

Estratégias de inovação em Sustainable Aviation Fuel (SAF): Comparação entre Embraer, Boeing e Airbus

Innovation strategies in Sustainable Aviation Fuel (SAF): Comparison between Embraer, Boeing, and Airbus

Nash Stonny Cordeiro Wanderley

<https://orcid.org/0000-0002-6730-9390>

Lindomayara França Ferreira

<https://orcid.org/0000-0001-7014-4294>

Marina Bezerra da Silva

<https://orcid.org/0000-0001-7057-0496>

José Ricardo de Santana

<https://orcid.org/0000-0001-5617-2096>

Mestre em Ciência da Propriedade Intelectual. Universidade Federal de Sergipe (UFS) – Brasil. stonnynash@gmail.com

Doutora em Economia. Instituto de Tecnologia e Pesquisa de Sergipe (ITP) – Brasil. lindomayara@hotmail.com

Doutora em Ciência da Propriedade Intelectual. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI) – Brasil. marina.silva@ifpi.edu.br

Doutor em Economia de Empresas. Universidade Federal de Sergipe (UFS) – Brasil. jrsantanaufs@gmail.com

RESUMO

Este estudo compara as estratégias de inovação em *Sustainable Aviation Fuel* (SAF) adotadas por Embraer, Boeing e Airbus, com foco em sustentabilidade, parcerias e desenvolvimento tecnológico. O objetivo é avaliar a proteção intelectual (*proxy* de patentes) dessas estratégias e seu alinhamento com metas globais como o *Net Zero 2050* da IATA. A metodologia combina revisão sistemática e prospecção de patentes, utilizando as bases *Scopus* e *Web of Science* para a coleta de artigos científicos, a plataforma *The Lens* para a análise de patentes, além de relatórios de inovação corporativos e documentos de órgãos reguladores. Os resultados revelam heterogeneidade significativa entre as empresas no que se refere às abordagens de inovação e ao engajamento com *stakeholders*. O diferencial da pesquisa está na integração de dados científicos, tecnológicos e corporativos para mapear estratégias distintas de adoção do SAF, identificando, por meio da matriz SWOT, as forças, fraquezas, oportunidades e ameaças que caracterizam os fabricantes analisados. A pesquisa contribui para o debate sobre competitividade e transição energética no setor aeronáutico, fornecendo subsídios para formuladores de políticas e gestores promoverem uma aviação mais sustentável e alinhada aos desafios ambientais globais.

Palavras-chave: combustível sustentável de aviação; bioquerosene; modelo de inovação; fabricantes de aeronaves.

ABSTRACT

This study compares the innovation strategies in Sustainable Aviation Fuel (SAF) adopted by Embraer, Boeing, and Airbus, focusing on sustainability, partnerships, and technological development. The objective is to evaluate the intellectual protection (patent proxy) of these strategies and their alignment with global goals such as IATA's Net Zero 2050. The methodology combines systematic review and patent prospecting, using the Scopus and Web of Science databases for scientific articles, The Lens platform for patents analysis, as well as corporate innovation reports and regulatory agency documents. The results reveal substantial heterogeneity across firms in terms of their innovation strategies and stakeholders' engagement

practices. The research stands out for its integration of scientific, technological, and corporate data to map different SAF adoption strategies, identifying, through SWOT analysis, the strengths, weaknesses, opportunities, and threats that characterize the manufacturers under analysis. The research contributes to the debate on competitiveness and energy transition in the aeronautical sector, providing insights for policymakers and managers in promoting more sustainable aviation aligned with global environmental challenges.

Keywords: sustainable aviation fuel; biokerosene; innovation model; aircraft manufacturers.

Recebido em 21/11/2025. Aprovado em 26/02/2026. Avaliado pelo sistema *double blind peer review*. Publicado conforme normas da ABNT.

<https://doi.org/10.22279/navus.v18.2249>

1 INTRODUÇÃO

A indústria aeronáutica global enfrenta um ponto de inflexão histórico, impulsionada pela urgência da descarbonização em um setor que respondeu por cerca de 2,5% das emissões globais de CO₂ em 2023 (EASA, 2025). Na aviação comercial, a Boeing e a Airbus lideram o segmento de aeronaves de grande porte, enquanto Embraer e Bombardier disputam o mercado de jatos regionais. No setor de defesa, embora o cenário seja mais diversificado, a hegemonia permanece concentrada em grandes conglomerados dos EUA e da Europa (De Negri; Squeff, 2016). Para De Negri e Squeff (2016), o setor aeronáutico é intensivo em engenharia e depende de forte apoio governamental devido aos elevados custos, à elevada complexidade e aos riscos inerentes, além de ser rigorosamente regulamentado por normas de certificação, segurança e meio ambiente.

Nesse contexto, entre as estratégias para alcançar a meta de emissões líquidas zero na aviação até 2050, destaca-se a produção do *Sustainable Aviation Fuel* (SAF). Além de possibilitar reduções significativas nas emissões de CO₂ ao longo de seu ciclo de vida em até 90%, o SAF é compatível com as aeronaves atuais (*drop-in*) e pode ser produzido a partir de resíduos e fontes renováveis (IATA, 2026; EPE, 2024; Raizen, 2026). Contudo, a viabilidade do SAF ainda enfrenta barreiras econômicas: seu custo médio de produção supera em aproximadamente 120% o do querosene fóssil, e apenas 38% das políticas atuais oferecem incentivos financeiros eficazes (Watson *et al.*, 2024). Esse cenário também é, em parte, dificultado pela competição por matérias-primas e pela necessidade de infraestrutura dedicada (Cabrera e de Sousa, 2022; Fernandes *et al.*, 2024).

