



DESCARBONIZAÇÃO DA AVIAÇÃO E TRANSIÇÃO ENERGÉTICA: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE AS LIMITAÇÕES ESTRUTURAIS E O POTENCIAL ESTRATÉGICO DO BRASIL E DA AMÉRICA LATINA

AVIATION DECARBONIZATION AND ENERGY TRANSITION: A LITERATURE REVIEW ON STRUCTURAL LIMITATIONS AND THE STRATEGIC POTENTIAL OF BRAZIL AND LATIN AMERICA

DESCARBONIZACIÓN DE LA AVIACIÓN Y TRANSICIÓN ENERGÉTICA: UNA REVISIÓN DE LA LITERATURA SOBRE LAS ESTRUCTURALES Y EL POTENCIAL ESTRATÉGICO DE BRASIL Y AMÉRICA LATINA

PABLO GUILHERME PERRUT NASCIMENTO | pablo.nascimento3@aluno.cps.sp.gov.br | FATEC SJC
MARIA GORETI LOPES CEPINHO | maria.cepinho@cps.sp.gov.br | Universidade de Taubaté
ROQUE ANTÔNIO DE MOURA | roque.moura@cps.sp.gov.br | FATEC São José dos Campos

RESUMO

A descarbonização da aviação representa um dos principais desafios da transição energética global, especialmente devido à elevada dependência do setor aeronáutico de combustíveis fósseis com alta densidade energética. Nesse contexto, os combustíveis sustentáveis de aviação (*Sustainable Aviation Fuels* - SAF) vêm sendo considerados a alternativa mais viável para redução das emissões de carbono no curto e médio prazo, principalmente pela compatibilidade com aeronaves, motores e infraestrutura aeroportuária já existentes. O presente trabalho tem como objetivo analisar criticamente o processo de descarbonização da aviação civil, discutindo políticas internacionais, limitações tecnológicas, desafios econômicos e o potencial estratégico do Brasil e da América Latina na futura cadeia global de produção de SAF. A metodologia utilizada baseia-se em revisão bibliográfica exploratória, fundamentada em artigos científicos, relatórios institucionais e documentos técnicos relacionados à transição energética da aviação. Os resultados indicam que diferentes regiões adotam estratégias distintas de descarbonização, envolvendo mecanismos regulatórios, incentivos industriais e políticas de inovação tecnológica. No caso brasileiro, observou-se elevado potencial produtivo associado à disponibilidade de biomassa, infraestrutura logística e experiência consolidada em biocombustíveis. Entretanto, persistem desafios relacionados à integração entre políticas públicas, financiamento, infraestrutura industrial e escalabilidade produtiva, com oportunidade para se realizar uma análise PESTEL. Conclui-se que o protagonismo brasileiro na produção de SAF dependerá da capacidade de articulação entre desenvolvimento tecnológico, planejamento territorial, logística e regulação ambiental.

Palavras-chave: Descarbonização da aviação; Combustível sustentável de aviação; Transição energética; SAF; Biocombustíveis.

ABSTRACT

The decarbonization of aviation represents one of the main challenges of the global energy transition, particularly due to the aviation sector's strong dependence on fossil fuels with high energy density. In this context, Sustainable Aviation Fuels (SAF) have emerged as the most viable alternative for reducing carbon emissions in the short and medium term, mainly because of their compatibility with existing aircraft, engines, and airport infrastructure. This study aims to critically analyze the aviation decarbonization process, discussing international policies, technological limitations, economic challenges, and the strategic potential of Brazil and Latin America within the future global SAF production chain. The methodology is based on an exploratory bibliographic review supported by scientific articles, institutional reports, and technical documents related to aviation energy transition. The results indicate that different regions adopt distinct decarbonization strategies involving regulatory mechanisms, industrial incentives, and technological innovation policies. In the Brazilian case, significant productive potential was identified due to biomass availability, logistical infrastructure, and consolidated experience in biofuels. However, challenges related to public policy integration, financing, industrial infrastructure, and production scalability remain with an opportunity to conduct a PESTEL analysis. The study concludes that Brazil's leading role in SAF production will depend on the articulation between technological development, territorial planning, logistics, and environmental regulation.

