

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS  
ESCOLA POLITÉCNICA E DE ARTES  
GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AERONÁUTICAS



**OS BIOCOMBUSTÍVEIS E A INOVAÇÃO DE RUPTURA NA AVIAÇÃO CIVIL**

NATHAN SANTANA DO COUTO SOUZA

GOIÂNIA

2023

NATHAN SANTANA DO COUTO SOUZA

## **OS BIOCOMBUSTÍVEIS E A INOVAÇÃO DE RUPTURA NA AVIAÇÃO CIVIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola Politécnica e de Artes, da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Ciências Aeronáuticas.

Orientadora:

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Anna Paula Bechepeche.

Banca Examinadora:

Prof. Me. Paulo José Gonzaga Ribeiro.

Prof. Dr. Ycarim Melgaço Barbosa.

GOIÂNIA

2023

NATHAN SANTANA DO COUTO SOUZA

## **OS BIOCOMBUSTÍVEIS E A INOVAÇÃO DE RUPTURA NA AVIAÇÃO CIVIL**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado em sua forma final pela Escola Politécnica e de Artes, da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, para a obtenção do título de Bacharel em Ciências Aeronáuticas, em 13/12/2023.

---

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Anna Paula Bechepeche

---

Prof. Me. Paulo José Gonzaga Ribeiro.

---

Prof. Dr. Ycarim Melgaço Barbosa.

GOIÂNIA

2023

# OS BIOCOMBUSTÍVEIS E A INOVAÇÃO DE RUPTURA NA AVIAÇÃO CIVIL

Nathan Santana do Couto Souza<sup>1</sup>

Anna Paula Bechepeche<sup>2</sup>

## RESUMO

O tema desta pesquisa aborda a inovação de ruptura quanto ao uso dos biocombustíveis na aviação civil brasileira, sua eficiência e aplicação no mercado globalizado, a fim de mitigar as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) emitidos pelos motores a reação das aeronaves, por intermédio da queima do combustível fóssil. O objetivo é entender o papel dos biocombustíveis na redução das emissões de gases poluentes, e se estes podem ser considerados uma inovação de ruptura, ao substituir o Querosene de Aviação (QAV-1) no âmbito da aviação civil. A metodologia utilizada foi de abordagem qualitativa, de natureza básica, com objetivos exploratórios, com procedimentos bibliográficos e documentais. Os resultados da pesquisa indicam que o bioquerosene de aviação se apresenta como uma alternativa sustentável e viável, uma vez que suas características são semelhantes ao QAV-1. Vale ressaltar, ainda, que os biocombustíveis de origem lignocelulósicas são alternativas mais rápidas e de fácil implementação no setor da aviação civil, já que apresentam custo baixo, alta produtividade e utilizam resíduos vegetais ou animais. No entanto, por ser uma tecnologia nova, ainda não se tem preços competitivos quando comparado ao QAV-1. Conclui-se que a promoção da sustentabilidade global dos biocombustíveis para aviação requer soluções integradas que considerem a redução do impacto socioambiental, a segurança alimentar e a viabilidade econômica da produção em escala comercial.

**Palavras-chave:** Aviação Civil. Biocombustíveis. Sustentabilidade. Inovação.

---

<sup>1</sup> Bacharel em Ciências Aeronáuticas pela Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC-GO); Bolsista PIBITI/CNPq no projeto de iniciação científica de Pesquisa, Desenvolvimento, Inovação e Gestão de Processos na Aviação Civil. Representante de turma e aluno voluntário da Comissão de Eventos do Centro Acadêmico Santos Dumont (CASD). E-mail: [nathan2001santana@hotmail.com](mailto:nathan2001santana@hotmail.com).

<sup>2</sup> Graduada em Física pela Universidade Federal de Goiás (1988), mestre em Física pela Universidade de São Paulo (1991), doutora em Química pela Universidade Federal de São Carlos (1996). Professora efetiva na Pontifícia Universidade Católica de Goiás e na Universidade Estadual de Goiás. Possui experiência na área de Física, com ênfase em Física da Matéria Condensada. E-mail: [abechepeche@yahoo.com.br](mailto:abechepeche@yahoo.com.br).

# **THE BIOFUELS AND THE DISRUPTIVE INNOVATION IN THE CIVIL AVIATION**

## **ABSTRACT**

*The theme of this research addresses disruptive innovation in the use of biofuels in Brazilian civil aviation, its capacity for innovation, efficiency, and application in the global market, in order to mitigate greenhouse gas emissions from aircraft jet engines through the combustion of fossil fuels. The goal is to understand the role of biofuels in reducing emissions of pollutants and whether they can be considered a disruptive innovation by replacing Aviation Kerosene (Jet A-1) in the field of civil aeronautics. The methodology used was a qualitative approach, of a basic nature, with exploratory objectives, using bibliographical and documentary procedures. The research results indicate that aviation bio-kerosene appears as a sustainable and viable alternative, given that its characteristics are similar to Jet A-1, with a low freezing point, high volatility, and high calorific value. It is worth noting that, in addition, lignocellulosic biofuels are faster and more easily implementable alternatives in the civil aviation sector, as they have low cost, high productivity, and use plant or animal residues. However, being a new technology, competitive prices have not yet been achieved compared to Jet A-1. It is concluded that the promotion of global sustainability for aviation biofuels requires integrated solutions that consider the reduction of socio-environmental impact, food security, and the economic viability of commercial-scale production.*

**Keywords:** *Civil Aviation. Aviation Biofuels. Sustainability. Innovation.*

## **1 INTRODUÇÃO**

A crescente demanda por combustíveis renováveis e a necessidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa têm impulsionado a produção de biocombustíveis em todo o mundo. No entanto, a produção em grande escala de biocombustíveis ainda enfrenta muitos desafios, especialmente, no setor de transporte aéreo. Assim, o tema desta pesquisa está inserido no cenário da inovação de ruptura, quanto ao uso dos biocombustíveis na aviação civil brasileira, sua eficiência e aplicação no mercado globalizado, a fim de mitigar as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) emitidos pelos motores a reação das aeronaves civis, por intermédio da queima do combustível fóssil e se estes podem ser

considerados uma inovação de ruptura, ao substituir o Querosene de Aviação (QAV-1) no âmbito da aviação civil.

Combustíveis são quaisquer substâncias químicas que, ao reagirem com o comburente ( $O_2$ ), produzem uma reação química denominada combustão (Plantier, 2013). O setor de transportes, inclusive a aviação, é responsável pela maior parte das emissões de dióxido de carbono, o GEE mais presente na atmosfera e principal responsável pelo aquecimento global. Esse efeito causa problemas, como: a escassez de alimentos, o desequilíbrio térmico terrestre e o derretimento das calotas polares, que eleva o nível médio do mar e interfere no sistema de aquecimento e resfriamento natural do planeta Terra (ANP, 2019).

De acordo com Sachs (2007), os principais temas que induzem às pesquisas relacionadas à questão da sustentabilidade e da redução na emissão de GEE são: a preocupação com a escassez das reservas de combustíveis fósseis; a geopolítica e os altos custos para manter as rotas de abastecimento a partir do Oriente Médio, visando ao lucro e à eficiência; e a preocupação ambiental, na qual, no contexto ideológico começou conquistando espaço nas discussões, devido à criação do Protocolo de Kyoto (1997) e, posteriormente, com a ratificação do Acordo de Paris (2015). Todavia, sob essa perspectiva, é incômodo pontuar que nenhuma das grandes revoluções energéticas do passado aconteceu devido ao esgotamento da matéria-prima, e sim pelo surgimento de meios mais eficientes e econômicos.

Devido à alta emissão de gases poluentes derivada dos combustíveis fósseis, urge a necessidade de analisar as fontes alternativas para abastecer os motores aeronáuticos - os biocombustíveis, que são elementares para a viabilidade de fontes alternativas de combustíveis para aviação (Hupe, 2011) e a aplicação do conceito de inovação de ruptura ao setor de produção de biocombustíveis para os jatos comerciais.

