



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA (UnB)
FACULDADE UnB PLANALTINA (FUP)
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO PÚBLICA (PPGP)

LUÍS FELIPE DE OLIVEIRA NABUCO DE ARAÚJO

**COMBUSTÍVEL SUSTENTÁVEL DE AVIAÇÃO – SAF: POLÍTICAS PÚBLICAS DO
GOVERNO FEDERAL PARA O SETOR E LEGISLAÇÕES CORRELATAS**

Brasília-DF
2025

LUÍS FELIPE DE OLIVEIRA NABUCO DE ARAÚJO

**COMBUSTÍVEL SUSTENTÁVEL DE AVIAÇÃO – SAF: POLÍTICAS PÚBLICAS DO
GOVERNO FEDERAL PARA O SETOR E LEGISLAÇÕES CORRELATAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão Pública, pela Universidade de Brasília (UnB), como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Gestão Pública.

Orientador: Prof. Dr. Mauro Eduardo Del Grossi.

Brasília-DF

2025

ARAÚJO, L. F. O. N. **Combustível Sustentável de Aviação – SAF: políticas públicas do governo federal para o setor e legislações correlatas**. 2025, 109 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão Pública) – Faculdade UnB de Planaltina, Universidade de Brasília, Brasília, 2025.

Documento formal, autorizando a reprodução desta dissertação de mestrado para empréstimo ou comercialização, exclusivamente para fins acadêmicos, foi passado pelo autor à Universidade de Brasília e encontra-se arquivado na Secretaria do Programa. O autor reserva para si os outros direitos autorais de publicação. Nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor. Citações são estimuladas, desde que citada a fonte.

FICHA CATALOGRÁFICA

A663c	Araújo, Luis Felipe de Oliveira Nabuco de Combustível Sustentável de Aviação - SAF: políticas públicas do governo federal para o setor e legislações correlatas. / Luis Felipe de Oliveira Nabuco de Araújo; orientador Mauro Del Grossi. Brasília, 2025. 109 p. Dissertação(Mestrado Profissional em Gestão Pública) Universidade de Brasília, 2025. 1. Combustível Sustentável de Aviação. 2. SAF. 3. Políticas Públicas. 4. Descarbonização. 5. Biocombustíveis. I. Del Grossi, Mauro, orient. II. Título.
-------	---

FOLHA DE APROVAÇÃO

COMBUSTÍVEL SUSTENTÁVEL DE AVIAÇÃO – SAF: POLÍTICAS PÚBLICAS DO GOVERNO FEDERAL PARA O SETOR E LEGISLAÇÕES CORRELATAS

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Mauro Eduardo Del Grossi

Orientador

Programa de Pós-Graduação em Gestão Pública (PPGP-UnB)

Profa. Dra. Elaine Nolasco Ribeiro

Examinadora Interna

Programa de Pós-Graduação em Gestão Pública (PPGP-UnB)

Prof. Dr. Bruno Ricardo Viana Sadeck Dos Santos

Examinador Externo

Universidade Federal de Pelotas - UFPel

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela minha vida e pela oportunidade de cursar o Mestrado, aprimorando meus conhecimentos e enriquecendo a minha formação acadêmica e profissional.

Aos meus pais, Roselene de Oliveira e Élzio César de Souza Nabuco de Araújo (*in memoriam*), por seus incansáveis sacrifícios e pelo amor incondicional que sempre serviu de motivação. Eles sempre acreditaram na minha capacidade e me ensinaram o valor da educação e da simplicidade.

Ao meu orientador, professor Mauro Eduardo Del Grossi, manifesto minha profunda gratidão pelos conselhos e pelos ensinamentos. Agradeço por ter investido seu tempo e confiança, transformando desafios metodológicos em aprendizados cruciais.

Aos professores do programa, cujas aulas e debates enriqueceram profundamente minha compreensão sobre Gestão Pública.

A minha família, o meu porto seguro, dedico o sucesso desta conquista, principalmente por sempre acreditarem em mim e no meu potencial.

À minha companheira Keila Souza de Oliveira, pelo apoio moral e pelo incentivo durante essa caminhada.

Ao servidor Aristides Júnior, que sempre me auxiliou e me apoiou na Secretaria do Programa de Mestrado, sendo um exemplo de servidor dedicado e competente.

Esta dissertação é a materialização de um sonho e de um compromisso com o conhecimento. A todos que, direta ou indiretamente, tornaram este sonho possível, o meu mais sincero muito obrigado.

"O futuro não pode ser previsto. Ele tem que ser criado".

Peter Drucker

RESUMO

A pesquisa apresenta uma análise das políticas públicas do governo federal brasileiro e das legislações correlatas voltadas para o desenvolvimento e implementação do Combustível Sustentável de Aviação (SAF). Aborda a relevância do SAF para a descarbonização do setor aéreo, destacando o potencial do Brasil na produção desse biocombustível devido à sua expertise na área de energia renovável. Trata dos desafios enfrentados na adoção do SAF, incluindo barreiras regulatórias, custos elevados de produção e infraestrutura limitada. A metodologia emprega uma abordagem qualitativa, fundamentada na revisão bibliográfica e na análise documental de leis, regulamentos e relatórios institucionais, complementadas por entrevistas com especialistas, para identificação de padrões, tendências e desafios futuros. Os resultados apontam que a implementação eficaz do SAF no Brasil depende do fortalecimento do arcabouço regulatório, da ampliação dos incentivos econômicos e do investimento em pesquisa e inovação. Conclui que a adoção do SAF pode consolidar o país como referência global na produção de combustíveis sustentáveis para a aviação, desde que políticas públicas estruturadas sejam implementadas.

Palavras-chave: Combustível Sustentável de Aviação; políticas públicas; descarbonização; biocombustíveis.

ABSTRACT

The research presents an analysis of the Brazilian federal government's public policies and related legislation aimed at the development and implementation of Sustainable Aviation Fuel (SAF). It addresses the relevance of SAF for the decarbonization of the aviation sector, highlighting Brazil's potential in the production of this biofuel due to its expertise in the area of renewable energy. It addresses the challenges faced in the adoption of SAF, including regulatory barriers, high production costs and limited infrastructure. The methodology employs a qualitative approach, based on a literature review and documentary analysis of laws, regulations and institutional reports, complemented by interviews with experts, to identify patterns, trends and future challenges. The results indicate that the effective implementation of SAF in Brazil depends on strengthening the regulatory framework, expanding economic incentives, and investing in research and innovation. It concludes that the adoption of SAF can consolidate the country as a global leader in the production of sustainable aviation fuels, provided that structured public policies are implemented.

Keywords: Sustainable Aviation Fuel; public policies; decarbonization; biofuels.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Rotas certificadas de produção de Combustível Sustentável de Aviação (SAF)	44
Figura 2 – Métodos de análise textual com Iramuteq	31
Figura 3 – Dendrograma de Classificação Hierárquica Descendente (CHD)	65
Figura 4 – Análise de Similitude	66
Figura 5 – Análise Fatorial de Correspondência (AFC)	68
Figura 6 – Nuvem de Palavras do corpus textual	70
Figura 7 – Análise SWOT do Combustível Sustentável de Aviação	83

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Proposições legislativas e o fortalecimento do marco regulatório dos combustíveis sustentáveis no Brasil.....	59
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
ANTP	Associação Nacional de Transportes Públicos
ASTM International	<i>American Society for Testing and Materials</i>
ATJ-SPK	<i>Alcohol-to-Jet Synthetic Paraffinic Kerosene</i>
BMZ	Ministério Federal da Cooperação Econômica e Desenvolvimento da Alemanha
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CBIOS	Créditos de Descarbonização
CCU	Captura e Utilização de Carbono
CH ₄	Metano
CO ₂	Dióxido de Carbono
CORSIA	Sistema de Compensação e Redução de Carbono para a Aviação Internacional
COVs	Compostos Orgânicos Voláteis
CT/CF	Comitê Técnico Combustível do Futuro
DAC	Captura Direta de Carbono
ESG	<i>Environmental, Social and Governance</i>
FAA	<i>Federal Aviation Administration</i>
FGV	Fundação Getúlio Vargas
FOTEA	Fórum de Transição Energética na Aviação Civil
FT-SPK	<i>Fischer-Tropsch Synthetic Paraffinic Kerosene</i>
GEE	Gases de Efeito Estufa
GTL	<i>Gas-to-Liquid</i>
H ₂	Hidrogênio
HEFA-SPK	<i>Hydroprocessed Esters and Fatty Acids Synthetic Paraffinic Kerosene</i>
IATA	Associação Internacional de Transporte Aéreo
NDC	Contribuição Nacionalmente Determinada
NOx	Óxidos de Nitrogênio
OACI	Organização da Aviação Civil Internacional
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
PNDV	Programa Nacional de Diesel Verde

PNMC	Política Nacional sobre Mudança do Clima
ProBioQAV	Programa Nacional de Combustível Sustentável de Aviação
RenovaBio	Política Nacional de Biocombustíveis
SAC	Secretaria Nacional de Aviação Civil
SAF	Combustível Sustentável de Aviação
Syngas	Gás de Síntese
UnB	Universidade de Brasília
UNFCCC	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	15
1.1 Problema de pesquisa	19
1.2 Objetivos	21
1.2.1 Objetivo geral.....	21
1.2.2 Objetivos específicos	21
2 METODOLOGIA	22
2.1 Delineamento da pesquisa.....	22
2.2 Etapas da pesquisa.....	22
2.2.1 Revisão bibliográfica.....	23
2.2.2 Análise documental.....	23
2.2.3 Entrevistas com especialistas.....	24
2.3 Análise dos dados com suporte do Iramuteq.....	25
2.3.1 Aplicação da Análise de Conteúdo	26
2.3.2 Utilização do <i>software</i> Iramuteq.....	27
2.3.3 Etapas da análise textual.....	28
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	32
3.1 Contexto histórico e relevância do Combustível Sustentável de Aviação (SAF)	32
3.2 Produção científica e ação global sobre SAF.....	39
3.3 Caminhos certificados de produção do SAF.....	42
3.4 Matérias-primas para produção do SAF	45
3.5 Compromissos e marcos regulatórios internacionais	46
3.6 Políticas públicas e marcos regulatórios brasileiros	53
4 RESULTADOS DA ANÁLISE TEXTUAL COM O SOFTWARE IRAMUTEQ.....	64
4.1 Segmentação lexical por Classificação Hierárquica Descendente (CDH)	64
4.2 Estrutura semântica por Análise de Similitude	66
4.3 Representações discursivas com Análise Fatorial de Correspondência (AFC)	67
4.4 Identificação de Focos Discursivos por Nuvem de Palavras.....	69
5 INTERPRETAÇÃO TEMÁTICA E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	72
5.1 Eixos temáticos do Fórum Conexão SAF	72
5.2 Aspectos regulatórios e operacionais da implementação do SAF no Brasil	73
5.2.1 Monitoramento, Reporte e Verificação (MRV)	74

5.2.2 Volume Mínimo de Emissões para Dispensa	74
5.2.3 Aeroportos sem acesso ao <i>SAF</i> e o mecanismo de <i>book and claim</i>	75
5.2.4 Meios alternativos e distorções de mercado	76
5.2.5 Cronograma da regulamentação	77
5.3 Desafios estruturais e condições para a consolidação do <i>SAF</i> no Brasil	78
5.4 Cooperação internacional e posição estratégica do Brasil	81
5.5 Matriz <i>SWOT</i> do mercado de <i>SAF</i> no Brasil	82
5.6 Discussão integrada e perspectivas futuras	84
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	87
REFERÊNCIAS	89
APÊNDICE A – ROTEIRO DE ENTREVISTA COM OS ESPECIALISTAS	107
APÊNDICE B – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO	108

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a busca por fontes de energia renováveis tem se intensificado em diversos setores, incluindo a aviação civil, um dos segmentos mais desafiadores para a descarbonização. Nesse contexto, o Combustível Sustentável de Aviação (SAF, na sigla em inglês) surge como uma alternativa promissora, capaz de reduzir significativamente as emissões de gases de efeito estufa e mitigar os impactos ambientais da aviação. Diferentemente de outras soluções, como eletrificação e hidrogênio, o SAF pode ser utilizado diretamente nas aeronaves e na infraestrutura existente, facilitando sua adoção no curto e médio prazo. No Brasil, o potencial para a produção e utilização do SAF é expressivo, considerando o protagonismo do país na produção de biocombustíveis e sua expertise consolidada no setor de energia renovável (Amaral, 2021).

No entanto, a implementação dessa tecnologia enfrenta desafios técnicos, econômicos e regulatórios, incluindo custos elevados de produção, necessidade de incentivos governamentais e adequação das refinarias para sua fabricação em larga escala. Para que o SAF se torne uma solução viável e competitiva no mercado, será essencial a formulação de políticas públicas eficazes, além de investimentos estratégicos em pesquisa, infraestrutura e inovação (Empresa de Pesquisa Energética, 2024).

Os SAFs constituem uma classe de combustíveis projetados para oferecer uma alternativa mais limpa ao querosene de aviação convencional, derivado do petróleo (Bauen *et al.*, 2020; Doliente *et al.*, 2020; Wei *et al.*, 2019). Produzidos a partir de matérias-primas renováveis ou resíduos, os SAFs podem reduzir significativamente as emissões de gases de efeito estufa ao longo de seu ciclo de vida (Hu *et al.*, 2022; Kurzawska-Pietrowicz, 2023; Michaga *et al.*, 2021). Diferentemente de sistemas de propulsão alternativos, como os movidos a eletricidade ou hidrogênio, os SAFs são classificados como combustíveis *drop-in*, ou seja, podem ser utilizados diretamente nas aeronaves existentes e na infraestrutura de abastecimento sem a necessidade de modificações, garantindo compatibilidade imediata (Smith *et al.*, 2017; Wang; Ting; Zhao, 2024). Essa característica torna os SAFs uma solução viável para a descarbonização da aviação no curto e médio prazo, enquanto tecnologias mais disruptivas continuam em desenvolvimento (Wandelt *et al.*, 2025).

O Brasil é amplamente reconhecido por sua expertise na produção de biocombustíveis, especialmente etanol e biodiesel, setores nos quais ocupa posição

de destaque no cenário global. Com vastas áreas agricultáveis, tecnologia avançada na produção de bioenergia e uma matriz energética predominantemente renovável, o país possui condições favoráveis para se consolidar como um dos principais produtores de SAF. Esse tipo de combustível pode ser obtido a partir de diversas matérias-primas, incluindo óleos vegetais, resíduos orgânicos, algas e subprodutos da agroindústria, como bagaço de cana-de-açúcar e óleo de fritura residual. Além disso, políticas públicas e incentivos governamentais, como o RenovaBio, impulsionam a pesquisa e a viabilidade comercial desse setor. A ampla capacidade agrícola do Brasil, aliada ao grande volume de biomassa residual disponível e à experiência consolidada na produção de biocombustíveis, posiciona o país estrategicamente para o desenvolvimento e escalonamento da produção de SAF. No entanto, desafios como a necessidade de aprimoramento logístico, investimentos em infraestrutura e certificações internacionais devem ser superados para que o Brasil amplie sua participação no mercado global de combustíveis sustentáveis para aviação (Fernandes, 2024).

Além disso, a experiência consolidada do Brasil com programas como o Proálcool e a evolução do mercado de etanol criam bases favoráveis para a adaptação da infraestrutura nacional à produção de SAF. O país já conta com redes de distribuição bem estabelecidas e expertise tecnológica na conversão de biomassa em biocombustíveis, o que pode acelerar a transição para uma produção em larga escala. O crescente interesse de companhias aéreas e governos em soluções sustentáveis reforça o SAF como uma alternativa estratégica para diversificar a matriz energética da aviação, reduzir as emissões de carbono e impulsionar a agroindústria nacional. Além dos benefícios ambientais, a expansão da produção de SAF pode gerar novas oportunidades econômicas, fomentar investimentos em inovação e consolidar o Brasil como um fornecedor global de combustíveis sustentáveis para o setor aéreo (Barcelos, 2021).

Entretanto, a produção de SAF no Brasil enfrenta desafios significativos. A escala de produção atual ainda é insuficiente para atender à crescente demanda do setor aéreo, e as tecnologias disponíveis encontram-se em estágio de desenvolvimento, exigindo investimentos substanciais em pesquisa, inovação e infraestrutura. Além disso, a adaptação das refinarias existentes para a produção de SAF envolve custos elevados e requer modernização tecnológica, representando uma barreira para novos projetos e a ampliação da capacidade produtiva. Questões

regulatórias, certificações internacionais e a competitividade em relação aos combustíveis fósseis também influenciam a viabilidade econômica do SAF, tornando essencial a criação de políticas de incentivo e parcerias estratégicas para acelerar sua implementação no mercado brasileiro (ProQR, 2022).

Outro desafio crucial é o custo elevado do SAF em comparação com os combustíveis fósseis tradicionais, como o querosene de aviação. Embora o preço do SAF tenha diminuído nos últimos anos devido a avanços tecnológicos e ganhos de escala, ele ainda permanece significativamente mais alto do que o do combustível convencional. Esse diferencial de custo representa um obstáculo para sua adoção em larga escala, especialmente em um setor altamente competitivo e sensível a custos operacionais. Além disso, a volatilidade dos preços das matérias-primas e os desafios logísticos na cadeia de suprimentos podem impactar ainda mais a viabilidade econômica do SAF. Para superar essas barreiras, é fundamental a implementação de políticas públicas eficazes, incluindo incentivos fiscais, subsídios, mecanismos de precificação de carbono e investimentos em pesquisa e desenvolvimento. A criação de parcerias entre governos, setor privado e instituições acadêmicas também pode impulsionar a inovação e viabilizar uma transição mais acessível para combustíveis sustentáveis na aviação (Confederação Nacional da Indústria, 2024).

Apesar dos desafios existentes, o Brasil apresenta perspectivas promissoras para se tornar um líder global na produção e uso do SAF. Em 2023, a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) e a Infraero iniciaram discussões sobre a regulamentação do SAF no país, um avanço fundamental para a adaptação da infraestrutura aeroportuária, o estabelecimento de padrões técnicos e a criação de um mercado sustentável para esse combustível. Paralelamente, o Brasil tem buscado parcerias estratégicas com empresas aéreas e governos de países como os Estados Unidos e os da União Europeia, que possuem metas ambiciosas de redução de emissões e incentivam investimentos em tecnologias limpas para o setor aéreo. A expertise brasileira na produção de biocombustíveis, aliada à disponibilidade de matérias-primas renováveis e a uma matriz energética predominantemente sustentável, confere ao país uma posição competitiva no cenário global. Para consolidar essa liderança, será essencial a implementação de políticas públicas eficazes, incentivos financeiros e investimentos em pesquisa e inovação tecnológica, garantindo que a produção de SAF ocorra de forma economicamente viável e ambientalmente sustentável (FGV Energia, 2022).

Uma das principais vantagens competitivas do Brasil é sua matriz energética predominantemente renovável, que possibilita a produção de SAF com uma pegada de carbono significativamente menor em comparação aos combustíveis fósseis. Esse diferencial torna o país um candidato estratégico para liderar a produção global de SAF, atendendo tanto à demanda interna quanto à exportação. A adoção desse combustível no Brasil não apenas contribuiria para a descarbonização do setor aéreo, alinhando-se às metas internacionais de redução de emissões, como também impulsionaria o desenvolvimento do mercado nacional de biocombustíveis e energia limpa. Além disso, a expansão da produção de SAF teria impactos positivos na economia, gerando novos empregos em diversas áreas, como a agroindústria, a indústria química e o setor de tecnologia ambiental. O fortalecimento dessa cadeia produtiva estimularia investimentos em infraestrutura, pesquisa e inovação, consolidando o Brasil como um dos principais fornecedores globais de combustíveis sustentáveis para a aviação (Jones, 2024).

Nesse sentido, a Associação Internacional de Transporte Aéreo (IATA, na sigla em inglês) prevê que o número de passageiros globais mais do que dobrará entre 2016 e 2037, passando de 3,8 bilhões para 8,2 bilhões. Esse crescimento exponencial da aviação civil aumentará significativamente a demanda por combustíveis, tornando ainda mais urgente a adoção de alternativas sustentáveis, como o SAF. Sem medidas eficazes de transição energética, a ampliação do tráfego aéreo poderá intensificar os impactos ambientais do setor, reforçando a necessidade de políticas públicas e investimentos voltados para a descarbonização da aviação (Ng *et al.*, 2021).

A dependência de combustíveis fósseis apresenta implicações ambientais, econômicas e sociais. A queima desses combustíveis é um dos maiores contribuintes para a emissão de dióxido de carbono (CO_2), o principal gás de efeito estufa, cuja liberação na atmosfera intensifica o efeito estufa e contribui para o aquecimento global. Esse fenômeno está diretamente relacionado ao aumento da temperatura média do planeta, desencadeando eventos climáticos extremos, como ondas de calor, secas e tempestades intensas. Além disso, a combustão de combustíveis fósseis libera poluentes atmosféricos nocivos, como monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x) e compostos orgânicos voláteis (COVs), que comprometem a qualidade do ar e estão associados a problemas respiratórios e cardiovasculares. Essas emissões não apenas afetam o meio ambiente, mas também geram impactos socioeconômicos significativos, elevando os custos com saúde pública e reduzindo a

qualidade de vida da população exposta à poluição atmosférica (Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima, 2023).

Economicamente, a dependência de combustíveis fósseis exacerba a vulnerabilidade dos países às oscilações no mercado global de energia, especialmente daqueles cuja economia está atrelada à extração e exportação de petróleo, carvão e gás natural. As variações nos preços desses combustíveis podem gerar crises econômicas, afetando a balança comercial, os custos de produção e o poder de compra da população. Para os países em desenvolvimento, a desigualdade no acesso a fontes de energia limpas e sustentáveis configura um obstáculo adicional ao crescimento econômico e social, limitando investimentos em infraestrutura e dificultando a implementação de políticas energéticas mais sustentáveis. Nesse cenário, a transição para combustíveis renováveis, como o SAF, não é apenas uma necessidade ambiental, mas também uma estratégia essencial para reduzir desigualdades, fortalecer a independência energética e promover o desenvolvimento sustentável. Ao estimular a produção interna de biocombustíveis, os países podem diminuir sua exposição à volatilidade do mercado internacional de combustíveis fósseis, além de impulsionar setores estratégicos, como a agroindústria e a bioenergia (Pimentel, 2011).

1.1 Problema de pesquisa

A intensificação das mudanças climáticas e o aumento das pressões internacionais por redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) colocaram o setor da aviação civil no centro do debate sobre a transição energética global. Trata-se de um segmento estratégico para a economia mundial, mas que apresenta limitações técnicas relevantes para a descarbonização, uma vez que alternativas como eletrificação e hidrogênio ainda não se mostram plenamente viáveis para operações em larga escala, sobretudo em voos de média e longa distância. Nesse contexto, o Combustível Sustentável de Aviação (SAF) emerge como a principal solução de curto e médio prazo para a mitigação das emissões do setor, por sua compatibilidade com as aeronaves e infraestruturas existentes.

No Brasil, país que se destaca pela experiência consolidada na produção de biocombustíveis e pela abundância de matérias-primas renováveis, o SAF passou a ocupar posição central na agenda pública recente. Esse movimento culminou na promulgação da Lei nº 14.993, de 8 de outubro de 2024, conhecida como Lei do

Combustível do Futuro, que instituiu o Programa Nacional de Combustível Sustentável de Aviação (ProBioQAV). A referida lei estabelece diretrizes gerais para a promoção da pesquisa, do desenvolvimento, da produção e da inserção do SAF na matriz energética nacional, além de definir metas progressivas de redução de emissões para o setor aéreo (Brasil, 2024).

Entretanto, apesar de representar um avanço normativo significativo, a Lei nº 14.993/2024 depende da edição de decreto regulamentador para produzir efeitos concretos e operacionais. A ausência dessa regulamentação cria um cenário de incerteza jurídica e institucional, dificultando a definição de critérios técnicos, mecanismos de incentivo econômico, responsabilidades dos agentes envolvidos e instrumentos de monitoramento e fiscalização. Como consequência, observa-se um descompasso entre o marco legal estabelecido e a efetiva implementação do SAF em escala comercial no Brasil.

Essa lacuna regulatória afeta diretamente a previsibilidade necessária para a atração de investimentos, o planejamento industrial e a articulação entre políticas públicas setoriais, especialmente aquelas relacionadas à energia, transportes, meio ambiente e desenvolvimento econômico. Além disso, compromete o alinhamento do Brasil aos compromissos internacionais assumidos no âmbito do Acordo de Paris e às metas globais de neutralidade climática para a aviação, lideradas por organismos como a Organização da Aviação Civil Internacional (OACI).

Diante desse cenário, torna-se relevante investigar de que maneira a regulamentação do ProBioQAV pode estruturar um ambiente normativo capaz de viabilizar o SAF como instrumento efetivo da política de descarbonização da aviação brasileira. A análise das políticas públicas existentes, das diretrizes legais e das percepções de especialistas do setor revela-se fundamental para identificar entraves, oportunidades e caminhos regulatórios possíveis para a consolidação desse combustível sustentável no país.

Assim, a problemática que orienta esta pesquisa pode ser sintetizada na seguinte questão de pesquisa: **Como a regulamentação do Programa Nacional de Combustível Sustentável de Aviação (ProBioQAV), instituído pela Lei nº 14.993/2024, pode contribuir para a consolidação do SAF como eixo estratégico da política de descarbonização do setor aéreo no Brasil?**

Responder a essa questão contribui para o avanço do debate acadêmico e institucional sobre a transição energética na aviação civil, ao esclarecer o papel da

regulamentação infralegal na efetividade das políticas públicas ambientais. Ademais, permite identificar subsídios técnicos e normativos que podem apoiar formuladores de políticas, reguladores e agentes do setor produtivo na construção de um arcabouço regulatório mais consistente, capaz de alinhar desenvolvimento econômico, segurança energética e compromissos climáticos internacionais.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Analisar as políticas públicas do governo federal brasileiro e as legislações correlatas voltadas para o desenvolvimento e implementação do Combustível Sustentável de Aviação (SAF).

1.2.2 Objetivos específicos

Levantar as políticas públicas existentes para o setor nos âmbitos nacional e internacional.

Identificar as diretrizes que orientam a edição do Decreto de regulamentação do Programa Nacional de Combustível Sustentável de Aviação (ProBioQAV), instituído pela Lei nº 14.993, de 8 de outubro de 2024, denominada Lei do Combustível do Futuro.

Examinar a percepção de especialistas sobre os desafios enfrentados pelo setor de aviação civil brasileira na transição energética, considerando as discussões realizadas no âmbito do Conexão SAF, coordenado pela ANAC.

2 METODOLOGIA

Esta seção apresenta os procedimentos metodológicos adotados para a realização da pesquisa, cujo objetivo foi analisar as políticas públicas do governo federal brasileiro e a legislação associada ao desenvolvimento e à implementação do Combustível Sustentável de Aviação (SAF). A estratégia metodológica foi estruturada em etapas sucessivas, incluindo revisão bibliográfica, análise documental e entrevistas com especialistas. O tratamento dos dados qualitativos foi realizado com o apoio do *software* Iramuteq, que possibilitou a organização e a interpretação das informações obtidas. A seguir, são descritos os principais delineamentos e etapas que orientaram o desenvolvimento do estudo.

2.1 Delineamento da pesquisa

A presente pesquisa foi conduzida por meio da abordagem qualitativa, com foco na análise das políticas públicas do governo federal relacionadas ao desenvolvimento do Combustível Sustentável de Aviação (SAF). Essa abordagem possibilitou observar os processos, os significados e as dinâmicas sociais envolvidos na formulação e na implementação dessas políticas. De acordo com Minayo (2007, p. 21), a pesquisa qualitativa “trabalha com o universo de significados, motivos, aspirações, crenças, valores e atitudes”, sendo, por isso, indicada para o estudo de fenômenos sociais e institucionais. Embora a abordagem qualitativa privilegie a interpretação de aspectos subjetivos e contextuais, foram também considerados dados quantitativos. A inclusão de informações sobre frequência e ocorrência de eventos permitiu apoiar ou revisar os resultados obtidos qualitativamente. A pesquisa foi organizada em duas etapas principais, com uso de diferentes procedimentos metodológicos, o que possibilitou combinar fontes distintas para a análise dos dados.