Keywords: Aviation decarbonization; Sustainable aviation fuel; Energy transition; SAF; Biofuels.

RESUMEN

La descarbonización de la aviación representa uno de los principales desafíos de la transición energética global, especialmente debido a la elevada dependencia del sector aeronáutico de combustibles fósiles con alta densidad energética. En este contexto, los combustibles sostenibles de aviación (Sustainable Aviation Fuels – SAF) han sido considerados la alternativa más viable para la reducción de las emisiones de carbono a corto y mediano plazo, principalmente por su compatibilidad con las aeronaves, motores e infraestructura aeroportuaria ya existentes. El presente trabajo tiene como objetivo analizar críticamente el proceso de descarbonización de la aviación civil, discutiendo políticas internacionales, limitaciones tecnológicas, desafíos económicos y el potencial estratégico de Brasil y América Latina en la futura cadena global de producción de SAF. La metodología utilizada se basa en una revisión bibliográfica exploratoria fundamentada en artículos científicos, informes institucionales y documentos técnicos relacionados con la transición energética de la aviación. Los resultados indican que diferentes regiones adoptan estrategias distintas de descarbonización, involucrando mecanismos regulatorios, incentivos industriales y políticas de innovación tecnológica. En el caso brasileño, se identificó un elevado potencial productivo asociado a la disponibilidad de biomasa, infraestructura logística y experiencia consolidada en biocombustibles. Sin embargo, aún persisten desafíos relacionados con la integración de políticas públicas, financiamiento, infraestructura industrial y escalabilidad productiva con la oportunidad de realizar un análisis PESTEL. Se concluye que el protagonismo brasileño en la producción de SAF dependerá de la articulación entre desarrollo tecnológico, planificación territorial, logística y regulación ambiental.

Palabras clave: Descarbonización de la aviación; Sustainable aviation fuels; Transición energética; SAF; Biocombustibles.

1. INTRODUÇÃO

A crescente pressão internacional por metas de neutralidade de carbono vem alterando de maneira significativa a forma como diferentes setores industriais passaram a estruturar suas estratégias de desenvolvimento energético e ambiental. Dentro desse cenário, a aviação civil ocupa posição particularmente complexa.

Embora o setor responda por aproximadamente 2% a 2,5% das emissões globais de dióxido de carbono (CO₂), seu processo de descarbonização apresenta dificuldades técnicas significativamente superiores às observadas em outros segmentos do transporte (Ritchie, 2024; IEA, 2025).

A aviação comercial depende diretamente de combustíveis com elevada densidade energética, capazes de garantir autonomia operacional, segurança e viabilidade econômica em voos de média e longa distância.

Ao contrário do transporte terrestre, cuja eletrificação já apresenta relativa consolidação em determinados mercados, a aviação ainda enfrenta limitações tecnológicas significativas relacionadas às alternativas energéticas de baixa emissão de carbono.

As tecnologias ainda enfrentam limitações importantes para aplicação em larga escala na aviação comercial, especialmente em operações de média e longa distância. Questões relacionadas à autonomia operacional, às limitações energéticas das baterias e aos desafios associados à

produção, armazenamento e utilização do hidrogênio ainda restringem a viabilidade imediata dessas alternativas no setor aéreo (Hu *et al.*, 2022; Wang *et al.*, 2024).

Nesse contexto, os combustíveis sustentáveis de aviação ou SAF (*sustainable aviation fuels*) passaram a ocupar posição central nas estratégias internacionais de mitigação climática do setor aéreo. Produzidos a partir de matérias-primas renováveis ou residuais, os SAF apresentam potencial significativo de redução das emissões de carbono ao longo do ciclo de vida quando comparados ao querosene fóssil convencional (Capaz *et al.*, 2024; Raihan, 2025).

2. REVISÃO DA LITERATURA

A consolidação de um combustível sustentável para a aviação (SAF) é uma importante alternativa de curto e médio prazo para redução das emissões de gases efeito estufa na aviação, o que intensifica a corrida e disputas econômicas, industriais e geopolíticas relacionadas ao futuro da transição energética do setor conforme ilustra a Figura 1 quanto aos impactos econômicos e perspectivas de políticas para combustíveis de aviação sustentáveis (Watson *et al.*, 2024).