Com base na questão-problema: “Qual o papel dos biocombustíveis na redução das emissões de gases poluentes, e se estes podem ser considerados uma inovação de ruptura, ao substituir o Querosene de Aviação (QAV-1) no âmbito da aviação civil?”, o objetivo desta pesquisa é analisar o papel da inovação de ruptura na aviação civil brasileira, especificamente, no que tange aos

biocombustíveis de aviação, com base nos pensamentos schumpeteriano e neo-schumpeteriano, por meio de uma pesquisa de natureza básica, de abordagem qualitativa, com objetivos exploratórios e procedimentos de revisão bibliográfica e documental. Para isso, foram selecionados artigos, monografias e teses nas bases de dados do Google Acadêmico, *Scientific Electronic Library Online (SciELO)*; além de livros e relatórios governamentais acerca do desenvolvimento dos combustíveis sustentáveis de aviação.

A pesquisa encontra-se dividida em cinco estágios, além deste introdutório e das considerações finais -, corroborando o entendimento fidedigno do tema. A revisão teórica resgata o conceito dos combustíveis fósseis e dos biocombustíveis de aviação, além de, tratar sobre as principais fontes energéticas utilizadas na produção dos biocombustíveis de aviação e abordar a inovação segundo os pensamentos schumpeteriano e neo-schumpeteriano. Os resultados, no quarto estágio, destaca a bibliografia selecionada para este trabalho e, por conseguinte, na discussão tecem-se os diálogos alimentados por esses achados bibliográficos. Contudo, nas considerações finais, espera-se evidenciar se os biocombustíveis de aviação, em especial, o Bioquerosene de Aviação (bio-QAV), pode ser considerado uma inovação de ruptura sob a visão de Schumpeter ao substituir o QAV-1 e os próximos passos da indústria aeronáutica para promover o desenvolvimento sustentável no que se refere à produção de Combustível Sustentável de Aviação.

## **2 REVISÃO TEÓRICA**

A fim de contextualizar a pesquisa, buscou-se entender os conceitos de combustíveis fósseis e biocombustíveis; expor sobre as principais fontes energéticas utilizadas na produção dos combustíveis sustentáveis de aviação e compreender os pensamentos schumpeteriano e neo-schumpeteriano relacionados à inovação.

A princípio, ao resgatar o conceito dos combustíveis fósseis e dos biocombustíveis de aviação, entende-se que o que os diferem é, sobretudo, a sua capacidade de se recompor na natureza com rapidez e facilidade e reduzirem

a emissão de GEE, uma vez que, os combustíveis fósseis são finitos e os biocombustíveis, por sua vez, possuem fontes biológicas ilimitadas (Plantier, 2013).

Em segunda instância, ao analisar as principais fontes energéticas utilizadas na produção de biocombustíveis de aviação, observa-se que no Brasil, a cana-de-açúcar é uma das matérias-primas mais utilizada na produção de combustíveis sustentáveis de aviação. Outrossim, voltando-se para os EUA, observa-se que o insumo mais utilizado nesse âmbito é o milho geneticamente modificado (Sachs, 2007).

Para Schumpeter (1939), a inovação tecnológica representa um papel central na questão do desenvolvimento econômico regional de um país, gerando uma ruptura no sistema econômico ao manter o sistema capitalista dinâmico. Não obstante, Mazzucato (2014) aponta para o papel ativo do Estado em patentear essas inovações tecnológicas disruptivas, ao passo que, McGrath (2020) chama a atenção do setor privado para atentar-se aos sinais dessas mudanças.

## 2.1 OS COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS E OS BIOCMBUSTÍVEIS DE AVIAÇÃO

Os combustíveis de fontes naturais renováveis, os biocombustíveis, diferenciam-se dos combustíveis fósseis pelo fato de se recomporem na natureza com rapidez e facilidade, e reduzirem a emissão de GEE, considerados como fontes inesgotáveis (Plantier, 2013). O termo biocombustível é usado para designar qualquer forma de energia renovável derivada da biomassa, que pode substituir, de forma parcial ou total, os combustíveis derivados do petróleo e gás natural utilizados pelos motores à combustão. Paralelamente, esses combustíveis alternativos podem ser de origem sólida (a exemplo da madeira), líquida ou gasosa, produzidos a partir de uma variedade de matérias-primas e resíduos (Salvatore, 2003). Os biocombustíveis são aqueles de origem biológica não fóssil, cuja base são materiais orgânicos extraídos de fontes vegetal ou animal (CBIE, 2020).

Por conseguinte, de acordo com os preceitos da Associação Internacional de Transportes Aéreos (IATA), o termo “Combustível Sustentável de Aviação” é definido pelo acrônimo *SAF (Sustainable Aviation Fuel)*, usado pela indústria

aeronáutica para descrever uma fonte energética não convencional, produzida a partir de recursos biológicos vegetais, que tenha como matéria-prima os óleos vegetais e a cana-de-açúcar, denominados biocombustíveis de 1ª geração (Ferraro; Briody, 2018). Já os combustíveis sustentáveis produzidos por meio dos resíduos industriais e de fontes orgânicas dos animais (sebo, gordura e dejetos) são denominados biocombustíveis de 2ª geração – não concorrente com o setor alimentício, dotados de características químicas e físicas idênticas às dos combustíveis fósseis, principalmente, a Gasolina de Aviação (Avgas) e o Querosene de Aviação (QAV-1). Para serem considerados "sustentáveis", os combustíveis devem atender aos critérios de redução das emissões de gás carbônico, requisitos limitados de água doce, que não concorra com a produção de alimentos e não degrade a biodiversidade local (Ferraro; Briody, 2018).

A Avgas e o QAV-1 são usados, atualmente, nos voos comerciais, e podem ser misturados aos biocombustíveis de 2ª geração, e assim, geram uma classe de combustíveis sustentáveis conhecidos como *drop-in*. Estes, de acordo com Ferraro e Briody (2018), são capazes de atender às especificações das aeronaves e das infraestruturas existentes, e contribuem para a manutenção da cadeia de suprimento atual, das aeronaves existentes, entre outros fatores. Além disso, possuem o diferencial de não apresentarem fatores adversos, como na cadeia de suprimento e no desenvolvimento de aeronaves específicas (Ferraro; Briody, 2018).

Alguns exemplos de biocombustíveis para aviação são o etanol e o bioquerosene. O etanol é um biocombustível resultante do processo fermentativo de biomassa renovável utilizado em motores a combustão interna (ANP, 2019). É imprescindível destacar que há dois tipos de etanol utilizados como biocombustíveis adotados no setor automobilístico e na aviação agrícola: o etanol hidratado e o etanol anidro. O etanol hidratado carburante é conhecido como álcool a 92.00 GL, composto por uma combinação de 92% de álcool e 8% de água, o qual é utilizado como combustível em veículos com motores *flex*. O etanol anidro é conhecido como álcool a 99.60 GL, uma combinação de 99,6% de álcool e 0,4% de água, o qual é utilizado como aditivo para os combustíveis fósseis (Silva, 2019).

A maior parte do etanol na atualidade é produzida pela fermentação de milho, nos Estados Unidos; e da cana-de-açúcar, no Brasil (Hemighaus *et al.*,

2006). É importante destacar que o uso do etanol começou a ser fomentado a partir de 1931, com um decreto que exigia a adição de 5% de álcool na gasolina dos automóveis. Porém, os estudos das propriedades do etanol se tornaram mais tênues, a partir da criação do Programa Brasileiro do Álcool (Proálcool), em 1975, no qual, ocorreu a sua primeira utilização para alimentar um motor Lycoming IO-540K que, à época, equipava as aeronaves de treinamento T-25 da Academia da Força Aérea Brasileira.

No entanto, o etanol, como combustível sustentável, apresentou algumas preocupações, como a destacada por Hausen *et al.* (2010), em que foi observado aumento de potência de 20HP, de 300HP para 320HP, o qual representa um aumento de 6,5%. Também o consumo aumentou 40%, quando comparado ao uso de AvGas, de 70 litros h<sup>-1</sup> para 11 litros h<sup>-1</sup>.