No Brasil, têm sido desenvolvidos instrumentos políticos e marcos regulatórios que visam viabilizar a transformação do setor, com destaque para a Lei nº 14.933/2024, conhecida como Lei de Combustível do Futuro, e a criação do Programa Nacional de Combustível Sustentável de Aviação (ProBioQAV), que estabelece uma redução gradual das emissões, iniciando com aproximadamente 1% em 2027 e alcançando até 10% em 2037, por meio do uso de SAF ou de instrumentos equivalentes (Brasil, 2024). Adicionalmente, a iniciativa "Conexão SAF", da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), busca articular atores para superar gargalos regulatórios (ANAC, 2024). Nesse sentido, os principais fabricantes aeronáuticos adotam modelos de inovação distintos para liderar essa transição.

Segundo o Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), o cenário de inovação em SAF concentra-se na consolidação das rotas Ésteres e Ácidos Graxos Hidroprocessados (HEFA) e Álcool para Jato (ATJ), ao passo que o Brasil emerge como polo estratégico para o desenvolvimento desse mercado, em virtude de sua ampla disponibilidade de biomassa. O estudo ressalta que a gestão da Propriedade Intelectual (PI) nessas rotas é o fator determinante para proteger investimentos em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) e definir a liderança técnica da indústria aeronáutica nas próximas décadas (INPI, 2026).

Essas abordagens impactam diretamente a gestão da PI. Com o modelo de inovação aberta, a definição clara de titularidade é vital para evitar conflitos (Andrade *et al.*, 2022), exigindo políticas eficazes de gestão de riscos (Arunnima; Bijulal; Kumar, 2023; Chunikhina *et al.*, 2022). Embora modelos colaborativos gerem mais patentes e atraiam inventores produtivos, há evidências de que podem favorecer inovações incrementais em detrimento das radicais (Mkrtchyan *et al.*, 2025). Logo, o desafio reside em

compreender como essas estratégias de PI e inovação moldarão a competitividade e a adoção efetiva de tecnologias sustentáveis no setor, bem como Embraer, Boeing e Airbus estruturam suas estratégias de inovação em SAF.

Assim, este estudo concentra-se na análise das estratégias de inovação em SAF adotadas pela Embraer, Boeing e Airbus no período de 2009 a 2025. Especificamente, busca comparar as estratégias de inovação e proteção da propriedade intelectual (*proxy* de patentes) desses fabricantes relacionados ao SAF, avaliando o alinhamento com metas globais de descarbonização, como o *Net Zero 2050* do IATA. Para tanto, o estudo buscou: i) identificar as principais estratégias de inovação adotadas por cada empresa; ii) analisar o posicionamento das fabricantes em relação à sustentabilidade na aviação; iii) mapear parcerias ou projetos colaborativos em curso; iv) comparar as abordagens tecnológicas e o grau de alinhamento com políticas regulatórias internacionais.

A escolha desse intervalo temporal justifica-se pelo início dos testes com SAF, bem como pelo acompanhamento de iniciativas sustentáveis, parcerias estratégicas e avanços tecnológicos. A metodologia emprega técnicas bibliométricas, com dados extraídos das bases *Scopus* e *Web of Science* (WoS), e técnicas de patentometria, utilizando a plataforma *The Lens* para mapear o estado da arte e da técnica, sendo complementada pela análise de documentos institucionais da Organização da Aviação Civil Internacional (ICAO) e a Associação Internacional de Transporte Aéreo (IATA). Adicionalmente, a matriz SWOT foi aplicada para comparar as dinâmicas de inovação entre as três empresas analisadas, permitindo uma visão sistêmica das diferentes trajetórias tecnológicas do setor.

Além dessa seção introdutória, o artigo apresenta a seção de referencial teórico dedicada à aviação sustentável, estruturada em subseções que discutem os desafios e tecnologias relacionadas ao SAF, o volume e a natureza das inovações desenvolvidas pelos fabricantes, o papel das estratégias de propriedade intelectual e as ações de descarbonização rumo ao *Net Zero*. Na sequência, são descritos os procedimentos metodológicos adotados, seguidos pela apresentação e discussão dos resultados, e, por fim, pelas considerações finais.

2 AVIAÇÃO SUSTENTÁVEL: INOVAÇÕES, PROPRIEDADE INTELECTUAL E CAMINHOS PARA O NET ZERO

Conforme De Negri e Squeff (2016), o setor aeronáutico é marcado pela concentração de mercado em grandes *players* globais e por uma forte dependência de subsídios ou outros apoios governamentais, diante das incertezas e dos elevados custos associados aos projetos de longo prazo. O setor é também caracterizado por um ambiente institucional rígido, no qual processos de certificação e regulamentações de segurança e meio ambiente operam como requisitos obrigatórios para a atividade produtiva e comercial.

Nesse contexto, as principais empresas do setor adotam modelos distintos de inovação: a Boeing mantém um modelo de inovação predominantemente fechado, com controle interno sobre o desenvolvimento de tecnologias, apesar de algumas parcerias pontuais e estratégicas (Galgani, 2024). Já a Airbus adota um modelo de inovação aberta, estimulando a colaboração com *startups* e centros de pesquisa por meio de programas como o *Airbus Scale* e a plataforma *IdeaSpace* (Airbus, 2021; Hype Innovation, 2024).