Figura 1 | Transição energética: UM elemento chave para a aviação



Fonte: Adaptado pelos Autores (2026).

O fortalecimento das políticas climáticas internacionais após o Acordo de Paris, organismos como a *International Civil Aviation Organization* (ICAO) criaram mecanismos voltados à mitigação das emissões de gases na aviação como o programa criado com o objetivo de compensar e controlar o crescimento das emissões provenientes da aviação CORSIA, acrônimo de *Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation* (ICAO, 2024).

Na União Europeia, o processo de transição energética da aviação vem sendo conduzido por meio de mecanismos regulatórios mais rigorosos, com destaque para o *European Union Emissions Trading System* (EU ETS) e para o programa *ReFuelEU Aviation*. A implementação desses programas demonstra uma estratégia baseada na utilização de mecanismos de precificação de carbono, metas obrigatórias de utilização de combustíveis sustentáveis de aviação (SAF) e participação direta dos governos na reorganização gradual do mercado aeronáutico europeu (European Commission, 2023).

Nos Estados Unidos, a estratégia de descarbonização da aviação apresenta características distintas, concentrando grande parte de seus esforços no fortalecimento da pesquisa científica (Benevides *et al.*, 2024), na ampliação da capacidade produtiva de combustíveis sustentáveis e no estímulo à inovação tecnológica voltada ao setor energético e aeronáutico buscando acelerar a consolidação de uma cadeia produtiva de SAF (DOE, 2023).

Países como China e Japão também passaram a incorporar a descarbonização da aviação com estratégias mais amplas de modernização tecnológica e fortalecimento industrial não apenas para restringir mas reduzir as emissões (Raihan, 2025).

Publicações recentes apontam que a América Latina ainda ocupa posição periférica dentro da estrutura regulatória global da descarbonização da aviação, negligenciando o potencial produtivo para expansão da cadeia de SAF como disponibilidade de biomassa, a experiência consolidada na produção de biocombustíveis e a elevada capacidade agrícola regional em futuras cadeias globais de combustíveis sustentáveis de aviação (MIT, 2025; EPE, 2024).

Estudos encontraram que a viabilidade espacial da produção de SAF no Vale do Paraíba e no Centro-Oeste reúnem condições particularmente favoráveis para expansão de uma cadeia produtiva, especialmente pela integração entre produção agrícola, infraestrutura logística e proximidade com refinarias e aeroportos estratégicos (Walter *et al.*, 2021).

2.1 DESCARBONIZAÇÃO E A AGENDA 2030 DA ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS

A introdução dos combustíveis sustentáveis de aviação (SAF) apresenta-se como o vetor mais promissor e imediato para mitigar as emissões de gases de efeito estufa no setor de transporte aéreo global com um potencial de mitigar até 65% das emissões necessárias para que a aviação atinja a neutralidade de carbono até o ano de 2050 (IATA, 2023; ODS, 2023).

A implementação do SAF impulsiona substancialmente o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) em sua meta 7 que reza sobre energia limpa e acessível com fontes renováveis conforme prescrito pela ODS 13 com ações contra a mudança global do clima por meio da redução da pegada de carbono (United Nations, 2015).

Ribeiro (2024) pondera que a efetiva consolidação no setor aeronáutico, para o alcance das metas da ODS, depende da superação de limitações estruturais severas, tais como o elevado custo de produção em comparação ao querosene fóssil tradicional e a imperiosa necessidade de regulamentações robustas que assegurem a sustentabilidade socioambiental da cadeia de suprimento de biomassa.

A descarbonização passou nos últimos anos, de uma discussão periférica dentro da agenda climática internacional para uma das questões mais complexas da transição energética contemporânea (Ritchie, 2024).

A elevada dependência de combustíveis fósseis de alta densidade energética (Correia; Viagi; Moura, 2026) faz com que a redução das emissões da aviação apresente desafios significativamente distintos daqueles observados em outros modais de transporte (Wang *et al.*, 2024).