Porém, a presença de água no etanol é preocupante para a aviação, visto que causa uma diminuição na potência dos motores das aeronaves a jato comerciais, o qual resulta em uma perda de eficiência. Isso ocorre devido ao fato que, como os jatos comerciais voam em grandes altitudes, estes necessitam de um combustível que ofereça baixo ponto de congelamento, alta volatilidade e alto poder calorífico, a fim de impedir que a umidade atmosférica provoque a parada do motor durante a etapa de subida, devido à perda da temperatura atmosférica que, nesse caso, forma cristais de gelo quando há a presença de água (Homa, 2014).

Tendo em vista que o bioquerosene, constitui um biocombustível de 2ª geração que, também, foi resultado de uma política estatal para o incentivo à sustentabilidade ambiental da aviação brasileira, por meio da Lei n.º 14.248, de 25 de novembro de 2021 (Brasil, 2021), que versa acerca da criação do Programa Nacional do Bioquerosene, a fim de promover a sustentabilidade da aviação brasileira, por meio da pesquisa e do fomento da produção de energia à base de biomassas, que não concorram com a produção de alimentos. Esse tipo de combustível é produzido a partir de matérias-primas renováveis, que não são usadas como fontes de alimentação humana, e por isso, são considerados combustíveis de 2ª geração, a exemplo da camelina, babaçu, pinhão-manso e as algas. Estes não necessitam de grandes quantidades de água em sua produção e

agregam valores socioeconômicos à região na qual são cultivados, uma vez que utilizam terras inapropriadas para a produção de alimentos.

Assim, o processamento do bioquerosene pode ser obtido por intermédio de algumas rotas de produção (processamento de produção), como: processos químicos que utilizam oleaginosas vegetais ou gorduras animais, processadas por transesterificação; processos bioquímicos, por meio de leveduras ou bactérias modificadas que metabolizam matérias açucaradas e produzem uma gama de hidrocarbonetos; e os processos termoquímicos, resultado dos processos de craqueamento catalítico, gaseificação e síntese catalítica (Chiaramonti *et al.* 2014 *apud* Bonassa *et al.*, 2014).

Em primeira instância, o processo de transesterificação dos óleos vegetais compreende a parte na qual os triglicerídeos são convertidos em ésteres metílicos ou etílicos e glicerina, por meio de uma reação na presença de álcool (metanol ou etanol) e alguns catalisadores como bases fortes, ácidos ou enzimas. Por conseguinte, no processo bioquímico, são adicionados microrganismos que metabolizam os açúcares e produzem isoprenoides, que após passarem pelo processo de hidrogenação, resultam no bioquerosene (Schuchardt, 1998 *apud* Bonassa *et al.*, 2014).

## 2.2 AS FONTES ENERGÉTICAS UTILIZADAS NA PRODUÇÃO DOS BIOCOMBUSTÍVEIS DE AVIAÇÃO

Quanto aos estudos acerca da produção de biocombustíveis, o Brasil é pioneiro, graças às condições climáticas favoráveis e a disposição de terras, que fazem com que a cana-de-açúcar brasileira detenha um maior poder calorífico e energético. Ao passo que, o milho usado pelos Estados Unidos para produzir tal mistura possui maior consumo energético, utiliza maiores insumos químicos, como fertilizantes, agrotóxicos e a manipulação genética laboratorial. Por conseguinte, esse efeito é um desdobramento frente à resistência norte-americana na adoção dos biocombustíveis, que apelam, em primeira instância, às reservas carboníferas do país (Sachs, 2007).

Entretanto, a produção de biocombustíveis tem causado preocupações, ao se analisarem alguns dos fatores que podem impactar o setor da agricultura local. De acordo com Silva (2005), alguns desses fatores estão relacionados à cana-de-açúcar, que exige grandes superfícies territoriais para o seu cultivo, a monotonia da paisagem agrícola dos locais de cultivo e as condições de trabalho degradantes, principalmente, em sua fase de colheita.

Assim, o primeiro argumento contrário ao uso de biocombustíveis é de que os produtos em que se apoiam a sua oferta apresentam baixo balanço energético, assim, a energia "nova" (não fóssil) obtida é muito pequena (2,4% do mercado); o segundo diz respeito à ineficiência para o combate da problemática do efeito estufa, no qual, o desmatamento causado pela preparação do solo para receber essas plantas sobrepõe os seus benefícios, o qual coloca em dúvida a questão da sustentabilidade; o terceiro traz a preocupação com a segurança alimentar, por exemplo, o aumento dos preços dos alimentos, devido ao aumento da demanda gerada pelos biocombustíveis (Range; Senauer, 2007 *apud* Abramovay, 2009); o quarto diz respeito à concentração de renda e a dominação dos grandes produtores, que levam à expansão das lavouras dessas oleaginosas, além de comprometerem as florestas e a produção de alimentos.

A problemática relacionada ao quarto argumento pode ser associada à questão fundiária no Brasil, em que grande parte de suas terras tem sido utilizada para a produção de alimentos, voltada ao extrativismo e às atividades agropecuárias locais. Vale ressaltar que cerca de 32, 2% do solo brasileiro é dividido entre áreas protegidas em propriedades privadas; 24,8% áreas de proteção permanente (faixa de proteção de rios e áreas de declive alto, parques preservados e reservas indígenas); 23,3% de terras para pastagens; 8,2% de vegetação nativa; 7,1% voltados à agricultura e florestas plantadas e 4,5% aos usos urbanos; uma divisão de 7,1% das terras agricultáveis são voltadas, principalmente, ao cultivo predominante da soja, milho e cana-de-açúcar (Boeing; Embraer; Fapesp; Unicamp, 2013, p. 28).

### 2.3 A INOVAÇÃO SEGUNDO OS PENSAMENTOS SCHUMPETERIANO E NEO-SCHUMPETERIANO

Para o economista austríaco Joseph Schumpeter (1939), autor do pensamento schumpeteriano, a inovação tecnológica cria uma ruptura no sistema econômico, ao alterar seu estado de equilíbrio. Dessa forma, gera padrões de produção e cria diferenciação para as empresas. Essa ruptura representa um papel central na questão do desenvolvimento econômico regional de um país, ao manter o sistema capitalista dinâmico.

Destarte, de acordo com o pensamento schumpeteriano, o motor do sistema de produção capitalista é o fenômeno tecnológico e o processo de inovação tecnológica. Nessa esteira, a inovação é considerada como o elemento motriz do capitalismo, que tem o poder de criar bens ou novas técnicas de produção, colaborar para o surgimento de novos mercados, ofertas de matérias-primas e composições industriais. É dividida em três etapas: invenção (a ideia potencialmente aberta para a exploração comercial); inovação (exploração comercial); e difusão (propagação de novos produtos e processos pelo mercado).

Porém, o que é importante não são as inovações incrementais e sim as inovações de rupturas, capazes de provocar mudanças revolucionárias e decisivas na sociedade e na economia (Suárez, 2004). Isso remete ao conceito de destruição criativa, considerada como um fenômeno decorrente da aplicação de um conjunto de novas tecnologias e da conseqüente viabilidade de mercado, com a introdução de novas combinações produtivas ou mudanças tecnológicas nas funções de produção. Isso traz impacto nas tecnologias tradicionais, que se tornam obsoletas e, portanto, são substituídas pelas inovações (Schumpeter, 1939).

O processo de inovação abordado por Schumpeter foi aprofundado nos estudos de Christopher Freeman (1987), importante economista britânico influenciado pelos ideais de Schumpeter, que classifica, então, o processo de inovação de acordo com sua intensidade. Nesse sentido, as inovações de rupturas ou radicais se constituem em eventos não continuados e geram, como conseqüência, pesquisa e desenvolvimento realizadas por empresas, universidades e laboratórios. Já a inovação incremental é fruto dos resultados de invenções e melhorias identificadas e sugeridas por profissionais envolvidos no processo de produção ou de iniciativas e sugestões dos usuários.

Mazzucato (2014) desenvolve um pensamento baseado no papel ativo do Estado para promover inovações, que altera a sua tarefa de apenas regular mercados e interferir nas questões macroeconômicas. Concomitantemente, traça-se um paralelo à crise de 1929 (a queda da bolsa de valores de Nova Iorque), responsável por desencadear a “Grande Depressão” nos Estados Unidos da América, até então, baseado em uma política de livre mercado, alta concorrência e produção em massa.