2.2 Etapas da pesquisa

A investigação foi estruturada em três etapas principais, combinando diferentes procedimentos metodológicos para a coleta e análise de dados. Inicialmente, realizou-se uma revisão bibliográfica para reunir informações teóricas e empíricas sobre o tema. Em seguida, foi conduzida uma análise documental, que permitiu examinar o marco normativo e institucional relativo ao SAF. Por fim, foram realizadas entrevistas com especialistas do setor, com o objetivo de captar percepções e experiências relacionadas à formulação e implementação de políticas públicas voltadas ao

combustível sustentável de aviação. A articulação dessas etapas possibilitou um olhar abrangente sobre os aspectos regulatórios, técnicos e operacionais que envolvem a transição energética no setor aéreo brasileiro.

2.2.1 Revisão bibliográfica

Na primeira etapa, foi realizada a revisão bibliográfica com base em publicações disponíveis nas bases de dados Google Acadêmico, SciELO e DirectScience, além de dissertações e teses acessadas por meio do portal da CAPES. Foram consideradas referências em língua portuguesa e inglesa, com foco nos impactos ambientais do uso de combustíveis fósseis na aviação, nas matérias-primas renováveis disponíveis no Brasil e nos biocombustíveis empregados no mercado nacional. As buscas foram orientadas pelas palavras-chave “combustível sustentável de aviação”, “impactos ambientais dos combustíveis fósseis”, “matérias-primas renováveis no Brasil” e “dificuldades na implementação de biocombustíveis”, o que permitiu selecionar estudos diretamente relacionados à temática investigada.

Os critérios de inclusão abrangeram publicações dos últimos dez anos, com abordagem empírica ou teórica alinhada ao escopo da pesquisa. A revisão possibilitou a identificação de conceitos, práticas e tendências associadas ao desenvolvimento do SAF.

2.2.2 Análise documental

Na segunda etapa, foi realizada a análise documental, com base em diferentes fontes e tipos de documentos, incluindo leis, relatórios, normas internacionais, atas de reuniões e materiais institucionais. Conforme Lima Junior *et al.* (2021), a análise documental pode abranger diversas formas de registro, não se limitando a textos escritos. Nesse contexto, foram examinados documentos como a Lei nº 13.576/2017 (Brasil, 2017), que institui o RenovaBio, e a Lei nº 14.993/2024 (Brasil, 2024), referente ao ProBioQAV, além de marcos regulatórios nacionais e internacionais, como as diretrizes da Organização da Aviação Civil Internacional (OACI) e os compromissos firmados pelo Brasil no âmbito do Acordo de Paris. Complementarmente, foram considerados os relatórios elaborados por órgãos governamentais, como a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) e o Ministério de Minas e Energia (MME), os quais contribuíram para a caracterização do quadro regulatório do setor.

Além disso, foram incluídas na análise atas de discussões realizadas em fóruns e comitês, como o Conexão SAF, o Comitê Técnico Combustível do Futuro e o Fórum de Transição Energética na Aviação Civil (FOTEA). Esses documentos permitiram identificar políticas públicas em curso, biocombustíveis regulamentados e os principais desafios associados à sua implementação no Brasil. A escolha dessas fontes foi motivada por sua relevância para a caracterização dos marcos regulatórios e das práticas institucionais vigentes no setor de combustíveis sustentáveis para a aviação, além de oferecerem subsídios para a análise das estratégias adotadas na condução da transição energética no país.

2.2.3 Entrevistas com especialistas

Na terceira etapa, foram realizadas entrevistas com especialistas do setor de aviação civil, vinculados principalmente à Secretaria Nacional de Aviação Civil (SAC), à Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), à Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) e produtores de combustíveis sustentáveis. As entrevistas ocorreram com os participantes do Conexão SAF, fórum coordenado pela ANAC, que reúne representantes dos setores público e privado com o objetivo de propor soluções voltadas à descarbonização da aviação brasileira por meio da utilização de Combustível Sustentável de Aviação (SAF).

Para tanto, foram conduzidas entrevistas destinadas à coleta de dados qualitativos com especialistas, representantes do setor aéreo e formuladores de políticas públicas. Esse procedimento teve como finalidade identificar os principais desafios, oportunidades e perspectivas relacionadas à implementação do SAF no Brasil.

O instrumento utilizado consistiu em um conjunto de perguntas estratégicas, organizadas em diferentes eixos temáticos. Entre eles, destacaram-se a regulamentação vigente, os incentivos econômicos, os desafios tecnológicos, as estratégias de implementação e os impactos do SAF no setor aéreo. A estrutura do material foi elaborada para permitir uma abordagem flexível, contemplando tanto entrevistas semiestruturadas quanto discussões mais abertas, adaptadas ao perfil de cada entrevistado.

As entrevistas foram conduzidas com atores-chave do setor, incluindo representantes de agências reguladoras, como a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) e a

Secretaria Nacional de Aviação Civil (SAC), além de especialistas em biocombustíveis, executivos de companhias aéreas e pesquisadores acadêmicos. A partir dessas entrevistas, foi possível reunir percepções sobre as barreiras à adoção do SAF, os modelos internacionais considerados bem-sucedidos, a viabilidade econômica e ambiental da sua aplicação e as projeções para o futuro do combustível sustentável na aviação brasileira.

Além de orientar a condução das entrevistas, o roteiro contou com um modelo de análise qualitativa, baseado na categorização das respostas, com o objetivo de identificar padrões e tendências nos depoimentos dos participantes. Esse procedimento possibilitou organizar os dados de forma estruturada e comparável, fornecendo subsídios para a formulação de um diagnóstico sobre os principais aspectos relacionados ao tema.

O resultado foi um relatório analítico, elaborado a partir das informações extraídas nas entrevistas, no qual foram sistematizados os principais achados da pesquisa, com recomendações voltadas ao aprimoramento das políticas públicas relacionadas ao SAF. Esse material foi concebido para apoiar a atuação de órgãos governamentais, empresas do setor e pesquisadores envolvidos com a expansão dos biocombustíveis na aviação, contribuindo para o desenvolvimento de estratégias voltadas à sustentabilidade no transporte aéreo.

Dessa forma, os dados coletados nas etapas anteriores foram organizados e analisados por meio da técnica de Análise de Conteúdo proposta por Bardin (2011), com o apoio do *software* Iramuteq. Essa abordagem permitiu identificar padrões, categorias e relações entre os elementos examinados. Com base nesse tratamento, foram avaliadas a viabilidade técnica e econômica das matérias-primas renováveis disponíveis no Brasil, os biocombustíveis homologados para aviação e os principais obstáculos à sua ampliação, como os custos elevados e as barreiras regulatórias. A triangulação entre os dados qualitativos e documentais foi utilizada para conferir maior coerência, complementaridade e contextualização às informações analisadas, em consonância com o cenário regulatório e tecnológico do setor de combustíveis sustentáveis para a aviação.

2.3 Análise dos dados com suporte do Iramuteq

A presente seção descreve os procedimentos adotados na organização e tratamento dos dados obtidos por meio das entrevistas com especialistas, com base

na Análise de Conteúdo e no uso do *software* Iramuteq. O objetivo foi estruturar e interpretar os discursos coletados a partir de categorias temáticas, permitindo a identificação de padrões e relações relevantes para o entendimento das políticas públicas e dos desafios associados à implementação do SAF no Brasil. A seguir, são detalhados os fundamentos metodológicos que orientaram a análise, bem como as técnicas utilizadas para examinar o *corpus* textual.

2.3.1 Aplicação da Análise de Conteúdo

Após a conclusão das entrevistas, deu-se início à análise das transcrições com base na técnica de Análise de Conteúdo, conforme os pressupostos metodológicos propostos por Bardin (2011). Essa abordagem compreende três fases principais: a pré-análise, voltada à organização e leitura flutuante do material; a exploração do conteúdo, que contempla a codificação e categorização temática dos dados; e o tratamento dos resultados, com a interpretação e a inferência a partir das unidades de registro identificadas. Esse processo possibilita a organização sistemática dos dados qualitativos, conferindo maior rigor à interpretação das informações coletadas e favorecendo a identificação de padrões discursivos relevantes à temática investigada (Sousa *et al.*, 2020).

No presente estudo, essa abordagem foi operacionalizada por meio do uso do *software* Iramuteq, que permitiu aplicar diferentes técnicas de análise textual ao *corpus* constituído pelas entrevistas transcritas. O objetivo central foi identificar categorias temáticas centrais que emergiram dos discursos dos participantes, as quais foram agrupadas em cinco eixos principais: (i) desafios regulatórios para a implementação do SAF; (ii) potencial e limitações das matérias-primas disponíveis no Brasil; (iii) viabilidade econômica e necessidade de incentivos; (iv) experiências internacionais e modelos de referência; e (v) perspectivas para o futuro do SAF no Brasil. A utilização do Iramuteq também viabilizou a integração dessas categorias aos achados da análise documental, compondo a estratégia de triangulação metodológica adotada para garantir maior coerência e abrangência na interpretação dos dados.

Além disso, a análise permitiu confrontar os conteúdos das entrevistas com os documentos normativos analisados, o que favoreceu a identificação de convergências, contradições e lacunas entre os discursos dos especialistas e as diretrizes das políticas públicas em vigor. Essa triangulação metodológica possibilitou qualificar os resultados, contribuindo para um diagnóstico crítico da implementação

do SAF no Brasil, baseado na articulação entre evidências empíricas, normativas e contextuais.

2.3.2 Utilização do *software* Iramuteq

O tratamento das transcrições das entrevistas foi realizado com o auxílio do *software* Iramuteq (*Interface de R pour les Analyses Multidimensionnelles de Textes et de Questionnaires*), versão 0.7 alpha 02, desenvolvido a partir da linguagem R e amplamente utilizado em pesquisas qualitativas por sua capacidade de realizar análises lexicais e estatísticas de grandes volumes textuais (Mozzato; Grzybovski, 2011). O programa, de código aberto e gratuito, foi selecionado por sua compatibilidade com a abordagem metodológica deste estudo, permitindo extrair padrões linguísticos e relações semânticas que não seriam facilmente perceptíveis por métodos manuais (Souza *et al.*, 2018).

A fundamentação teórica do *software* está ancorada na análise lexical proposta por Reinert (1983), que utiliza métodos estatísticos para segmentar e classificar o *corpus* textual com base nas coocorrências de palavras. Essa abordagem permite, como demonstrado por Ratinaud e Marchand (2012), a construção de estruturas semânticas que facilitam a identificação de categorias temáticas recorrentes. No contexto desta pesquisa, a aplicação do Iramuteq permitiu organizar os dados em classes lexicais homogêneas, conforme os critérios estabelecidos por Camargo e Justo (2013), fornecendo suporte à construção dos cinco eixos temáticos apresentados na análise: desafios regulatórios, matérias-primas, viabilidade econômica, experiências internacionais e projeções para o futuro do SAF.

A utilização do Iramuteq mostrou-se especialmente útil para a triangulação com os dados documentais, pois permitiu confrontar, de forma sistemática, os discursos dos especialistas com as diretrizes normativas analisadas previamente. Conforme destaca Mozzato e Grzybovski (2011), essa sistematização contribui para a validação interna dos achados qualitativos, bem como para a consistência entre os dados empíricos e os referenciais teóricos. Assim, o *software* não apenas viabilizou a análise técnica das entrevistas, mas também fortaleceu a coerência metodológica e analítica do trabalho como um todo.

2.3.3 Etapas da análise textual

Esta subseção apresenta as etapas envolvidas na preparação e no tratamento do *corpus* textual das entrevistas com especialistas, com base na metodologia de Análise de Conteúdo. O processo compreendeu a coleta, a organização e a segmentação dos dados, bem como a aplicação de diferentes técnicas de análise viabilizadas pelo *software* Iramuteq. O objetivo foi estruturar os discursos de forma a permitir a identificação de categorias temáticas, relações semânticas e padrões lexicais que contribuíssem para a compreensão dos desafios e das perspectivas relativos à implementação do SAF no Brasil.

2.3.3.1 Coleta dos dados

A coleta dos dados empíricos foi conduzida com o objetivo de captar a percepção de especialistas diretamente envolvidos com a formulação e implementação de políticas públicas voltadas à transição energética no setor da aviação civil brasileira. Para tanto, foram realizadas sete entrevistas abertas com participantes do Conexão SAF, grupo técnico coordenado pela ANAC e instituído com a finalidade de discutir diretrizes regulatórias para o Programa Nacional de Combustível Sustentável de Aviação (ProBioQAV), conforme previsto na Lei nº 14.993/2024. Os(as) entrevistados(as) foram selecionados(as) a partir de critérios previamente estabelecidos, que consideraram a atuação institucional no eixo temático “Regulação do Mandato para Operadores Aéreos”, a diversidade de representações do setor (governo, indústria, especialistas técnicos e academia) e o envolvimento direto com as atividades do fórum.

As entrevistas foram conduzidas remotamente, por meio da plataforma Microsoft Teams, garantindo maior flexibilidade e alcance geográfico, bem como viabilizando a participação de atores-chave que atuam em diferentes regiões do país. Todas as conversas foram previamente autorizadas, registradas em áudio e vídeo, e integralmente transcritas para fins de análise qualitativa, conforme os procedimentos recomendados por Bauer e Gaskell (2002).

No processo de preparação do *corpus* textual para análise com o *software* Iramuteq, as perguntas foram excluídas das transcrições, conforme prática recomendada para análise lexical. Os textos foram então organizados em segmentos de texto (ST) com aproximadamente três linhas cada, e salvos em formato *Unicode Transformation Format – 8-bit (UTF-8)*, conforme orientações metodológicas de

Camargo e Justo (2013). Essa organização permitiu preservar a integridade semântica dos discursos e facilitar a posterior categorização temática.

2.3.3.2 Preparação dos dados

Nesta etapa, as transcrições das entrevistas passaram por uma revisão minuciosa para garantir a fidedignidade do conteúdo e a consistência das informações. O material textual foi formatado para atender aos requisitos técnicos do *software* Iramuteq, sendo dividido em Unidades de Contexto Elementares (UCEs), conforme proposto por Sousa *et al.* (2020). As UCEs correspondem aos menores segmentos de texto analisáveis pelo programa, possibilitando a organização do *corpus* de forma estruturada e passível de categorização lexical.

Os dados textuais foram agrupados com base nos grupos de participantes e, em seguida, reunidos em um *corpus* unificado. Essa organização permitiu a análise integrada das verbalizações, favorecendo a identificação de padrões discursivos e recorrências temáticas entre os entrevistados. De acordo com Camargo e Justo (2013), o *corpus* representa o conjunto de textos que fundamentam a análise, sendo, neste estudo, constituído pelas entrevistas transcritas em sua totalidade. A preparação cuidadosa desse material garantiu a aplicabilidade das técnicas de análise multivariada e textual oferecidas pelo Iramuteq, assegurando a consistência metodológica necessária para a exploração dos dados qualitativos.

2.3.3.3 Técnicas de análise utilizadas

Na última etapa da preparação dos dados, aplicaram-se as técnicas de análise textual disponíveis no *software* Iramuteq, de modo a extrair estruturas semânticas, núcleos temáticos e conexões relevantes a partir do *corpus* das entrevistas. A escolha metodológica por múltiplos procedimentos visou a ampliar a capacidade interpretativa da pesquisa, assegurando a extração de categorias consistentes com as discussões levantadas. Cada técnica contribuiu com uma perspectiva específica sobre os dados, permitindo identificar desde regularidades linguísticas até padrões mais amplos nos discursos analisados.

a) Classificação Hierárquica Descendente (CHD): A CHD constituiu o método central para a segmentação e organização do *corpus*, permitindo agrupar Unidades de Contexto Elementares (UCEs) com base na similaridade lexical. A aplicação do teste do Qui-Quadrado possibilitou identificar a associação estatística

entre termos e classes temáticas, servindo como base para a construção dos cinco eixos principais que orientaram a análise dos discursos: regulação, matérias-primas, incentivos econômicos, modelos internacionais e perspectivas para o futuro do SAF (Camargo; Justo, 2013; Souza *et al.*, 2018).

b) Análise de Similitude: Com apoio da teoria dos grafos, a análise de similitude evidenciou as relações de coocorrência entre termos centrais, revelando a rede de associações estabelecida no discurso dos especialistas. Essa técnica permitiu compreender como os conceitos se agrupam semanticamente, e foi útil para reforçar as categorias identificadas na CHD, sobretudo no que tange à relação entre incentivos econômicos e os entraves regulatórios (Ratinaud; Marchand, 2012).

c) Análise Fatorial de Correspondência (AFC): A AFC permitiu visualizar, em um plano cartesiano, as proximidades entre os termos mais recorrentes e as variáveis consideradas no corpus. Essa abordagem foi particularmente útil na comparação entre os diferentes perfis de entrevistados, como representantes do setor público e do setor privado, permitindo identificar nuances nas percepções sobre os modelos internacionais e os desafios específicos do contexto brasileiro (Souza *et al.*, 2020).

d) Nuvem de Palavras: Utilizada como técnica complementar, a nuvem de palavras forneceu uma visão panorâmica inicial das expressões mais frequentes no *corpus*. Essa etapa auxiliou na identificação preliminar de focos discursivos, destacando, por exemplo, os termos “regulação”, “produção”, “custo”, “incentivo” e “internacional”, que foram posteriormente consolidados nas categorias temáticas da análise (Camargo; Justo, 2013).

Nesse prisma, os métodos de análise textual empregados permitiram explorar diferentes dimensões do *corpus*, aliando estatística e interpretação linguística para revelar estruturas semânticas, núcleos conceituais e padrões de significados. A aplicação integrada dessas técnicas contribuiu para a formulação de categorias analíticas coerentes com os discursos dos especialistas, fornecendo a base empírica para as interpretações apresentadas.

A **Figura 1**, apresentada a seguir, reúne os principais procedimentos metodológicos aplicados com o uso do Iramuteq na análise textual das entrevistas. Ela resume, de forma esquemática, os métodos adotados, destacando suas respectivas contribuições no processo interpretativo.

Figura 1 – Métodos de análise textual com Iramuteq

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Conforme a **Figura 1**, os métodos de análise textual aplicados neste estudo apresentaram funções complementares no tratamento do *corpus*. A Classificação Hierárquica Descendente (CHD) organizou os dados em classes lexicais, estruturando as categorias temáticas centrais da pesquisa. A Análise de Similitude evidenciou conexões semânticas entre os termos mais frequentes, enquanto a Análise Fatorial de Correspondência (AFC) permitiu visualizar contrastes entre os perfis de entrevistados. Já a Nuvem de Palavras atuou como ferramenta exploratória, destacando os focos lexicais predominantes no material analisado.

Em conjunto, essas técnicas ampliaram a capacidade interpretativa do estudo, oferecendo uma leitura integrada e consistente das informações extraídas das entrevistas.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Contexto histórico e relevância do Combustível Sustentável de Aviação (SAF)

Os combustíveis sustentáveis de aviação (SAF) possuem composição química semelhante à do querosene de aviação tradicional, de origem fóssil, o que permite sua utilização sem necessidade de modificações nos motores das aeronaves ou na infraestrutura de abastecimento. Essa característica, conhecida como “*drop-in*”, confere ao SAF uma vantagem significativa em relação a outras alternativas energéticas, como o hidrogênio ou a eletrificação, cujas tecnologias ainda exigem adaptações estruturais complexas (FGV Energia, 2017).

Além disso, os SAF podem ser produzidos a partir de diversas fontes renováveis, incluindo resíduos orgânicos, óleos vegetais usados, gordura animal, biogás e biomassa lignocelulósica, como bagaço de cana-de-açúcar e resíduos florestais. Tecnicamente, o SAF é definido como um combustível derivado de matérias-primas renováveis ou resíduos, atendendo a critérios rigorosos de sustentabilidade ambiental. Dessa forma, além de reduzir a dependência de combustíveis fósseis, sua utilização contribui significativamente para a diminuição das emissões de gases de efeito estufa ao longo do ciclo de vida, representando uma solução viável para a descarbonização do setor aéreo (FGV Energia, 2017).

A principal vantagem dos SAF é a redução das emissões de gases de efeito estufa ao longo de todas as etapas do ciclo de vida, incluindo produção, distribuição e combustão, quando comparados aos combustíveis fósseis convencionais. Essa redução pode alcançar até 80%, dependendo da matéria-prima utilizada e da tecnologia de conversão empregada, uma vez que processos mais eficientes e fontes renováveis de menor impacto ambiental contribuem para um ciclo de carbono mais sustentável (FGV Energia, 2017).

Apesar de, atualmente, representarem menos de 0,5% do volume total de combustível utilizado pelo transporte aéreo, o potencial de crescimento do mercado de SAF é significativo. Projeções indicam que, com o avanço das políticas públicas e incentivos governamentais, a participação do SAF na matriz energética da aviação poderá superar 10% até 2030 e alcançar 65% até 2050, tornando-se um elemento-chave na transição para uma aviação de baixo carbono (Eunjii Yoo; Uisung Lee; Michael Yang, 2022).

Segundo estudo liderado pela *Manchester Metropolitan University*, o setor da aviação contribui com aproximadamente 3,5% das emissões globais de dióxido de carbono (CO_2), além de liberar outros poluentes que intensificam o efeito estufa, como óxidos de nitrogênio (NO_x) e vapor d'água em altas altitudes. Com o aumento projetado do tráfego aéreo nas próximas décadas, essa participação tende a crescer progressivamente, caso não sejam implementadas políticas eficazes de mitigação. Estima-se que, sem intervenções adequadas, as emissões do setor possam dobrar até 2050, comprometendo metas globais de descarbonização.

Nesse contexto, ainda que a produção de SAF tenha triplicado em 2022 em relação ao ano anterior, alcançando 300 milhões de litros, o volume representa apenas 0,1% do total utilizado no setor, conforme a Associação Internacional de Transporte Aéreo (IATA, 2021). Para que o SAF se torne uma alternativa viável em larga escala, será necessário um aumento significativo na capacidade produtiva, aliado a incentivos regulatórios e investimentos em infraestrutura que permitam sua adoção ampla e competitiva.

Por outro lado, os gases poluentes, também conhecidos como gases de efeito estufa (GEE), presentes na atmosfera, são resultantes de atividades industriais, múltiplos meios de transporte e outras atividades econômicas. Quando emitidos em níveis acima dos limites aceitáveis, esses gases podem causar doenças e impactar gravemente a saúde humana. Essas composições gasosas envolvem o planeta e absorvem parte da radiação infravermelha refletida pela superfície terrestre, dificultando sua dissipação para o espaço e provocando o aquecimento da superfície terrestre, fenômeno conhecido como efeito estufa (Barbosa, 2021).

O efeito estufa é um processo natural e essencial para a manutenção da vida na Terra, pois regula a temperatura média global, evitando variações extremas e criando condições favoráveis ao desenvolvimento dos seres vivos. No entanto, o aumento excessivo das emissões de gases de efeito estufa intensifica esse fenômeno, agravando as mudanças climáticas e causando impactos negativos à saúde e ao meio ambiente. Entre os principais responsáveis pelo agravamento do efeito estufa estão o dióxido de carbono (CO_2) e o metano (CH_4), cujas emissões em níveis elevados decorrem, sobretudo, da ação humana (Barbosa, 2021).

No setor da aviação, as empresas desempenham um papel significativo na emissão de gases de efeito estufa, uma vez que são grandes consumidoras de combustíveis fósseis provenientes da indústria petrolífera. Cada barril de petróleo

contém aproximadamente 43% de gasolina automotiva, 23% de diesel e petróleo bruto, 16% de óleos lubrificantes e asfaltos, 11% de resíduos e 7% de querosene e gasolina de aviação. De acordo com levantamentos realizados em 2004 pela União Europeia, a aviação internacional já era responsável, à época, por cerca de 3% das emissões globais de dióxido de carbono (CO₂). Entre 1990 e 2004, essas emissões cresceram 85%, superando o aumento observado no transporte marítimo e no transporte terrestre/doméstico (Barbosa, 2021).

O desenvolvimento e a comercialização de SAF exigem uma colaboração estratégica entre fabricantes de aeronaves, companhias aéreas, aeroportos, fornecedores de combustível e empresas de biotecnologia. Essa articulação entre os diferentes agentes da cadeia produtiva é fundamental para promover sinergias que viabilizem a adoção efetiva desse combustível no setor aéreo (Zaparolli, 2024).

Além do avanço tecnológico, destaca-se a importância da implementação de políticas públicas eficazes, incluindo incentivos fiscais, subsídios para pesquisa e regulamentações específicas. Esses instrumentos são essenciais para criar condições favoráveis à expansão do SAF em escala global (Zaparolli, 2024).

Nesse cenário, os governos e organismos internacionais assumem um papel central na formulação de diretrizes que assegurem tanto a viabilidade econômica quanto a sustentabilidade ambiental do combustível. A Organização da Aviação Civil Internacional (OACI), composta por 193 Estados-membros, lidera os esforços voltados à regulamentação e padronização do SAF, definindo critérios técnicos e certificações que garantam sua segurança e eficiência operacional (Zaparolli, 2024).

Apesar desses avanços institucionais, persistem obstáculos relevantes. Entre os principais desafios estão o alto custo de produção, a necessidade de infraestrutura adaptada e a competição com os combustíveis fósseis. Esses fatores ainda limitam a expansão do SAF e demandam soluções estruturais para que ele se consolide como alternativa viável e amplamente utilizada no setor aéreo (Zaparolli, 2024).

Embora a produção de SAF possa compartilhar instalações e cadeias de abastecimento com biocombustíveis destinados ao transporte rodoviário, seus custos de produção são significativamente mais altos. Isso ocorre devido à complexidade dos processos de refino, à necessidade de matérias-primas de alta qualidade e ao rigor dos padrões exigidos para garantir a compatibilidade com as turbinas das aeronaves (Ng *et al.*, 2021).

Além disso, a produção do SAF enfrenta desafios adicionais relacionados à escalabilidade e à competitividade com os combustíveis fósseis, que ainda possuem custos inferiores (Ng *et al.*, 2021).

Para assegurar a segurança e a eficiência do SAF, testes rigorosos e certificações específicas são imprescindíveis, seguindo diretrizes estabelecidas por órgãos reguladores internacionais, como a Organização da Aviação Civil Internacional (OACI) e a ASTM International. O cumprimento dessas normas é essencial para que o SAF seja amplamente aceito no setor aéreo global, mas também contribui para encarecer o processo produtivo, tornando fundamental a implementação de incentivos governamentais e investimentos em inovação tecnológica para viabilizar sua adoção em larga escala (Ng *et al.*, 2021).

No contexto do Acordo de Paris, assinado na 21ª Conferência das Partes (COP 21) da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), o Brasil se comprometeu a reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) em 37% até 2030, tomando como referência os níveis de 2005. Durante a 29ª Conferência do Clima das Nações Unidas (COP 29), o país apresentou metas ainda mais ambiciosas, incluindo a redução de 67% das emissões líquidas até 2035 e a neutralidade climática até 2050 (Vital, 2018).

Essas metas fazem parte da Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) atualizada do Brasil e abrangem todos os setores da economia, incluindo a aviação, um dos segmentos mais difíceis de descarbonizar. Para que o setor aéreo contribua efetivamente para esses compromissos, será essencial a implementação de políticas públicas voltadas para a transição energética, o incentivo ao uso de SAF e a modernização da infraestrutura aeroportuária (Vital, 2018).

Ademais, o alcance dessas metas está diretamente ligado ao desenvolvimento e adoção de tecnologias sustentáveis, que possibilitem a redução progressiva das emissões e a compatibilização do crescimento do setor aéreo com a necessidade global de limitar o aumento da temperatura média do planeta a 1,5°C (Vital, 2018).