Por exemplo, no transporte terrestre, a eletrificação avança em ritmo considerável enquanto a aviação ainda depende de soluções capazes de sustentar elevada autonomia operacional, eficiência energética e altos padrões de segurança (Hu *et al.*, 2022) e estratégias industriais em escala global (Wandelt *et al.*, 2025), planejamento energético, infraestrutura industrial e coordenação regulatória internacional (Raihan, 2025).

2.2 DESCARBONIZAÇÃO E EXPANSÃO DO SAF

Enquanto o modelo europeu combina metas obrigatórias, mercado regulado de carbono, incentivos econômicos e políticas industriais voltadas à expansão do SAF, os países latino-americanos concentram-se majoritariamente em programas de planejamento, estudos de viabilidade e propostas regulatórias ainda em consolidação (EPE, 2024).

Compulsando pela literatura encontrou-se que a efetividade das medidas energéticas ainda dependem da ampliação da capacidade industrial, da regulamentação definitiva dos mecanismos de mercado e da integração com instrumentos internacionais de mitigação climática conforme mostra a Quadro 1 (MIT, 2025; EPE, 2024).

Quadro 1 | Comparação internacional das estratégias de descarbonização da aviação

Região	Principais políticas	Estratégia predominante	SAF	Mercado de carbono	Nível regulatório
União Europeia	EU ETS, ReFuelEU Aviation, Fit for 55	Regulação climática e metas mandatórias	Mandatos obrigatórios progressivos	Sistema consolidado de cap-and-trade	Alto
Estados Unidos	SAF Grand Challenge, Inflation Reduction Act	Expansão industrial e inovação tecnológica	Incentivos fiscais e ampliação produtiva	Mercado parcial e descentralizado	Alto
China	Plano Nacional de Neutralidade Carbono	Planejamento estatal e modernização industrial	Expansão gradual do SAF	Mercado nacional em expansão	Médio-Alto
Japão	Green Growth Strategy	Eficiência energética e segurança	Incentivos à pesquisa e desenvolvimento	Integração regulatória gradual	Médio-Alto
Coreia do Sul	Carbon Neutrality Strategy 2050	Modernização tecnológica industrial	Expansão de pesquisa aplicada em SAF	Mercado regulatório consolidado	Médio
Brasil	Lei do Combustível do Futuro, ProBioQAV	Expansão produtiva em biomassa	Metas graduais de incorporação	Integração parcial ao CORSIA	Médio
América Latina	Roadmaps nacionais e estudos técnicos	Potencial produtivo e integração regional limitada	Elevado potencial associado à biomassa	Baixa integração regional	Baixo-Médio

Fonte: European Commission (2023), DOE (2023), ICAO (2024), EPE (2024), ANP (2024) e Raihan (2025).

A transição energética da aviação carece da consolidação de políticas ambientais mais rígidas, funcionando frequentemente como laboratório regulatório (ATAG, 2021).