Ademais, de acordo com McGrath (2020), grande parte das empresas têm dificuldade em ocupar as bordas de suas companhias, áreas que são incomuns às salas de reuniões e escritórios, e saírem de sua atuação cotidiana. Dessa forma, tal problemática tem retardado o fenômeno da inflexão estratégica, uma vez que pode causar alterações significativas em alguns elementos de suas atividades, alterar conceitos solidificados, cria espaços, enquanto destroem tecnologias e modelos obsoletos.

Logo, urge que o setor público, juntamente ao empresariado, provoque essa mudança nos paradigmas de consumo, produção e capitalização, incentivados pelo setor privado que, por sua vez, terá que vislumbrar essas mudanças para que possam usufruir da onda de crescimento dos gráficos de controle de suas companhias ou, se falharem, assumir o risco de sofrerem prejuízos ou terem seus lucros diminuídos.

Acerca das inovações de ruptura, Schumpeter (1942 *apud* Mazzucato, 2014) destaca que é importante que o governo não apenas faça coisas que os indivíduos já têm feito, mas que as faça de modo aperfeiçoado ou um pouco melhor; desde que faça algo que precisa e que não está sendo feito.

Ainda nessa linha de raciocínio, é apontado por Mazzucato (2014) o quanto incessantemente o Estado investe em pesquisas tecnológicas e produz inovações disruptivas no aspecto global, a exemplo da criação da internet no Vale do Silício, por meio da DARPA, que financiou a formação de departamentos de ciência da computação, apoiou *startups* com pesquisas iniciais, contribuiu para a pesquisa de semicondutores, colaborou com a pesquisa da interface homem-computador e supervisionou os estágios iniciais da internet.

Assim, entende-se que o Estado é, também, um dos responsáveis por promover as inflexões estratégicas e mudar os hábitos do consumidor. No Brasil, segundo dados do portal CIMM (2011), um movimento entre o Instituto Nacional de Tecnologia (INT) e o Instituto Militar de Engenharia (IME) resultou em duas patentes para a produção de biocombustível para a aviação. Nessa esteira, contrariando os estudos existentes apoiados na cana-de-açúcar e nas oleaginosas, a proposta inovadora da vez é utilizar a matéria-prima obtida de subprodutos de processos industriais, que envolvem uma série de biomassas – um insumo que não exige plantação, estudos ou testes de produção.

De acordo com os pensamentos de Schumpeter (1939), Mazzucato (2014) e McGrath (2020), a condição propícia para a gestação do processo de inovação tecnológica é a instabilidade de mercado, juntamente com a regulamentação estatal. Portanto, cabe ao setor privado a responsabilidade de detectar essas mudanças no panorama mercadológico, a fim de ter mais chances de crescimento econômico e alcançar o êxito na acumulação de capital, tecnologia e produção de pesquisas científicas para fortalecer as bases empresariais. Logo, evidencia-se que Schumpeter (1988) estava correto ao afirmar que o fenômeno tecnológico e o processo de inovação tecnológica são as motrizes de produção capitalista, e assim, introduzir a ideia de destruição criativa, já que esta é a responsável por permitir a sobrevivência e a adaptação das empresas produtoras de tecnologia face às mutações do mercado globalizado.

É necessário que o setor público, juntamente com o empresariado de característica schumpeteriana, trabalhem de modo a trazer transformações no padrão de produção, ao explorarem invenções, que gerem novas mercadorias; possibilidades de novos tipos de produção de mercadorias existentes; novas opções de materiais; novas possibilidades de uso de materiais existentes; entre outras (Schumpeter, 1984).

Por conseguinte, é evidente a importância das inovações de ruptura na aviação civil brasileira, especificamente, no que tange à sustentabilidade relacionada aos biocombustíveis no setor aeronáutico, sua eficiência e aplicação no mercado globalizado para mitigar as emissões de GEE emitidos pelos motores a reação das aeronaves civis, por meio da queima do QAV-1 e se estes podem ser

considerados uma inovação de ruptura, ao substituir o QAV-1 no âmbito da aviação civil.

### **3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

Esta pesquisa é de abordagem qualitativa, de natureza básica, com objetivos exploratórios, e que utiliza procedimentos bibliográficos e documentais. A pesquisa bibliográfica é aquela baseada em material publicado (livros e revistas), ao passo que a documental abrange fontes que podem ser reformuladas, conforme o objetivo da pesquisa. O método científico empregado para a obtenção dos dados foi o hipotético-dedutivo, em que, “Ocorre a formulação de hipóteses para expressar as dificuldades do problema, de onde são deduzidas consequências que deverão ser testadas ou falseadas” (Prodanov; Freitas, 2013, p. 127).

Optou-se pela pesquisa bibliográfica para atender aos objetivos estabelecidos, com a busca de artigos indexados acerca do conceito de inovação segundo Schumpeter, biocombustíveis e aviação civil. As fontes adotadas na pesquisa foram os artigos, monografias e teses encontrados no Google Acadêmico, *Scientific Electronic Library Online (SciELO)*, livros e relatórios acerca do desenvolvimento de combustíveis sustentáveis para o setor aéreo brasileiro.

A busca nas bases foi realizada entre 31 de outubro de 2021 e 31 de outubro de 2023, com o uso dos descritores: "aviação civil", "inovação", "Schumpeter", "biocombustíveis" e "biocombustíveis de aviação". Foram considerados estudos das áreas do conhecimento relacionadas à administração, economia, gestão ambiental e engenharia de produção publicados entre 2000 e 2021, em português, inglês e espanhol. A busca retornou 54 artigos relacionados à “aviação civil”, “inovação” e “Schumpeter” e 90 artigos relacionados aos “biocombustíveis de aviação” e “inovação” dos quais, ao todo, foram selecionados 24, com base na relevância do conteúdo para o estudo. Estes, foram lidos integralmente e resumidos durante o período de 2021-2023, quais sejam: Salvatore (2003); Suárez (2004); Silva (2005); Hemighaus *et al.* (2006); Abramovay (2009); Jank e Nappo

(2009); Hausen *et al.* (2010); Hendricks *et al.* (2011); Stump (2011); Sandquist e Guell (2012); Plantier (2013); Mazzucato (2014); Bonassa *et al.* (2014); Holladay *et al.* (2014); Homa (2014); Jank e Nappo (2014); Köhler *et al.* (2014); Dyk *et al.* (2017); Cordellini (2018); Ferraro e Briody (2018); Roitman (2018); Silva (2019); McGrath (2020); e Yoshinaga (2020).

## **4 RESULTADOS**

Após o desenvolvimento da revisão teórica, a respeito dos conceitos de combustíveis e biocombustíveis e da inovação baseada nos pensamentos schumpeteriano e neo-schumpeteriano; e a abordagem da problemática das fontes energéticas, procurou-se trazer esse embasamento teórico para o contexto do desenvolvimento sustentável dos biocombustíveis utilizados na aviação brasileira, que impactam na emissão de GEE e identificar a relação entre o processo de implementação em larga escala dos biocombustíveis e o cultivo da matéria-prima dos combustíveis sustentáveis de aviação.

Assim, na busca por entender se os biocombustíveis podem ser considerados como inovação no setor aeronáutico, prosseguiu-se analisando a bibliografia selecionada para este trabalho.

Abramovay (2009) traz algumas discussões e levantamentos bibliográficos acerca da produção de biocombustíveis no território brasileiro, e enfatiza que os principais desafios e benefícios até então estudados são: a preocupação socioambiental, a segurança alimentar e o ecodesenvolvimento sustentável.

Jank e Nappo (2014) destacam que o etanol, à época em que foi introduzido no mercado brasileiro representou, uma grande ruptura com as práticas tradicionais latifundiárias, além de proporcionar um avanço nos rendimentos da terra e produtividade de trabalho.