Por sua vez, a Embraer utiliza uma abordagem aberta baseada em ecossistemas, promovendo processos de inovação por meio de iniciativas como a Embraer-X e programas de conexão com *startups* (Embraer, 2024). A empresa está envolvida em cinco domínios de pesquisa pertinentes à mobilidade aérea prospectiva, que abrangem mecanismos de propulsão elétrica, técnicas de manufatura aditiva e estruturas autônomas de tomada de decisão (Rade et al., 2023).

Esse cenário reflete diferentes visões de competitividade. Assim, a forma como cada empresa lida com esses ativos tecnológicos pode afetar sua posição competitiva. As abordagens de inovação adotadas também têm implicações relevantes na gestão da PI. Em ambientes de inovação aberta, a definição clara da titularidade e da governança da PI é essencial para evitar conflitos, assegurar a apropriação dos resultados da inovação e viabilizar sua exploração estratégica (Andrade et al., 2022).

A transição para modelos de inovação aberta impõe desafios estruturais às organizações, que exigem políticas robustas de gestão de riscos e um elevado grau de flexibilidade organizacional para acomodar a complexidade das interações com os agentes externos (Arunnima; Bijulal; Kumar, 2023; Chunikhina et al., 2022). No entanto, a literatura evidencia um paradoxo inerente aos processos de inovação aberta. Apesar de a cooperação contribuir para o aumento de depósitos de patentes e para a atração de inventores de alta produtividade, observa-se uma tendência a se concentrar em inovações incrementais. Tal padrão sugere possíveis restrições à geração de inovações disruptivas, indicando que a inovação aberta, se não gerida estrategicamente, pode favorecer a melhoria contínua de tecnologias existentes em detrimento do desenvolvimento de inovações radicais (Mkrtchyan et al., 2025).

2.1 SAF e aviação sustentável: tecnologias e desafios

De acordo com o Ministério de Minas e Energia (MME), diferentes rotas de produção têm sido utilizadas para viabilizar a substituição do querosene de aviação (QAV) por SAF. Três diferentes tecnologias de conversão de SAF são consideradas as mais usuais: HEFA, ATJ e Fischer-Tropsch (FT); todas exibem preços elevados em relação aos combustíveis fósseis (MME, 2024). Considerando a disponibilidade de diferentes matérias-primas, as estimativas do Banco Mundial publicadas em 2022, destacam que o preço de Venda Mínimo Viável (*Minimum Selling Price*, MSP) para 2030, da rota HEFA – com o uso de árvores oleaginosas em terras degradadas, resíduos de gorduras, óleos e graxas, e culturas de cobertura oleaginosas como matéria-prima – poderá variar entre 23,16 e 28,58 US\$/GJ (*dollar per gigajoule*). No caso da rota ATJ, esse valor pode chegar até 56,61 US\$/GJ, com o uso de resíduos de colheita. Na rota FT, esse valor vai de 34,36 US\$/GJ com uso de resíduos municipais até 53,12 US\$/GJ com resíduos de colheita (Malina et al., 2022). No Brasil, dependendo da rota específica e da biomassa utilizada, o preço mínimo de venda do SAF também pode atingir valores elevados comparados ao QAV (Walter et al., 2021).

Entre essas vias, o processo HEFA é atualmente reconhecido como o mais avançado. Entretanto, sua dependência de matérias-primas com disponibilidade limitada, como óleos usados e gorduras animais, impõe limitações à escalabilidade da produção (Shehab et al., 2023). Por outro lado, o *Power-to-Liquid* (PtL) apresenta uma solução potencial para esse problema a longo prazo, mas permanece economicamente inviável até o momento

(Eyberg et al., 2024), com um custo que pode chegar a aproximadamente três vezes o custo do QAV (Rojas-Michaga et al., 2023).

Para estar em conformidade com os regulamentos do Esquema de Compensação e Redução de Carbono para a Aviação Internacional (CORSA), o SAF deve aderir a rigorosos padrões de sustentabilidade relacionados à mitigação de emissões e à gestão do uso da terra. Nesse contexto, mudanças indiretas no uso da terra (ILUC), não regulamentadas, podem comprometer os benefícios ambientais esperados e reduzir a efetividade da descarbonização da aviação (Fiorini et al., 2023).

As metas de neutralidade de carbono estabelecidas no âmbito do CORSA, em conformidade com as recomendações da ICAO e da IATA, exigem um decréscimo mínimo de 10% nas emissões do ciclo de vida associadas ao uso de combustível (Kurzawska-Pietrowicz, 2023). A rota de produção a partir do querosene parafínico sintético *Fischer-Tropsch* (FT-SPK), quando integrada às tecnologias de captura e armazenamento de carbono (CCS), pode potencialmente gerar emissões negativas, facilitando assim o alcance dessas metas (Almena et al., 2024).

Entretanto, na ausência de políticas públicas robustas, tais como subsídios e mecanismos de crédito de carbono, a viabilidade econômica do SAF permanece limitada. Nesse sentido, iniciativas como o Programa Combustível do Futuro e a ProBioQAV no Brasil, bem como incentivos estaduais nos Estados Unidos, exercem influência direta sobre a formação de preço do SAF (Brandt et al., 2022; Deuber et al., 2023).