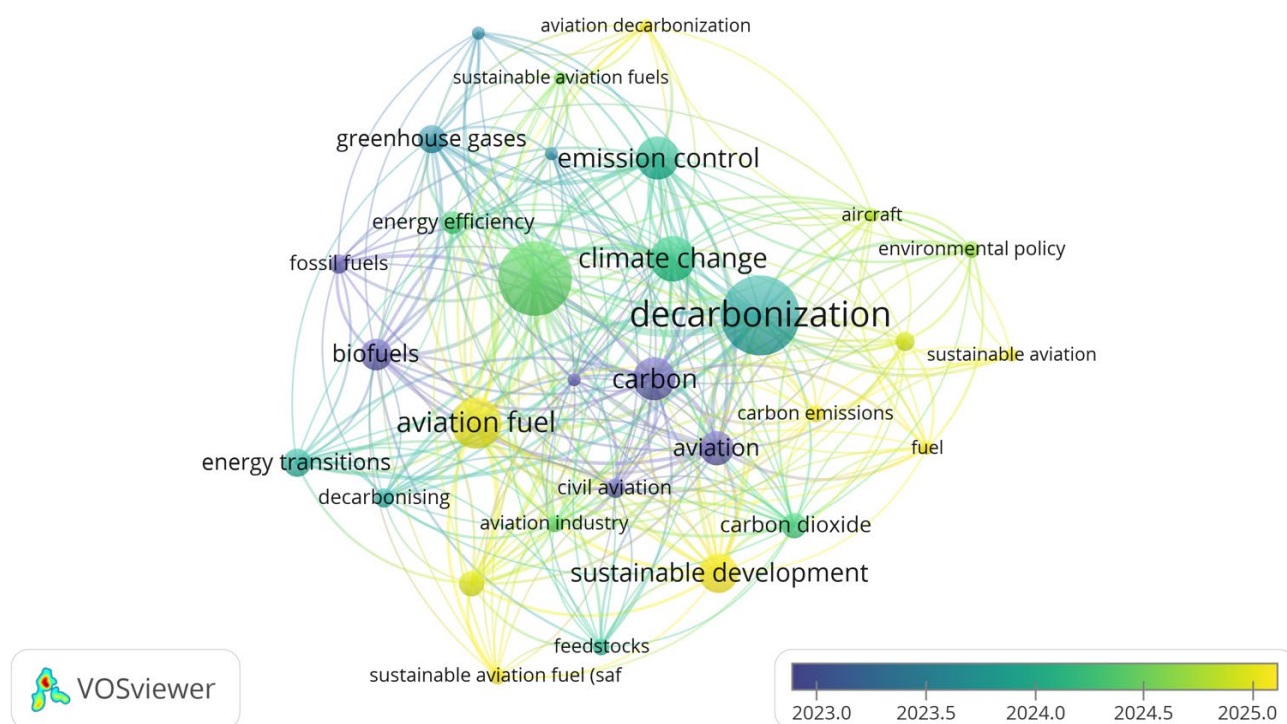
No caso da aviação brasileira, avanços recentes como a criação do ProBioQAV e a aprovação da Lei do Combustível do Futuro representam marcos relevantes para a inserção do SAF na matriz energética da aviação brasileira (Brasil, 2024).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia contou com revisão bibliográfica, análise documental e comparação internacional sobre os fundamentos conceituais sobre a descarbonização da aviação e transição energética quanto as limitações estruturais e o potencial estratégico para escalar o mercado quanto ao seu impacto econômico (Yin, 2018).

Conforme ilustra a Figura 2 foram revisadas publicações com as palavras-chave (*aviation; decarbonization; transition; carbon*) e a correlação entre palavras-chave.

Figura 2 | Rede correlação e palavras-chave no seu ano de publicação



Fonte: Elaborado pelos Autores (2026).

O mapa da rede bibliométrica gerado pelo software VosViewer ilustra que a relação e a evolução temporal das palavras-chave mais recorrentes na literatura científica sobre a descarbonização do setor aéreo tem como elementos centrais a *“decarbonization”*, *“climate change”*, *“aviation fuel”* e *“sustainable development”*, com publicações (entre 2023.0 e 2025.0), o que evidencia uma transição temática de conceitos estruturais envolvendo *“biofuels”*, *“carbon”* e *“fossil fuels”*, enquanto termos estratégicos e emergentes como *“sustainable aviation fuel (saf)”*, *“energy transitions”*, *“aviation decarbonization”* e *“sustainable development”* destacam-se na cor amarela como pesquisas mais recentes com vista a mitigar o problema das emissões poluentes.

4.RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foi realizada um análise PESTEL (Política, Econômica, Social, Tecnológica, Ambiental e Legal) por ser uma ferramenta que possibilita compreender as forças macroambientais que moldam o tema da descarbonização da aviação e o papel estratégico do Brasil e da América Latina.

4.1 FATORES POLÍTICOS

- Geopolítica dos Biocombustíveis: O Brasil e outros países da América Latina possuem um histórico de forte liderança política no setor de bioenergia (como o Proálcool e políticas de biodiesel), o que posiciona a região estrategicamente em negociações climáticas globais.
- Vontade Política e Priorização: Alinhamento de governos locais com as metas da Agenda 2030 da ONU e acordos internacionais (como o Acordo de Paris e o programa CORSIA da OACI).
- Instabilidade Institucional: Mudanças frequentes nas diretrizes governamentais e de prioridades econômicas na região podem gerar incertezas e descontinuidades em programas de incentivo à aviação verde.

