGA, A M. **Combustível de aviação**: perspectivas e futuro. Revista Militar de Ciência e Tecnologia, 3º trimestre – 2011. Disponível em: <RMCT_059_E5A_11.pdf (eb.br)>. Acesso em: 30 set. 2023.

IATA – ASSOCIAÇÃO INTERNACIONAL DE TRANSPORTE AÉREO. **O valor do transporte aéreo no Brasil: desafios e oportunidades para o futuro.** São Paulo: Iata, [2019]. Disponível em: <https://valordaaviacao.org.br/wp-content/uploads/2019/07/IATA_Valor_do_Transporte_Aereo_no_Brasil_Maio_2019.pdf.>. Acesso em: 08 jul. 2023.

ICAO – INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. **Sustainable aviation fuels guide. Montreal: Icao, 2017**. Disponível em: <https://www.icao.int/environmental-protection/knowledge-sharing/Docs/Sustainable%20Aviation%20Fuels%20Guide_vf.pdf>. Acesso em: 29 jan. 2024.

INSTITUTO DE ENGENHARIA. **Aviões a hidrogênio prometem aviação livres de emissões.** 2021. Disponível em: <https://www.institutodeengenharia.org.br/site/2021/12/08/avioes-a-hidrogenio-prometem-aviacao-livres-de-emissoes/>. Acesso em: 15 out. 2023

LEPECKI, W. **A energia nuclear e a economia do hidrogênio**. INEE, 2011.

MATOS, C. R. A. **Etanol e Biodiesel.** Secretaria do Meio Ambiente/ Coordenadoria de Biodiversidade e Recursos Naturais. Etanol e Biodiesel. São Paulo: SMA, 2012. Disponível em: < http://www.ambiente.sp.gov.br/publicacoes/files/2013/04/11-etanolbiodiesel-2012.pdf>. Acesso em: 02 out. 2023.

MEDEIROS, S. H. L. O Etanol. 2008. Disponível em: <http://www.dsc.ufcg.edu.br/~pet/jornal/maio2008/materias/o_brasil.html>. Acesso em: 02 out. 2023.

MILANEZ, Artur Yabe et al. **Biocombustíveis de aviação no Brasil: uma agenda de sustentabilidade**. REVISTA DO BNDES, Rio de Janeiro, v. 28, n. 56, p. [361]-398, ed. esp., dez. 2021.

NASA. **Battery Innovations Power All-Electric Aircraft.** Disponível em: <https://spinoff.nasa.gov/Spinoff2019/t_1.html>. Acesso em: 07 jun. 2021.

NETO, M. C. **Biocombustíveis Brasil.** (Biobras), UNB, Brasilia. 2010.
NOVA CANA. **Processos da fabricação do etanol.** Disponível em: <https://www.novacana.com/etanol/fabricacao/> Acesso em: 25 set. 2023.

OLIVEIRA, Ana Camila Rodrigues; FERNANDES, Natanna Glenda Soares; MOREIRA Marcelo Aires; SILVA Ricardo Moreira da. **O Uso do Hidrogênio como**

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

Fonte Energética. XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Belo Horizonte, out.2011. Disponível em: <https://abepro.org.br/biblioteca/enegep2011_TN_WIC_143_902_18877.pdf>. Acesso em: 21 maio 2023.

OLIVEIRA, F.C.C.,et al. **Biodiesel: Possibilidade e desafios.** Revista Química e Saúde. 2007.

OLIVEIRA, M. M. **Como fazer pesquisa qualitativa.** Petrópolis, Vozes, 2007.

PACHECO, Thályta Fraga. **Produção de Etanol:** primeira ou segunda geração? Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/886571/1/CITE04.pdf>. Acesso em 12 set. 2023.

PAVAN, Carlos José Sabaini. **ESTUDO DO HIDROGÊNIO COMO COMBUSTÍVEL EM AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS [ARP],** 2016. Disponível em: <http://repositorio.unitau.br/jspui/bitstream/20.500.11874/5005/1/Carlos%20Jose%20Sabaini%20Pavan.pdf>. Acesso em: 04 nov. 2023.

REIS, Pedro. Tipos de biocombustíveis. **Portal energia**, fev. 2023. Disponível em: <https://www.portal-energia.com/tipos-de-biocombustiveis/>. Acesso em: 14 nov. 2023

ROBERTO, Ícaro. Quais combustíveis os aviões utilizam?. **AEROFLAP**, nov. 2020. Disponível em: <https://www.aeroflap.com.br/combustiveis-dos-avioes/>. Acesso em: 13 set. 2023.

SANTOS, F.M., SANTOS, F.A. **O combustível "hidrogénio"**. Rev. Educ., Ciênc. Tecnol., n.31, 2005.

SCHUCHARDT, U., SERCHELIA, R., VARGAS, R.M. **Transesterification of Vegetable Oils: a Review**. Journal of the Brazilian Chemistry Society, vol. 9 (1). 1998.

SOUZA, V. A. de.; HENKES, J. A. O uso do etanol além da aviação agrícola: um dos caminhos para a aviação geral: the use of ethanol beyOnd agricultural aviation:one of the ways to general aviation. **Revista Brasileira de Aviação Civil & Ciências Aeronáuticas**, [S. l.], v. 1, n. 2, p. 227–266, 2023. Disponível em: <https://rbac.cia.emnuvens.com.br/revista/article/view/32>. Acesso em: 19 jun. 2023.

STAHLHOEFER, Pedro Henrique. **VIABILIDADE DOS COMBUSTÍVEIS AERONÁUTICOS ATUAIS E POSSÍVEIS ALTERNATIVAS.** Pontífica Universidade Católica de Goiás, Goiás, 2021. Disponível em: <https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/bitstream/123456789/3287/1/Viabilidad

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

e%20dos%20combust%c3%adveis%20aeron%c3%a1uticos%20atuais%20e%20poss%c3%adveis%20alternativas.pdf> Acesso em: 15 jun. 2023.
SWAFEA, SUSTAINABLE WAY FOR ALTERNATIVE FUELS AND ENERGY IN AVIATION. **Final report** 2011. France: SWAFEA, 2011.
THOMAS, J. E. **Fundamentos de Engenharia de Petróleo**, 2ª edição, Rio de janeiro: Editora Iterciência, 2001.

UNICA. **Produção e uso do etanol combustível no Brasil.** Disponível em: <http://arquivos.ambiente.sp.gov.br/etanolverde/producao_etanol_unica.pdf>. Acesso em: 24 set. 2023.

VIANA, P. **Como funciona a propulsão com hidrogênio em aviões?** 2020. Disponível em: <https://www.aeroflap.com.br/propulsao-com-hidrogenio-em-avioes/> Acesso em: 28 out. 2023.

VIVACQUA, F, A. **Babaçu, Aspectos Sócio-econômicos e Tecnológicos.** Brasília: Universidade de Brasília, 217p. 1968

WINGE, Caroline; SACRAMENTO, V. C. F. **Escrevendo o TCC: do projeto a publicação.** Universidade Federal do Rio Grande do sul**,** Rio grande do Sul, 2020. Disponivel em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/237918>. Acesso em: 11 jun. 2023.

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