2.2 Volume e natureza das inovações dos fabricantes de aeronaves

Fusaro, Viola e Galassini (2021) destacam a Boeing como referência técnica no cálculo de emissões de poluentes com base no consumo de combustível, uma prática amplamente adotada na aviação civil. A *World Intellectual Property Organization* (WIPO) aponta que, no campo dos pedidos de patentes, destacam-se grandes fabricantes aeroespaciais, como Boeing e Airbus. Em contrapartida, no setor de energia limpa, o destaque vai para a Neste, empresa finlandesa líder mundial na produção de SAF. A empresa concentra seus esforços na produção de combustíveis renováveis e no desenvolvimento de infraestrutura industrial. Além disso, os Estados Unidos lideram o número de famílias de patentes relacionadas ao SAF, com um total de 642 famílias de patentes, seguidos por China, Alemanha, Japão e França (WIPO, 2025). Cabe ressaltar que a liderança em pedidos de patentes relacionados ao SAF não está concentrada nos fabricantes de aeronaves, mas em grandes empresas dos setores energético e biotecnológico.

A Airbus destaca-se por sua contínua capacidade de inovação tecnológica e pela forte integração de infraestrutura e sistemas complexos, incorporando avanços em *big data* aplicados a testes de voo e iniciativas voltadas para a propulsão elétrica e a hidrogênio, em consonância com as políticas europeias de descarbonização da aviação (Meng, 2025; Brisset, 2022; Xu, 2022).

A Embraer apresenta um volume menor de patentes, mas com soluções mais voltadas para contextos regionais e sustentáveis. Estudos recentes indicam que a empresa é o principal agente inovador do polo aeronáutico de São José dos Campos, em São Paulo, especialmente em tecnologias adaptadas e colaborações institucionais (Cintra; Costa; Campos, 2019).

Além disso, o uso de etanol como matéria-prima para biocombustíveis de aviação tem sido investigado em condições reais de voo e simulações

experimentais, o que reforça o potencial do Brasil nesse setor (Ning et al., 2023). Adicionalmente, a viabilidade espacial da produção de combustíveis sustentáveis no país foi detalhada em estudos de caso recentes, consolidando o relevante papel da Embraer em iniciativas com etanol e SAF (Walter et al., 2021).

2.3 Impacto das estratégias de propriedade intelectual na adoção e competitividade do SAF: comparativo entre os fabricantes de aeronaves

De acordo com Adesanya (2023), os direitos de PI, que abrangem patentes, marcas registradas, segredos comerciais e outros ativos, representam uma estrutura essencial para proteger a inovação, promover o crescimento de empresas emergentes, minimizar riscos e impulsionar os esforços de pesquisa e desenvolvimento. Undavalli et al. (2023) mencionam que a produção de SAF envolve rotas tecnológicas complexas, como HEFA e ATJ, demandando soluções técnicas especializadas para melhorar o desempenho e reduzir custos, as quais são elegíveis para proteção por patentes.

A função das políticas públicas na promoção e proteção da PI no setor de SAF exige uma estrutura regulatória robusta que integre clareza, continuidade e adaptabilidade, em conformidade com os acordos internacionais, incluindo os regulamentos da Organização Mundial do Comércio (OMC) sobre subsídios e transferência de tecnologia (Maulet, 2024).

Em relação aos fabricantes, a Boeing adota uma estratégia defensiva e proprietária de PI, buscando proteger suas inovações e manter barreiras competitivas. Esse tipo de estratégia pode limitar a colaboração externa, mas ainda assim pode coexistir com inovação, dependendo da execução (Grimaldi; Greco; Cricelli, 2021).

A Airbus, ao contrário, tem se envolvido em parcerias multilaterais e colaborações abertas, como projetos com o governo de Singapura para produção e análise de SAF, além de iniciativas como *Clean Aviation* e acordos estratégicos com diversas nações (CAAS; Airbus, 2021; Siltaloppi; Ballardini, 2023). Já a Embraer adota uma abordagem colaborativa com universidades e centros de pesquisa, alinhada ao modelo de co-inovação e ecossistemas abertos, o que fortalece sua sustentabilidade e foco regional (Pereira; Lohmann; Houghton, 2021).

Entre os facilitadores, destacam-se as metas climáticas internacionais, o aumento da pressão por ESG e subsídios governamentais, como se evidencia nos acordos da Airbus e nas estratégias ESG de líderes do setor (Feng, 2025; CAAS; Airbus, 2021). Já as principais barreiras para a adoção do SAF incluem custo elevado, infraestrutura limitada e regulamentação incipiente, especialmente fora da Europa (Feng, 2025; Siltaloppi; Ballardini, 2023).

Nesse sentido, a PI pode estimular a inovação ao proteger investimentos. No entanto, quando usada de forma excessivamente restritiva, tende a inibir a difusão de tecnologias sustentáveis, especialmente em áreas como SAF e tecnologias limpas (Siltaloppi; Ballardini, 2023). Modelos de inovação aberta e projetos colaborativos, como consórcios, desempenham papel fundamental para equilibrar proteção e compartilhamento do conhecimento, permitindo avanços tecnológicos mais amplos e sustentáveis. Um exemplo é a iniciativa *Clean Skies Europe*, criada para acelerar a adoção de SAF e estimular a política *Net Zero 2050* (Siltaloppi; Ballardini, 2023; Grimaldi; Greco; Cricelli, 2021).