4.2 FATORES ECONÔMICOS

- Potencial de Exportação de SAF: A alta capacidade de produção agrícola cria uma oportunidade econômica massiva para que o Brasil e a região se tornem os principais exportadores globais de Combustíveis Sustentáveis de Aviação (SAF) e Hidrogênio Verde (H2V).
- Limitações Estruturais de Custo: O SAF ainda possui um custo de produção significativamente mais elevado (duas a quatro vezes maior) do que o querosene de aviação fóssil tradicional.
- Necessidade de Investimento Estrangeiro: Alto custo de capital na América Latina e a necessidade de pesados investimentos em infraestrutura de biorefinarias e modernização de aeroportos.

4.3 FATORES SOCIAIS

- Pressão Pública e Consciência Ecológica: Crescente demanda da sociedade civil e de passageiros por práticas corporativas sustentáveis (ESG) no setor de turismo e transporte aéreo.
- Segurança Alimentar vs. Energética: O debate social e ético sobre o uso da terra para a produção de biomassa voltada ao SAF em detrimento da produção de alimentos (competição por solo cultivável).
- Geração de Emprego e Renda: Potencial de desenvolvimento socioeconômico e criação de postos de trabalho qualificados no campo e nas indústrias de alta tecnologia em áreas descentralizadas.

4.4 FATORES TECNOLÓGICOS

- Diversidade de Matérias-Primas (*feedstocks*): Domínio tecnológico e abundância na região de insumos variados para rotas tecnológicas de SAF (HEFA, Alcohol-to-Jet utilizando cana-de-açúcar e milho, e resíduos lignocelulósicos).
- Gargalos Logísticos e de Infraestrutura: Limitações tecnológicas nos sistemas de transporte, armazenamento e a necessidade de viabilizar a infraestrutura de *drop-in* (mistura e distribuição nos aeroportos existentes).
- Pesquisa Acadêmica e Inovação: Fortalecimento de polos tecnológicos aeroespaciais regionais e a integração entre universidades, centros de pesquisa e parques tecnológicos para o desenvolvimento de soluções locais de descarbonização.

4.5 FATORES AMBIENTAIS (ENVIRONMENTAL)

- Mitigação da Pegada de Carbono: Redução real e expressiva das emissões de gases de efeito estufa (GEE) do setor de transporte aéreo, alinhada às metas globais de neutralidade até 2050.
- Risco de Desmatamento e Perda de Biodiversidade: Necessidade crítica de garantir que a expansão da biomassa para combustíveis sustentáveis não cause desmatamento indireto, degradação de biomas sensíveis (como a Amazônia e o Cerrado) ou uso excessivo de recursos hídricos.
- Vantagem em Matriz Renovável: A América Latina se beneficia de uma das matrizes elétricas mais limpas do mundo (hidrelétrica, eólica e solar), o que reduz as emissões do ciclo de vida (*well-to-wake*) do SAF produzido na região.

4.6 FATORES LEGAIS

- Marcos Regulatórios Globais: Submissão às exigências rígidas do esquema CORSIA (*carbon offsetting and reduction scheme for international aviation*) e mandatos internacionais de mistura obrigatória de SAF (como os da União Europeia).
- Legislação Nacional (Exemplo: Lei do Combustível do Futuro): O avanço de leis locais que estabelecem mandatos progressivos de introdução de SAF na aviação doméstica e criam regras claras para o mercado de créditos de carbono.
- Certificações de Sustentabilidade: Rigor legal exigido para a certificação internacional das rotas tecnológicas de biocombustíveis (como as normas RSB ou ISCC), garantindo que os critérios socioambientais sejam rigorosamente cumpridos.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A descarbonização da aviação civil consolida-se como um dos maiores desafios técnicos, econômicos e geopolíticos da transição energética contemporânea, dada a severa dependência do setor por combustíveis de alta densidade energética.

Esta revisão bibliográfica crítica permitiu constatar que, frente às limitações imediatas para a aplicação em larga escala de propulsões elétricas ou a hidrogênio em voos de longa distância, os Combustíveis Sustentáveis de Aviação (SAF) posicionam-se como a única rota tecnológica madura e viável para mitigar de forma célere as emissões de gases de efeito estufa e impulsionar o cumprimento das metas da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas, com destaque para os ODS 7 e 13.