A adoção de fontes renováveis no setor energético enfrenta desafios estruturais e econômicos, como os altos custos iniciais das tecnologias, a infraestrutura insuficiente e a necessidade de incentivos governamentais para viabilizar a transição. Nações cuja economia é fortemente baseada na exploração de combustíveis fósseis podem sofrer impactos econômicos e sociais severos, especialmente se não houver

políticas de adaptação gradual e mecanismos de compensação para setores afetados (Pagel; Campos; Carolino, 2018).

Além disso, persistem disparidades entre países desenvolvidos e em desenvolvimento no que se refere às responsabilidades na redução de emissões e ao acesso a tecnologias limpas. Enquanto nações industrializadas já investem pesadamente em energias renováveis e políticas de descarbonização, muitos países emergentes ainda dependem de financiamento internacional para implementar soluções sustentáveis. Nesse cenário, iniciativas globais, como fundos climáticos e acordos de cooperação técnica, desempenham um papel essencial para garantir que a transição energética ocorra de forma equitativa, impulsionando a inovação e reduzindo a dependência mundial dos combustíveis fósseis (Pagel; Campos; Carolino, 2018).

O SAF, uma alternativa de baixo carbono ao querosene fóssil, pode ser produzido a partir de diversas fontes renováveis, incluindo resíduos agrícolas, florestais, oleaginosas, resíduos sólidos urbanos e óleo de cozinha usado. Também pode ser produzido por meio de tecnologias de captura e utilização de carbono (CCU), convertendo CO₂ atmosférico em hidrocarbonetos sintéticos (Jones, 2024).

A depender da rota tecnológica empregada, como Fischer-Tropsch (FT-SPK), hidroprocessamento de ésteres e ácidos graxos (HEFA-SPK) ou conversão de álcool para querosene (ATJ-SPK), o SAF pode reduzir em até 80% as emissões de gases de efeito estufa (GEE) ao longo de seu ciclo de vida, considerando desde a obtenção da matéria-prima até a combustão final (Jones, 2024).

Outro aspecto importante é que sua estrutura química é idêntica à do querosene de aviação convencional. Isso permite seu uso sem a necessidade de modificações nas aeronaves ou na infraestrutura de abastecimento, o que representa uma vantagem operacional significativa (Jones, 2024).

Apesar de também liberar CO₂ durante a queima, essa emissão é significativamente compensada pela absorção de carbono durante a produção do combustível, tornando-o uma solução viável para a descarbonização do setor aéreo enquanto tecnologias mais disruptivas, como hidrogênio e eletrificação, ainda estão em desenvolvimento (Jones, 2024).

A relevância histórica do SAF também está associada ao desenvolvimento gradual de políticas climáticas globais. Desde a criação do Protocolo de Kyoto em 1997, a aviação passou a ser incluída de forma crescente nas discussões sobre

mitigação de emissões, ainda que com maior complexidade em relação a outros setores (Firjan, 2025).

Essa dificuldade decorre, em grande medida, do caráter internacional das operações aéreas, que limita a aplicação direta de legislações nacionais sobre emissões. Assim, a construção de um marco regulatório específico para o setor aéreo tornou-se um desafio particular no âmbito das negociações climáticas (Firjan, 2025).

Nesse contexto, o SAF emergiu como uma alternativa tecnológica estratégica, capaz de compatibilizar a expansão do transporte aéreo com os compromissos assumidos por diferentes países em fóruns multilaterais. Sua adoção permite conciliar o crescimento do setor com as metas de redução de emissões (Firjan, 2025).

Para tanto, a consolidação desse combustível não se limita a avanços técnicos, mas está intrinsecamente vinculada à evolução de tratados ambientais e de mecanismos regulatórios internacionais. Como destaca Firjan (2025), o SAF é fundamental no esforço global de descarbonizar o setor aéreo, sendo compatível com as infraestruturas correntes e apoiado tanto por *frameworks* internacionais como o CORSIA quanto por iniciativas nacionais como o ProBioQAV.

A trajetória de pesquisa e desenvolvimento do SAF tem raízes nas crises energéticas da década de 1970, período em que se intensificou a busca por alternativas aos combustíveis fósseis. Naquele contexto, a escassez de petróleo evidenciou a necessidade de diversificação da matriz energética global (Empresa de Pesquisa Energética, 2021).

Entretanto, foi apenas no início dos anos 2000 que programas de pesquisa mais robustos começaram a ser estruturados, impulsionados por preocupações crescentes com as mudanças climáticas e com a elevada dependência do petróleo. Esses fatores passaram a orientar políticas públicas e investimentos em fontes renováveis de energia (Empresa de Pesquisa Energética, 2021).

Países como Estados Unidos, Alemanha e Brasil destacaram-se nesse processo, ao financiarem projetos voltados para a produção de biocombustíveis de aviação. Com isso, o SAF passou a integrar agendas de segurança energética, sendo também incorporado às estratégias de transição para economias de baixo carbono (Empresa de Pesquisa Energética, 2021).

A partir desse momento, as iniciativas relacionadas ao SAF consolidaram-se no planejamento de longo prazo do setor aéreo, não apenas como solução técnica, mas também como instrumento de política climática. Como observado em recente análise

técnica da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), as trajetórias propostas baseiam-se nos projetos de SAF já anunciados no Brasil, na utilização de matérias-primas consolidadas, no desenvolvimento de rotas tecnológicas e na consolidação de mecanismos regulatórios voltados à transição energética no setor aéreo (EPE, 2021).

Outro ponto relevante é o papel do SAF no reposicionamento competitivo de empresas aéreas e na valorização de suas marcas junto a consumidores cada vez mais atentos a práticas de sustentabilidade. A incorporação de combustíveis de baixo carbono tornou-se não apenas uma exigência regulatória, mas também uma resposta estratégica às transformações no comportamento do mercado e da sociedade (EPE, 2021).

Além disso, a crescente pressão social por compromissos ambientais e a difusão de instrumentos de avaliação (*Environmental, Social and Governance – ESG*) ampliaram a relevância do SAF como diferencial competitivo. Nesse cenário, companhias que integram esse combustível sustentável às suas operações demonstram alinhamento com os princípios de responsabilidade socioambiental e governança corporativa (EPE, 2021).

Consequentemente, essas empresas não apenas reduzem suas emissões, mas também fortalecem sua reputação institucional e atraem investidores preocupados com a transição energética. A integração de critérios ESG tende a gerar maior transparência e credibilidade no mercado, ampliando as oportunidades de investimento e impactando positivamente o desempenho financeiro e reputacional das organizações (EPE, 2021).

Dessa forma, o SAF transcende seu papel técnico como substituto do querosene fóssil e passa a constituir um ativo reputacional e financeiro de valor estratégico no setor aéreo contemporâneo (EPE, 2024).

O avanço tecnológico na produção de SAF também está diretamente associado à inovação em bioengenharia e processos industriais. Pesquisas recentes vêm explorando rotas alternativas de produção, como o uso de microalgas e a integração de técnicas de captura direta de carbono (DAC) para síntese de combustíveis. Esses avanços permitem vislumbrar uma diversificação de matérias-primas e a redução de custos no médio prazo, o que pode acelerar a competitividade do SAF em relação ao querosene fóssil. Além disso, a integração de diferentes rotas tecnológicas abre espaço para modelos produtivos regionais, aproveitando recursos locais e reduzindo a dependência de cadeias globais de suprimento (Vinhado, 2024).

Por fim, o SAF deve ser compreendido como parte de uma estratégia de transição energética gradual e multifacetada. Embora não represente, por si só, a solução definitiva para a descarbonização da aviação, constitui um elo fundamental entre o uso de combustíveis fósseis e a futura adoção de tecnologias disruptivas, como aeronaves movidas a hidrogênio ou eletricidade. Nesse sentido, o SAF contribui para reduzir de imediato as emissões do setor, ao mesmo tempo em que permite tempo para a maturação de alternativas mais radicais. Assim, sua relevância histórica não reside apenas na mitigação atual das emissões, mas também na criação de condições para uma aviação global mais sustentável a longo prazo.

3.2 Produção científica e ação global sobre SAF

A redução das emissões provenientes da queima de combustíveis fósseis demanda uma resposta coordenada em nível global, envolvendo esforços conjuntos de governos, setor privado e sociedade civil. Para alcançar os objetivos climáticos estabelecidos nos principais acordos internacionais, como o Acordo de Paris e a meta de emissões líquidas zero até 2050 da Organização da Aviação Civil Internacional (OACI), é fundamental a implementação de estratégias concretas para reduzir a pegada de carbono e acelerar a adoção de tecnologias limpas (Pinto *et al.*, 2023).

Nessa conjuntura, a cooperação internacional desempenha um papel essencial nesse processo, por meio de acordos multilaterais, mecanismos de mercado de carbono e fundos de financiamento climático que possibilitam investimentos em infraestrutura sustentável e inovação energética. Além disso, a formulação de políticas públicas eficazes, como incentivos fiscais para biocombustíveis, regulamentações ambientais mais rigorosas e programas de transição energética, é indispensável para garantir o sucesso dessa transformação (Pinto *et al.*, 2023).

A urgência dessas ações se torna ainda mais evidente diante dos impactos crescentes das mudanças climáticas, reforçando a necessidade de compromissos firmes e soluções escaláveis para a descarbonização da economia global (Pinto *et al.*, 2023).

A transição energética no setor de aviação é um processo complexo, uma vez que os custos com combustíveis representam uma parcela significativa das despesas operacionais das companhias aéreas. Além disso, essa mudança enfrenta desafios adicionais devido às rigorosas exigências de segurança e à necessidade de assegurar a viabilidade técnica e econômica de novos combustíveis. Consequentemente,

diversos estudos, testes e processos têm sido conduzidos globalmente para viabilizar essa transição. No entanto, apesar dos esforços, desafios significativos ainda persistem na implementação do Combustível Sustentável de Aviação (SAF), devido à recente introdução do tema, às limitações tecnológicas e às dificuldades financeiras associadas (Estevo; Thomaz; Godim, 2024).

Os SAFs são combustíveis com potencial para serem produzidos de forma sustentável, reduzindo significativamente as emissões de carbono em comparação ao querosene convencional ao longo de seu ciclo de vida. Seu impacto positivo está diretamente relacionado ao processo de produção, uma vez que sua origem sustentável contribui para minimizar os impactos ambientais. No entanto, quando queimado, o SAF ainda libera gases semelhantes aos emitidos pelos combustíveis fósseis, embora sua pegada de carbono seja consideravelmente menor (Estevo; Thomaz; Godim, 2024).

Atualmente, o SAF corresponde a menos de 1% do volume total de combustível consumido pela aviação comercial. No entanto, a necessidade de acelerar o desenvolvimento de alternativas sustentáveis torna-se cada vez mais premente, uma vez que o setor aéreo é responsável por aproximadamente 2,5% das emissões globais de dióxido de carbono (CO₂) (BNDES, 2024).

Além disso, sua participação no aquecimento global é ainda mais expressiva, chegando a 4%, conforme apontado pelo relatório *Our World in Data*. Esse impacto é potencializado pelo efeito radiativo dos poluentes emitidos em altas altitudes, que amplificam o aquecimento global (BNDES, 2024).

Embora o SAF tenha o potencial de reduzir significativamente as emissões do setor, sua adoção em larga escala ainda enfrenta desafios, como altos custos de produção, infraestrutura limitada e a necessidade de incentivos regulatórios (BNDES, 2024).

Diante desse cenário, projeções indicam que, com políticas adequadas e investimentos em pesquisa e inovação, o SAF poderá representar até 65% do combustível utilizado na aviação até 2050, tornando-se uma das principais soluções para a descarbonização do transporte aéreo (BNDES, 2024).

Para alcançar as metas de descarbonização, será fundamental investir em inovações tecnológicas nas aeronaves, otimizar operações aéreas e aprimorar a eficiência energética do setor. Medidas como o desenvolvimento de motores mais eficientes, melhorias aerodinâmicas e o uso de sistemas de gestão de tráfego aéreo

mais inteligentes podem reduzir significativamente o consumo de combustível e as emissões de gases de efeito estufa (Garcia, 2024).

Nesse contexto, os combustíveis sustentáveis de aviação, conhecidos como SAF, desempenham um papel crucial, pois oferecem uma alternativa viável e de menor impacto ambiental em comparação ao querosene fóssil (Garcia, 2024).

Particularmente, o Brasil destaca-se como um país com grande potencial para liderar o mercado global de SAF, devido à sua vasta oferta de matérias-primas renováveis, infraestrutura industrial consolidada e expertise na produção de biocombustíveis, como etanol e biodiesel (Garcia, 2024).

No entanto, para consolidar essa posição, será essencial o fortalecimento de políticas públicas que incentivem investimentos em pesquisa e inovação, a criação de marcos regulatórios específicos e a ampliação da capacidade produtiva nacional, garantindo que o SAF se torne uma alternativa economicamente viável e amplamente disponível para a aviação comercial (Garcia, 2024).

Um aspecto relevante da ação global em prol do SAF é a crescente mobilização de instituições financeiras e fundos de investimento voltados para a transição energética. Nos últimos anos, observou-se um aumento expressivo de linhas de crédito verdes, títulos sustentáveis (*green bonds*) e instrumentos de financiamento climático destinados a apoiar a produção e o consumo de SAF em larga escala. Essa movimentação indica que a viabilidade do SAF não se restringe apenas ao âmbito tecnológico e regulatório, mas também depende de mecanismos financeiros capazes de garantir sua expansão em mercados competitivos. Dessa forma, a integração entre políticas públicas, inovação tecnológica e financiamento sustentável torna-se indispensável para o fortalecimento do setor (Paltsev *et al.*, 2024).

Outro fator a ser destacado é o papel da cooperação internacional em pesquisa e desenvolvimento (P&D), que tem gerado avanços significativos em diferentes rotas tecnológicas de produção de SAF. Consórcios globais de universidades, centros de pesquisa e empresas aéreas têm se dedicado a explorar matérias-primas diversas, como resíduos sólidos urbanos, microalgas, biomassa lignocelulósica e óleos residuais, além da captura direta de carbono para síntese de combustíveis sintéticos. Essa rede de colaboração permite não apenas a aceleração da inovação tecnológica, mas também a padronização de metodologias de certificação e a criação de parâmetros globais de sustentabilidade aplicáveis ao setor aéreo (Paltsev *et al.*, 2024).

Por fim, é importante ressaltar que o sucesso da ação global em torno do SAF está intrinsecamente ligado ao grau de harmonização regulatória entre países e blocos econômicos. A ausência de regras unificadas pode gerar assimetrias de mercado, dificultando a competitividade internacional e reduzindo a previsibilidade para investidores. Nesse sentido, organismos multilaterais como a OACI, a IATA e a União Europeia desempenham papel essencial na definição de normas e padrões que assegurem a interoperabilidade técnica e ambiental do SAF em diferentes regiões do mundo. A convergência regulatória, portanto, é condição fundamental para que o SAF cumpra plenamente seu papel na descarbonização do transporte aéreo global.

3.3 Caminhos certificados de produção do SAF

As rotas certificadas de produção de Combustível Sustentável de Aviação (SAF) são aquelas que cumpriram os requisitos técnicos e ambientais exigidos por órgãos reguladores internacionais, como a Agência Europeia para a Segurança da Aviação (EASA) e a Administração Federal de Aviação dos Estados Unidos (FAA). A certificação é essencial para garantir que o SAF possa ser utilizado com segurança e eficiência, sem a necessidade de modificações nas aeronaves ou infraestrutura de abastecimento. Atualmente, as principais opções certificadas são:

- ***Fischer-Tropsch Synthetic Paraffinic Kerosene (FT-SPK)***: produzido a partir de biomassa ou resíduos de carbono, utilizando o processo de *Fischer-Tropsch*, que converte gases sintéticos (*Syngas*) em combustíveis líquidos. Esse processo pode utilizar resíduos agrícolas, florestais e até CO₂ capturado, sendo uma das opções mais versáteis e promissoras, mas exige infraestrutura complexa para conversão (Boeira, 2022).
- ***Hydroprocessed Esters and Fatty Acids Synthetic Paraffinic Kerosene (HEFA-SPK)***: produzido a partir de óleos vegetais, gorduras animais e resíduos lipídicos, passando por um processo de hidrogenação. Essa rota é atualmente a mais utilizada globalmente, devido à maturidade tecnológica e ampla disponibilidade de matérias-primas, mas enfrenta desafios como a competição com a indústria alimentícia por óleos vegetais (Silva, 2019).
- ***Alcohol-to-Jet Synthetic Paraffinic Kerosene (ATJ-SPK)***: obtido a partir da conversão de álcoois como etanol e butanol em querosene

sintético. O processo envolve a transformação do álcool em um intermediário químico, seguido de hidrogenação para formar o combustível. Essa tecnologia é vantajosa para países como o Brasil, que possuem grande produção de etanol, mas ainda requer aprimoramento para redução de custos (Cavalcanti, 2022).

- ***Hydroprocessed Esters and Fatty Acids + (HEFA+)***: uma variante do HEFA-SPK, que amplia o uso de matérias-primas, incluindo algas e resíduos de gordura de cozinha. Esse método busca aumentar a produção sustentável, reduzindo a dependência de cultivos agrícolas específicos (Celandroni Neto, 2022).
- ***Synthetic Paraffinic Kerosene (SPK)***: combustível sintético obtido a partir de diversas fontes de carbono renovável, como biomassa ou CO₂ capturado diretamente do ar. Ele pode ser produzido por diferentes processos tecnológicos, mas sua certificação depende de cada rota específica (Silva, 2020).
- ***Catalytic Hydrothermolysis Jet Fuel (CHJ)***: gerado a partir de óleos vegetais por meio de um processo de hidrólise catalítica, convertendo diretamente os lipídios em hidrocarbonetos compatíveis com o querosene de aviação. Essa tecnologia apresenta alta eficiência e estabilidade, mas ainda possui produção limitada em escala comercial (Brito *et al.*, 2022).

As rotas certificadas de produção de SAF podem ser visualizadas de forma resumida na **Figura 2**, que apresenta os principais caminhos tecnológicos atualmente reconhecidos por órgãos reguladores internacionais.

Figura 2 – Rotas certificadas de produção de Combustível Sustentável de Aviação (SAF)



Made with Napkin

Fonte: Elaborado pelo autor (2025), com auxílio da ferramenta Napkin.

Essas rotas certificadas cumprem critérios rigorosos de desempenho, segurança e impacto ambiental, assegurando que o SAF atenda aos requisitos técnicos exigidos para sua utilização na aviação comercial. Além de proporcionar redução significativa das emissões de gases de efeito estufa em comparação com os

combustíveis fósseis tradicionais, cada rota produtiva passa por testes rigorosos, incluindo análises de estabilidade térmica, viscosidade, densidade energética e compatibilidade com motores a jato. Esses ensaios garantem que os SAFs certificados possam ser misturados ao querosene convencional sem comprometer a segurança ou o desempenho das aeronaves (Vinhado, 2024).

As tecnologias de produção de SAF estão em constante evolução, impulsionadas por novas fontes de biomassa, avanços nos processos de conversão e aprimoramento das metodologias de captura de carbono. À medida que novos processos são validados e certificados, espera-se que a diversidade de rotas produtivas se expanda, aumentando a disponibilidade e competitividade do SAF no mercado global. Para viabilizar essa expansão, será essencial a adaptação regulatória, o fomento à pesquisa e inovação tecnológica e a implementação de políticas que incentivem a produção em larga escala, consolidando o SAF como uma solução viável para a descarbonização da aviação (Empresa de Pesquisa Energética, 2024).

3.4 Matérias-primas para produção do SAF

Estima-se que 1 bilhão de toneladas secas de biomassa sejam potencialmente disponíveis de forma sustentável anualmente nos Estados Unidos, com potencial para a produção de 50 a 60 bilhões de galões de biocombustíveis de baixo carbono, incluindo Combustível Sustentável de Aviação (SAF). Essa vasta disponibilidade de matéria-prima representa uma oportunidade significativa para reduzir a dependência de combustíveis fósseis e impulsionar a transição para fontes renováveis de energia (Costa *et al.*, 2024). Os principais recursos de biomassa incluem:

- Grão de milho;
- Sementes oleaginosas (soja);
- Algas;
- Outras gorduras, óleos e graxas;
- Resíduos agrícolas;
- Resíduos florestais;
- Resíduos de serraria;
- Fluxos de resíduos sólidos municipais;
- Resíduos úmidos (esterco, lodo de tratamento de águas residuais);
- Culturas energéticas dedicadas.

O aproveitamento desses recursos não apenas reduz as emissões líquidas de carbono, mas também promove benefícios ambientais e econômicos, como a gestão eficiente de resíduos e a criação de novas cadeias produtivas no setor de biocombustíveis. No entanto, para que esse potencial seja plenamente explorado, será essencial o investimento em infraestrutura de coleta, processamento e conversão da biomassa, garantindo uma produção escalável e economicamente viável de SAF e outros combustíveis renováveis (Liang Jing *et al.*, 2022).

Assim, considerando os aspectos técnicos e científicos que envolvem a produção de SAF, desde suas rotas de conversão até as matérias-primas disponíveis, torna-se imprescindível discutir também os compromissos internacionais e os marcos regulatórios vigentes, que orientam sua implementação em nível global e nacional. A seguir, serão apresentados os principais acordos multilaterais, metas climáticas e políticas públicas, que estruturam o desenvolvimento e a adoção do SAF como parte da transição energética no setor da aviação.

3.5 Compromissos e marcos regulatórios internacionais

O avanço na produção e na adoção do Combustível Sustentável de Aviação (SAF) depende de inovações tecnológicas e bases científicas sólidas, bem como do fortalecimento de marcos regulatórios internacionais que norteiem sua implementação em larga escala. Diversos acordos multilaterais, programas setoriais e metas climáticas globais têm sido estabelecidos por organismos internacionais e blocos econômicos, com o objetivo de promover a descarbonização da aviação civil. Esses compromissos assumem papel estratégico na criação de condições normativas e financeiras favoráveis, incentivando investimentos, padronizações técnicas e a cooperação entre Estados.

Diante desse cenário, a seguir, são apresentados os principais instrumentos normativos internacionais voltados à transição energética no setor aéreo, com destaque para metas de neutralidade de carbono, certificações ambientais e iniciativas de incentivo à produção de SAF.

Em resposta aos acordos globais para redução de gases de efeito estufa (GEE), a Organização da Aviação Civil Internacional (OACI), agência especializada da ONU da qual o Brasil é signatário, estabeleceu como meta aspiracional de longo prazo alcançar emissões líquidas zero de carbono na aviação internacional até 2050 (Prado, 2021).

Dentro desse contexto, o programa *Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA)*, implementado pela OACI, representa a primeira iniciativa global de compensação de emissões voltada especificamente para a aviação. O *CORSIA* adota um mecanismo de mercado no qual as companhias aéreas devem compensar suas emissões excedentes por meio da compra de créditos de carbono ou do investimento em combustíveis sustentáveis, como o *SAF* (Prado, 2021).

A proposta visa minimizar distorções de mercado e respeitar as capacidades econômicas dos Estados-membros, garantindo uma transição equilibrada para a aviação de baixo carbono. No entanto, o programa ainda enfrenta desafios, como a necessidade de maior adesão voluntária dos países, critérios rigorosos para a validação dos créditos de carbono e a dependência de um mercado de *SAF* ainda incipiente (Prado, 2021).

Apesar dessas dificuldades, o *CORSIA* é um marco regulatório importante, impulsionando a aviação internacional a adotar práticas mais sustentáveis e alinhadas aos compromissos climáticos globais (Prado, 2021).

O programa *CORSIA* é implementado em três fases progressivas: a fase piloto (2021-2023), a primeira fase (2024-2026) e a segunda fase (2027-2035). Nas duas primeiras fases, a adesão é voluntária, permitindo que os Estados-membros participem conforme suas condições e compromissos climáticos (Soares, 2018).

No entanto, a partir de 2027, a participação se tornará obrigatória para países que atendam a determinados critérios, como volume significativo de tráfego aéreo internacional e nível de desenvolvimento econômico. Essa obrigatoriedade busca garantir que as companhias aéreas compensem suas emissões excedentes por meio da compra de créditos de carbono certificados ou da utilização de *SAF*, promovendo a redução gradual das emissões do setor (Soares, 2018).

Apesar dos avanços regulatórios, desafios persistem, especialmente para países em desenvolvimento, que podem enfrentar dificuldades na implementação do programa devido a custos elevados e limitações no acesso a tecnologias sustentáveis. Ainda assim, o *CORSIA* representa um passo fundamental para a descarbonização da aviação internacional, incentivando a adoção de práticas mais sustentáveis e a expansão do mercado global de *SAF* (Soares, 2018).

Durante a 77ª Assembleia Geral da Associação Internacional de Transporte Aéreo (IATA), foi aprovada uma resolução que estabelece a meta de emissões

líquidas zero para o setor aéreo até 2050. Essa iniciativa está alinhada ao objetivo do Acordo de Paris de limitar o aumento da temperatura global a 1,5°C e reforça o papel da aviação na transição para uma economia de baixo carbono. Para atingir essa meta, a produção de SAF deve seguir um cronograma progressivo de crescimento, enfrentando desafios como custos elevados, necessidade de investimentos em infraestrutura e políticas regulatórias favoráveis (IATA, 2021). O plano prevê as seguintes metas de produção:

- 2025: Produção de 7,9 bilhões de litros (2% do total necessário), dependendo de incentivos governamentais para viabilizar a expansão produtiva.
- 2030: Produção de 23 bilhões de litros (5,2% do total necessário), com a adoção de tecnologias avançadas, melhorias operacionais e otimização da eficiência energética.
- 2040: Produção de 229 bilhões de litros (39% do total necessário), incluindo o uso de aeronaves movidas a hidrogênio para voos de curta distância.
- 2050: Produção de 449 bilhões de litros (65% do total necessário), alcançando a neutralidade de carbono no setor aéreo (IATA, 2021).

O cumprimento dessas metas exigirá um esforço coordenado entre governos, setor privado e organizações internacionais, garantindo financiamento adequado, avanços tecnológicos e regulamentações que incentivem a produção e o uso de SAF. Embora o cronograma seja ambicioso, ele reflete a necessidade urgente de descarbonização do setor e a crescente importância do SAF como solução viável para a redução das emissões globais da aviação (Silva, 2024).

Conforme relatório da IATA (2021), o investimento médio anual necessário para a construção de novas instalações de produção de SAF ao longo dos próximos 25 anos é estimado em aproximadamente US\$ 128 bilhões por ano. Esse valor é consideravelmente inferior ao montante investido globalmente nos mercados de energia solar e eólica no mesmo período, que totalizou cerca de US\$ 280 bilhões anuais entre 2004 e 2022.

Apesar de representar um custo elevado, o investimento no SAF é visto como uma alternativa viável para a descarbonização do setor aéreo, dada sua compatibilidade com a infraestrutura existente e sua capacidade de reduzir significativamente as emissões de gases de efeito estufa. No entanto, a atração de

investimentos para esse setor ainda enfrenta desafios, como a alta competitividade com combustíveis fósseis, a necessidade de incentivos governamentais e a incerteza regulatória em alguns mercados.

Para garantir o cumprimento das metas climáticas da aviação e viabilizar a transição energética, será essencial a combinação de financiamento privado, subsídios públicos e políticas que incentivem a expansão da infraestrutura produtiva do SAF em escala global (ProQR, 2022).

Além disso, o custo anual estimado para a substituição progressiva do querosene de aviação por SAF, hidrogênio e outras tecnologias sustentáveis é de aproximadamente US\$ 1,4 bilhão em 2025. Até 2050, esse custo de transição pode se aproximar de US\$ 744 bilhões, conforme análise da Associação Internacional de Transporte Aéreo (IATA, 2021). Esses valores refletem não apenas os investimentos em produção e distribuição de combustíveis alternativos, mas também os custos associados ao desenvolvimento de novas tecnologias, adaptação da infraestrutura aeroportuária e aquisição de aeronaves compatíveis com fontes de energia de baixo carbono (Fonte *et al.*, 2024).