2.4 Estratégias de descarbonização na aviação: ações da Airbus, da Boeing e da Embraer rumo ao Net Zero 2050

Em 2022, os países membros da ICAO adotaram a meta de longo prazo para atingir emissões líquidas zero de carbono da aviação internacional até 2050, com base em múltiplas tecnologias como SAF, hidrogênio, eletrificação e compensações. No entanto, estudos indicam que ainda não há soluções escaláveis economicamente viáveis para substituir os combustíveis fósseis sem impacto econômico relevante (ICAO, 2022; Claudel, 2024). O Quadro 1 destaca as principais características dos relatórios IATA e ICAO para médio e longo prazo.

Quadro 1 - Análise comparativa entre os dois relatórios e suas metas

Característica	IATA	ICAO
Meta de Longo Prazo (2050)	Emissões líquidas zero de CO ₂ (65% via SAF)	Emissões líquidas zero de carbono (LTAG)
Meta de Curto Prazo (2030)	Aumento massivo na produção de SAF	Redução de 5% nas emissões de CO ₂ na aviação internacional
Abordagem Principal	Foco na indústria aeronáutica, políticas de incentivo e harmonização	Estrutura global, regulamentação, suporte e financiamento
Papel do SAF	Principal vetor para descarbonização (65% da redução)	Maior potencial para redução de CO ₂ , parte de uma estrutura mais ampla
Ênfase em Políticas	Políticas governamentais harmonizadas e incentivos	Políticas e planejamento, estrutura regulatória global
Outros Aspectos	Engajamento com <i>stakeholders</i> , remoção de barreiras de custo, certificação	Estudos de viabilidade, <i>Finvest Hub</i> para financiamento

Fonte: IATA/ICAO, adaptado pelos autores (2025).

A IATA estabeleceu a meta de que a indústria global da aviação alcance emissões líquidas zero de CO₂ até 2050. Porém, esse objetivo depende fortemente da implementação de tecnologias e combustíveis sustentáveis, como melhorias operacionais e compensações de carbono (Wang; Zhang; Wei, 2023). Complementarmente, o CORSIA, elaborado pela ICAO, exige a compensação das emissões acima dos níveis de 2019-2020, embora alterações propostas após a COVID-19 possam reduzir sua eficácia entre 25% e 75%, enfraquecendo os incentivos à transição verde (Schneider; Graichen, 2020).

Portanto, a IATA e a ICAO atribuem ao SAF um papel central na descarbonização da aviação, mas adotam enfoques diferentes: a primeira prioriza a produção rápida com apoio de políticas de mercado, enquanto a segunda enfatiza a regulamentação e a coordenação global. Essas abordagens complementares são essenciais para o alcance das metas climáticas do setor aéreo, conforme sintetizado no Quadro 2.

Quadro 2 - Desafios e Estratégias para Alcançar as Metas de Net Zero na Aviação

Aspecto	Resumo	Literatura
Meta da IATA	A IATA estabeleceu ao setor aéreo a meta de alcançar emissões líquidas zero até 2050 por meio de SAF, melhorias operacionais e compensações de carbono.	(Wang; Zhang; Wei, 2023)
Mecanismo CORSIA	Exige compensações para emissões acima dos níveis de 2019 e 2020; mudanças pós-COVID-19 podem reduzir sua eficácia entre 25% e 75%.	(Schneider; Graichen, 2020)
Caminhos combinados	Exige integração de SAF, novas tecnologias (hidrogênio, eletrificação), mudanças comportamentais	(Bergero; Gielen;

para Net Zero	e remoção direta de CO ₂ .	Kang, 2023)
Ações de alianças globais	Alianças como <i>OneWorld</i> , <i>SkyTeam</i> e <i>Star Alliance</i> adotam SAF e eficiência energética, mas falham em biodiversidade e gestão de resíduos.	(Mazioğlu; Güngör, 2024)
Principais entraves	Infraestrutura limitada, regulamentações frágeis e altos custos dificultam o uso em larga escala de SAF.	(Braun et al., 2024)

A implementação realista dessas metas requer múltiplos caminhos combinados, como mudanças comportamentais, adoção de SAFs, novas tecnologias (hidrogênio, eletrificação) e, eventualmente, remoção direta de CO₂ da atmosfera (Bergero; Gielen; Kang, 2023). Uma análise de alianças globais de companhias aéreas (*OneWorld*, *SkyTeam* e *Star Alliance*) mostra avanços desiguais no cumprimento das metas do IATA para 2050. Todas elas adotam SAF e implementam medidas de eficiência energética, contudo, existem lacunas em áreas como conservação da biodiversidade e gestão de resíduos (Mazioğlu; Güngör, 2024).

De acordo com Braun, Grimme e Oesingmann (2024), mesmo com compromissos, a infraestrutura, regulamentações e custos ainda são entraves, especialmente para a produção e distribuição em larga escala de SAF. No Quadro 3, é possível observar as principais ações dos três maiores fabricantes do setor aeronáutico comercial voltadas ao uso do SAF para alcançar as metas de Net Zero.