A análise comparativa internacional evidenciou assimetrias regulatórias e estratégicas profundas. Enquanto economias centrais, como a União Europeia e os Estados Unidos, avançam com marcos impositivos rigorosos e vultosos pacotes de incentivo fiscal para consolidar suas cadeias de suprimento, a América Latina, de modo geral, ainda ocupa uma posição periférica na vanguarda decisória global.

Contudo, o cruzamento dos dados bibliométricos com a análise PESTEL demonstrou que o Brasil possui vantagens competitivas ímpares e um potencial estratégico massivo. A abundância de biomassa, a matriz elétrica predominantemente limpa e a sólida experiência histórica com biocombustíveis — agora respaldada nacionalmente por marcos como a Lei do Combustível do Futuro e o ProBioQAV qualificam o país para atuar não apenas como um produtor autossuficiente, mas como um exportador global de SAF e Hidrogênio Verde.

Por outro lado, as limitações estruturais identificadas não podem ser negligenciadas. O elevado custo de produção do SAF face ao querosene fóssil tradicional, a escassez de investimentos pesados em biorrefinarias, os persistentes gargalos logísticos de distribuição nos aeroportos nacionais e a sensível necessidade de certificações que assegurem a preservação de biomas nativos e evitem conflitos com a segurança alimentar surgem como barreiras críticas a serem superadas.

Conclui-se, portanto, que a transição do potencial teórico brasileiro para o protagonismo prático na nova cadeia global de valor do SAF dependerá da capacidade do Estado e da iniciativa privada de articularem políticas públicas de financiamento a longo prazo, investimentos em inovação tecnológica e um rigoroso planejamento territorial e logístico.

Como recomendação para trabalhos futuros, aponta-se a necessidade de estudos empíricos e quantitativos focados na viabilidade locacional e na infraestrutura de mistura (*drop-in*) em polos aeroespaciais específicos, a exemplo do Vale do Paraíba, mapeando detalhadamente os custos de transição das refinarias existentes.

REFERÊNCIAS

- ACADEMY OF AVIATION CLIMATE ACTION (ACA). **Airport Carbon Accreditation Annual Report 2024**. Geneva: ACA, 2024.
- AIR TRANSPORT ACTION GROUP (ATAG). **Waypoint 2050: Balancing growth in connectivity with a comprehensive global air transport response to the climate emergency**. Geneva: ATAG, 2021.
- ANP – AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **ProBioQAV: Programa Nacional de Combustível Sustentável de Aviação**. Brasília: ANP, 2024.
- BENEVIDES, M. P.; XAVIER, K. R. S. L.; SILVA, A. P. S.; et al. **Sign talk assistive technology**: real-time recognition of the libras typical alphabet using artificial intelligence. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, São Paulo (SP), v. 18, n. 12, p. e010610, 2024. DOI: 10.24857/rgsa.v18n12-214. DOI: <https://doi.org/10.24857/rgsa.v18n12-214>
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Programa Combustível do Futuro**. Brasília: MME, 2024.
- CAPAZ, Rodrigo S. et al. **Sustainable aviation fuel technologies, costs, emissions, policies, and future needs**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 194, 2024.
- CORREIA, F. E.; VIAGI, A. F.; MOURA, R. A. Engenharia de suprimentos multinível: um estudo sobre a padronização do AVAC-R em uma Instituição de Ensino. *Revista Ciências Exatas*, Taubaté, v. 32, n. 2, p. 1-14, 2026. DOI: 10.69609/1516-2893.2026.v32.n2.a4027. Disponível em: <https://periodicos.unitau.br/exatas/article/view/4027>. Acesso em: 10 jun. 2026.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Sustainable Aviation Fuels: Panorama nacional e internacional**. Rio de Janeiro: EPE, 2024.
- EUROPEAN COMMISSION. **ReFuelEU Aviation Initiative**. Brussels: European Commission, 2023. Disponível em: <https://transport.ec.europa.eu>. Acesso em: 12 maio 2026.
- HU, Y.-J. et al. **Strategies to mitigate carbon emissions for sustainable aviation: A critical review from a life-cycle perspective**. *Sustainable Production and Consumption*, v. 33, p. 289–312, 2022.
- IATA. International Air Transport Association. **Net zero 2050: sustainable aviation fuel (SAF)**. Montreal: IATA, 2023. Disponível em: <https://www.iata.org>. Acesso em: 24 jun. 2026.
- INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION (ICAO). **Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA)**. Montreal: ICAO, 2024. Disponível em: <https://www.icao.int>. Acesso em: 12 maio 2026.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Aviation**. Paris: IEA, 2025. Disponível em: <https://www.iea.org/energy-system/transport/aviation>. Acesso em: 12 maio 2026.
- KHALIFA, R. et al. **Fueling circularity: A thorough review of circular practices in the aviation sector with sustainable fuel solutions**. *Resources, Conservation & Recycling Advances*, v. 22, 2024.
- KHUJAMBERDIEV, R.; CHO, H. M. **Biofuels in aviation: Exploring the impact of sustainable aviation fuels in aircraft engines**. *Energies*, v. 17, n. 11, 2024.
- LAU, J. I. C. et al. **Emerging technologies, policies and challenges toward implementing sustainable aviation fuel (SAF)**. *Biomass and Bioenergy*, v. 186, 2024.
- MIT CENTER FOR SUSTAINABILITY SCIENCE AND STRATEGY. **Sustainable Decarbonization of Aviation in Latin America**. Massachusetts Institute of Technology, 2024.
- ODS. (2023). **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Nações Unidas Brasil. Objetivo 9: **Indústria, inovação e infraestrutura**: construir infraestrutura resiliente, promover a industrialização inclusiva e sustentável, e fomentar a inovação.

Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/9>. Acesso em: 14maio2026.

RAIHAN, Asif. **Sustainable aviation: A critical review of policies, technologies, and future pathways**. *Journal of the Air Transport Research Society*, v. 5, 2025.

RIBEIRO, M. A. **A transição energética no setor aeroespacial: desafios logísticos e estruturais dos bio-combustíveis**. São Paulo: Editora Acadêmica Tecnológica, 2024.

RITCHIE, Hannah. **What share of global CO₂ emissions come from aviation?** *Our World in Data*, 2024. Disponível em: <https://ourworldindata.org/global-aviation-emissions>. Acesso em: 12 maio 2026.

UNITED NATIONS (UN). **Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development**. New York: United Nations, 2015. Disponível em: <https://sdgs.un.org>. Acesso em: 12 maio 2026.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC). **Paris Agreement**. Paris: United Nations, 2015. Disponível em: <https://unfccc.int>. Acesso em: 12 maio 2026.

UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY (DOE). **SAF Grand Challenge Roadmap**. Washington, D.C.: DOE, 2023.

UNITED NATIONS. **Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development**. New York: UN Publishing, 2015. Disponível em: <https://sdgs.un.org/goals>. Acesso em: 24 jun. 2026.

WALTER, Arnaldo et al. **Spatially explicit assessment of the feasibility of sustainable aviation fuels production in Brazil: Results of three case studies**. *Energies*, v. 14, n. 16, 2021.

WANG, Y. et al. **Technical and environmental assessment of sustainable aviation fuel pathways**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 189, 2024.

WATSON, J. et al. **Economic impacts and policy perspectives of sustainable aviation fuels**. *Transportation Research Part D*, v. 127, 2024.

DECLARAÇÃO DE APOIO TECNOLÓGICO

Durante a elaboração deste trabalho foram utilizadas ferramentas de inteligência artificial generativa como suporte auxiliar à organização textual, revisão linguística, refinamento da redação acadêmica e sistematização estrutural do manuscrito. O uso dessas ferramentas ocorreu exclusivamente como apoio tecnológico complementar, não sendo empregado para geração autônoma de resultados, interpretação científica ou formulação das conclusões da pesquisa. Todas as etapas relacionadas à seleção bibliográfica, análise crítica da literatura, validação das informações, interpretação dos dados e consolidação das discussões apresentadas foram realizadas sob responsabilidade integral do autor.