O elevado montante projetado ressalta a necessidade de acelerar a implementação de soluções que permitam à aviação atingir emissões líquidas zero de CO₂ até 2050. Para viabilizar essa transição em larga escala, será essencial uma abordagem combinada, envolvendo incentivos governamentais, parcerias público-privadas e inovação tecnológica. A colaboração entre governos, fabricantes de aeronaves, companhias aéreas e investidores será determinante para reduzir custos, ampliar a oferta de SAF e garantir a viabilidade econômica da descarbonização do setor aéreo (Fonte *et al.*, 2024).

A indústria da aviação da União Europeia (UE), incluindo a Comissão Europeia, grandes operadores como Airbus, Air France-KLM, British Airways e Lufthansa, além de diversos produtores de biocombustíveis, como Chemtex Italia, Neste Oil, Biomass Technology Group, UOP e UPM, estabeleceu a meta de produzir 2 milhões de toneladas anuais de Combustíveis Sustentáveis de Aviação (SAF) até 2020, por meio da Iniciativa *Biofuel FlightPath* (Ng *et al.*, 2021). Essa iniciativa visava acelerar a comercialização e o escalonamento da produção de SAF na região, promovendo parcerias estratégicas entre governos, indústria e centros de pesquisa.

Embora avanços tenham sido alcançados, desafios como custos elevados, infraestrutura limitada e a necessidade de marcos regulatórios mais estruturados impactaram o cumprimento integral da meta estabelecida (Ng *et al.*, 2021).

Uma abordagem estratégica e de longo prazo para a indústria aeronáutica da União Europeia (UE) foi delineada no relatório “*Flightpath 2050 – Europe’s Vision for Aviation*”, que estabelece as principais diretrizes de pesquisa e inovação para o setor. O documento visa promover o crescimento econômico, garantir a competitividade global, atender às demandas sociais e enfrentar desafios energéticos e ambientais por meio de avanços tecnológicos e regulatórios (Ng *et al.*, 2021).

Em 2019, a implementação do Acordo Verde Europeu reforçou ainda mais o compromisso da UE com a descarbonização do setor de transportes – abrangendo os modais rodoviário, ferroviário, aéreo e marítimo – ao estabelecer a meta de reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) em 90% até 2050, em comparação aos níveis de 1990 (Ng *et al.*, 2021). Para alcançar esse objetivo, a aviação sustentável passou a ser um pilar estratégico, impulsionando o desenvolvimento de SAF, melhorias na eficiência energética das aeronaves e a adoção de tecnologias emergentes, como eletrificação e propulsão a hidrogênio.

Posteriormente, em junho de 2023, a Comissão Europeia adotou novas regulamentações que definem as quotas mínimas de biocombustíveis e biogás em combustíveis mistos, coprocessados a partir de matérias-primas de origem biológica e fóssil. Essas regras permitem que esses combustíveis sejam contabilizados para o cumprimento das metas estabelecidas pela Diretiva de Energia Renovável (RED) no setor de transportes, incentivando a transição para fontes de energia mais sustentáveis. A medida busca harmonizar o uso de combustíveis alternativos nos Estados-Membros da União Europeia, promovendo maior previsibilidade regulatória e estimulando investimentos em tecnologias de baixo carbono (Tribunal de Contas Europeu, 2023).

A Diretiva de Energia Renovável (RED), em sua versão revisada, estabeleceu metas vinculativas para a incorporação de energia renovável no setor de transportes, abrangendo os modais marítimo e aéreo. Até 2030, os países da União Europeia (UE) devem atingir uma quota mínima de 29% de energia renovável no transporte ou, alternativamente, reduzir a intensidade de emissões dos combustíveis de transporte em 14,5%. Além disso, a diretiva define uma submeta combinada de 5,5% para a utilização de hidrogênio renovável e biocombustíveis avançados, promovendo a

transição para alternativas de baixo carbono. Essas metas reforçam o compromisso da UE com a descarbonização do setor e incentivam investimentos em tecnologias sustentáveis, como SAF e sistemas de propulsão baseados em hidrogênio (European Environment Agency, 2025).

No Brasil, a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) e a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) formalizaram um acordo de cooperação técnica voltado para a regulamentação e o incentivo à produção e utilização do SAF no país. Essa iniciativa, com duração de 60 meses, prevê iniciativas estratégicas, como o desenvolvimento de uma base de dados nacional para monitorar a produção, distribuição e precificação dos combustíveis sustentáveis, permitindo maior transparência e acompanhamento do setor (ANP, 2024).

Além disso, o acordo contempla o aprimoramento das metodologias para cálculo das emissões de carbono do SAF, alinhando-se a padrões internacionais e possibilitando a certificação do combustível de acordo com diretrizes globais de sustentabilidade. Essa cooperação representa um passo fundamental para a estruturação do mercado de SAF no Brasil, contribuindo para a criação de um ambiente regulatório mais sólido, atração de investimentos e fortalecimento da indústria nacional de biocombustíveis voltados à aviação (ANP, 2024).

O compartilhamento de informações entre agências reguladoras desempenhará um papel estratégico na implementação do Projeto de Lei do Combustível do Futuro, atualmente em tramitação no Congresso Nacional. Esse projeto visa acelerar a transição energética do Brasil por meio da adoção de combustíveis renováveis e de baixo carbono, promovendo maior segurança energética e competitividade no setor (Agência Senado, 2024).

Entre suas diretrizes, prevê a criação de programas como o ProBioQAV, que impulsiona a pesquisa e a produção de Combustível Sustentável de Aviação (SAF), diesel verde e biometano, ampliando a oferta de alternativas aos combustíveis fósseis. Ademais, a proposta regulamenta a captura e o armazenamento geológico de dióxido de carbono (CCS), uma tecnologia essencial para reduzir as emissões industriais e viabilizar a produção de combustíveis sintéticos com menor impacto ambiental (Agência Senado, 2024).

A efetivação dessas iniciativas dependerá de incentivos governamentais, parcerias público-privadas e da criação de um arcabouço regulatório sólido,

garantindo que o Brasil avance no desenvolvimento de soluções sustentáveis para a aviação e outros setores estratégicos (Agência Senado, 2024).

Já nos Estados Unidos, as metas para o desenvolvimento dos SAF são ambiciosas e visam uma expansão massiva da produção doméstica. O objetivo é ampliar a produção atual em 130 vezes (com base nos números de consumo de 2023), atingindo 3 bilhões de galões por ano até 2030 e, posteriormente, 35 bilhões de galões por ano até 2050. Além do aumento da capacidade produtiva, a estratégia prevê que o SAF proporcione uma redução de pelo menos 50% nas emissões de gases de efeito estufa ao longo de seu ciclo de vida, em comparação ao querosene de aviação tradicional (DATAGRO, 2024).

Para viabilizar esse crescimento, o governo dos EUA tem adotado incentivos financeiros, investimentos em pesquisa e desenvolvimento e parcerias estratégicas entre o setor público e privado, consolidando o SAF como um pilar central da descarbonização da aviação no país (DATAGRO, 2024).

O “SAF Grand Challenge” é uma iniciativa estratégica coordenada pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE), em colaboração com o Departamento de Agricultura (USDA), a Agência de Proteção Ambiental (EPA) e a Administração Federal de Aviação (FAA). O programa tem como objetivo acelerar o desenvolvimento, a produção e a adoção de Combustíveis Sustentáveis de Aviação (SAF) no país, promovendo parcerias entre governo, indústria e instituições de pesquisa. A iniciativa busca viabilizar a meta nacional de ampliar a produção de SAF para 3 bilhões de galões por ano até 2030 e 35 bilhões de galões anuais até 2050, garantindo simultaneamente uma redução significativa das emissões de gases de efeito estufa (GEE) no setor aéreo (U.S. Department of Energy, 2024).

A Ásia também tem desempenhado papel estratégico no avanço global do SAF, especialmente países como China, Japão e Singapura, que vêm estabelecendo metas de redução de emissões alinhadas às diretrizes internacionais. O Japão, por exemplo, incluiu em sua estratégia de aviação sustentável a exigência de incorporação gradual de SAF em voos domésticos e internacionais, com o objetivo de atingir emissões líquidas zero até 2050. Singapura, por sua vez, aposta em um modelo de hub regional de SAF, articulando parcerias público-privadas para ampliar sua infraestrutura produtiva e de abastecimento (Pereira Jr., 2024).

Esses esforços refletem a crescente importância da região asiática na consolidação de cadeias de valor globais de combustíveis sustentáveis,

especialmente devido à forte demanda por transporte aéreo no continente (Pereira Jr., 2024).

Na América Latina, além do Brasil, outros países têm buscado posicionar-se no mercado emergente de SAF. A Colômbia e o Chile, por exemplo, lançaram programas nacionais para promover a pesquisa, o desenvolvimento e a produção de biocombustíveis avançados aplicáveis à aviação. O Chile, em especial, aproveita seu potencial em energias renováveis, como a solar e a eólica, para associá-las à produção de hidrogênio verde e combustíveis sintéticos destinados ao setor aéreo. Essa diversificação regional mostra que o SAF não apenas contribui para a mitigação das emissões globais, mas também pode atuar como vetor de desenvolvimento econômico, atraindo investimentos e fortalecendo a competitividade internacional (Paltsev *et al.*, 2024).

O Brasil, alinhado ao Acordo de Paris, estabeleceu metas ambiciosas em sua Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC), reforçando seu compromisso com a mitigação das mudanças climáticas. A meta estabelecida prevê a redução de 53% nas emissões líquidas de gases de efeito estufa (GEE) até 2030, tomando como base os níveis de 2005, e alcançar a neutralidade climática até 2050 por meio do equilíbrio entre emissões e remoções de carbono, garantindo uma transição sustentável para uma economia de baixo carbono global (Brasil, 2024).

O cumprimento dessas metas depende de múltiplas estratégias, incluindo a proteção e recuperação de florestas, que desempenham um papel essencial na captura de carbono, a expansão de energias renováveis e a implementação de soluções tecnológicas, como biocombustíveis avançados e captura e armazenamento de carbono (CCS). Para viabilizar esse compromisso, será fundamental o fortalecimento de políticas públicas, incentivos ao setor produtivo e investimentos em pesquisa e inovação, consolidando o Brasil como um protagonista na agenda climática global (Brasil, 2024).

3.6 Políticas públicas e marcos regulatórios brasileiros

Após o mapeamento dos compromissos e marcos regulatórios internacionais voltados à descarbonização da aviação, é fundamental analisar como essas diretrizes vêm sendo internalizadas e adaptadas ao contexto brasileiro.

O Brasil, como signatário de tratados climáticos multilaterais e protagonista na produção de biocombustíveis, tem desenvolvido uma série de políticas públicas,

programas estratégicos e marcos legais que visam consolidar o Combustível Sustentável de Aviação (SAF) como eixo central da transição energética no setor aéreo. Essa atuação nacional articula esforços de diferentes esferas do poder público, além de fomentar parcerias com o setor produtivo e com instituições de pesquisa, refletindo o compromisso do país com os objetivos climáticos globais e com o fortalecimento da indústria nacional de combustíveis renováveis. A seguir, são apresentados os principais instrumentos regulatórios e iniciativas institucionais que estruturam o desenvolvimento do SAF no Brasil.

O desenvolvimento e a implementação do Combustível Sustentável de Aviação (SAF) no Brasil são impulsionados por um conjunto de legislações, programas governamentais e incentivos regulatórios que visam integrar esse biocombustível às estratégias nacionais de transição energética e combate às mudanças climáticas. Essas iniciativas têm o objetivo de fomentar a pesquisa, expandir a capacidade produtiva e incentivar a adoção do SAF no setor aéreo, garantindo sua competitividade em relação aos combustíveis fósseis (ANTP, 2024).

Dentre as políticas que contribuem para esse avanço, destacam-se o Projeto de Lei do Combustível do Futuro, que estabelece diretrizes para a produção sustentável de biocombustíveis, e o Programa Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio), que promove incentivos para a descarbonização do setor de transportes. Além disso, o fortalecimento da colaboração entre setor público e privado será essencial para viabilizar investimentos em infraestrutura, aprimorar processos produtivos e consolidar o Brasil como um dos principais produtores globais de SAF (ANTP, 2024).

Um dos principais marcos regulatórios para o setor de biocombustíveis no Brasil é a Lei 13.576/2017 (Brasil, 2017), que criou a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio), um programa estruturante para a expansão dos biocombustíveis no país. Essa legislação foi concebida para alinhar o Brasil aos compromissos firmados no Acordo de Paris, com o objetivo de reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e ampliar a participação de biocombustíveis na matriz energética nacional.

Entre seus principais instrumentos, a lei estabelece metas compulsórias de descarbonização, a emissão de Créditos de Descarbonização (CBIOS) – ativos financeiros comercializados por produtores e distribuidores de combustíveis

renováveis – e a certificação de biocombustíveis, garantindo maior transparência e previsibilidade para o setor (Brasil, 2017).

A lei também prevê incentivos fiscais e financeiros para aumentar a competitividade dos biocombustíveis, estimulando investimentos em tecnologias avançadas, como a produção de SAF. Assim, o RenovaBio cumpre papel fundamental na transição energética brasileira, promovendo um ambiente regulatório favorável à substituição progressiva dos combustíveis fósseis por alternativas sustentáveis (Brasil, 2017).

Outro marco fundamental é a Lei 14.993/2024 (Brasil, 2024), que institui o Programa Nacional de Combustível Sustentável de Aviação (ProBioQAV). O ProBioQAV foi criado para estimular a pesquisa, o desenvolvimento, a produção e a inserção do SAF na matriz energética brasileira, promovendo uma transição gradual para fontes de energia de baixo carbono no setoraéreo. A legislação estabelece diretrizes claras para a comercialização, distribuição e integração logística do SAF, além de definir metas progressivas de redução de emissões de gases de efeito estufa por meio do uso desse combustível (Brasil, 2024).

A partir de 2027, os operadores aéreos deverão incorporar SAF em percentuais crescentes, iniciando com 1% e alcançando 10% até 2037, impulsionando a demanda e incentivando investimentos na produção nacional. Para garantir o cumprimento dessas metas e alinhar o Brasil às diretrizes internacionais, a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) foi incumbida de regular as emissões totais de cada rota tecnológica do SAF, assegurando conformidade com os padrões estabelecidos pela Organização de Aviação Civil Internacional (OACI) (Piovesan, 2024).

No entanto, desafios como a necessidade de investimentos em infraestrutura, a competitividade de preços com combustíveis fósseis e a ampliação da capacidade produtiva do SAF ainda precisam ser superados para que o ProBioQAV cumpra seu papel na descarbonização do setor aéreo brasileiro (Piovesan, 2024).

Entre as iniciativas de apoio à transição energética no setor aéreo, destaca-se a Portaria nº 486/2024 (Brasil, 2024), que institui o Fórum de Transição Energética na Aviação Civil (FOTEA), sob a coordenação do Ministério de Portos e Aeroportos. O FOTEA tem como objetivo coordenar esforços entre governo, setor privado e instituições de pesquisa para impulsionar a adoção de combustíveis sustentáveis e viabilizar a transição energética no setor aéreo. O fórum atua na formulação de

estratégias integradas, buscando alinhar políticas públicas, incentivos econômicos e avanços tecnológicos para acelerar a produção e utilização do SAF (Brasil, 2024).

Paralelamente, outras iniciativas desempenham um papel essencial na regulamentação e desenvolvimento desse combustível. O programa Conexão SAF, desenvolvido pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), busca promover pesquisas e estabelecer um arcabouço regulatório robusto para viabilizar a introdução do SAF no mercado nacional (ANAC, 2024).

Já o Comitê Técnico Combustível do Futuro (CT/CF), vinculado ao Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), tem a missão de estruturar diretrizes para a implementação do SAF, garantindo a compatibilidade com padrões internacionais de sustentabilidade e segurança (ANAC, 2024).

No entanto, para que essas iniciativas sejam efetivas, será fundamental a mobilização de investimentos contínuos, a criação de incentivos para o setor produtivo e a ampliação da infraestrutura necessária para a produção e distribuição do SAF no Brasil (ANAC, 2024).

A chamada pública promovida pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e pela Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) representa uma iniciativa estratégica para impulsionar a expansão das biorrefinarias voltadas à produção de combustíveis sustentáveis, incluindo o SAF. A chamada prevê um aporte de até R\$ 6 bilhões para apoiar projetos que abrangem desde pesquisa e desenvolvimento (P&D) até a implantação de plantas industriais, viabilizando inovações tecnológicas e a ampliação da capacidade produtiva nacional (Agência BNDES de Notícias, 2024).

Além de estimular a competitividade do setor, esses investimentos são fundamentais para reduzir os custos de produção, atrair novos investidores e fortalecer a infraestrutura necessária para a produção em larga escala do SAF (Agência BNDES de Notícias, 2024).

A iniciativa também tem potencial para gerar empregos qualificados e consolidar o Brasil como uma referência global na produção de biocombustíveis sustentáveis, contribuindo para o cumprimento das metas climáticas e para a descarbonização do setor aéreo (Agência BNDES de Notícias, 2024).

Outra iniciativa relevante é a inauguração da primeira unidade de produção de petróleo sintético no Brasil, destinada à fabricação de SAF, marcando um avanço significativo na estratégia brasileira de descarbonização da aviação. O projeto piloto

foi instalado na unidade de biodigestão da Itaipu Binacional, localizada em Foz do Iguaçu (PR), e utilizará o biogás como principal fonte de carbono para a produção de hidrocarbonetos sintéticos, que posteriormente poderão ser refinados para a obtenção de SAF (Lima, 2024).

A utilização do biogás, proveniente da decomposição de resíduos orgânicos, confere ao processo um caráter circular e sustentável, reduzindo as emissões líquidas de carbono e aproveitando fontes renováveis de energia. Além de impulsionar a inovação tecnológica no setor energético brasileiro, essa iniciativa posiciona o país como referência na pesquisa e no desenvolvimento de combustíveis sintéticos de baixo impacto ambiental, contribuindo para a transição global rumo a uma aviação mais sustentável (Lima, 2024).

Na unidade, o biogás será gerado a partir da decomposição de resíduos orgânicos em um sistema de biodigestão anaeróbia, no qual microrganismos fermentam a matéria orgânica na ausência de oxigênio, resultando na produção de metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2). O biogás gerado é então armazenado, tratado e encaminhado para a planta de conversão de gás em líquido (*Gas-to-Liquid* – *GTL*), passando por um processo de purificação para remover impurezas. Em seguida, o gás tratado é direcionado para um reator de reforma a seco, onde ocorre a conversão em gás de síntese (Syngas), uma mistura de monóxido de carbono (CO) e hidrogênio (H_2), essenciais para a produção de combustíveis sintéticos. Para otimizar a composição do Syngas e melhorar o rendimento do processo, ele é ajustado com hidrogênio verde, produzido a partir da eletrólise da água utilizando fontes de energia renováveis (Araújo, 2017).

Essa tecnologia inovadora aumenta a eficiência energética do processo e reduz significativamente a pegada de carbono, tornando a unidade um modelo sustentável para a produção de SAF e outros derivados sintéticos de baixo impacto ambiental (Araújo, 2017).

Com investimento de 1,8 milhão de euros, financiado pelo governo alemão por meio do Ministério Federal da Cooperação Econômica e Desenvolvimento da Alemanha (BMZ), a Unidade de Produção de Hidrocarbonetos Renováveis, localizada na Itaipu Binacional, foi projetada para impulsionar a inovação na produção de combustíveis sintéticos sustentáveis. A unidade tem uma produção estimada de 6 kg/dia de bio-syncrude, um precursor líquido de combustíveis sintéticos obtido pela conversão de biogás e hidrogênio verde. Esse composto será refinado e processado

para a fabricação de *SAF*, contribuindo para a redução das emissões de gases de efeito estufa e para o desenvolvimento de soluções energéticas de baixo impacto ambiental (Figueiredo, 2024).

A parceria entre Brasil e Alemanha nesse projeto representa um avanço estratégico para a descarbonização do setor aéreo, fortalecendo a pesquisa e o desenvolvimento de tecnologias limpas e renováveis no país (Figueiredo, 2024).

A articulação entre políticas públicas, regulamentações e incentivos econômicos reflete um esforço coordenado para posicionar o *SAF* como um eixo central da estratégia nacional de descarbonização da aviação. Essa abordagem integrada envolve cooperação entre governo, setor produtivo e instituições de pesquisa, garantindo avanços na produção, regulação e uso do *SAF* no Brasil (Belo *et al.*, 2023).

Além de reduzir a dependência de combustíveis fósseis, esses esforços impulsionam a inovação tecnológica e atraem investimentos estratégicos, essenciais para viabilizar a competitividade do *SAF* em longo prazo (Belo *et al.*, 2023). Dessa forma, o Brasil fortalece sua posição no cenário global da transição energética, em alinhamento com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e os compromissos climáticos internacionais, consolidando o setor aéreo como parte ativa da agenda de sustentabilidade e mitigação das mudanças climáticas.

O **Quadro 1** traz um panorama das principais proposições legislativas que fortalecem o marco regulatório dos combustíveis sustentáveis no Brasil, promovendo avanços na descarbonização do setor aéreo.

Entre essas proposições, destaca-se o PL 528/2020, que foi transformado na Lei 14.993/2024 (Brasil, 2024) e estabeleceu diretrizes fundamentais para o Programa Nacional de Combustível Sustentável de Aviação (ProBioQAV), incluindo metas progressivas de redução de emissões para operadores aéreos e estímulos para a ampliação da oferta de *SAF* no mercado nacional.

Outras proposições relevantes incluem o PL 9321/2017, que resultou na Lei 14.248/2021 (Brasil, 2021) e instituiu o Programa Nacional do Bioquerosene, criando incentivos para o desenvolvimento de tecnologias e infraestrutura voltadas à produção de biocombustíveis sustentáveis para a aviação. Já o PL 1873/2021 propõe a ampliação de incentivos à produção e ao consumo de biocombustíveis avançados, como o *SAF*, fortalecendo a matriz energética sustentável do país.

O avanço e a continuidade dessas políticas são essenciais para consolidar o Brasil como referência na produção de combustíveis renováveis, garantindo maior segurança energética e alinhamento com os compromissos globais de redução de emissões. Essas proposições legislativas evidenciam a convergência entre políticas públicas e regulamentações voltadas à transição energética no setor aéreo, consolidando um ambiente favorável ao desenvolvimento de SAF e outras tecnologias de baixo carbono.

Ao impulsionar a inovação tecnológica e definir metas progressivas de descarbonização, o Brasil reafirma seu compromisso com a sustentabilidade na aviação, promovendo incentivos regulatórios que viabilizam a produção, distribuição e adoção do SAF. Essas iniciativas também ampliam a atração de investimentos, fortalecem a cadeia produtiva nacional de biocombustíveis e posicionam o país como um ator estratégico na agenda global de aviação sustentável.

Dessa forma, o Brasil se alinha aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e aos compromissos internacionais de combate às mudanças climáticas, garantindo que o crescimento do setor aéreo ocorra de maneira responsável e ambientalmente viável (Nogueira, 2019).

Quadro 1 – Proposições legislativas e o fortalecimento do marco regulatório dos combustíveis sustentáveis no Brasil

Projetos de Lei	Autor	Ementa	Principais Pontos	Situação
PL 1873/2021	Deputado Federal Ricardo Barros	Estabelece o Programa Nacional dos Combustíveis Avançados Renováveis com o objetivo de incentivar a pesquisa e fomentar a produção e consumo dos biocombustíveis avançados.	[...] Art. 1º Fica instituído o Programa Nacional dos Combustíveis Avançados Renováveis com o objetivo de incentivar a pesquisa e fomentar a produção e consumo dos biocombustíveis avançados. §1º O diesel verde e bioquerosene de aviação são considerados biocombustíveis avançados. [...]	Pronto para Pauta no Plenário da Câmara dos Deputados.
PL 9321/2017 (PLS 506/2013, na origem)	Senador Eduardo Braga	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.	[...] Art. 2º O Programa Nacional do Bioquerosene tem por objetivo o desenvolvimento de tecnologia limpa na produção de biocombustível.	Transformado na Lei nº 14.248/2021.

			§ 1º São requisitos para a inserção nos benefícios do Programa Nacional do Bioquerosene: I – a compatibilidade do bioquerosene com as tecnologias de propulsão atuais, de modo a não ser necessário alterar motores, aeronaves e infraestrutura de distribuição existentes; II – o não comprometimento da segurança no sistema de aviação. [...]	
Projetos de Lei	Autor	Ementa	Principais Pontos	Situação
PL 528/2020	Deputado Federal Jerônimo Goergen	Dispõe sobre a promoção da mobilidade sustentável de baixo carbono e a captura e a estocagem geológica de dióxido de carbono; institui o Programa Nacional de Combustível Sustentável de Aviação (ProBioQAV), o Programa Nacional de Diesel Verde (PNDV) e o Programa Nacional de Descarbonização do Produtor e Importador de Gás Natural e de Incentivo ao Biometano; altera as Leis nºs 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.847, de 26 de outubro de 1999, 8.723, de 28 de outubro de 1993, e 13.033, de 24 de setembro de 2014; e revoga dispositivo da Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002.	[...] Art. 10. Os operadores aéreos ficam obrigados a reduzir as emissões de GEE em suas operações domésticas por meio do uso de SAF, conforme os seguintes percentuais mínimos de redução: I - 1% (um por cento), a partir de 1º de janeiro de 2027; II - 2% (dois por cento), a partir de 1º de janeiro de 2029; III - 3% (três por cento), a partir de 1º de janeiro de 2030; IV - 4% (quatro por cento), a partir de 1º de janeiro de 2031; V - 5% (cinco por cento), a partir de 1º de janeiro de 2032; VI - 6% (seis por cento), a partir de 1º de janeiro de 2033; VII - 7% (sete por cento), a partir de 1º de janeiro de 2034; VIII - 8% (oito por cento), a partir de 1º de janeiro de 2035; IX - 9% (nove por cento), a partir de 1º de janeiro de 2036; X - 10% (dez por cento), a partir de 1º de janeiro de 2037.	Transformado na Lei nº 14.993/2024.