Quadro 3 - Ações da Airbus, Boeing e Embraer rumo ao Net Zero

Fabricante	Principais ações	Literatura
Airbus	A Airbus foca em aeronaves a hidrogênio (ZEROe), eficiência com voos em formação (<i>fello'fly</i>) e testes com 100% SAF, sustentados por parcerias energéticas.	(Ewert; Maurer, 2023; Mazioğlu; Güngör, 2024)
Boeing	A Boeing integra critérios ESG na gestão de riscos e investe em SAF e tecnologias sustentáveis por meio de parcerias com universidades no Brasil e China.	(Feng, 2025; Hill; Nweiran, 2020)
Embraer	A Embraer foca em soluções regionais e de nicho, desenvolvendo taxiamento elétrico, eVTOL (Eve) e produção de SAF via biomassa no Brasil.	(Sampaio; Costa, 2024; Deuber et al., 2023; Souza; Kaltenecker; Santos, 2022)

Os estudos analisados mostram que, embora a meta de emissões líquidas zero da IATA e do CORSIA estabeleçam um compromisso global até 2050, sua viabilidade depende de múltiplos fatores, como infraestrutura, custos e regulação. A Airbus, a Boeing e a Embraer seguem caminhos distintos: a) a Airbus lidera em inovação tecnológica (hidrogênio e eficiência energética), b) a Boeing aposta em parcerias e otimização operacional, e c) a Embraer foca em soluções regionais e mobilidade elétrica. Esses resultados sugerem que, apesar do alinhamento estratégico com os objetivos climáticos, ainda há desafios significativos para a transição efetiva.

3 METODOLOGIA

O estudo adota uma abordagem metodológica mista, combinando métodos quantitativos e qualitativos para realizar uma análise de documentos patentários. A metodologia foi escolhida com o intuito de garantir maior consistência metodológica na seleção dos documentos, com foco em

tecnologias relevantes e legalmente ativas de interesse das empresas Boeing, Airbus e Embraer no campo do SAF.

3.1 Coleta e definição do universo de patentes e produção científica

O processo de coleta começou com uma busca abrangente na base de documentos de patentes *The Lens*, utilizando uma *string* de busca robusta em todos os campos das patentes. O objetivo foi mapear o universo de documentos que mencionassem tecnologias de SAF em conjunto com as empresas de interesse. A análise dos dados foi realizada por meio de duas abordagens complementares: i) análise da classificação CPC do portfólio de patentes, e ii) análise qualitativa de conteúdo de títulos, resumos e reivindicações, voltada para a identificação do foco tecnológico e das estratégias de inovação das empresas.

Para mapear a produção científica sobre o SAF e suas conexões com inovação e sustentabilidade na aviação, foram usados descritores específicos em bases de dados acadêmicas e tecnológicas. Esse levantamento orientou a seleção de estudos e patentes proeminentes, servindo como base para a análise crítica sobre o papel da inovação e da PI na adoção do SAF de forma sustentável e competitiva.

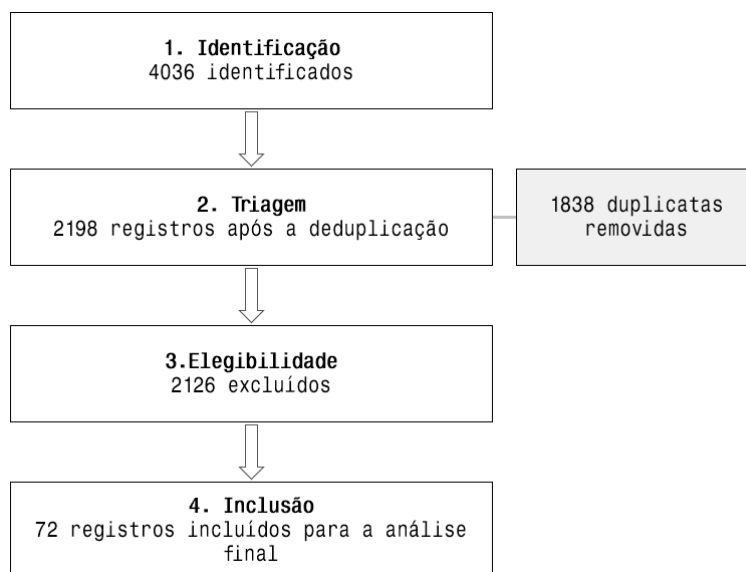
As buscas foram realizadas nas bases *Scopus* e *Web of Science (WoS)*, considerando os campos título, resumo e palavras-chave. Para o levantamento de patentes, utilizou-se a base *The Lens*, com pesquisa realizada em todos os campos. Em ambos os casos, foi empregada a seguinte *string* de busca: *(aviat* AND biokero) OR (renew* AND aviat* AND kero*) OR (sustain* AND aviat* AND kero*) OR (aviat* AND biofuel*) OR (renew* AND aviat* AND fuel*) OR (sustain* AND aviat* AND fuel*) AND (boeing* OR airbus* OR embraer*)*.

Na base *Scopus*, foram identificados 2.212 documentos; na *WoS*, 1.824 documentos; e na base de patentes *The Lens*, 662 documentos, sendo 317 famílias de patentes. Esses números indicam que a interface entre SAF, inovação tecnológica e sustentabilidade empresarial tem sido amplamente investigada na literatura científica e tecnológica recente, mas que ainda há lacunas, principalmente na relação entre as tecnologias SAF e os três fabricantes analisados.