Por conseguinte, devido à intervenção estatal e aos reflexos da criação do Proálcool, em 1970, o período de 2007 e 2008 foram os anos de ouro do Brasil, na produção de etanol advindo da cana-de-açúcar, já que alcançou 460 milhões de toneladas desse mesmo insumo, concomitantemente ao êxito do programa

brasileiro de etanol, enraizado nas vantagens econômicas e ambientais do etanol de cana-de-açúcar, que favoreceu um balanço de energia fóssil considerável. De acordo com Jank e Nappo (2009, p. 20-57), “Com base em uma análise do ciclo de vida completo do etanol, é possível evitar até 90% das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) equivalentes em CO<sub>2</sub> quando se usa etanol de cana-de-açúcar em substituição à gasolina”.

Outrossim, é possível afirmar que o etanol não causa desmatamento, uma vez que, de acordo com Abramovay (2015), mais de 85% da cana-de-açúcar brasileira é cultivada no Centro-Sul do país, área localizada a mais de 2 mil km da floresta Amazônica. Desse modo, a região amazônica não é considerada propícia para o cultivo desse insumo, devido às condições climáticas e à ausência da logística de escoamento, por outro lado, 15% são produzidos no Nordeste.

Dessa forma, devido aos parâmetros citados, é implementado o uso do etanol e a ratificação dos motores *flex fuel* no mercado, que permitiu a mistura de combustíveis fósseis ao etanol nos automóveis brasileiros.

Paralelamente, após a implementação da política *flex fuel* fomentada em 1970, a partir da criação do Pró-álcool, em 2005, a aviação começa a dar os seus primeiros passos rumo à sustentabilidade. Isso ocorreu com a implementação de uma parceria entre a Embraer e o Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (DCTA), responsável pela conversão do motor a gasolina para etanol do avião Ipanema, fabricado pela companhia brasileira Neiva, que passou a utilizar a mistura de Gasolina de Aviação (Avgas) com o etanol, por meio do processo *drop-in*, o que contribuiu para a redução de custos e a melhoria do desenvolvimento ambiental (Stump, 2011).

É importante ressaltar que o sucesso da implementação dos biocombustíveis *drop-in* tem seu apoio, essencialmente, em sua trajetória tecnológica, ou seja, na capacidade de combinar matérias-primas com tecnologias de refino, de acordo com critérios de produção sustentável e de viabilidade econômica (Köhler *et al.* 2014). Sob essa perspectiva, um dos fatores para o seu crescimento é refletido na procura crescente de passageiros por bilhetes aéreos, pois, com a melhoria da economia, o poder aquisitivo desses viajantes foi ampliado,

o que demanda o uso de mais aviões, e impacta no aumento do consumo de combustível por parte das empresas aéreas.

Contudo, é possível perceber que os biocombustíveis podem ser considerados uma inovação de ruptura para época em que foram introduzidos, por meio das relações mercantis e do empenho do governo brasileiro com a criação do Pró-álcool, a exemplo do etanol, que gerou uma ruptura com o processo de abastecimento vigente, apoiado na exploração das reservas de combustíveis fósseis, cuja maior parte está localizada no Oriente Médio. Isso provocou uma instabilidade no mercado mundial, com variações nos preços dos barris de petróleo no cenário mundial, devido à disparidade entre as fontes de insumos fósseis e sustentáveis (Stump, 2011).

Esse fenômeno, nos idos de 1970, foi uma grande inflexão estratégica, já que, de acordo com McGrath (2020), o ponto de inflexão é uma mudança no ambiente do negócio, que pode alterar, significativamente, elementos relacionados às atividades e alterar pressupostos solidificados, alinhado a uma política estatal baseada no intervencionismo econômico, que agiu como o principal investidor e catalisador, e assim, despertou toda rede para a ação e difusão do conhecimento (Mazzucato, 2014).

Logo, o principal obstáculo a ser enfrentado pelas possíveis novas rotas de produção tecnológicas é o de produzir biocombustíveis de maneira sustentável. Dessa forma, os desafios impostos são: a não competição com os alimentos; a redução de emissão de carbono; o não desmatamento para obtenção de espaço agricultável para produção de matéria-prima; e não gerar impactos ambientais e sociais (Hendricks *et al.*, 2011).

Conforme abordado anteriormente, existem Combustíveis Sustentáveis de Aviação (SAF), cujo objetivo é garantir a qualidade e segurança do seu uso pelas aeronaves. Esses biocombustíveis utilizam padrões de produção, chamados rotas de produção, as quais, algumas são certificadas pela *American Society for Testing and Material (ASTM)*, órgão dos EUA que estabelece os padrões e normas técnicas dos combustíveis de aviação, a fim de assegurar os padrões de segurança no seu uso pelas aeronaves (Milanez *et al.*, 2021).

As principais rotas de SAF certificadas são (ICAO, 2017):

- a. **HEFA**: querosene parafínico sintetizado por hidroprocessamento de ésteres e ácidos graxos. Lipídios e hidrocarbonetos são obtidos a partir de óleos naturais (animais e vegetais), por meio de hidrogenação e, posteriormente, fracionados para se obter um combustível que pode ser adicionado até um limite de 50% aos combustíveis tradicionais.
- b. **Fischer-Tropsch (FT)**: querosene parafínico produzido, principalmente, a partir de biomassas, tais como resíduos agrícolas e resíduos sólidos urbanos. Essas matérias-primas são gaseificadas e o gás resultante é convertido por um processo FT de síntese em hidrocarbonetos líquidos. O combustível resultante é muito semelhante ao QAV tradicional, porém, sem a presença de aromáticos. Contudo, há a possibilidade de utilizar subprodutos do processo para produzir os aromáticos e adicioná-los à mistura, a fim de formar um bioquerosene totalmente compatível com o querosene tradicional.
- c. **HFS-SIP**: isoparafinas sintetizadas por hidroprocessamento de açúcares fermentados. Leveduras são utilizadas para fermentar açúcares, a fim de produzir hidrocarbonetos. Composto somente de isoparafinas, sua mistura ao QAV fóssil está limitada a 10%.
- d. **Alcohol to Jet (ATJ)**: querosene parafínico sintetizado, a partir de álcoois. Esse álcool é desidratado e passa por um processo de oligomerização e hidrogenação. Por fim, há o fracionamento para obtenção do bio-QAV.

Concomitantemente, para que esses novos combustíveis sejam utilizados como possíveis substitutos aos combustíveis atuais, sob a visão operacional, estes precisam apresentar características que são comuns e necessárias a qualquer tipo de combustível utilizado na área da indústria aeronáutica. Dentre eles, destacam-se os seguintes (CGEE, 2010): alta densidade energética; permitir potências elevadas; volatilidade adequada; baixo ponto de congelamento; não conter água em solução; ser quimicamente estável; e baixa corrosividade.

## 5 DISCUSSÃO

Considerando que a problemática desta pesquisa está relacionada aos biocombustíveis como uma inovação de ruptura na aviação civil ao substituir o QAV-1, a seguir, tece-se uma discussão acerca dos achados bibliográficos.

Voltando-se para o setor de aviação civil, percebe-se que há resistência quanto à aplicação total dos biocombustíveis, pois, tal fato exige maior gasto monetário, por parte das empresas aéreas, para adequar o sistema motopropulsor de suas aeronaves, a fim de receberem tal insumo; do setor de bioenergia para promover o desenvolvimento de uma cadeia de matéria-prima sustentável; e um sistema logístico eficiente e integrado (*U.S. Department of Energy, 2017*).

O primeiro voo-teste, no Brasil, que utilizou uma mistura de querosene de aviação convencional com o bioquerosene produzido pela *Amyris* (uma empresa privada com capacidade tecnológica para produzir o bioquerosene) foi realizado em 2012, durante a Conferência Rio +20, entre os aeroportos de Viracopos (SP) e Santos Dumont (RJ) em um jato da Azul Linhas Aéreas. O resultado desse teste indicou que o biocombustível utilizado teve uma avaliação positiva, já que apresentou desempenho similar ao combustível fóssil e reduziu as taxas de emissões de poluentes (*Bioquerosene, 2014*).