			§ 1º A base de cálculo sobre a qual serão computadas as obrigações de redução de emissões a que se refere o caput deste artigo será dada pelo volume das emissões decorrentes das operações domésticas realizadas pela empresa aérea no ano correspondente, supondo que todas as operações tenham utilizado combustível fóssil. [...]	
Projetos de Lei	Autor	Ementa	Principais Pontos	Situação
PL 327/2021	Deputado Federal Christino Aureo	Institui o Programa de Aceleração da Transição Energética (Paten); e altera as Leis nºs 13.988, de 14 de abril de 2020, 11.484, de 31 de maio de 2007, e 9.991, de 24 de julho de 2000.	[...] Art. 5º Fica criado o Fundo de Garantias para o Desenvolvimento Sustentável (Fundo Verde), fundo de aval de natureza privada e patrimônio próprio, separado do patrimônio dos cotistas, que será sujeito a direitos e obrigações próprios, administrado pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), com a finalidade de garantir, total ou parcialmente, o risco dos financiamentos concedidos por instituições financeiras para o desenvolvimento de projetos no âmbito do Paten. [...]	Transformado na Lei nº 15.103 de 22/01/2025.
PL 2118/2023 (PL 3280/2015, na origem)	Deputado Federal Nilto Tatto	Altera as Leis nºs 12.187, de 29 de dezembro de 2009 (Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC), e 12.249, de 11 de junho de 2010. ... IX - à elaboração da estratégia nacional para o enfrentamento da redução das emissões de gases de efeito estufa do setor de aviação civil nacional e internacional.	[...] “Art. 12-A. O País adotará metas de mitigação das emissões de gases de efeito estufa conforme o compromisso nacional voluntário estabelecido na vigente Contribuição Nacionalmente Determinada (Nationally Determined Contribution - NDC) para a consecução do objetivo da Convenção Quadro	Aguardando apreciação pelo Senado Federal.

			das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, promulgada pelo Decreto nº 2.652, de 1º de julho de 1998. Parágrafo único. Para alcançar as metas de redução de gases de efeito estufa do setor de aviação civil, o País adotará como compromisso nacional voluntário as ações de mitigações previstas nos tratados da Organização da Aviação Civil Internacional (OACI).” [...] [...]	
Lei 13.576/2017		RENOVABIO	Art. 4º São instrumentos da Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio), entre outros: I - as metas de redução de emissões de gases causadores do efeito estufa na matriz de combustíveis de que trata o Capítulo III desta Lei; II - os Créditos de Descarbonização de que trata o Capítulo V desta Lei; III - a Certificação de Biocombustíveis de que trata o Capítulo VI desta Lei; IV - as adições compulsórias de biocombustíveis aos combustíveis fósseis; V - os incentivos fiscais, financeiros e creditícios; e VI - as ações no âmbito do Acordo de Paris sob a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. [...]	
PL 3149/2020	Senador Efraim Filho	Altera a Lei nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017, que dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio), para nela incluir os produtores independentes de	Inclui os produtores independentes de cana-de-açúcar e de outras biomassas destinadas à produção de biocombustíveis.	Transformado na Lei nº 15.082 de 30/12/2024.

		matéria-prima destinada à produção de biocombustível; e altera a Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997.		
--	--	--	--	--

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Em síntese, o conjunto de proposições legislativas apresentado no **Quadro 1** demonstra a evolução normativa do Brasil no campo dos combustíveis sustentáveis de aviação, consolidando uma base regulatória capaz de impulsionar o desenvolvimento tecnológico, produtivo e ambiental do setor.

Ao estabelecer metas progressivas, programas nacionais específicos e mecanismos de incentivo econômico, o país avança no alinhamento às diretrizes internacionais de descarbonização e fortalece sua posição como ator estratégico na transição energética global. A articulação entre políticas públicas, marcos regulatórios e investimentos em inovação configura não apenas uma resposta às pressões climáticas contemporâneas, mas também uma oportunidade de reposicionamento competitivo da aviação brasileira no cenário internacional.

Dessa forma, o *SAF* se afirmar como elemento central da estratégia nacional de mitigação das emissões, conciliando crescimento econômico, sustentabilidade e compromisso com os acordos climáticos multilaterais.

4 RESULTADOS DA ANÁLISE TEXTUAL COM O SOFTWARE IRAMUTEQ

A presente seção apresenta os resultados da análise textual das entrevistas realizadas com especialistas ligados à regulação do setor de aviação, utilizando o *software* Iramuteq como ferramenta de apoio. A aplicação de técnicas de análise lexical teve como propósito identificar padrões de vocabulário e agrupamentos de sentido no material coletado. Foram empregadas quatro abordagens distintas: Classificação Hierárquica Descendente (CHD), análise de similitude, Análise Fatorial de Correspondência (AFC) e nuvem de palavras. Cada uma contribuiu para organizar o conteúdo em categorias, evidenciar relações entre os termos mais recorrentes e observar as diferenças de percepção entre os grupos participantes. O foco recai sobre as representações relacionadas à regulação do uso de Combustível Sustentável de Aviação (SAF) no Brasil.

4.1 Segmentação lexical por Classificação Hierárquica Descendente (CHD)

O *corpus* textual foi analisado por meio da Classificação Hierárquica Descendente (CHD), técnica estatística disponível no *software* Iramuteq. Esse procedimento organiza o material em classes lexicais de acordo com as semelhanças de vocabulário entre os trechos do texto (Ratinaud; Marchand, 2012). As Unidades de Contexto Elementares (UCEs), que são fragmentos de texto definidos automaticamente, são agrupadas com base em termos recorrentes e sentidos semelhantes (Salviati, 2017).

O objetivo da CHD é identificar padrões discursivos e campos de significados dentro do *corpus*, permitindo o reconhecimento de ideias que aparecem com maior frequência nas falas dos participantes. O método realiza sucessivas divisões estatísticas entre as unidades de texto, agrupando-as em classes temáticas que compartilham vocabulário e contexto. O resultado da análise é apresentado graficamente em um dendrograma, que organiza essas divisões de forma hierárquica.

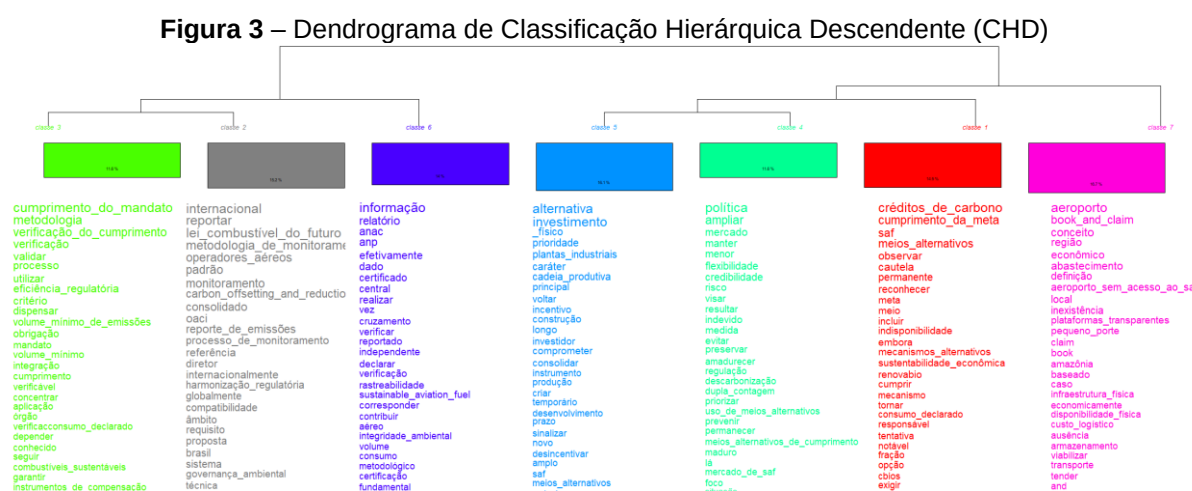
A leitura do dendrograma se dá de cima para baixo. Cada cor corresponde a uma classe temática, formada por fragmentos com vocabulário semelhante. Essa codificação por cores auxilia na distinção visual dos agrupamentos lexicais, o que facilita a interpretação.

Após a segmentação automática, os agrupamentos foram lidos e interpretados qualitativamente. A partir dessa leitura, foram atribuídos títulos às classes com base nos temas predominantes em cada conjunto lexical, considerando o contexto em que

os termos aparecem. Essa interpretação buscou estabelecer uma correspondência entre os grupos formados pelo *software* e os eixos temáticos abordados nas entrevistas.

O aproveitamento do *corpus* foi de 93%, índice que supera o mínimo recomendado para esse tipo de análise (geralmente acima de 70%) e que contribui para a confiabilidade do resultado (South *et al.*, 2022).

A **Figura 3** apresenta o dendrograma com as sete classes temáticas identificadas. Cada classe é representada por uma cor e um conjunto de palavras que compartilham coocorrências no *corpus*. A organização visual permite observar os núcleos lexicais e a estrutura hierárquica das divisões entre temas (Bauer; Gaskell, 2012).



Fonte: Elaborado pelo autor (2025), por meio do *software* IramuteQ (2025).

As classes identificadas apontam temas relacionados à regulação do mandato, critérios técnicos, instrumentos econômicos, desafios logísticos e acesso ao combustível sustentável. Entre os exemplos de falas associadas a esses agrupamentos, destacam-se os seguintes trechos, que tratam do acesso ao crédito rural, da infraestrutura e da viabilidade econômica:

“Os meios alternativos, em regra, são muito mais baratos. Se não colocar uma trava, vai todo mundo para meio alternativo”.

“A agência vai tentar minimizar o custo regulatório e criar procedimentos muito similares ao CORSIA”.

“A ANAC vai verificar os relatórios dos operadores e cruzar com dados da ANP para verificar se o SAF declarado foi efetivamente adquirido”.

Esses relatos ilustram como aspectos financeiros e regulatórios aparecem de forma integrada nas classes temáticas formadas, compondo um dos eixos centrais da análise lexical.

4.2 Estrutura semântica por Análise de Similitude

A Análise de Similitude foi aplicada com o objetivo de identificar as palavras mais frequentemente associadas dentro do *corpus*, considerando sua coocorrência e articulação no discurso dos entrevistados. O resultado gerado é uma rede visual que expressa os vínculos semânticos entre os termos, evidenciando tanto os núcleos centrais de maior densidade lexical quanto as regiões periféricas compostas por termos de menor recorrência.

A **Figura 4**, apresentada a seguir, ilustra a estrutura dessas relações, evidenciando como os conceitos se organizam em torno do termo “SAF”, principal elemento de articulação dos campos temáticos.

Figura 4 – Análise de Similitude



Fonte: Elaborado pelo autor (2025), por meio do *software* IramuteQ (2025).

Conforme ilustrado na **Figura 4**, o termo “SAF” ocupa a posição central da rede e conecta-se diretamente a diversos agrupamentos de palavras que refletem preocupações distintas dos participantes. As cores delimitam conjuntos de termos

semanticamente relacionados, permitindo a visualização de blocos temáticos relevantes à discussão.

Entre os agrupamentos identificados, destacam-se:

- **Núcleo verde:** concentra termos como viabilidade econômica, infraestrutura fiscal, mercado interno, plataformas transparentes e descarbonização, indicando preocupações com rastreabilidade, produção nacional e competitividade;
- **Núcleo azul escuro:** associa palavras como créditos de carbono, segurança jurídica, integridade ambiental e requisitos internacionais, sugerindo foco em sustentabilidade e reconhecimento externo;
- **Núcleo vermelho:** vinculado a instituições e normas internacionais, com destaque para ANP, CORSIA, governança ambiental e monitoramento;
- **Núcleo amarelo:** composto por termos como verificação técnica, validação documental e auditoria administrativa, reforçando a importância de mecanismos de controle;
- **Núcleo azul claro:** apesar de menos denso, associa investimento privado e estabilidade regulatória, apontando preocupações com previsibilidade e segurança para atrair financiamento ao setor.

O termo “MRV” (monitoramento, reporte e verificação) aparece como ponto de intersecção entre vários agrupamentos, conectando dimensões técnicas, regulatórias e operacionais do debate sobre o *SAF* no Brasil. Sua posição estratégica na rede reforça seu papel como elemento transversal na estrutura regulatória.

A representação gráfica da análise de similitude, portanto, permitiu constatar que os discursos dos entrevistados se organizam em torno de eixos interligados, revelando as principais associações semânticas que estruturam o campo discursivo analisado.

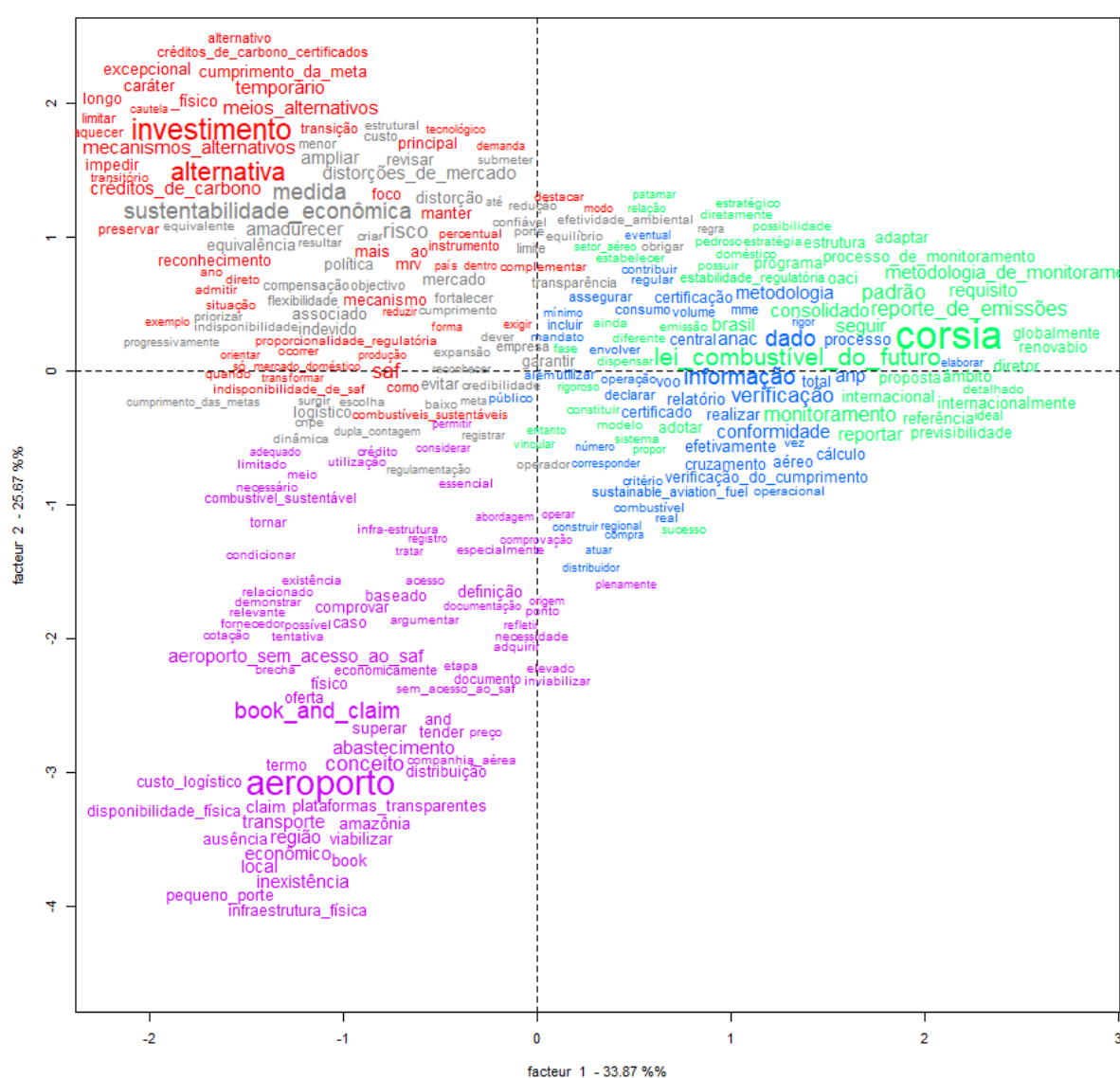
4.3 Representações discursivas com Análise Fatorial de Correspondência (AFC)

A Análise Fatorial de Correspondência (AFC) foi aplicada com o objetivo de representar graficamente a distribuição dos principais termos do *corpus* em relação às dimensões semânticas subjacentes aos discursos. Essa técnica estatística permitiu visualizar a proximidade entre palavras e categorias discursivas, revelando padrões

de associação que ajudam a interpretar a estrutura temática do material analisado (Camargo; Justo, 2013).

No gráfico resultante, apresentado na **Figura 5**, os termos são distribuídos em um plano cartesiano com dois eixos principais. Cada ponto representa uma palavra relevante no *corpus*, enquanto as cores indicam os agrupamentos temáticos derivados da análise lexical anterior. Termos próximos compartilham contextos semelhantes, enquanto termos distantes tendem a se relacionar com discursos distintos.

Figura 5 – Análise Fatorial de Correspondência (AFC)



Fonte: Elaborado pelo autor (2025), por meio do software IramuteQ (2025).

A visualização evidencia, por exemplo, a concentração do termo “SAF” próximo a palavras como “metodologia de monitoramento”, “relatório”, “consolidado”,

“combustível do futuro” e “corsia”, indicando seu papel como eixo articulador dos discursos voltados à regulamentação técnica e inserção internacional.

Outros agrupamentos revelam focos distintos:

- No quadrante **superior esquerdo**, observam-se termos como “investimento”, “meios alternativos”, “mecanismos financeiros”, “transição” e “alternativa”, indicando preocupações com viabilidade econômica e estratégias de financiamento;
- No quadrante **inferior esquerdo**, há destaque para expressões como “aeroporto sem acesso ao SAF”, “*book and claim*”, “custo logístico” e “infraestrutura física”, o que sinaliza desafios operacionais e desigualdades regionais de acesso;
- No quadrante **superior direito**, agregam-se termos como monitoramento, padronização, verificação, transparência e metodologia, refletindo a ênfase em aspectos normativos e procedimentos técnicos vinculados à governança regulatória.
- No quadrante **inferior direito**, observa-se uma menor densidade de termos, com elementos mais dispersos, sugerindo campos temáticos com menor centralidade ou ainda em construção discursiva.

A AFC, portanto, contribui para identificar os campos de tensão, convergência e dispersão nos discursos dos entrevistados, evidenciando como diferentes temas, como sustentabilidade econômica, conformidade regulatória, infraestrutura logística e reconhecimento internacional, se articulam ou se distanciam no campo discursivo analisado.

4.4 Identificação de Focos Discursivos por Nuvem de Palavras

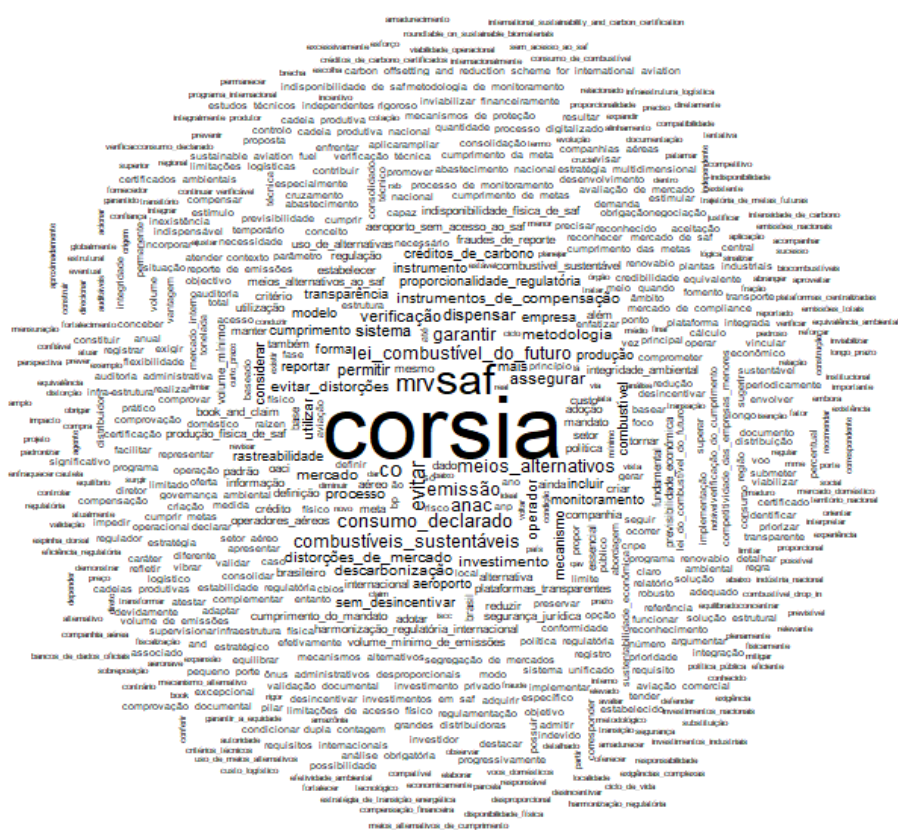
A Nuvem de Palavras é uma ferramenta visual que representa os termos mais recorrentes do *corpus* textual, variando o tamanho das palavras conforme sua frequência. Esse recurso permite identificar rapidamente os focos lexicais centrais no discurso dos participantes, funcionando como uma etapa exploratória na análise qualitativa (Camargo; Justo, 2013).

Embora possua caráter predominantemente descritivo, a nuvem complementa os resultados das análises estatísticas, como a Classificação Hierárquica Descendente e a Análise Fatorial de Correspondência. Sua visualização possibilita reconhecer os vocábulos que tiveram maior destaque ao longo das entrevistas.

Na **Figura 6**, observa-se o predomínio de termos como “corsia”, “SAF”, “combustível do futuro”, “verificação”, “metodologia”, “transparência” e “emissão”, os quais remetem diretamente à regulação internacional, ao monitoramento de carbono e aos requisitos técnicos para o reconhecimento de combustíveis sustentáveis. Esses termos refletem preocupações com a governança normativa, especialmente no contexto da inserção do Brasil no mercado global de aviação sustentável.

Outros termos relevantes incluem “créditos de carbono”, “mercado”, “sustentabilidade econômica”, “instrumentos de compensação”, “investimento” e “meios alternativos”, indicando articulações com mecanismos econômicos e estratégias de viabilização financeira.

Figura 6 – Nuvem de Palavras do *corpus* textual



Fonte: Elaborado pelo autor (2025), por meio do software IramuteQ (2025).

A representação da **Figura 6** destaca, assim, a centralidade de expressões associadas à regulação, à credibilidade dos sistemas de verificação e à viabilidade técnica e econômica do SAF. Termos com menor frequência, porém ainda visíveis, apontam temas complementares, como “infraestrutura logística”, “rastreadabilidade” e “plataformas integradas”, sugerindo a diversidade de perspectivas presentes nas falas dos entrevistados.

5 INTERPRETAÇÃO TEMÁTICA E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Esta seção apresenta a interpretação dos resultados obtidos nas análises textuais, com base nas falas dos especialistas entrevistados. A partir das classificações lexicais identificadas pelo *software* Iramuteq, os conteúdos são organizados em eixos temáticos que permitem examinar como os participantes abordam os principais aspectos da regulamentação do Combustível Sustentável de Aviação (SAF) no Brasil. O objetivo é relacionar os agrupamentos discursivos às propostas, dificuldades e caminhos apontados para a implementação da Lei nº 14.993/2024, com atenção às questões técnicas, econômicas e institucionais mencionadas nas entrevistas.

5.1 Eixos temáticos do Fórum Conexão SAF

Os eixos temáticos de atuação do Fórum Conexão SAF são:

- i. Certificação e qualidade do produto;
- ii. Infraestrutura e distribuição;
- iii. Regulação do mandato para operadores aéreos;
- iv. Políticas de incentivo e financiamento;
- v. Tributação e aspectos tributários da cadeia de SAF;
- vi. Pesquisa e desenvolvimento.

Entre esses, destaca-se o eixo iii – Regulação do mandato para operadores aéreos, por sua centralidade na operacionalização da Lei nº 14.993/2024. Esse eixo trata da regulamentação infralegal das obrigações de uso de SAF por operadores em voos domésticos, além das exigências internacionais estabelecidas pela OACI.

De acordo com os especialistas entrevistados, o principal desafio identificado nesse campo é a estruturação de um modelo de monitoramento, reporte e verificação (MRV) que harmonize os procedimentos domésticos com os já adotados no âmbito do CORSIA. A proposta visa minimizar custos regulatórios e evitar sobrecarga às empresas aéreas, principalmente diante da ampliação do escopo regulatório que incluirá operadores menores, como táxis aéreos e voos não regulares.

Além disso, discutiu-se a definição de limites mínimos de emissões para dispensa do mandato, com base em critérios semelhantes aos do CORSIA. A estimativa da ANAC indica que uma linha de corte de 10 mil toneladas de CO₂ por ano abrangeria 99% do consumo de querosene da aviação civil, afetando um número reduzido de operadores.

Outro ponto relevante diz respeito à disponibilidade de SAF nos aeroportos. A viabilidade do mecanismo "*book-and-claim*" foi amplamente debatida como alternativa para contornar a ausência física do combustível em determinados locais, mantendo a rastreabilidade e evitando a dispensa indevida do mandato. Nesse contexto, a dispensa só seria considerada se comprovada a tentativa de aquisição em toda a malha operada.

A discussão também abrangeu o uso de meios alternativos ao SAF, como créditos de carbono e CBios. Os entrevistados demonstraram cautela quanto a essa possibilidade, alertando para os riscos de desviar recursos da cadeia de SAF e provocar distorções de mercado. Propõe-se que seu uso seja estritamente limitado, reservado a casos excepcionais de indisponibilidade ou inviabilidade econômica, com precificação próxima à do SAF para evitar vantagens competitivas indevidas.

Por fim, foi mencionado o cronograma de regulamentação previsto, com entregas escalonadas entre decreto do CNPE e resoluções específicas da ANAC e da ANP. A expectativa é que os atos normativos estejam finalizados até o fim de 2025. A participação de atores como a Petrobras também foi destacada, especialmente em relação à definição de metodologias de cálculo da intensidade de carbono e à certificação por balanço de massa, conforme critérios da OACI.

Para 2025, o principal objetivo da Conexão SAF é oferecer subsídios aos órgãos públicos competentes para regulamentar a Lei nº 14.993, de 8 de outubro de 2024, também conhecida como Lei do Combustível do Futuro (ANAC, 2025).

5.2 Aspectos regulatórios e operacionais da implementação do SAF no Brasil

A operacionalização da Lei nº 14.993/2024, que institui o mandato de redução de emissões por meio do uso de Combustível Sustentável de Aviação (SAF), demanda a definição de diretrizes regulatórias claras e mecanismos institucionais que viabilizem sua aplicação prática. A partir das entrevistas com especialistas envolvidos no Fórum Conexão SAF e na elaboração da regulamentação, esta subseção sistematiza os principais elementos em debate, abordando pontos como os critérios de monitoramento, reporte e verificação (MRV), a definição de limites mínimos de emissões para dispensa, a viabilidade do mecanismo de *book and claim*, o uso de meios alternativos ao SAF e o cronograma previsto para a implementação normativa. Esses aspectos refletem tanto preocupações técnicas quanto considerações operacionais relativas à efetivação da política pública em nível nacional.

5.2.1 Monitoramento, Reporte e Verificação (MRV)

Há consenso entre os especialistas de que o sistema de monitoramento, reporte e verificação (MRV) das emissões de carbono para o mandato doméstico previsto na Lei nº 14.993/2024 deve ser harmonizado com a metodologia já adotada para o Sistema de Compensação e Redução de Carbono para Aviação Internacional (CORSIA). Essa convergência busca evitar a duplicação de procedimentos e reduzir os custos regulatórios, especialmente para operadores que já atendem às exigências internacionais.

A Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) realiza, desde 2019, a verificação das emissões de voos internacionais com base no cruzamento entre os dados de uso de combustível fornecidos pelas empresas e as informações de voos obtidas no Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA). Esse modelo consolidado inspira a proposta de replicação do processo para o monitoramento das operações domésticas.

Contudo, a implementação do mandato nacional apresenta desafios adicionais. A abrangência da lei envolve um universo mais amplo de operadores, incluindo empresas de táxi-aéreo e voos não regulares, o que implica no aumento do número de empresas sujeitas ao processo de verificação. Nesse novo escopo, além da análise dos dados reportados, a ANAC deverá validar a aquisição do SAF por meio de documentação comprobatória, como notas fiscais, para garantir a posse efetiva e o uso exclusivo do combustível sustentável.

A ampliação do público regulado exige o fortalecimento da infraestrutura administrativa e técnica dos órgãos envolvidos, a fim de garantir a rastreabilidade das operações e a confiabilidade dos dados. Ainda que o modelo atual sirva de base, a adaptação às particularidades do mercado doméstico demandará ajustes metodológicos e normativos, conforme apontado pelos entrevistados.

5.2.2 Volume Mínimo de Emissões para Dispensa

De acordo com os especialistas entrevistados, existe um consenso quanto à necessidade de estabelecer um volume mínimo de emissões de dióxido de carbono (CO₂) para a dispensa do cumprimento do mandato de uso de Combustível Sustentável de Aviação (SAF). A proposta em debate é adotar o mesmo critério utilizado no Sistema de Compensação e Redução de Carbono para Aviação

Internacional (CORSIA), que isenta operadores aéreos que emitem menos de 10 mil toneladas anuais de CO₂.