A revisão sistemática foi conduzida em conformidade com as diretrizes do PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*), visando assegurar a transparência e a reprodutibilidade do processo. Inicialmente, a coleta de dados foi realizada em duas bases de dados acadêmicas abrangentes: *Scopus* e *WoS*. Após a exportação dos artigos, os dados foram consolidados e pré-processados com o auxílio da biblioteca *Pandas* para manipulação de dados.

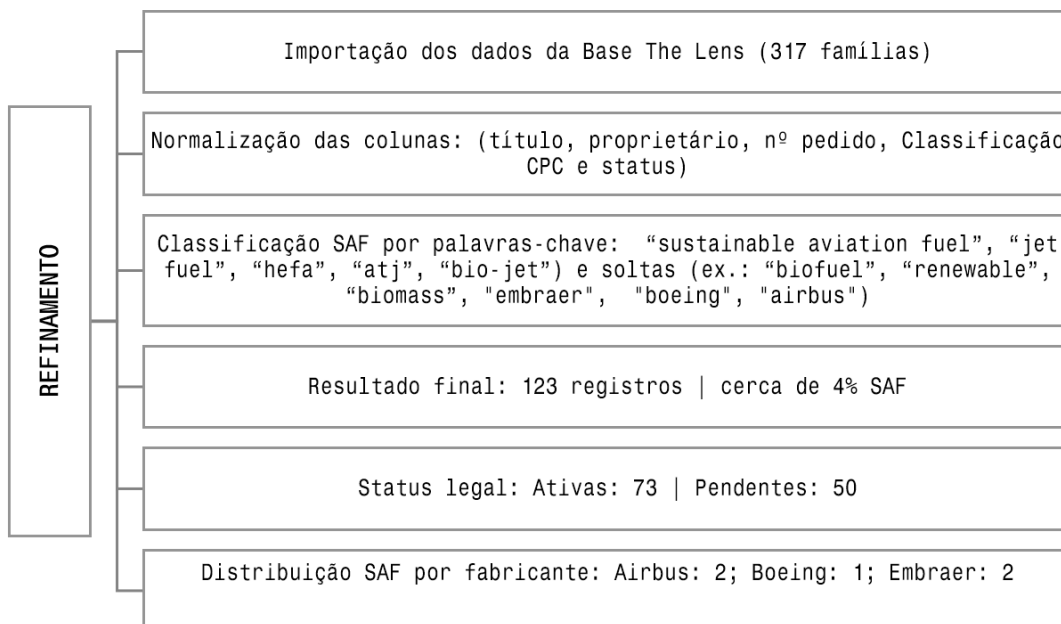
A primeira etapa da análise de elegibilidade consistiu na identificação e remoção de artigos duplicados, baseando-se em critérios como título, autores e ano de publicação, garantindo que cada estudo fosse considerado apenas uma vez. Subsequentemente, os artigos únicos foram submetidos a um processo de triagem, utilizando-se a *string* de busca previamente apresentada para identificar aqueles que abordavam simultaneamente o SAF e os fabricantes Boeing, Airbus e Embraer. O fluxo está detalhado na Figura 1.

Figura 1 - Fluxo de seleção de artigos para revisão sistemática



Em seguida, foi realizado um refinamento para incluir apenas patentes ativas e pendentes, permitindo direcionar o foco para tecnologias atuais. O tempo de publicação também foi um filtro utilizado, com a busca restrita ao período de 2009 a 2025 para se alinhar ao início dos testes com combustíveis sustentáveis de aviação, como pode ser observado na Figura 2.

Figura 2 - Refinamento dos resultados de Buscas sobre SAF na base *The Lens*



Outro passo importante do refinamento foi o uso do filtro decessionários para selecionar exclusivamente patentes que pertencem à Boeing, à Airbus e à Embraer, permitindo que os resultados correspondessem a patentes de titularidade das fabricantes de aeronaves ou por meio de parcerias. Por fim, foram identificados os códigos de classificação CPC, que foram escolhidos por sua capacidade de identificar novas tecnologias que não estão presentes na classificação IPC. Essa etapa final destacou que

as 123 famílias de patentes restantes eram tecnicamente relevantes, sendo 73 ativas e 50 pendentes, fornecendo assim uma base sólida para a análise.

Após a consolidação do banco de dados final, a análise foi conduzida utilizando duas abordagens complementares:

i. Análise por classificação CPC: O portfólio de patentes de cada empresa foi avaliado com base em seus códigos de classificação CPC. Essa abordagem foi escolhida por sua capacidade de identificar o foco técnico das inovações e por contemplar novas tecnologias, como aquelas relacionadas à propulsão híbrida e sistemas criogênicos, que são complementares ao desenvolvimento de SAF.

ii. Análise Qualitativa de Conteúdo: Uma análise textual de títulos, resumos e reivindicações que foi conduzida para identificar o foco tecnológico de cada patente e avaliar a presença de cotitularidade. A análise também buscou padrões que pudessem indicar estratégias de inovação, como foco em processos de produção (inovação aberta) *versus hardware* proprietário (inovação fechada).