Desse modo, o bioquerosene se mostra mais eficiente que o etanol e se assemelha aos combustíveis fósseis. Isso se apresenta como uma alternativa aos problemas referentes às características de um combustível aeronáutico, uma vez que possui baixo ponto de congelamento, alta volatilidade e alto poder calorífico. Porém, conta com alguns obstáculos a serem enfrentados, como: a elevada densidade energética; a exigência de atendimento a rígidos requisitos de qualidade; a falta de indicadores consistentes acerca da diminuição e controle dos GEE, quando comparados aos combustíveis de origem fóssil; a garantia de requisitos mínimos de competitividade econômica; e a redução do protecionismo que existe no mercado de biocombustíveis, os quais estão sujeitos a altas barreiras tarifárias (*CGEE, 2010*).

Os combustíveis renováveis *drop-in* são um tipo imediato de combustível de interesse da aviação, pois, podem ser misturados aos combustíveis atuais ou até substituí-los, sem a necessidade de alguma possível modificação na aeronave, em seu motor e nos sistemas de abastecimento. Os materiais *drop-in* representam

menor risco para os utilizadores finais, pois, não exigem ajustes de máquinas e ativos existentes e ainda têm um menor impacto na reciclagem. Por essas razões, sua adoção parece mais fácil do que os materiais não *drop-in*. Assim, esses biocombustíveis podem ser produzidos por intermédio de três plataformas de tecnologia principais, que se destaca como uma categoria híbrida, que são as tecnologias termoquímicas, baseadas em matérias-primas lipídicas, lignocelulósicas, gaseificação ou pirólise de óleos (DYK *et al.*, 2017).

As tecnologias termoquímicas também incluem a liquefação hidrotérmica e a pirólise inclui todas as formas de pirólise, como a pirólise rápida e catalítica. As tecnologias bioquímicas, baseadas na fermentação avançada de açúcares derivados de matérias-primas convencionais, como milho ou cana-de-açúcar, produzem hidrocarbonetos de produtos únicos, como: farnesene, álcoois ou ácidos graxos que podem ser melhorados (DYK *et al.*, 2017).

Logo, os biocombustíveis de origem lignocelulósicas são considerados alternativas mais rápidas e fáceis de serem implementados no setor da aviação civil, uma vez que apresentam custo baixo, alta produtividade e, ainda, destacam-se por ser uma tecnologia que permite a utilização de resíduos (Sandquist; Guell, 2012; Boeing *et al.* 2013; Holladay *et al.* 2014).

Outrossim, o etanol hidratado, não pode ser considerado uma boa opção, pois, sua fórmula concentra moléculas de H<sub>2</sub>O, que em altas altitudes gera risco à operação das aeronaves, já que há depósito de gelo no tubo de admissão do motor, o qual impede a sua operação plena. Logo, esse tipo de combustível sustentável é considerado obsoleto e não atende às demandas do setor de aviação civil, embora possa ser adequado ao setor de aviação agrícola (Hausen *et al.* 2010).

De acordo com Yoshinaga *et al.* (2020), o bioquerosene, por sua vez, pode ser obtido a partir de diversas matérias-primas, como açúcares, amido, óleos, biomassa e materiais residuais. Algumas das plantas aptas a serem utilizadas são a cana-de-açúcar, soja, eucalipto, pinhão-manso, babaçu e mamona. Cordellini (2018) enfatiza que o bioquerosene produzido no Brasil utiliza a cana-de-açúcar e é candidato potencial para substituir o querosene fóssil utilizado na aviação civil. Esse autor vislumbra que, até 2050, o setor aéreo mundial reduzirá suas emissões

de CO<sub>2</sub> aos mesmos níveis alcançados em 2005, que representa metade daqueles de 2016.

Nessa esteira, de acordo com o portal NovaCana (2019), estudos indicam que o bioquerosene de aviação é uma proposta para controlar as emissões de carbono; começou a ser testado em 2013, o que indica ser uma tecnologia ainda em desenvolvimento, e que, portanto, ainda não alcançou vantagens competitivas como o QAV-1, cuja produção é realizada há 100 anos.

Logo, por ser uma tecnologia que ainda está em exploração, em território nacional, não há muitos estudos que tratam com profundidade o assunto. Mas, sem dúvidas, o bioquerosene é também utilizado como um biocombustível *drop-in*, e pode ser combinado com o QAV-1 em uma quantidade de até 10%, se for produzido pela rota HFS-SIP; e 50%, com as rotas ATJ, HEFA e FT para o abastecimento dos jatos comerciais. O limite está previsto em homologações realizadas pela *American Society for Testing and Materials (ASTM)* e pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) (Milanez, 2021).

Não obstante, segundo dados publicados pelo *Statista Research Department (Total Fuel, 2023)* acerca do consumo de combustíveis fósseis pela aviação comercial no mundo, o consumo de QAV-1 dos jatos comerciais, em 2021, atingiu o patamar de 60 bilhões de galões (228 bilhões de litros); em 2022, 73 bilhões de galões (277,4 bilhões de litros) e a previsão é que, em 2023, esse quantitativo dos últimos dois anos seja superado e atinja cerca de 80 bilhões de galões (304 bilhões de litros). Entretanto, para anular a pegada de carbono no setor aéreo, a Associação Internacional de Transporte Aéreo (IATA), prevê que será necessário que o mundo produza cerca de 7,9 bilhões de litros de SAF, até 2025, para atender 2% da necessidade total de combustível; e até 2050, avance para 449 bilhões de litros, ao passo que, atualmente, a produção de SAF é de apenas 14 milhões de litros, que advém de países como os Estados Unidos, a Alemanha e a França (Zaparolli, 2022).

Destarte, durante o levantamento bibliográfico acerca do bioquerosene de aviação, foi apontado por vários autores uma deficiência na política pública brasileira para o estímulo da produção e implementação desse biocombustível na aviação civil. No entanto, a pauta foi retomada quando, em 26/11/2021, foi

sancionada a Lei 14.248/2021 com vistas a fomentar a pesquisa, a produção, a comercialização e o uso do bioquerosene. Para isso, foram propostos incentivos fiscais e recursos do governo federal, o que permitiu a retomada do Programa Nacional de Bioquerosene como estímulo de uso desse combustível sustentável pelas empresas aéreas nacionais (Programa, 2021).

Outrossim, há muita exigência das empresas aéreas, quanto à implementação do bioquerosene em suas aeronaves, uma vez que o SAF requer políticas que considerem as especificidades da indústria de aviação, como a exigência de padrões internacionais de equipamentos e combustíveis. Outros pontos cruciais são a localização dos centros de distribuição e consumo dos combustíveis de aviação em grandes metrópoles, que, normalmente, são áreas distantes daquelas em que há a produção de biomassa. Assim, a despeito das vantagens do uso de biocombustíveis de aviação, alguns fatores como os citados podem gerar custos adicionais para a sociedade e o setor de transporte aéreo (Roitman, 2018).

Considerando que a indústria aeronáutica é regulada pelas respectivas autoridades nacionais e supranacionais (Lima *et al.*, 2005), as aeronaves necessitam passar por criteriosos processos de certificação, que podem levar quatro anos ou mais, ao se tratar de um projeto completamente original. Uma característica marcante do setor, em sua vertente de aplicação civil, é a elevada vida útil dos produtos, que pode atingir de 25 a 40 anos, a depender do tipo de aeronave. T tamanha vida útil enseja cuidados continuados, que movimentam o segmento denominado “*Maintenance, Repair and Overhaul*” (MRO) ou manutenção, reparo e revisões gerais. Em geral, esse segmento movimenta cerca de US\$ 38 bilhões por ano. Os ciclos tecnológicos no segmento civil também podem ser considerados longos se comparados a outros setores dinâmicos da economia. Esses mesmos ciclos de vida são expressivamente mais curtos na linha de produtos de defesa.