Estudos internos conduzidos pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) indicam que, ao aplicar esse limite, a regulamentação cobriria cerca de 99% do consumo total de querosene de aviação no país, afetando apenas um grupo reduzido de operadores, estimado entre 12 e 15 empresas. Esse parâmetro é visto como adequado para assegurar a efetividade do monitoramento e, ao mesmo tempo, evitar sobrecarga administrativa ao sistema regulatório.

A adoção de uma linha de corte semelhante à do CORSIA reflete a intenção de harmonizar as exigências domésticas e internacionais, reduzindo a complexidade operacional e promovendo coerência entre os diferentes instrumentos de regulação ambiental aplicáveis à aviação civil. Esse alinhamento é considerado essencial para garantir a transparência dos dados e a compatibilidade metodológica nos processos de verificação e reporte conduzidos pela ANAC.

5.2.3 Aeroportos sem acesso ao SAF e o mecanismo de *book and claim*

A possibilidade de operar em aeroportos sem acesso físico ao Combustível Sustentável de Aviação (SAF) é considerada uma salvaguarda relevante para a implementação do mandato previsto na Lei nº 14.993/2024. O entendimento predominante entre os especialistas é que essa condição pode ser significativamente mitigada com a regulamentação do mecanismo de *book and claim*, o qual dissocia a entrega física do combustível de seu atributo ambiental.

Esse sistema permitiria que operadores aéreos localizados em aeroportos onde o SAF não está disponível fisicamente cumprissem suas metas legais por meio da aquisição de certificados de uso de SAF originados em outras localidades. Essa abordagem garantiria a rastreabilidade e a integridade ambiental da operação, ao mesmo tempo em que ampliaria a flexibilidade logística e reduziria desigualdades regionais de acesso ao combustível. Como sintetizado por Marcella Anselmi, “mesmo que a empresa não voe para os aeroportos onde há SAF físico, poderá cumprir o mandato pela compra do atributo ambiental”.

Contudo, enquanto o *book and claim* não estiver plenamente regulamentado, a definição de “aeroporto sem acesso ao SAF” permanece como condição possível de dispensa do cumprimento do mandato. Nesse sentido, os especialistas apontam que a dispensa só deve ocorrer quando o operador comprovar, de forma documental, que

tentou adquirir o SAF em todos os aeroportos em que atua, sem sucesso. Essa exigência foi destacada por Ricardo Dupont e Darlan Santos, ao reforçarem a necessidade de evidências concretas da tentativa de aquisição em toda a malha operada.

A aplicabilidade dessa regra tende a ser mais relevante para operadores de menor porte que atuam em regiões mais remotas, como observado por Ricardo Dupont ao mencionar o contexto da região amazônica. Em contrapartida, grandes operadores que utilizam *hubs* como Guarulhos dificilmente se enquadrariam nesse cenário, dada a alta probabilidade de disponibilidade do combustível nesses locais.

Além disso, o estabelecimento do mercado de CBIOS e a regulamentação do mercado de carbono no Brasil surgem como desafios paralelos que devem ser superados no âmbito da política RenovaBio. Como destacado por Tiburcio, Macêdo e Pereira Neto (2023), essa política tem grande potencial para contribuir para uma transição energética rumo a uma economia de baixo carbono, além de apoiar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas.

5.2.4 Meios alternativos e distorções de mercado

A utilização de meios alternativos ao SAF é tratada com cautela pelos especialistas, sendo entendida como medida excepcional e não como eixo estruturante da política pública. O objetivo central da Lei nº 14.993/2024 é incentivar a produção e o consumo de SAF no Brasil, e não estabelecer um mercado de compensação de emissões para a aviação.

Modalidades consideradas: Entre os meios alternativos mencionados nas entrevistas estão o combustível fóssil de baixo carbono (*Low Carbon Aviation Fuel – LCAF*), os créditos de descarbonização (CBIOS), créditos de carbono e mecanismos internacionais de *book-and-claim*. No entanto, seu uso deve ser restrito a situações específicas de indisponibilidade do SAF ou inviabilidade econômica.

Riscos de distorção: A principal preocupação dos especialistas é que o uso de alternativas mais baratas, como créditos de carbono, acabe desviando recursos financeiros da cadeia produtiva de SAF para outros setores, prejudicando a consolidação da indústria nacional. Daniel Longo defende que, nesse contexto, é preferível não haver redução de emissões do que promover soluções que apenas transfiram renda sem reduzir efetivamente as emissões do setor aéreo.

Propostas regulatórias: Para evitar distorções de mercado, os entrevistados sugerem que o uso de meios alternativos seja estritamente limitado e que esses instrumentos tenham precificação próxima à do SAF. Ricardo Dupont destaca que o controle de preços pode evitar que operadores que recorrem a alternativas tenham vantagens competitivas indevidas. Darlan Santos alerta para o risco de migração em massa para os meios alternativos caso não haja mecanismos de restrição: “se não colocar uma trava, vai todo mundo para meio alternativo”.

Experiências e análises complementares: Conforme observam Bento e Vieira Filho (2023), políticas de padrão de emissão podem interagir com outros instrumentos de regulação climática, como os sistemas de comércio de emissões (ETS). A harmonização entre programas nacionais e internacionais é considerada estratégica, especialmente no que se refere à Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) e à definição de critérios para a elegibilidade de matérias-primas. Nesse sentido, o desenvolvimento do RenovaCalc é visto como um avanço importante para o posicionamento do Brasil como produtor e certificador de SAF (Gonzales *et al.*, 2025).

5.2.5 Cronograma da regulamentação

O processo de regulamentação do SAF no Brasil ainda está em andamento e envolve uma sequência de atos normativos, com diferentes graus de abrangência e níveis de detalhamento. Inicialmente, destaca-se o Grupo de Trabalho (GT) do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), cuja prorrogação do prazo em 90 dias adiou a entrega do relatório final de julho para outubro de 2025. Esse relatório servirá de base para a elaboração do decreto do CNPE, considerado o instrumento normativo mais abrangente e que funcionará como marco regulatório principal, orientando as etapas subsequentes.

Na sequência, estão previstas resoluções específicas das agências reguladoras setoriais: Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) e Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). Essas resoluções devem detalhar os mecanismos operacionais e técnicos de implementação do mandato de uso de SAF, e serão submetidas a processo de consulta pública antes de sua publicação. A expectativa geral é que o conjunto normativo esteja concluído até o final de 2025.

Acrescenta-se que foi registrada a contribuição da Petrobras nas discussões da Conexão SAF, sobretudo no que tange à definição de critérios técnicos para viabilizar a regulamentação doméstica. Entre os pontos destacados, incluem-se:

- **Reconhecimento de métodos de redução de emissões:** há necessidade de considerar tecnologias como o coprocessamento e o uso de combustíveis fósseis de menor intensidade carbônica (LCAF), aceitos pela Organização da Aviação Civil Internacional (ICAO);
- **Cálculo da intensidade de carbono (IC):** requer definição clara da metodologia a ser adotada para medir as emissões associadas a diferentes rotas tecnológicas e matérias-primas;
- **Certificação:** a proposta é adotar o modelo de certificação por balanço de massa, seguindo os critérios de elegibilidade estabelecidos pela ICAO, garantindo rastreabilidade e transparência na cadeia produtiva;
- **Incentivos:** a regulamentação deverá incentivar a produção a partir de matérias-primas com menor impacto ambiental indireto (iLUC), além de prevenir distorções concorrenciais na disputa por insumos da bioeconomia.

Esse cronograma normativo reflete a complexidade da regulação do SAF, que requer articulação entre diferentes órgãos governamentais, operadores econômicos e instituições técnicas. A finalização da regulamentação é condição fundamental para a operacionalização da Lei nº 14.993/2024 e para o avanço da transição energética no setor aéreo brasileiro.

5.3 Desafios estruturais e condições para a consolidação do SAF no Brasil

A análise das entrevistas com Ricardo Antonio Binotto Dupont e Tiago Cunico Camara, no contexto da regulamentação da Lei do Combustível do Futuro, evidencia desafios operacionais e estruturais que ainda precisam ser superados para a consolidação do SAF no país.

Processo e metodologia (MRV)

Há forte consenso sobre a importância de harmonizar o processo de monitoramento, reporte e verificação (MRV) das emissões domésticas com a metodologia adotada no CORSIA. Essa abordagem traz simplicidade e confiabilidade ao processo, especialmente para operadores aéreos que já atuam sob as regras internacionais. A ANAC deverá cruzar os dados de voos com as informações da ANP, verificando se a aquisição de SAF corresponde às emissões reportadas, com base em documentos comprobatórios como notas fiscais. A principal diferença está no

escopo da regulação doméstica, que abrange novos perfis de operadores, como os de táxi aéreo e fretamento.

Volume mínimo e dispensa de mandato

A proposta mais aceita é seguir o limite do CORSIA: isentar operadores que emitam menos de 10 mil toneladas de CO₂ ao ano. Essa definição permite que a regulamentação cubra 99% do consumo de QAV, restringindo o monitoramento a cerca de uma dúzia de empresas. Expandir para 99,9% exigiria incluir cerca de 60 operadores, aumentando significativamente o peso regulatório sem ganhos proporcionais.

Aeroportos sem acesso ao SAF

A isenção por indisponibilidade de SAF é vista como uma salvaguarda, mas condicionada a comprovação: o operador precisa demonstrar tentativas de aquisição em toda a sua malha. Como os principais operadores voam para *hubs* como Guarulhos, onde haverá oferta de SAF, a aplicação dessa isenção tende a ser limitada. A relevância maior está nos pequenos operadores, especialmente os que atuam em regiões remotas como a Amazônia. Nesse contexto, a atuação de grandes distribuidoras de QAV pode ser crucial para mitigar barreiras logísticas.

Meios alternativos e distorções de mercado

O uso de mecanismos alternativos como CBios, LCAF e créditos de carbono é encarado com cautela. O temor é que alternativas mais baratas desviem investimentos da cadeia produtiva do SAF, prejudicando seu desenvolvimento. Para Ricardo Dupont, em caso de indisponibilidade de SAF, o ideal seria ajustar a meta de redução, e não flexibilizar o uso de substitutos. Limitar o percentual de uso e exigir que o custo dessas alternativas seja próximo ao do SAF são estratégias defendidas para evitar distorções competitivas. Marcella Anselmi destacou o potencial do *book-and-claim* como solução logística, enquanto Darlan Santos alertou para a necessidade de travas regulatórias que impeçam a substituição sistemática do SAF por mecanismos compensatórios mais baratos.

Desafios tecnológicos, econômicos e ambientais

A cadeia de produção de SAF enfrenta gargalos tecnológicos significativos. Tecnologias como a gaseificação de biomassa e a síntese Fischer-Tropsch ainda carecem de maturidade para aplicação em escala industrial. A produção continua cara, exigindo incentivos governamentais, políticas fiscais e investimentos privados. Além disso, a competição por matérias-primas como óleos usados e resíduos agrícolas gera pressões ambientais e pode comprometer a segurança alimentar, demandando diversificação de insumos e critérios rigorosos de sustentabilidade (Souza, 2025).

Suporte político e estrutura regulatória

Políticas públicas claras e de longo prazo são consideradas indispensáveis. A promulgação da Lei nº 14.993/2024, que institui o ProBioQAV, é um marco, mas sua eficácia dependerá da articulação entre governo, setor privado e academia. A criação de metas obrigatórias, incentivos fiscais e instrumentos como a precificação de carbono são medidas sugeridas para fomentar o desenvolvimento da indústria nacional.

Escalabilidade e infraestrutura

Apesar de vantagens competitivas como a disponibilidade de biomassa, o Brasil ainda enfrenta desafios logísticos e estruturais. A construção de novas biorrefinarias, a modernização da infraestrutura de transporte e armazenamento, e o fortalecimento da cadeia de suprimentos são pré-requisitos para tornar o SAF mais acessível. Atualmente, quatro plantas brasileiras estão em desenvolvimento, com capacidade estimada de 900 mil toneladas por ano até 2029 (CNT, 2025).

Relevância estratégica e valor intangível

Além da função ambiental, o SAF representa uma oportunidade de reposicionamento estratégico para as companhias aéreas. Atender a critérios ESG, melhorar a reputação corporativa e atrair investidores sustentáveis tornam-se vantagens competitivas relevantes.

Inserção Internacional

O Brasil se destaca entre os BRICS como o único com legislação específica para SAF. A experiência nacional pode posicionar o país como fornecedor estratégico em mercados internacionais, desde que atenda a padrões globais de certificação e sustentabilidade (Estevo, 2023).

5.4 Cooperação internacional e posição estratégica do Brasil

A análise dos dados coletados evidencia o papel estratégico da cooperação internacional para a expansão do mercado de SAF, particularmente diante das metas ambiciosas já adotadas por Estados Unidos, União Europeia e Japão. Esses países vêm estabelecendo exigências rigorosas de certificação e sustentabilidade, o que representa, simultaneamente, desafios e oportunidades para o Brasil. A conformidade com padrões globais é fundamental para garantir o acesso a mercados externos, enquanto a abundância de biomassa e a experiência nacional em biocombustíveis posicionam o país como potencial fornecedor relevante na cadeia internacional de SAF.

Segundo levantamento da CNT (2025), existem atualmente 146 unidades industriais de SAF em operação no mundo, com capacidade total de 19 milhões de toneladas por ano, concentradas nas regiões da América do Norte, Europa e Ásia. Na América do Sul, há sete projetos em desenvolvimento, sendo quatro deles no Brasil. As plantas brasileiras, previstas para iniciar suas operações entre 2026 e 2029, devem alcançar uma produção conjunta de 900 mil toneladas por ano, correspondendo a cerca de 75% da capacidade projetada para a região sul-americana.

Além de suas implicações técnicas e ambientais, o SAF emerge como instrumento estratégico de reposicionamento para as companhias aéreas, especialmente diante das crescentes demandas por práticas empresariais sustentáveis. A adoção do SAF contribui não apenas para a redução da pegada de carbono das operações, mas também fortalece a reputação corporativa, alinha as empresas aos critérios ESG exigidos por investidores e responde à pressão social por responsabilidade climática. Com isso, o SAF adquire um valor intangível de natureza competitiva e reputacional.

Contudo, a ampliação da produção de SAF em escala comercial no Brasil enfrenta obstáculos estruturais expressivos. Entre eles, destacam-se a limitada infraestrutura logística, os elevados custos de modernização de refinarias e o custo

final de produção ainda superior ao querosene fóssil. Essas barreiras apontam para a necessidade de uma política coordenada de financiamento climático, que inclua incentivos fiscais, linhas de crédito verde e mecanismos de precificação de carbono, sem os quais o produto tende a manter-se pouco competitivo.

A discussão reitera que o SAF deve ser compreendido como parte de um conjunto mais amplo de soluções para a transição energética no setor aéreo. Enquanto proporciona reduções imediatas de emissões, ele também abre caminho para o desenvolvimento de tecnologias disruptivas, como aeronaves elétricas e movidas a hidrogênio, que constituem alternativas promissoras no longo prazo.

No plano geopolítico, o Brasil é o único país dos BRICs a promulgar legislação específica sobre o tema, a Lei nº 14.993/2024, que institui o ProBioQAV e define metas e incentivos concretos para o setor. A China, por sua vez, tem incluído metas de redução em seus planos quinquenais, embora sem dispositivos legais específicos. Índia e África do Sul ainda não estabeleceram legislações ou metas formais, mas participam das discussões multilaterais e realizam estudos preliminares sobre o tema. Conforme destaca Estevo (2023), a articulação desses países na formulação de políticas domésticas poderá contribuir significativamente para a mitigação das emissões no setor aéreo global.

5.5 Matriz *SWOT* do mercado de SAF no Brasil

Considerando a complexidade envolvida na implementação do mercado de Combustível Sustentável de Aviação (SAF) no Brasil, a análise estratégica a seguir tem como objetivo organizar de forma sistemática as percepções dos especialistas, destacando os principais fatores internos e externos que influenciam o desenvolvimento do setor.

Nesse contexto, a **Figura 7** apresenta a análise *SWOT* do mercado de SAF, construída a partir das contribuições dos especialistas entrevistados durante esta pesquisa. A matriz visa sistematizar os elementos que favorecem ou dificultam a consolidação do SAF no país, conforme as categorias de forças, fraquezas, oportunidades e ameaças.

Figura 7 – Análise SWOT do Combustível Sustentável de Aviação

Made with Napkin

Fonte: Elaborado pelo autor (2025), com auxílio da ferramenta Napkin.

A análise *SWOT* apresentada na **Figura 7** foi elaborada com base nas percepções e contribuições dos especialistas entrevistados no âmbito da pesquisa. Ela reflete o cenário atual identificado durante o período de realização do estudo, reconhecendo-se que o mercado de Combustível Sustentável de Aviação (SAF) é altamente dinâmico, estando sujeito a transformações em função de avanços regulatórios, tecnológicos e mercadológicos.

Forças (Strengths)

Entre os pontos positivos identificados, destaca-se a capacidade do SAF de contribuir para a redução das emissões de gases de efeito estufa no setor aéreo, mantendo compatibilidade com a infraestrutura já existente nos aeroportos e cadeias logísticas. Além disso, o desenvolvimento do SAF é percebido como uma oportunidade para inovação e diferenciação no mercado, promovendo a diversificação da matriz energética nacional.

Fraquezas (*Weaknesses*)

Os principais desafios mencionados dizem respeito ao elevado custo de produção, às limitações de escala industrial e à competição por matérias-primas com outros setores da bioeconomia. Também foram apontadas a complexidade regulatória e a necessidade de disponibilidade de eletricidade de baixo carbono como entraves para a expansão do SAF.

Oportunidades (*Opportunities*)

Os entrevistados destacaram o papel das políticas de incentivo governamental como elemento essencial para a viabilização do mercado de SAF. A criação de parcerias estratégicas, os avanços tecnológicos nas rotas de produção e o aumento da demanda por parte de consumidores e investidores voltados a práticas sustentáveis são vistos como vetores de desenvolvimento desse mercado.

Ameaças (*Threats*)

As principais ameaças incluem a concorrência com outras tecnologias emergentes de descarbonização, como o hidrogênio verde e a eletrificação de curtas rotas, além da volatilidade nos preços das matérias-primas e o risco de práticas de *greenwashing*. Também foi mencionado o possível impacto do *lobby* de setores vinculados à indústria de combustíveis fósseis, que pode atrasar a adoção de alternativas sustentáveis. Outro fator é o cenário político, que pode impactar com as diretrizes de Governo.

Dessa forma, a matriz *SWOT* apresentada resume de maneira organizada os principais fatores mencionados pelos especialistas que afetam o desenvolvimento do mercado de SAF no Brasil. A partir da identificação de pontos fortes, fragilidades, oportunidades e riscos, busca-se oferecer um panorama que possa apoiar reflexões e discussões sobre os caminhos possíveis para a ampliação do uso de combustíveis sustentáveis na aviação civil brasileira.

5.6 Discussão integrada e perspectivas futuras

A adoção de Combustíveis Sustentáveis de Aviação (SAFs) é essencial para a descarbonização do setor aéreo global. Segundo Raman *et al.* (2024), as companhias aéreas devem adotar modelos de otimização que definam proporções ideais entre SAF e querosene convencional, equilibrando redução de custos e cumprimento de

metas de emissão. Uma das alternativas analisadas é o uso de SAFs derivados do pinhão-mansão, apontados como economicamente viáveis.

Além disso, Raman *et al.* (2024) defendem investimentos contínuos em pesquisa e desenvolvimento de rotas tecnológicas como a síntese Fischer-Tropsch, cujo sucesso depende de apoio regulatório e cooperação entre indústria, governo e academia. A organização territorial das unidades de pré-processamento, produção e aquisição de biomassa também deve ser estratégica, reduzindo custos logísticos e garantindo o suprimento de insumos. A modernização e integração de refinarias com biorrefinarias é considerada um passo-chave para fortalecer a cadeia de suprimentos de SAF.

A mesma pesquisa sugere a priorização de matérias-primas renováveis, como algas e resíduos agrícolas, e reforça a importância da avaliação do ciclo de vida (ACV) dos combustíveis para mitigar impactos ambientais indesejados. Também são apontadas como medidas relevantes o engajamento de *stakeholders* (atacadistas, reguladores, consumidores) e campanhas de conscientização pública.

Os desafios associados ao custo do SAF e sua competitividade diante dos créditos de carbono foram analisados por Jian (2025), que destaca a necessidade de economias de escala para que o SAF se torne mais lucrativo e socialmente vantajoso. Em mercados com alta concorrência entre companhias aéreas, o custo do SAF precisa ser ainda mais competitivo para superar os créditos de compensação.

Não obstante, Sudarshan (2025) propõe quatro eixos estratégicos para viabilizar a expansão do SAF: (i) harmonização das estruturas regulatórias; (ii) aumento do investimento tecnológico; (iii) fortalecimento de parcerias entre governo, indústria e academia; e (iv) construção de demanda social por viagens sustentáveis.

A experiência da Indonésia também oferece lições importantes. Pratama *et al.* (2025) analisam o uso do “diesel verde” como SAF, produzido a partir de óleo de palma, apontando vantagens ambientais e econômicas, mas destacando desafios como limitações tecnológicas, baixa conscientização e ausência de voos comerciais regulares com biocombustíveis. Mesmo assim, o país estabeleceu metas regulatórias e participa de iniciativas internacionais, como o CORSIA.

Wandelt, Zhang e Sun (2025) identificam os principais entraves à consolidação do SAF: disponibilidade de matéria-prima, avanços tecnológicos, custo elevado, regulação, sustentabilidade, infraestrutura, escalabilidade e inovação nos processos de conversão. Nesse sentido, políticas públicas precisam ir além de mandatos de

mistura. NG, Farooq e Yang (2021) defendem instrumentos baseados na redução da intensidade de carbono (GEE), focando em rotas tecnológicas mais eficientes como FT, ATJ e HFS.

O potencial futuro do hidrogênio renovável é destacado por Yusaf *et al.* (2022), embora sua viabilidade econômica ainda seja limitada. A expectativa é de maturação tecnológica até 2030, especialmente na aviação de longo prazo.

Novas rotas tecnológicas aguardam aprovação da ASTM, como a Liquefação Hidrotermal (HTL), a Reforma em Fase Aquosa (APR), a Pirólise e a Fotofermentação, alternativas que oferecem maior flexibilidade no uso de biomassa e menor impacto ambiental (Lau *et al.*, 2024).

Song *et al.* (2025) estimam que, mesmo em um cenário de baixo carbono, 423 Mt de CO₂ ainda precisarão ser abatidos até 2050, exigindo ações complementares, como tecnologias de emissão negativa e redução da demanda. A adoção de SAFs com menor intensidade de carbono, como o FT-SPK, torna-se um caminho promissor.

Entretanto, os custos de produção de SAFs derivados de resíduos ainda superam os dos combustíveis fósseis. Mariyam e Sabah *et al.* (2026) apontam que apenas 38% das políticas globais oferecem incentivos financeiros adequados, sendo necessário um custo médio de política entre US\$ 35 e 337 milhões por unidade produtiva para viabilização econômica.

Por fim, segundo a International Air Transport Association (IATA), há biomassa suficiente para alcançar emissões líquidas zero até 2050, mas o gargalo está na implementação tecnológica. Atualmente, apenas a rota HEFA, baseada em óleo de cozinha usado, opera em escala comercial.

A IATA identifica quatro barreiras críticas: lentidão na adoção de novas tecnologias, competição intersetorial por biomassa, falhas na cadeia de suprimento e acesso limitado a eletricidade renovável de baixo custo, essencial para tecnologias como o *Power-to-Liquid (PtL)*. Para alcançar a meta de 500 Mt de SAF ao ano até 2050, mais de 300 Mt deverão vir da biomassa e cerca de 200 Mt do *PtL*.

Esses dados evidenciam que a superação dos desafios regulatórios, tecnológicos e financeiros será indispensável para escalar a produção global de SAF. A coordenação entre governos, setor privado e instituições de pesquisa será determinante para que o SAF cumpra seu papel como pilar da transição energética na aviação.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo geral analisar as políticas públicas do governo federal brasileiro e as legislações correlatas voltadas ao desenvolvimento e à implementação do Combustível Sustentável de Aviação (SAF). Para tanto, foram definidos três objetivos específicos: (i) levantar as políticas públicas existentes para o setor nos âmbitos nacional e internacional; (ii) identificar as diretrizes que orientam a edição do Decreto de regulamentação do Programa Nacional de Combustível Sustentável de Aviação (ProBioQAV), instituído pela Lei nº 14.993/2024; e (iii) examinar a percepção de especialistas sobre os desafios enfrentados pelo setor de aviação civil brasileira na transição energética, considerando as discussões realizadas no âmbito do Conexão SAF, coordenado pela ANAC.

Os resultados demonstram que o SAF constitui uma alternativa tecnicamente viável e estratégica para a descarbonização do setor aéreo, especialmente devido à sua característica “*drop-in*”, que permite seu uso na frota e na infraestrutura existente, sem a necessidade de adaptações tecnológicas. Assim, o SAF se apresenta como uma solução de curto e médio prazo, enquanto tecnologias como hidrogênio e eletrificação ainda estão em estágio embrionário.

A análise das políticas públicas revelou um avanço normativo com a promulgação da Lei nº 14.993/2024, que institui o ProBioQAV. Essa legislação consolida o compromisso brasileiro com a mitigação das emissões no setor de aviação e se articula com outros programas, como o RenovaBio, fortalecendo a coerência entre políticas energéticas e climáticas. Identificou-se, contudo, que a regulamentação do mandato doméstico impõe desafios adicionais em relação ao escopo, à diversidade de operadores e à infraestrutura disponível.

No plano institucional, o estudo apontou a importância do Conexão SAF como espaço de construção colaborativa das normas e diretrizes do setor. Foram destacadas questões centrais para a efetividade da regulamentação, como a harmonização com os parâmetros do CORSIA, a definição de volume mínimo de emissões para dispensa, o uso controlado de meios alternativos ao SAF e a adoção de mecanismos como o *book-and-claim* para aeroportos sem acesso ao combustível.

A matriz SWOT construída a partir das percepções dos especialistas evidenciou como forças a experiência nacional em biocombustíveis e a infraestrutura já existente; como fraquezas, os altos custos e limitações tecnológicas; como oportunidades, o potencial de exportação e os incentivos globais à transição

energética; e como ameaças, a competição por matérias-primas, o risco de *greenwashing* e a volatilidade dos mercados.

As comparações com experiências internacionais reforçaram a necessidade de políticas públicas integradas, instrumentos econômicos sólidos e apoio tecnológico contínuo. O caso indonésio mostrou os limites de estratégias baseadas apenas em imposições regulatórias, sem suporte técnico. Além disso, o estudo evidenciou que rotas tecnológicas além da HEFA ainda enfrentam entraves de viabilidade técnica e financeira, apesar do seu maior potencial de escalabilidade e diversificação.

Identificaram-se também barreiras transversais à implementação do SAF, como: lentidão na implementação tecnológica, competição por biomassa com outros setores, necessidade de eletricidade renovável de baixo custo, desafios logísticos e processos complexos de certificação. Os especialistas defenderam o fortalecimento de parcerias público-privadas, previsibilidade regulatória e incentivos financeiros como medidas fundamentais para o desenvolvimento do mercado nacional de SAF.

Como limitação, ressalta-se que a regulamentação da Lei nº 14.993/2024 ainda está em construção no momento da conclusão deste trabalho, o que impõe restrições à análise de seus efeitos práticos. No entanto, a pesquisa permitiu mapear os principais pontos de debate e os mecanismos em formulação.

Para investigações futuras, recomenda-se aprofundar a análise sobre as rotas tecnológicas emergentes (como ATJ, FT e HFS), os impactos socioeconômicos da cadeia produtiva do SAF no território brasileiro, bem como o papel de instrumentos como o mercado de carbono e os CBIOS na viabilização econômica da descarbonização do setor aéreo.