## **6 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Este trabalho analisou o papel dos biocombustíveis na redução das emissões de gases poluentes e se estes podem ser considerados uma inovação de ruptura ao substituir o Querosene de Aviação (QAV-1) no âmbito da aviação civil, com base nos pensamentos schumpeteriano e neo-schumpeteriano. Diante dos resultados encontrados, entende-se que é impossível afirmar que os biocombustíveis sejam considerados uma inovação de ruptura, pelo fato de ambas as partes, tanto o Estado quanto às empresas privadas, não estarem dispostos a correr riscos e reinventar os moldes de suas aeronaves, motores e procedimentos padrões, a fim de incluírem totalmente os SAF em sua matriz energética.

Ademais, a produção em larga escala de biocombustíveis para a aviação pode gerar impactos socioambientais significativos, tais como a perda da biodiversidade, o desmatamento, a degradação do solo, a poluição hídrica e a competição com a produção de alimentos. Portanto, a promoção da sustentabilidade global dos biocombustíveis para aviação requer soluções integradas que considerem a redução do impacto socioambiental, a segurança alimentar e a viabilidade econômica de sua produção em escala comercial.

Concomitantemente, os motivos que alimentam essas dificuldades, voltando-se para o potencial dos grandes empresários do setor privado de promover a inflexão estratégica, são: o isolamento em relação às pessoas, as decisões irreversíveis que impactam imensamente a organização, a exclusão da diversidade de ideias, a barreira contra a criação de incentivos, a negação frente a uma proposta inovadora e os intemperes que impedem o planejamento futuro, que se alinham à problemática da burocracia para obter as aprovações necessárias para isso, o que impede o fenômeno da inflexão estratégica.

Desse modo, fica evidenciado que o impedimento para que a inovação chegue de forma rápida ao setor da aviação civil, além das questões socioambientais, o alto custo para reinventar novos modelos de aeronaves, somam-se ao temor de risco relacionado às políticas de segurança aeronáutica e aos procedimentos de homologação, que afetam todo o setor aéreo economicamente; acarretam um aumento das tarifas aeroportuárias e das passagens aéreas; e causam impactos ao usuário desse modal de transporte. Além disso, para produzir novos modelos de aeronave leva muito tempo, pelo fato

de o setor depender de peças e materiais importados que, muitas vezes, são transportados em navios.

Contudo, é evidente que as condições para o desenvolvimento de uma indústria para a produção de combustível sustentável de aviação no país já estão postas. Entretanto, para viabilizar a aplicação do bio-QAV em escala comercial, é imprescindível a integração e parceria entre os setores público e privado, a fim de mitigar os riscos e incertezas inerentes a essa transição verde, que envolve a substituição dos combustíveis fósseis de aviação pelo SAF. Sob esse viés, a criação de um sistema de governança que inclua regulação, certificação e mandatos é de suma importância para o incentivo à consolidação da produção e distribuição de biocombustíveis de aviação no Brasil, em que cabe ao Estado definir políticas públicas que fomentem a mudança das estruturas produtivas, que visem ao desenvolvimento sustentável do setor aéreo.

Para estudos futuros, recomenda-se uma análise do cenário atual do desenvolvimento do Hidrogênio Verde para a aviação civil, bem como o desenvolvimento da indústria aeronáutica na produção de aeronaves elétricas e sistemas híbridos que permitam a atuação conjunta dos motores a combustão e elétricos.

## REFERÊNCIAS

ABRAMOVAY, R. (org.). **Biocombustíveis**: a energia da controvérsia. São Paulo: Editora Senac, 2009.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). **Resolução ANP n. 19, de 15 de abril de 2019**. Disponível em: <https://atosoficiais.com.br/anp/resolucao-n-19-2015-2020-09-02-versao-compilada>. Acesso em: 9 set. 2022.

BIOQUEROSENE de cana se torna uma realidade e deve ajudar a aviação com suas metas de redução de CO<sub>2</sub>. **Única**, [S.l.], 27 jun. 2014. Disponível em: <https://unica.com.br/noticias/bioquerosene-de-cana-se-torna-uma-realidade-e-deve-ajudar-a-aviao-com-suas-metas-de-reduo-de-co2/>. Acesso em: 22 jun. 2022.

BOEING; EMBRAER; FAPESP; UNICAMP. **Plano de Voo para Biocombustíveis de Aviação no Brasil**: Plano de Ação. jun. 2013. Disponível em: <https://fapesp.br/publicacoes/plano-de-voo-biocombustiveis-brasil-pt.pdf>. Acesso em: 8 de mar. 2021.

BONASSA, G; CUNHA, F. S; FRIGO, K. D. A; FRIGO, E.P; LINS, M. A. Bioquerosene: panorama da produção e utilização no Brasil. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, v. 3, p. 97-106, 2014.

BRASIL é apenas um espectador no avanço dos biocombustíveis para aviões. **NovaCana**. *Gazeta do Povo (PR)*, 28 mar. 2019. Disponível em: <https://www.novacana.com/noticias/brasil-espectador-avanco-biocombustiveis-avioes-280319>. Acesso em: 9 set. 2022.

BRASIL. Presidência da República. Secretaria-Geral. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei nº 14.248, de 25 de novembro de 2021**. Estabelece o Programa Nacional do Bioquerosene para o incentivo à pesquisa e o fomento da produção de energia à base de biomassas, visando à sustentabilidade da aviação brasileira. Brasília: Presidência da República, 2021. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2021/lei/L14248.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/lei/L14248.htm). Acesso em: 9 set. 2022.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS (CGEE) (Brasília). **Biocombustíveis aeronáuticos: progressos e desafios**. Brasília: CGEE, 2010. (Série Documentos Técnicos 8).

BRASILEIROS desenvolvem bioquerosene, CIMM, [S.l.], 13 jun. 2011. Disponível em: [https://www.cimm.com.br/portal/noticia/exibir\\_noticia/8090-brasileiros-desenvolvem-bioquerosene#](https://www.cimm.com.br/portal/noticia/exibir_noticia/8090-brasileiros-desenvolvem-bioquerosene#). Acesso em: 26 out. 2023.

CORDELLINI, D. F. O etanol na estrutura dos biocombustíveis no Brasil. **Revista FAE**, Curitiba, v. 21, n. 1, p. 19-35, 2018.

DYK, S. V; KARATZOS, S; MCMILLAN, J. D; SADLER, J. **Drop-in biofuel production via conventional and advanced biomass routes**, part. 1. John Wiley & Sons, Ltd and Society of Chemical Industry, 2017, v. 11, p.344-362

FERRARO, G. P.; BRIODY, E. K. *Global leadership. The Cultural Dimension of Global Business*, v. 62, p. 231–254, 2018.

FREEMAN, C. **Technology policy and economic performance: lessons from Japan**. London: Pinter, 1987.

HAUSEN, R. B; JUNIOR, A. L. T; MARTINS, M. E. S; ROMANO, L. N; SCHLOSSER, J. F. Etanol na aviação agrícola: desafios e potencial. IX Congresso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola – CLIA 2010 **XXXIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, 25 a 29 de julho de 2010, Vitória – ES, Brasil.

HEMIGHAUS, G. *et al.* **Alternative Jet Fuels**. Houston: Chevron Global Aviation Corporation, 2006. 14 p.

HENDRICKS, R. C. *et al.* Aviation Fueling: A Cleaner, Greener Approach. **International Journal of Rotating Machinery**. August 2011

HOMA, J. M. **Aeronaves e Motores**. 34. ed. São Paulo: Editora ASA, 2014,

HOLLADAY, J.; ALBRECHT, K.; HALLEN, R. **Renewable routes to jet fuel. Japan Aviation Environmental Workshop** – Innovative concepts for carbon neutral growth. Pacific Northwest, [S.l.], 5 nov. 2014. Disponível em: [http://aviation.u-tokyo.ac.jp/eventcopy/ws2014/20141105\\_07DOE%EF%BC%BFHolladay.pdf](http://aviation.u-tokyo.ac.jp/eventcopy/ws2014/20141105_07DOE%EF%BC%BFHolladay.pdf). Acesso em: 9 set. 2022.

HUPE, J. Workshop Overview and Summary. *In*: ICAO, Environment Branch Of The International Civil Aviation Organization. **ICAO Review: sustainable alternative fuels for aviation**. Montreal: ICAO, 2011. Cap. 10. p. 44-49.