Outrossim, conclui-se que o SAF não deve ser entendido de forma isolada, mas como parte de uma estratégia integrada de descarbonização, que articula inovação tecnológica, política pública e coordenação entre diferentes setores. O êxito da estratégia brasileira dependerá da capacidade de harmonizar metas climáticas com competitividade econômica, posicionando o país de forma protagonista na transição energética global. Nesse contexto, o SAF representa uma alternativa de baixo carbono, bem como uma oportunidade concreta de desenvolvimento sustentável para o Brasil.

REFERÊNCIAS

ABRANTES, I.; FERREIRA, A. F.; SILVA, A.; COSTA, M. Sustainable aviation fuels and imminent technologies - CO₂ emissions evolution towards 2050. **Journal of cleaner production**, v. 313, n. 127937, p. 1-14, 2021. Disponível em: <https://ubibliorum.ubi.pt/bitstream/10400.6/11527/1/1-s2.0-S0959652621021557-main.pdf>. Acesso em: 17 jan. 2025.

AFONSO, F.; SOHST, M.; DIOGO, C. M. A.; RODRIGUES, S. S.; FERREIRA, A.; RIBEIRO, I.; MARQUES, R.; REGO, F. F. C.; SOHOULI, A.; PORTUGAL-PEREIRA, J.; POLICARPO, H.; SOARES, B.; FERREIRA, B.; FERNANDES, E. C.; LAU, F.; SULEMAN, A. Strategies towards a more sustainable aviation: a systematic review. **Progress in Aerospace Sciences**, v. 137, p. 100878, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0376042122000707>. Acesso em: 10 jan. 2025.

AGÊNCIA BNDES DE NOTÍCIAS. BNDES e Finep disponibilizam R\$ 6 bi para investimentos em combustível verde para aviação e navegação. **Agência BNDES de Notícias**, 22 ago. 2024. Disponível em: [https://agenciadenoticias.bndes.gov.br/detalhe/noticia/BNDES-e-Finep-disponibilizam-R\\$-6-bi-para-investimentos-em-combustivel-verde-para-aviacao-e-navegacao/](https://agenciadenoticias.bndes.gov.br/detalhe/noticia/BNDES-e-Finep-disponibilizam-R$-6-bi-para-investimentos-em-combustivel-verde-para-aviacao-e-navegacao/). Acesso em: 5 fev. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. Acordo com ANP estimulará produção de SAF no Brasil. **Agência Nacional de Aviação Civil (Anac)**, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/anac/pt-br/noticias/2024/acordo-com-anp-estimulara-producao-de-saf-no-brasil>. Acesso em: 5 fev. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **Conexão SAF**: combustíveis sustentáveis de aviação. 2024. Disponível em: <https://hotsites.anac.gov.br/conexaosaf/>. Acesso em: 5 fev. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. ANP e ANAC firmam acordo de cooperação técnica sobre combustíveis sustentáveis de aviação (SAF). **ANP**, 2024. Disponível em: https://www.gov.br/anp/pt-br/canal_atendimento/imprensa/noticias-comunicados/anp-e-anac-firmam-acordo-de-cooperacao-tecnica-sobre-combustiveis-sustentaveis-de-aviacao-saf. Acesso em: 4 fev. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Biocombustíveis**. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/qualidade-de-produtos/biocombustiveis>. Acesso em: 5 jul. 2024.

AGÊNCIA SENADO. Lei que incentiva 'combustíveis do futuro' é sancionada com vetos. **Senado Notícias**, 10 out. 2024. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2024/10/10/lei-que-incentiva-combustiveis-do-futuro-e-sancionada-com-vetos>. Acesso em: 4 fev. 2025.

ALMEIDA, C. P. S. **O futuro do combustível renovável para a aviação comercial**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Ciências Aeronáuticas) – 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, M. M. N. **Os principais impactos ambientais na aviação**: possíveis problemas e ações de mitigação. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Ciências Aeronáuticas) – Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, dez. 2021. Disponível em: <https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/handle/123456789/3377>. Acesso em: 29 mar. 2023.

ARAÚJO, A. P. C. **Produção de biogás a partir de resíduos orgânicos utilizando biodigestor anaeróbico**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/20292/3/Produ%C3%A7%C3%A3oBio%C3%A1sRes%C3%ADduos.pdf>. Acesso em: 5 fev. 2025.

ARKOUDEAS, P.; KALLIGEROS, S.; ZANNIKOS, F. E.; ANASTOPOULOS, G. Study of using JP-8 aviation fuel and biodiesel in CI engines. **Energy conversion and management**, v. 44, n. 7, p. 1013-1025, 2003. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/245159713_Study_of_using_JP-8_aviation_fuel_and_biodiesel_in_CI_engines. Acesso em: 13 jan. 2025.

ARLINGTON. Boeing faz sua maior compra de combustível sustentável de aviação misto. **Boeing**, Virgínia, 16 abr. 2024. Disponível em: <https://www.boeing.com.br/news/2024/boeing-faz-sua-maior-compra-de-combustivel-sustentavel-de-aviacao-misto>. Acesso em: 21 jan. 2025.

ASSOCIAÇÃO INTERNACIONAL DE TRANSPORTE AÉREO. Zero emissão líquida de carbono até 2050. **IATA**, Press release, n. 66. Disponível em: <https://www.iata.org/contentassets/dcd25da635cd4c3697b5d0d8ae32e159/2021-10-04-03-pt.pdf>. Acesso em: 4 fev. 2025.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS. **Rotas tecnológicas de descarbonização do transporte coletivo no Brasil**. 2024. Disponível em: https://files.antp.org.br/2024/7/29/caderno-tecnico-29-rotas-tecnologidas-de-descarbonizacao-para-transporte-publico_2.pdf. Acesso em: 5 fev. 2025.

BACH, Q. -V.; FU, J.; TURN, S. Construction and demolition waste-derived feedstock: fuel characterization of a potential resource for sustainable aviation fuels production. **Frontiers in energy research**, v. 9, 2021. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/energy-research/articles/10.3389/fenrg.2021.711808/full>. Acesso em: 18 jan. 2025.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL.

Descarbonização da indústria de base. 2024. Disponível em:

https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/25847/1/PRLiv_216288_Descarboniza%C3%A7%C3%A3o%20da%20ind%C3%BAstria%20de%20base.pdf. Acesso em: 4 fev. 2025.

BARBOSA, J. A.; CORONADO, C. J. R.; TUNA, C. E.; SILVA, M. H.; MENDIBURU, A. Z.; CARVALHO JUNIOR, A. Z.; ANDRADE, J. C. Experimental determination of lower flammability limits of Synthesized Iso-Paraffins (SIP), jet fuel and mixtures at atmospheric and reduced pressures with air. **Fire safety journal**, v. 121, n. 103276, p. 102-115, 2021. Disponível em:

<https://repositorio.unesp.br/entities/publication/41319eaa-55d6-469f-8d54-a2c8c1b9a63d>. Acesso em: 19 jan. 2025.

BARBOSA, W. A. **Tecnologia Sustentável aplicada às aeronaves da aviação executiva**: perspectivas para o Brasil. 2021. (Dissertação de Mestrado em Ciências Aeronáuticas) – Universidade Católica de Goiás, 2021. Disponível em:

<https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/handle/123456789/2226>. Acesso em: 12 de fev. 2025.

BARCELOS, M. Políticas de biocombustíveis no Brasil: imagens e empreendedores no processo de definição da agenda do Programa Nacional do Álcool – PROALCOOL. **Revista Latino-Americana de Relações Internacionais**, Rio Grande, v. 3, n. 1, p. 12-26, jan./abr. 2021. Disponível em:

<https://periodicos.furg.br/cn/article/view/13065>. Acesso em: 1 fev. 2025.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 2006.

BAROT, S. Biomass and bioenergy: resources, conversion and application.

Renewable Energy for Sustainable Growth Assessment, Wiley, 5 mar. 2022.

Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1002/9781119785460.ch9>. Acesso em: 12 ago. 2024.

BAUEN, A.; BITOSSI, N.; GERMAN, L.; HARRIS, A.; LEOW, K. Sustainable Aviation Fuels: status, challenges and prospects of drop-in liquid fuels, hydrogen and electrification in aviation. **Johnson Matthey Technology Review**, v. 64, n. 3, p. 263-278, 2020. Disponível em:

<https://technology.matthey.com/content/journals/10.1595/205651320X15816756012040>. Acesso em: 11 jan. 2025.

BAUER, M. W.; GASKELL, G. **Pesquisa qualitativa com texto, imagem e som**: um manual prático. Petrópolis: Vozes, 2002.

BELLO, A.; LYRO, B.; PAIVA, G.; GONZALEZ, G.; ARAÚJO, G.; LIMA, H.; SAMPAIO, L.; GUIMARÃES, P.; GUEDES, R.; MORAES, T.; TELLES, Y.; SZKLO, A.; IMPÉRIO, M.; POGGIO, M.; SCHAEFFER, R. **Neutralidade de carbono até 2050**: cenários para uma transição eficiente no Brasil. Rio de Janeiro: CEBRI, 2023.

Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-726/PTE_RelatorioFinal_PT_Digital_.pdf. Acesso em: 5 fev. 2025.

BENTO, J. A. N.; VIEIRA FILHO, J. E. R. O Crédito de descarbonização (CBIO) e sua relação com o mercado de carbono. *In*: VIEIRA FILHO, J. E. R.; GASQUES, J. G. (org.). **Agropecuária brasileira: evolução, resiliência e oportunidades**. Rio de Janeiro: Ipea, 2023. p. 265-288. DOI: <http://dx.doi.org/10.38116/9786556350530cap12>. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/entities/publication/6a073109-c06a-4bcc-a55f-9f00b2669fb6>. Acesso em: 10 nov. 2025.

BHATT, A.; ZHANG, Y.; MILBRANDT, A.; NEWES, E.; MORIARTY, K.; KLEIN, B.; TAO, L. Evaluation of performance variables to accelerate the deployment of sustainable aviation fuels at a regional scale. **Energy conversion and management**, v. 275, n. 116441, 2023. Disponível em: <https://research-hub.nrel.gov/en/publications/evaluation-of-performance-variables-to-accelerate-the-deployment--2>. Acesso em: 23 jan. 2025.

BOEIRA, A. C. S. **Síntese e caracterização de bioquerosene com ênfase no desenvolvimento de método analítico para a determinação de elementos-traço por espectrometria de absorção atômica de alta resolução com fonte contínua e chama**. 2022. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/241171/001143660.pdf;jsessionid=C143F130410E7939270F8397BC48E351?sequence=1>. Acesso em: 6 fev. 2025.

BOSCHIERO, B. N. Biocombustíveis: conheça as 4 gerações. **Agroadvance**, 18 jan. 2024. Disponível em: <https://agroadvance.com.br/blog-biocombustiveis-conheca-as-4-geracoes/>. Acesso em: 5 jul. 2024.

BRASIL. Ministério de Portos e Aeroportos. Brasil se torna pioneiro na produção de combustível sustentável para aviação. **Gov.br**, 17 jun. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/portos-e-aeroportos/pt-br/assuntos/noticias/2024/06/brasil-se-torna-pioneiro-na-producao-de-combustivel-sustentavel-para-aviacao>. Acesso em: 22 jan. 2025.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. Brasil entrega à ONU nova NDC alinhada ao Acordo de Paris. **Gov.br**, 13 nov. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/noticias/brasil-entrega-a-onu-nova-ndc-alinhada-ao-acordo-de-paris>. Acesso em: 4 fev. 2025.

BRASIL. Lei nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017. Dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 27 dez. 2017. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/l13576.htm. Acesso em: 5 fev.

BRASIL. 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.

Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 26 nov. 2021. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/lei/l14248.htm#:~:text=LEI%20N%C2%BA%2014.248%2C%20DE%2025,%C3%A0%20sustentabilidade%20da%20avia%C3%A7%C3%A3o%20brasileira. Acesso em: 6 fev. 2025.

BRASIL. Lei nº 14.993, de 8 de outubro de 2024. Dispõe sobre a promoção da mobilidade sustentável de baixo carbono e a captura e a estocagem geológica de dióxido de carbono; institui o Programa Nacional de Combustível Sustentável de Aviação (ProBioQAV), o Programa Nacional de Diesel Verde (PNDV) e o Programa Nacional de Descarbonização do Produtor e Importador de Gás Natural e de Incentivo ao Biometano; altera as Leis nºs 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.847, de 26 de outubro de 1999, 8.723, de 28 de outubro de 1993, e 13.033, de 24 de setembro de 2014; e revoga dispositivo da Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002.

Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 9 out. 2024. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/lei/l14993.htm. Acesso em: 5 fev. 2025.

BRASIL. Portaria nº 486, de 11 de outubro de 2024. Institui o Fórum de Transição Energética na Aviação Civil do Ministério de Portos e Aeroportos - Fórum MPOR de Transição Energética na Aviação (Fotea). **Diário Oficial da União:** seção 1, Brasília, DF, 14 out. 2024. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-n-486-de-11-de-outubro-de-2024-589776729>. Acesso em: 5 fev. 2025.

BRITO, L. G. C.; SOUZA, M. V. F.; SOUSA, J. N. B.; ARAÚJO, A. M. M.; GONDIM, A. D. Hidrotermólise: uma revisão. In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE BIOQUEROSENE E HIDROCARBONETOS SUSTENTÁVEIS PARA AVIAÇÃO, 2., 2022, Natal. **Anais [...]**. Natal: Editora Científica Digital, 2022. Disponível em: <https://downloads.editoracientifica.com.br/books/978-65-5360-505-3.pdf>. Acesso em: 6 fev. 2025.

CAMARGO, B. V.; JUSTO, A. M. IRAMUTEQ: Um software gratuito para análise de dados textuais. **Temas em Psicologia**, v. 21, n. 2, p. 513-518, 2013. Disponível em: https://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-389X2013000200016. Acesso em: 10 nov. 2025.

CAVALCANTI, C. J. S. **Simulação e otimização de processos para obtenção de biocombustíveis:** etanol, bioquerosene de aviação e diesel verde. 2022. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2022. Disponível em: <https://attena.ufpe.br/bitstream/123456789/48258/1/TESE%20Claudia%20Jessica%20da%20Silva%20Cavalcanti.pdf>. Acesso em: 6 fev. 2025.

CELANDRONI NETO, V. J. **Estudos de simulação e otimização da produção de combustíveis sustentáveis.** 2022. Mestrado (Mestrado em Engenharia Biológica e Química) – Instituto Politécnico de Setúbal, 2022. Disponível em: <https://comum.rcaap.pt/handle/10400.26/43390>. Acesso em: 6 fev. 2025.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. **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.

CHIARAMONTI, D. Sustainable aviation fuels: the challenge of decarbonization. **Energy Procedia**, v. 158, p. 1202-1207, 2019. Disponível em: https://iris.polito.it/retrieve/e384c431-5383-d4b2-e053-9f05fe0a1d67/Chiaramonti_ICAE2018_Av_Fuel_HKong.pdf. Acesso em: 14 jan. 2025.

CHUCK, C. **Biofuels for aviation**: feedstocks, technology and implementation. Academic Press, 2016.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Hidrogênio sustentável**: perspectivas para o desenvolvimento e potencial para a indústria brasileira: versão 2024. 2. ed. Brasília: CNI, 2024. Disponível em: https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/34/fc/34fc90b4-7c9d-4b5e-9769-1ac63ba9d891/id_247627_estudo_hidrogenio_sustentavel_interativo.pdf. Acesso em: 25 jan. 2025.

COSTA, R. C.; TEIXEIRA, C. A. N.; MENDES, A. P. A.; ROCIO, M. A. R. Combustível sustentável de aviação. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, v. 30, n. 58, p. 97-142, set. 2024. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/26108>. Acesso em: 6 fev. 2025.

DALAI, A. K.; GOUND, V. V.; NANDA, S.; BORUGADDA, V. B. **Algal biorefinery**: developments, challenges and opportunities. [S.l.]: Routledge, 2021.

DATAGRO. Capacidade de produção de SAF nos EUA pode aumentar em 14 vezes neste ano, diz EIA. **UDOP**, 2024. Disponível em: <https://www.udop.com.br/noticia/2024/07/18/capacidade-de-producao-de-saf-nos-eua-pode-aumentar-em-14-vezes-neste-ano-diz-eia.html#!>. Acesso em: 4 fev. 2025.

DOLIENTE, S. S.; NARAYAN, A.; TAPIA, J. F. D.; SAMSATLI, N. J.; ZHAO, Y.; SAMSATLI, S. Bio-aviation fuel: a comprehensive review and analysis of the supply chain components. **Frontiers in energy research**, v. 8, 2020. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/energy-research/articles/10.3389/fenrg.2020.00110/full>. Acesso em: 10 jan. 2025.

ELGARAHY, A. M.; HAMMAD, A. Thermochemical conversion strategies of biomass to biofuels, techno-economic and bibliometric analysis: a conceptual review. **Journal of environmental chemical engineering**, v. 9, n. 6, p. 106503, 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/355095737_Thermochemical_conversion_strategies_of_biomass_to_biofuels techno-economic_and_bibliometric_analysis_A_conceptual_review. Acesso em: 11 jan. 2025.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Superintendência de Derivados de Petróleo e Biocombustíveis. Diretoria de Estudos de Petróleo, Gás e Biocombustíveis. **Combustíveis sustentáveis de aviação no Brasil: perspectivas futuras**. Brasília: EPE, 2024. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-839/CA-EPE-DPG-SDB-2024-02_Combust%C3%ADveis_Sustent%C3%A1veis_Avia%C3%A7%C3%A3o_Brasil.pdf. Acesso em: 26 jan. 2025.

ESTEVO, J. S.; THOMAZ, L. F.; GONDIM, A. D. Aviação civil e sustentabilidade no Brasil: o papel dos combustíveis sustentáveis de aviação (SAF). **Revista Brasileira de Transportes**, v. 4, n. 2, p. 20-55, 2024. Disponível em: <https://periodicos.fgv.br/rbt/article/view/91297>. Acesso em: 10 nov. 2025.

ESTEVO, J. S.; THOMAZ, L. F.; GONDIM, A. The Implementation of Sustainable Aviation Fuels (SAF) in the BASIC countries – Brazil, South Africa, India and China. *In*: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ENERGY: ENERGY TRANSITION, GREEN HYDROGEN AND SUSTAINABLE INDUSTRY, 1., 2023, Santo André. **Anais [...]**. Santo André: ISE, 2023. Disponível em: <https://publicacoes.softaliza.com.br/ise2023/article/view/4514>. Acesso em: 10 nov. 2025.

ESWARAN, S.; SUBRAMANIAM, S.; GELEYNSE, S.; BRANDT, K.; WOLCOTT, M.; ZHANG, X. Techno-economic analysis of catalytic hydrothermolysis pathway for jet fuel production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 151, n. 111516, p. 111516, 2021. Disponível em: <https://ideas.repec.org/a/eee/rensus/v151y2021ics1364032121007954.html>. Acesso em: 2 jan. 2025.

EUNJII YOO; UISUNG LEE; MICHAEL WANG. Life-cycle greenhouse gas emissions of sustainable aviation fuel through a net-zero carbon biofuel plant design. **ACS Sustainable Chemistry & Engineering**, v. 10, p. 8725-8732, 2022. Disponível em: https://pubs.acs.org/doi/epdf/10.1021/acssuschemeng.2c00977?ref=article_openPDF. Acesso em: 4 fev. 2022.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. Percentagem do consumo de energia proveniente de fontes renováveis na Europa. **European Environment Agency**, 2024. Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/share-of-energy-consumption-from?activeAccordion=ecdb3bcf-bbe9-4978-b5cf-0b136399d9f8>. Acesso em: 4 fev. 2025.

FERNANDES, F. M. **Rede brasileira de tecnologia de biodiesel: formação, estruturação e contribuições para superação de gargalos e avanço da indústria do biodiesel no Brasil**. 2024. Tese (Doutorado em Engenharia Industrial) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/39758>. Acesso em: 3 fev. 2025.

FGV ENERGIA. **A transição energética no setor de transportes para nações em desenvolvimento**: a perspectiva brasileira. Ano 9, n. 15, jun. 2022. Disponível em: https://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/caderno_de_transicao_energetica_no_setor_de_transportes_rev4.pdf. Acesso em: 4 fev. 2025.

FIGUEIREDO, M. Itaipu Binacional recebe a 1ª planta do Brasil de produção de petróleo sintético a partir de biogás. **Manufatura Digital**, 19 jun. 2024. Disponível em: <https://www.manufaturadigital.com/itaipu-1-planta-br-de-petroleo-sintetico/>. Acesso em: 5 fev. 2025.

FIRJAN. **Panorama dos Combustíveis Sustentáveis de Aviação (SAF)**, 2025. Disponível em: https://static.poder360.com.br/2025/07/07.2025-Nota-SAF_v7.pdf. Acesso em: 10 ago. 2025.

FONTE, C. B.; MÜLLER-CASSERES, E.; CARVALHO, F.; MAIA, P. L. B.; DRAEGER, R. **Sinergias entre as metas de descarbonização dos setores de aviação e de transporte marítimo**: relatório final. 2024. Disponível em: <https://climaesociedade.org/wp-content/uploads/2024/11/sinergias-entre-as-metas-de-descarbonizacao.pdf>. Acesso em: 4 fev. 2025.

GARCIA, L. De gigante agrícola a potência em SAF: o Brasil no centro da aviação sustentável. **Araraseed**, 11 dez. 2024. Disponível em: <https://blog.araraseed.com.br/de-gigante-agricola-a-potencia-em-saf-o-brasil-no-centro-da-aviacao-sustentavel/>. Acesso em: 4 fev. 2025.

GOLLAKOTA, A. R. K.; SHU, C.-M.; SARANGI, P. K.; SHADANGI, K. P.; RAKSHIT, S.; KENNEDY, J. F.; GUPTA, V. K.; SHARMA, M. Catalytic hydrodeoxygenation of bio-oil and model compounds – choice of catalysts, and mechanisms. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 187, n. 113700, p. 113700, 2023. Disponível em: <https://ideas.repec.org/a/eee/rensus/v187y2023ics1364032123005579.html>. Acesso em: 20 jan. 2025.

GONZALES, T. S.; LAMAS, G. C.; SABAINI, P. S.; GUIDUCCI, R. C. N.; SCHULTZ, E. L.; PIGHINELLI, A. L. M. T.; FOLEGATTI, M. I.; SILVEIRA, E. A.; POMPEU, G. C. S. Advancing renovacalc: the Brazilian tool for calculating the carbon intensity of sustainable fuels in alignment with international policies. **Seeds**, v. 17, p. 4.6. 2025. Disponível em: <https://programme.conference-biomass.com/abstract.php?idabs=22123&idses=1789&idtopic=6>. Acesso em: 10 nov. 2025.

GÖSSLING, S.; HUMPE, A. The global scale, distribution and growth of aviation: Implications for climate change. **Global environmental change: human and policy dimensions**, v. 65, n. 102194, p. 102194, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959378020307779>. Acesso em: 3 jan. 2025.

GOSSLING, S.; LYLE, C. Transition policies for climatically sustainable aviation. **Transport Reviews**, v. 41, n. 5, p. 643-658, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/org/science/article/abs/pii/S0144164722000782>. Acesso em: 14 jan. 2025.

HOLLADAY, J.; ABDULLAH, Z.; HEYNE, J. **Sustainable Aviation Fuel**: review of technical pathways. U.S Department of Energy, Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, 2020. Disponível em: <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2020/09/f78/beto-sust-aviation-fuel-sep-2020.pdf>. Acesso em: 3 jan. 2025.

INTERNATIONAL AIR TRANSPORT ASSOCIATION. IATA releases enhanced policy and finance net zero roadmaps. **IATA**, n. 41, 24 set. 2024. Disponível em: <https://www.iata.org/en/pressroom/2024-releases/2024-09-24-01/>. Acesso em: 24 jan. 2025.

INTERNATIONAL JOURNAL OF PROFESSIONAL BUSINESS REVIEW. Miami, v. 8, n. 5, p. 01-45, 2023.

JIANG, C.; LIU, Y. The role of sustainable aviation fuel in CORSIA: an economic analysis. **Energy Economics**, v. 143, p. 108238, 2025. Disponível em: <https://ira.lib.polyu.edu.hk/bitstream/10397/111356/1/1-s2.0-S0140988325000611-main.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2025.

JONES, F. Brasil se prepara para produzir combustível sustentável de aviação. **Pesquisa Fapesp**, 26 fev. 2024. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/brasil-se-prepara-para-produzir-combustivel-sustentavel-de-aviacao/>. Acesso em: 4 fev. 2025.

JONES, F. Rotas, processos e matérias-primas para elevar a produção do biocombustível e reduzir seu custo são foco de investigações em universidades e centros de pesquisa. **Pesquisa Fapesp**, 28 fev. 2024. Disponível em: <https://www.inova.unicamp.br/2024/02/pesquisa-fapesp-estudos-sobre-o-saf-avancam-no-pais/>. Acesso em: 3 fev. 2025.

KANDARAMATH HARI, T.; YAAKOB, Z.; BINITHA, N. N. Aviation biofuel from renewable resources: Routes, opportunities and challenges. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 42, p. 1234-1244, 2015. Disponível em: <https://ideas.repec.org/a/eee/rensus/v42y2015icp1234-1244.html>. Acesso em: 4 jan. 2025.

KHAN, M. A. H.; BONIFACIO, S.; CLOWES, J.; FOULDS, A.; HOLLAND, R.; MATTHEWS, J. C.; PERCIVAL, C. J.; SHALLCROSS, D. E. Investigation of biofuel as a potential renewable energy source. **Atmosphere**, v. 12, n. 10, p. 1289, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4433/12/10/1289>. Acesso em: 5 jan. 2025.

KURZAWSKA, P.; JASIŃSKI, R. Overview of sustainable aviation fuels with emission characteristic and particles emission of the turbine engine fueled ATJ blends with different percentages of ATJ fuel. **Energies**, v. 14, n. 7, p. 1858, 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/350463968_Overview_of_Sustainable_Aviation_Fuels_with_Emission_Characteristic_and_Particles_Emission_of_the_Turbine_Engine_Fueled_ATJ_Blends_with_Different_Percentages_of_ATJ_Fuel. Acesso em: 6 jan. 2025.

LAU, J. I. C.; WANG, Y. S.; ANG, T.; SEO, J. C. F.; KHADAROO, S. N. B. A.; CHEW, J. J.; NG KAY LUP, A.; SUNARSO, JJ, et al. Emerging technologies, policies and challenges toward implementing sustainable aviation fuel (SAF). **Biomass & bioenergy**, v. 186, n. 107277, p. 107277, 2024. Disponível em: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2024BmBe..18607277L/abstract>. Acesso em: 7 jan. 2025.

LI, L.; COPPOLA, E.; RINE, J.; MILLER, J. Catalytic hydrothermal conversion of triglycerides to non-ester biofuels. **Energy & fuels: an American Chemical Society journal**, v. 24, n. 2, p. 1305-1315, 2010. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/231274586_Catalytic_Hydrothermal_Conversion_of_Triglycerides_to_Non-ester_Biofuels. Acesso em: 11 jan. 2025.

LIANG JING; EL-HOUJEIRI, H.; MONFORT, J.-C.; LITTLEFIELD, J.; AL-QAHTANI, A.; DIXIT, Y.; SPETH, R. L.; BRANDT, A. R.; MASNADI, M. S.; MACLEAN, H. L.; PELTIER, W.; GORDON, D.; BERGERSON, J. A. Understanding variability in petroleum jet fuel life cycle greenhouse gas emissions to inform aviation decarbonization. **Nature Communications**, v. 13, n. 7853, 2022. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41467-022-35392-1>. Acesso em: 6 fev. 2025.