JANK, M. S.; NAPPO, M. Etanol de cana de açúcar: uma solução energética global sob ataque. *In*: ABRAMOVAY, R. **Biocombustíveis: a energia da controvérsia**. São Paulo: Editora Senac, 2009, p.20-57.

KÖHLER, J.; WALZ, R.; MARSCHEDER-WEIDEMANN, F.; THEDIECK, B. Lead markets in 2nd generation biofuels for aviation: a comparison of Germany, Brazil and the USA. **Environmental Innovation And Societal Transitions**, [S.l.], v. 10, p. 59-76, mar. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eist.2013.10.003>.

LIMA, J. C. C. O. *et al.* A cadeia aeronáutica brasileira e o desafio da inovação. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 21, p. 31-55, mar. 2005

MAZZUCATO, M. **O Estado empreendedor**: desmascarando o mito do setor público x setor privado. São Paulo: Penguin, 2014.

MILANEZ, A. Y. *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.

MCGRATH, R. **Inflexão Estratégica**. Editora Benvirá. Edição do Kindle, Locais do Kindle 298-299.

O QUE são biocombustíveis. CBIE, [S.l.]. 17 jul. 2020. Disponível em: <https://cbie.com.br/o-que-sao-biocombustiveis/>. Acesso em: 22 jun. 2022.

PLANTIER, R. Principais Tipos de Combustíveis: Características Gerais. **R7**, [S.l.], 2013. Disponível em: <https://meioambiente.culturamix.com/recursos-naturais/principais-tipos-de-combustiveis-caracteristicas-gerais>. Acesso em: 2 fev. 2023.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico**: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

PROGRAMA Nacional de Bioquerosene agora é Lei. Agência Senado, Brasília, 26 nov. 2021. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2021/11/26/programa-nacional-de-bioquerosene-agora-e-lei>. Acesso em: 20 set. 2022.

ROITMAN, T. **Perspectivas e propostas de inserção de bioquerosene de aviação no transporte aéreo de passageiros no Brasil**. 2018. Tese (Mestrado em Planejamento Energético) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

SACHS, I. A revolução energética do século XXI. **Estudos Avançados**. 2007, v. 21, n. 59, p. 21-38. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-4014200700010000>. Acesso em: 20 set. 2022.

SALVATORE, J. R. **Significance of test for Petroleum Products**: Seventh edition. Editor: Salvatore J Rand, ASTM Manual Series, U.S.A, ISBN: 0-8031-2097-4, p 1-241, 2003.

SANDQUIST, J.; GUELL, B. M. Overview of biofuels for aviation. **Chemical Engineering Transactions**, [S.l.], v. 29, p. 1147-1152, set. 2012. AIDIC: Italian Association of Chemical Engineering. <http://dx.doi.org/10.3303/CET1229192>.

SILVA, M. A. M. Trabalho e trabalhadores na região do "Mar de Cana e do Rio de Álcool". **Agrária (São Paulo. Online)**, [S.l.], n. 2, p. 2-39, 17 jun. 2005. Universidade de São Paulo, Agência USP de Gestão da Informação Acadêmica (AGUIA). <http://dx.doi.org/10.11606/issn.1808-1150.v0i2p2-39>.

SILVA, S. A. **Uso do etanol como estímulo à concorrência no mercado de combustíveis**: uma análise baseada no modelo de equilíbrio de preços. 2019. Tese (Mestrado em Economia) – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, Brasília, 2019.

SCHUMPETER, J. A. **Business Cycles**: A Theoretical, Historical, and Statistical Analysis of the Capitalist Process. 1. ed. MacGraw-Hill Book Company, Inc. 1939.

STUMP, D. A. aplicação da tecnologia multicomcombustível no transporte aéreo. *In*: CAMPOS, J. G. F. **Smart Grid e potencial de contribuição às mudanças climáticas no Brasil**: um estudo da tecnologia – plataforma hemera. Universidade de São Paulo, ResearchGate, 2011.

SUÁREZ, O. M. Schumpeter, Innovación y Determinismo Tecnológico. **Scientia Et Technica**, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia, v. 10, n. 25, ago. 2004, p. 209-213.

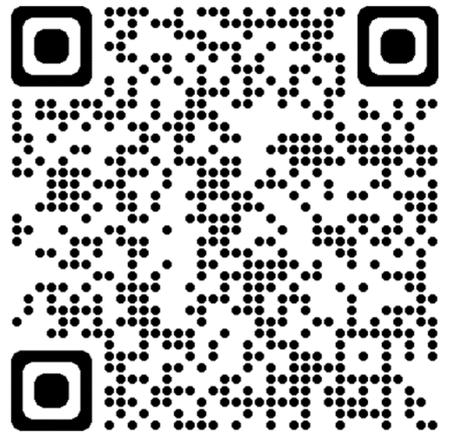
THE INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION (ICAO). **Sustainable Aviation Fuels Guide**. Montreal: ICAO, 2017. 51 p.

TOTAL FUEL consumption of commercial airlines worldwide between 2005 and 2021, with a forecast until 2023. Statista Research Department, [S.l.], 2023. Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/655057/fuel-consumption-of-airlines-worldwide/#statisticContainer>. Acesso em: 26 out. 2023.

U.S DEPARTMENT OF ENERGY, **Alternative Aviation Fuels**: overview of challenges, opportunities and next steps. 2017. Disponível em: <https://www.energy.gov/eere/bioenergy/articles/alternative-aviation-fuels-overview-challenges-opportunities-and-next-steps>. Acesso em: 24 out. 2023.

YOSHINAGA, F.; SANTOS, A. S.; MOURA, B. F. S.; BORTOLETO, G. G. Bioquerosene para aviação: cenário atual e perspectivas futuras. **Bioenergia em Revista**: Diálogos, [S.l.], v. 1, n. 10, p. 73-91, 2020.

ZAPAROLLI, D. O desafio do setor aéreo para anular sua pegada de carbono. **Pesquisa Fapesp**, [S.l.], ed. 3, 17 jul. 2022. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/o-desafio-do-setor-aereo-para-anular-sua-pegada-de-carbono/>. Acesso em: 26 out. 2023.



**Linked In:** Nathan Santana

**E-mail:** [nathan2001santana @hotmail.com](mailto:nathan2001santana@hotmail.com)



**PUC  
GOIÁS**

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS  
GABINETE DO REITOR

Av. Universitária, 1009 • Setor Universitário  
Caixa Postal 08 • CEP 74605-010  
Goiânia • Goiás • Brasil  
Fone: (62) 3346.1000  
www.pucgoias.edu.br • reitoria@pucgoias.edu.br

## RESOLUÇÃO n° 038/2020 – CEPE

### ANEXO I

#### APÊNDICE ao TCC

##### Termo de autorização de publicação de produção acadêmica

O(A) estudante Nathan Sartorau de Loure Souza  
do Curso de Engenharia Gerencial, matrícula 2020100470341-4  
telefone: 64.992.84413 e-mail nathan20012@pucgoias.edu.br na qualidade de titular dos  
direitos autorais, em consonância com a Lei n° 9.610/98 (Lei dos Direitos do autor),  
autoriza a Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC Goiás) a disponibilizar o  
Trabalho de Conclusão de Curso intitulado  
Os hidrocarbonetos e a inovação de ruptura na a  
área civil, gratuitamente, sem ressarcimento dos direitos autorais, por 5  
(cinco) anos, conforme permissões do documento, em meio eletrônico, na rede mundial  
de computadores, no formato especificado (Texto (PDF); Imagem (GIF ou JPEG); Som  
(WAVE, MPEG, AIFF, SND); Vídeo (MPEG, MWV, AVI, QT); outros, específicos da  
área; para fins de leitura e/ou impressão pela internet, a título de divulgação da  
produção científica gerada nos cursos de graduação da PUC Goiás.

Goiânia, 26 de agosto de 2023.

Assinatura do(s) autor(es): Nathan Sartorau de Loure Souza

Nome completo do autor: Nathan Sartorau de Loure Souza

Assinatura do professor-orientador: Anna Paula Beehepeche

Nome completo do professor-orientador: Anna Paula Beehepeche