LIMA, A. C. S. Itaipu recebe a primeira planta de produção de petróleo sintético a partir de biogás do BrasilFoco é a geração de combustível sustentável para aviação (SAF, na sigla em inglês). Evento teve a participação dos ministros Silvano Costa Filho (Portos e Aeroportos) e Luciana Santos (Ciência e Tecnologia). **SERGIAS**, 21 jun. 2024. Disponível em: <https://www.sergiasegas.com.br/2024/06/21/itaipu-recebe-a-primeira-planta-de-producao-de-petroleo-sintetico-a-partir-de-biogas-do-brasilfoco-e-a-geracao-de-combustivel-sustentavel-para-aviacao-saf-na-sigla-em-ingles-evento-teve-a-particip/>. Acesso em: 5 fev. 2025.

LIMA JUNIOR, E. B.; OLIVEIRA, G. S.; SANTOS, A. C. O.; SCHNEKENBERG, G. F. Análise documental com percurso metodológico na pesquisa qualitativa. **Cadernos da Fucamp**, v. 20, n. 44, p.1-16, jan.2021. Disponível em: <https://revistas.fucamp.edu.br/index.php/cadernos/article/view/2356>. Acesso em: 27 jan. 2025.

MALODE, S. J.; PRABHU, K. K.; MASCARENHAS, R. J.; SHETTI, N. P.; AMINABHAVI, T. M. Recent advances and viability in biofuel production. **Energy Conversion and Management**: X, v. 10, n. 100070, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590174520300428>. Acesso em: 12 jan. 2025.

MARIYAM, S.; ALTHERBAWI, M.; MCKAY, G.; AL-ANSARI, T. Converting waste into Sustainable Aviation Fuel (SAF): A systematic literature review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 226, p. 116380, 2026. Disponível em: https://manara.qnl.qa/articles/journal_contribution/Converting_waste_into_Sustainable_Aviation_Fuel_SAF_A_systematic_literature_review/30447431. Acesso em: 10 nov. 2025.

MARTINEZ-VALENCIA, L.; GARCIA-PEREZ, M.; WOLCOTT, M. P. Supply chain configuration of sustainable aviation fuel: review, challenges, and pathways for including environmental and social benefits. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 152, p. 111680, 2021. Disponível em: <https://ideas.repec.org/a/eee/rensus/v152y2021ics1364032121009540.html>. Acesso em: 16 jan. 2025.

MASSARO, M. C.; BIGA, R.; KOLISNICHENKO, A.; MAROCCO, P. Potential and technical challenges of on-board hydrogen storage technologies coupled with fuel cell systems for aircraft electrification. **Journal of power sources**, v. 555, n. 232397, p. 232397, 2023. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/365597493_Potential_and_technical_challenges_of_on-board_hydrogen_storage_technologies_coupled_with_fuel_cell_systems_for_aircraft_electrification. Acesso em: 12 jan. 2025.

MEURER, A.; KERN, J. Fischer–Tropsch synthesis as the key for decentralized sustainable kerosene production. **Energies**, v. 14, n. 7, p. 1836, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/7/1836>. Acesso em: 12 jan. 2025.

MINAYO, M. C. S. (org.). **Pesquisa social: teoria, método e criatividade**. 26. ed. Petrópolis: Vozes, 2007.

MOZZATO, A. R.; GRZYBOVSKI, D. Análise de conteúdo como técnica de análise de dados qualitativos no campo da administração: potencial e desafios. **Revista de Administração Contemporânea**, v. 15, n. 4, p. 731-747, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rac/a/YDnWhSkP3tzfXdb9YRLCPjn/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 10 nov. 2025.

MURPHY, H. T.; O'CONNELL, D. A.; RAISON, R. J.; WARDEN, A. C.; BOOTH, T. H.; HERR, A.; BRAID, A. L.; CRAWFORD, D. F.; HAYWARD, J. A.; JOVANOVIC, T.; MCIVOR, J. G.; O'CONNOR, M. H.; POOLE, M. L.; DI PRESTWIDGE; RAISBECK-BROWN, N.; RYE, L. Biomass production for sustainable aviation fuels: a regional case study in Queensland. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 44, p. 738-750, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032115000222>. Acesso em: 8 jan. 2025.

NG, K. S.; FAROOQ, D.; YANG, A. Global biorenewable development strategies for sustainable aviation fuel production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 150, p. 111502, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032121007814>. Acesso em: 2 jan. 2025.

NOGUEIRA, A. C. A. **Transição energética no contexto do desenvolvimento rural: análise da convergência entre políticas públicas de diferentes setores**. 2019. Dissertação (Mestrado em Políticas Públicas e Desenvolvimento) – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, Brasília, 2019. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/sites/images/mestrado/turma3/anna-carolina-de-andrade-nogueira.pdf>. Acesso em: 6 fev. 2025.

O'MALLEY, J.; PAVLENKO, N.; SEARLE, S. Estimating sustainable aviation fuel feedstock availability to meet growing European Union demand. **International Council on Clean Transportation**, Berlin, Germany, 2021. Disponível em: <https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/06/Sustainable-aviation-fuel-feedstock-eu-mar2021.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2025.

PAGEL, U. R.; CAMPOS, A. F.; CAROLINO, J. Análise dos principais desafios ao desenvolvimento das energias renováveis no Brasil. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO, 11., 2018, Cuiabá. **Anais** [...]. Cuiabá: CBPE, 2018. Disponível em: https://engenhariaedesenvolvimentosustentavel.ufes.br/sites/engenhariaedesenvolvimentosustentavel.ufes.br/files/field/anexo/artigo_analise_dos_principais_desafios_2.pdf. Acesso em: 4 fev. 2025.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇA CLIMÁTICA. **Mudança do clima 2023**: relatório síntese. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2023. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-do-ipcc/arquivos/pdf/copy_of_IPCC_Longer_Report_2023_Portugues.pdf. Acesso em: 3 fev. 2025.

PALTSEV, S.; GURGEL, A.; MORRIS, J.; CHEN, H.; ALLROGGEN, F.; KEOGH, N. Sustainable Decarbonization of Aviation in Latin America. **Center for Sustainability Science and Strategy**, v. 1, n. 14. p. 1-57, 2024. Disponível em: <https://cs3.mit.edu/publication/118414>. Acesso em: 5 ago. 2025.

PASA, V. M. D.; SCALDADAFERRI, C. A.; DOS SANTOS OLIVEIRA, H. Main feedstock for sustainable alternative fuels for aviation. *In*: **Sustainable alternatives for aviation fuels**. [S.l.]: Elsevier, 2022. p. 69-102.

PEREIRA JR., J. Japão estabelece metas para aviação sustentável até 2030. **Economic News**, 6 maio 2024. Disponível em: <https://economicnewsbrasil.com.br/2024/05/06/japao-estabelece-metas-para-aviacao-sustentavel-ate-2030/>. Acesso em: 10 ago. 2025.

PIMENTEL, F. **O fim da era do petróleo e a mudança do paradigma energético mundial**: perspectivas e desafios para a atuação diplomática brasileira. Brasília: Fundação Alexandre Gusmão, 2011. Disponível em: https://funag.gov.br/loja/download/838-Fim_da_Era_do_Petroleo_e_a_Mudanca_do_Paradigma_Energetico_Mundial_O.pdf. Acesso em: 4 fev. 2025.

PINTO, T. P.; VARGAS, D. B.; GURGEL, A. C.; VALENTE, F. **Financiamento climático**: realidade e desafios. São Paulo: Observatório de Conhecimento e Inovação em Bioeconomia, Fundação Getúlio Vargas, 2023. Disponível em: https://agro.fgv.br/sites/default/files/2023-07/eesp_relatorio_financiamento-climatico-ap1.pdf. Acesso em: 4 fev. 2025.

PODER360. Aéreas resistem à mudança para combustível sustentável, diz estudo. **Poder360**, 4 dez. 2024. Disponível em: <https://www.poder360.com.br/poder-internacional/companhias-aereas-falham-em-adotar-combustivel-sustentavel-diz-estudo/>. Acesso em: 20 jan. 2025.

POLBUREE, P.; YONGMANITCHAI, W.; LERTWATTANASAKUL, N.; OHASHI, T.; FUJIYAMA, K.; LIMTONG, S. Characterization of oleaginous yeasts accumulating high levels of lipid when cultivated in glycerol and their potential for lipid production from biodiesel-derived crude glycerol. **Fungal biology**, v. 119, n. 12, p. 1194-1204, 2015. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26615742/>. Acesso em: 13 jan. 2025.

PRADO, C. E. R. **Internalização no direito brasileiro da obrigação de compensação de carbono pelas companhias aéreas no âmbito do Carbon Offset and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA)**. Dissertação (Mestrado em Direito) – Universidade de Brasília, Brasília, 2021. Disponível em: http://www.rlbea.unb.br/jspui/bitstream/10482/42988/1/2021_CarlosEduardoResendePrado.pdf. Acesso em: 4 fev. 2025.

PRATAMA, J. H. et al. Readiness Analysis for implementing green diesel as sustainable aviation fuels in Indonesia. *In*: AREPRASERT, C. et al. (ed.). **Proceedings of the International Conference on Sustainable Energy and Environmental Technology for Circular Economy**: SEECE 2024. Singapore: Springer, 2025. p. 149-157. Springer Proceedings in Energy. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-981-96-2306-8_17. Acesso em: 18 out. 2025.

PROQR. **Combustíveis alternativos sem impactos climáticos**: estudo sobre governança e políticas públicas de incentivo à produção de combustíveis sustentáveis de aviação. 2022. Disponível em: <https://ptx-hub.org/wp-content/uploads/2022/04/Governanca-e-Politicas-Publicas-para-SAF-3.pdf>. Acesso em: 2 fev. 2025.

RAMAN, R.; GUNASEKAR, S.; DAVID, L. D.; RAHMAT, A. F.; NEDUNGADI, P. Aligning sustainable aviation fuel research with sustainable development goals: trends and thematic analysis. **Energy Reports**, v. 12, p. 2642-2652, dec. 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484724005651>. Acesso em: 9 jan. 2025.

RATINAUD, P.; MARCHAND, P. Apports de la classification descendante hiérarchique et de l'analyse de similitude à la description des représentations sociales. **Les Cahiers Internationaux de Psychologie Sociale**, n. 95, p. 305-318, 2012.

REINERT, M. **Alceste**: une méthode statistique de classification des textes en classes homogènes. 1983.

REVISTA BRASILEIRA DE AVIAÇÃO CIVIL. Florianópolis, v. 4, n. 2, p. 192-242, abr./maio 2024.

REVISTA DE GESTÃO AMBIENTAL E SUSTENTABILIDADE. Florianópolis, v. 6, n. 2, p. 534-552, jul./set. 2017.

REVISTA DE GESTÃO AMBIENTAL E SUSTENTABILIDADE. Florianópolis, v. 9, n. 4, p. 191-226, out/dez. 2020.

RITCHIE, H. What share of global CO₂ emissions come from aviation? Aviation accounts for 2.5% of global CO₂ emissions. But it has contributed around 4% to global warming to date. **Our World in Data**, 8 April, 2024. Disponível em: <https://ourworldindata.org/global-aviation-emissions#:~:text=Aviation%20accounts%20for%202.5%25%20of,to%20global%20warming%20to%20date.&text=Flying%20is%20one%20of%20the,How%20does%20t his%20add%20up%3F>. Acesso em: 24 jan. 2025.

RIVAS-INTERIAN, R. M.; SANCHEZ-RAMIREZ, E.; QUIROZ-RAMÍREZ, J. J.; SEGOVIA-HERNANDEZ, J. G. Feedstock planning and optimization of a sustainable distributed configuration biorefinery for biojet fuel production via ATJ process. **Biofuels, bioproducts & biorefining**, v. 17, n. 1, p. 71–96, 2023. Disponível em: <https://scijournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/bbb.2425>. Acesso em: 14 jan. 2025.

ROJAS-MICHAGA, M. F.; MICHAİLOS, S.; CARDOZO, E.; AKRAM, M.; HUGHES, K. J.; INGHAM, D.; POURKASHANIAN, M. Sustainable Aviation Fuel (SAF) production through power-to-liquid (PtL): a combined techno-economic and life cycle assessment. **Energy conversion and management**, v. 292, n. 117427, p. 117427, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890423007732>. Acesso em: 14 jan. 2025.

RONY, Z. I.; MOFIJUR, M.; HASAN, M. M.; AHMED, S. F.; ALMOMANI, F.; RASUL, M. G.; JAHIRUL, M. I.; LOKE SHOW, P.; KALAM, M. A.; MAHLIA, T. M. I. Unanswered issues on decarbonizing the aviation industry through the development of sustainable aviation fuel from microalgae. **Fuel**, v. 334, n. 126553, p. 126553, 2023. Disponível em: <https://opus.lib.uts.edu.au/handle/10453/165664>. Acesso em: 14 jan. 2025.

SALVIATI, M. E. Análise de conteúdo qualitativa: uma proposta para a análise de dados qualitativos em investigações científicas. **Revista Pesquisa Qualitativa**, v. 5, n. 8, p. 23-41, 2017.

SCHMIDT, P.; BATTEIGER, V.; ROTH, A.; WEINDORF, W.; RAKSHA, T. Power-to-liquids as renewable fuel option for aviation: a review. **Chemie Ingenieur Technik**, v. 90, n. 1-2, p. 127-140, 2018. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/cite.201700129>. Acesso em: 15 jan. 2025.

SHAHRIAR, M. F.; KHANAL, A. The current techno-economic, environmental, policy status and perspectives of sustainable aviation fuel (SAF). **Fuel**, v. 325, n. 124905, p. 124905, 2022. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4040983. Acesso em: 18 jan. 2025.

SHEHAB, M.; MOSHAMMER, K.; FRANKE, M.; ZONDERVAN, E. Analysis of the potential of meeting the EU's Sustainable Aviation Fuel targets in 2030 and 2050. **Sustainability**, v. 15, n. 12, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/12/9266>. Acesso em: 16 jan. 2025.

SI-JIA XUE; ZHE CHI; YU ZHANG; YAN-FENG LI; GUANG-LEI LIU; HONG JIANG; ZHONG HU; ZHEN-MING CHI. Fatty acids from oleaginous yeasts and yeast-like fungi and their potential applications. **Critical reviews in biotechnology**, v. 38, n. 7, p. 1049-1060, 2018. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29385857/>. Acesso em: 10 nov. 2025.

SILVA, E. C. C. **Análise de sistemas integrados e desafios à transição energética global**. 2024. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável) – Universidade de Brasília, Brasília, 2024. Disponível em: http://www.realp.unb.br/jspui/bitstream/10482/51006/1/EmillyCarolineCostaSilva_DISERT.pdf. Acesso em: 5 fev. 2025.

SILVA, J. Q. **Biodieseis leves derivado dos óleos da macaúba e do palmiste: propriedades de misturas com o querosene na perspectiva de um combustível alternativo de aviação**. 2019. Dissertação (Mestrado em Biocombustíveis) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Uberlândia, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/24768/1/BiodieseisLevesDerivado.pdf>. Acesso em: 6 fev. 2025.

SILVA, V. M. E. S. **Estudo da rota tecnológica power-to-liquids (PtL) para a produção de bioquerosene sustentável – uma alternativa para o Brasil**. 2020. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia de Biocombustíveis e Petroquímica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <http://objdig.ufrj.br/61/dissert/894869.pdf>. Acesso em: 6 fev. 2025.

SOARES, P. G. **Esquema de redução de emissões da Aviação Civil Internacional (CORSIA/ICO): desafios e oportunidades**. São Paulo: IDESAM, 2018. Disponível em: <https://idesam.org/wp-content/uploads/2018/08/corsia-oportunidades-para-o-brasil-v2.pdf>. Acesso em: 4 fev. 2025.

SONG, G.; AN, H.; HOU, Y.; TONG, H.; LIU, J.; TANG, X.; YI, H. Review of the historical trends and decarbonization pathways of the civil aviation sector. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 222, p. 115927, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.115927>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032125006008?via%3Dihub>. Acesso em: 10 nov. 2025.

SOUSA, A. R.; SANTOS, F. M.; OLIVEIRA, C. P. Aplicação da análise de conteúdo de Bardin em pesquisas qualitativas: aspectos teóricos e práticos. **Revista Brasileira de Ciências Sociais**, v. 35, n. 103, p. 97-116, 2020.

SOUTH, J.; JONES, F.; LEE, A. Qualitative data analysis in applied social sciences: using software to support thematic coding. **International Journal of Social Research Methodology**, v. 25, n. 1, p. 89-105, 2022.

SOUZA, N. S. C.; BECHEPECHE, A. P. Os biocombustíveis e a inovação de ruptura na aviação civil: the biofuels and the disruptive innovation in the civil aviation. **Revista Brasileira De Aviação Civil & Ciências Aeronáuticas**, v. 3, n. 5, p. 202-230, 2023. Disponível em: <https://rbaccia.emnuvens.com.br/revista/article/view/198>. Acesso em: 10 nov. 2025.

STRATTON, R.; WONG, H. M.; HILEMAN, J. I. **Life cycle greenhouse gas emissions from alternative jet fuels**: partnership for air transportation noise and emissions reduction. 2010. Disponível em: <https://web.mit.edu/aeroastro/partner/reports/proj28/partner-proj28-2010-001.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2025.

SUDARSHAN, S. Sustainability in Indian aviation: challenges, strategies, and future prospects to reduce carbon emission. **International Journal of Scientific Research in Engineering and Management**, v. 9, n. 5, p. 1-9, 2025. Disponível em: <https://ijsrem.com/download/sustainability-in-indian-aviation-challenges-strategies-and-future-prospects-to-reduce-carbon-emission/>. Acesso em: 10 nov. 2025.

SU-UNGKAVATIN, P.; TIRUTA-BARNA, L.; HAMELIN, L. Biofuels, electrofuels, electric or hydrogen? a review of current and emerging sustainable aviation systems. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 96, p. 101073, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360128523000035>. Acesso em: 12 jan. 2025.

SURESH, R.; RAJENDRAN, S.; DUTTA, K. An overview on light assisted techniques for waste-derived hydrogen fuel towards aviation industry. **Fuel**, v. 334, n. 126645, p. 126645, 2023. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/365358171_An_overview_on_light_assisted_techniques_for_waste-derived_hydrogen_fuel_towards_aviation_industry. Acesso em: 19 jan. 2025.

TIBURCIO, R. S.; MACÊDO, T. R.; PEREIRA NETO, A. M. Brazilian biofuels policy (RenovaBio): overview and generation of decarbonization credits by biodiesel production facilities. **Energy for Sustainable Development**, v. 77, p. 101334, 2023. Disponível em: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2023ESusD..7701334T/abstract>. Acesso em: 10 nov. 2025.

TRIBUNAL DE CONTAS EUROPEU. **Apoio da UE aos biocombustíveis sustentáveis nos transportes**: um caminho pouco claro a seguir. 2023. Disponível em: https://www.eca.europa.eu/ECAPublications/SR-2023-29/SR-2023-29_PT.pdf. Acesso em: 4 fev. 2025.

UNDAVALLI, V.; OLANREWAJU, G.-O. O. B.; BOYLU, R.; WEI, C. Recent advancements in sustainable aviation fuels. **Progress in Aerospace Sciences**, v. 136, n. 4, p. 100876, jan. 2023. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/366055694_Recent_advancements_in_sustainable_aviation_fuels. Acesso em: 7 jan. 2025.

UNDAVALLI, V.; OLATUNDE, O. B. G.; BOYLU, R.; WEI, C.; HAEKER, J.; HAMILTON, J.; KHANDELWAL, B. Recent advancements in sustainable aviation fuels. **Progress in Aerospace Sciences**, v. 136, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0376042122000689>. Acesso em: 16 jan. 2025.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. Combustíveis de aviação sustentáveis. **U.S. Department of Energy**, 2024. Disponível em: https://www-energy-gov.translate.goog/eere/bioenergy/sustainable-aviation-fuels?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=pt&_x_tr_hl=pt&_x_tr_pto=sge#:~:text=Um%20menu%20de%20mat%C3%A9rias%2Dprimas,Culturas%20energ%C3%A9ticas%20dedicadas. Acesso em: 24 jan. 2025.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. Office of Energy Efficiency & Renewable Energy. **Sustainable Aviation Fuel (SAF) grand challenge: building supply chains**. 2024. Disponível em: <https://www.energy.gov/eere/bioenergy/articles/saf-grand-challenge-building-supply-chains-request-information-summary>. Acesso em: 4 fev. 2025.

VINHADO, S. F. **Combustíveis Sustentáveis de Aviação (SAF): novos desafios para a regulação**. ANP, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/apresentacoes-palestras/2024/arquivos/2024-02-21-fabio-vinhado-workshopibp.pdf>. Acesso em: 10 de ago. 2025.

VINHADO, F. S. **SAF: regulamentação e rotas tecnológicas**. ANP, 2024. Disponível em: <https://hotsites.anac.gov.br/conexaosaf/assets/docs/Apresenta%C3%A7%C3%A3o%20rotas%20tecnol%C3%B3gicas%20-%2015.08.2024.pdf>. Acesso em: 6 fev. 2025.

VITAL, M. H. F. Aquecimento global: acordos internacionais, emissões de CO₂ e o surgimento dos mercados de carbono no mundo. **BNDES Set.**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 48, p. 167-244, set. 2018. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/16043/2/PRArt214085_Aquecimento%20global_compl_P.pdf. Acesso em: 4 fev. 2025.

WANDELT, S.; ZHANG, Y.; SUN, X. Sustainable aviation fuels: a meta-review of surveys and key challenges. **Journal of the Air Transport Research Society**, v. 4, jun. 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2941198X24000678?via%3Dihub>. Acesso em: 13 jan. 2025.

WATSON, M. J.; MACHADO, P. G.; SILVA, A. V.; SALTAR, Y.; RIBEIRO, C. O.; NASCIMENTO, C. A. O.; DOWLING, A. W. Sustainable aviation fuel technologies, costs, emissions, policies, and markets: a critical review. **Journal of cleaner production**, v. 449, n. 141472, p. 141472, 2024. Disponível em: <https://www3.eco.unicamp.br/artigos-academicos/sustainable-aviation-fuel-technologies-costs-emissions-policies-and-markets-a-critical-review>. Acesso em: 8 jan. 2025.

YANG, J.; XIN, Z.; HE, Q.; CORSCADDEN, K.; NIU, H. An overview on performance characteristics of bio-jet fuels. **Fuel**, v. 237, p. 916–936, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016236118317927>. Acesso em: 22 jan. 2025.

YUSAF, Talal et al. Sustainable aviation–hydrogen is the future. **Sustainability**, v. 14, n. 1, p. 548, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/1/548>. Acesso em: 9 jan. 2025.

ZAPAROLLI, D. Empresas aceleram para produzir combustível sustentável de aviação em 2027. **Valor Econômico**, 2024. Disponível em: <https://valor.globo.com/publicacoes/especiais/revista-inovacao/noticia/2024/12/19/empresas-aceleram-para-produzir-combustivel-sustentavel-de-aviacao-em-2027.ghtml>. Acesso em: 4 fev. 2025.

APÊNDICE A – ROTEIRO DE ENTREVISTA COM OS ESPECIALISTAS

- 1) Qual deve ser o processo e a metodologia de monitoramento e reporte de emissões pelos operadores aéreos à ANAC?
- 2) Quais metodologias e processos devem ser utilizados para verificação do cumprimento do mandato pelos operadores aéreos?
- 3) Qual deve ser o volume mínimo de emissões para fins de dispensa de cumprimento do mandato (Art. 10, § 6º, inciso I, da Lei 14993/2024)?
- 4) O que deverá ser considerado “aeroporto sem acesso a SAF” (Art. 10, § 6º, inciso II, da Lei 14993/2024)?
- 5) Quais meios alternativos ao SAF deverão ser considerados para cumprimento da meta em caso de indisponibilidade de SAF (Art. 10, caput e § 2º da Lei 14993/2024)?
- 6) Como os meios alternativos de cumprimento podem ser utilizados para evitar distorções de mercado?
- 7) Quando esses meios alternativos poderão ser utilizados de forma a não desincentivar os investimentos no mercado de SAF no Brasil?

APÊNDICE B – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Título do Estudo: Combustível Sustentável de Aviação – SAF: Políticas Públicas do Governo Federal para o Setor e Legislações Correlatas.

Pesquisador Responsável: **Luís Felipe de Oliveira Nabuco de Araújo**

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

O (A) Senhor (a) está sendo convidado (a) a participar de uma entrevista. Por favor, leia este documento com bastante atenção antes de assiná-lo. Caso haja alguma palavra ou frase que o (a) senhor (a) não consiga entender, converse com o pesquisador responsável pelo estudo ou com um membro da equipe desta pesquisa para esclarecê-los.

A proposta deste termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE) é explicar tudo sobre o estudo e solicitar a sua permissão para participar da referida entrevista.

O objetivo desta entrevista é buscar a opinião de especialistas sobre o mercado de SAF no Brasil e no Mundo, contribuindo para o meu projeto de mestrado acerca do tema.

Se o(a) Sr.(a) aceitar participar da entrevista, os procedimentos envolvidos em sua participação são os seguintes: trata-se de um conjunto de perguntas estratégicas, organizadas em diferentes eixos temáticos. Entre eles, destacam-se a regulamentação vigente, os incentivos econômicos, os desafios tecnológicos, as estratégias de implementação e o impacto do SAF no setor aéreo. A estrutura do material será pensada para permitir uma abordagem flexível, possibilitando tanto entrevistas semiestruturadas quanto discussões mais abertas, adaptáveis ao perfil do entrevistado.

A proposta é que o pesquisador conduza entrevistas com atores-chave do setor, incluindo representantes de agências reguladoras como a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), Gás Natural e a Agência Nacional do Petróleo e Biocombustíveis (ANP) e Secretaria Nacional de Aviação Civil - SAC, além de especialistas em biocombustíveis, executivos de companhias aéreas e pesquisadores acadêmicos. A partir dessas entrevistas, será possível coletar percepções sobre as barreiras à adoção do SAF, os modelos internacionais bem-sucedidos, a viabilidade econômica e ambiental e as perspectivas para o futuro do combustível sustentável na aviação brasileira.

Sua participação na entrevista é totalmente voluntária, ou seja, não é obrigatória. Caso o(a) Sr.(a) decida não participar, ou ainda, desistir de participar e retirar seu consentimento durante a pesquisa, não haverá nenhum prejuízo ou sanção. Não está previsto nenhum tipo de pagamento pela sua participação na entrevista e o(a) Sr.(a) não terá nenhum custo com respeito aos procedimentos envolvidos.

Solicitamos também sua autorização para apresentar os resultados deste estudo no meu projeto de dissertação para o mestrado profissionalizante em Gestão

Pública pela Universidade de Brasília – UnB, podendo ser publicado em revista científica nacional e/ou internacional. Por ocasião da publicação dos resultados, seu nome será mantido em sigilo absoluto, bem como em todas AS fases da entrevista.

É assegurada a assistência durante toda a entrevista, bem como é garantido ao Sr.(a), o livre acesso a todas as informações e esclarecimentos adicionais sobre o estudo e suas consequências, enfim, tudo o que o(a) Sr.(a) queira saber antes, durante e depois da sua participação.

Caso o(a) Sr.(a) tenha dúvidas, poderá entrar em contato com o pesquisador responsável Luís Felipe de Oliveira Nabuco de Araújo, pelo telefone 61 99984-9636, e/ou pelo e-mail luis.nabuco@gmail.com.

Esse Termo é assinado em duas vias, sendo uma do(a) Sr.(a) e a outra para o pesquisador.

Declaração de Consentimento

Concordo em participar da entrevista intitulada: “Combustível Sustentável de Aviação – SAF: Políticas Públicas do Governo Federal para o Setor e Legislações Correlatas”.

Nome do participante ou responsável	Data: ____/____/____
Assinatura do participante ou responsável	

Eu, Luís Felipe de Oliveira Nabuco de Araújo, declaro cumprir todas as exigências legais e regulamentares envolvidas.

Assinatura e carimbo do Pesquisador	Data: ____/____/____
--	------------------------------------