Para auxiliar nessa observação, a patentometria foi conduzida com base nas subclasses CPC de maior relevância estratégica. A Airbus apresenta predominância nos grupos B64D 37/* (sistemas de suprimento de combustível) e F02C 9/* (controle de motores); a Boeing concentra esforços em B64D 27/* (arranjos de propulsão alternativa) e F23C* (aparelhos de combustão); enquanto a Embraer foca em B64D 37/30 (especificidades de tanques) e na categoria transversal Y02T 90/*, relacionada a tecnologias verdes.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise multidimensional do portfólio de patentes: estratégias tecnológicas, competitividade e descarbonização

A partir da análise das práticas de inovação, foi possível compreender o impacto da PI e das patentes na geração de vantagens competitivas, bem como nos desafios mercadológicos enfrentados.

O levantamento identificou 123 famílias de patentes relevantes o SAF no período 2009 a 2025, sendo 73 ativas e 50 pendentes. A distribuição inicial permite identificar as famílias de patentes por fabricante, compreendendo Airbus (2), Boeing (1) e Embraer (2). Nesse sentido, a distribuição por classificação CPC revela focos tecnológicos distintos:

- Airbus: Predominância em B64D37/*¹ (sistemas de combustível) e F02C9/* (controle de motores);
- Boeing: Concentração em B64D27/* (propulsão alternativa) e F23C* (combustão); e
- Embraer: Ênfase em B64D37/30 (tanques adaptáveis) e Y02T90/* (tecnologias verdes).

A Airbus foca na infraestrutura e na transição segura (patentes US 202418960971 A e GB 202218415 A), evidenciando uma estratégia de inovação aberta sistêmica que integra SAF à cadeia completa de abastecimento. A

¹ O asterisco corresponde a uma notação padrão das classificações CPC/IPC para indicar todas as subcategorias.

Boeing prioriza *hardware* proprietário (US 7966830 B2), desenvolvendo combustores e células de combustível que preservam o controle sobre sistemas críticos independentemente do combustível. A Embraer adapta *hardware* regional (BR 2022050261 W, US 202418422662 A), alinhando-se ao segmento de jatos menores com foco em soluções práticas e certificação local. O resultado da busca pode ser observado no Quadro 4.

Quadro 4 - Distribuição das patentes relacionadas ao SAF entre Airbus, Embraer e Boeing

Título	Proprietário	Nº do pedido	Classificação CPC	Status
<i>Controlling supply of aircraft engine with multiple fuels</i>	AIRBUS OPERATIONS LTD	US 202418960971 A	B64D37/30; F02C9/40; F02C9/40; B64D37/30; F02C7/22; Y02T50/678; B64D37/30; F02C9/40	Pendente
<i>Environmentally friendly aircraft</i>	EMBRAER SA	BR 2022050261 W	F02C9/40; Y02T90/40; B64D37/30; B64D37/04; B64D2027/005; B64D27/14; F02C9/40; B64D37/30; F05D2270/08; F05D2220/323; B64D37/04	Pendente
<i>Fuel cell/combustor systems and methods for aircraft and other applications</i>	BOEING CO	US 7966830 B2	B64D2041/005; F23C2900/03002; F23C2900/9901; Y02T90/40; B64D27/33; B64D27/355; F23C2900/9901; B64D2041/005; F23C2900/03002; Y02T90/40; B64D27/355; B64D27/33	Ativo
<i>Aircraft refuelling system</i>	AIRBUS OPERATIONS LTD	GB 202218415 A	B64D37/16; B64D37/32; B64D37/00; B64D37/14; B67D7/04; B67D7/342; B64D37/14; B64F1/28; B67D7/04; B64D37/16	Pendente
<i>Environmentally friendly aircraft</i>	EMBRAER SA	US 202418422662 A	B64D37/30; B64D37/04; B64F5/00; B64F5/10	Pendente

Portanto, os exemplos apresentados no Quadro 4 evidenciam como os diferentes fabricantes mobilizam a inovação de forma distinta em suas estratégias tecnológicas. A Airbus tem uma estratégia focada na cadeia de valor do combustível, evidenciada por suas patentes. O pedido de patente (US 202418960971 A) demonstra um investimento em sistemas inteligentes de gerenciamento de múltiplos combustíveis, o que reforça a compatibilidade e a transição segura para o SAF. Já a patente (GB 202218415 A) mostra o foco em soluções de infraestrutura e apoio à adoção do combustível, o que demonstra uma abordagem de inovação cooperativa e sistêmica.

No caso da Embraer, seu foco em soluções sistêmicas para a aviação regional é indicado nas patentes (BR 2022050261 W) e (US 202418422662 A). As classificações CPC relacionadas a tanques e sistemas de combustível indicam que a empresa está adaptando o *hardware* das aeronaves para a integração de combustíveis mais limpos. Isso sugere uma estratégia de inovação baseada em soluções integradas e práticas para o seu mercado.

A abordagem da Boeing voltada ao desenvolvimento de *hardware* proprietário é ilustrada pela patente (US 7966830 B2). Embora a patente não mencione diretamente o SAF, seu foco em sistemas de propulsão alternativos, como células de combustível e novos combustores, evidencia a estratégia de desenvolver tecnologias complementares que preservem o controle sobre os sistemas críticos da aeronave, independentemente do combustível utilizado.

4.2 Análise SWOT das fabricantes em relação ao SAF

Ao examinar as forças, fraquezas, oportunidades e ameaças de cada empresa, foi possível entender como a inovação em SAF e em tecnologias complementares posiciona a Boeing, a Airbus e a Embraer na corrida pela sustentabilidade e liderança do setor aeronáutico.

A análise cruzada entre literatura e prospecção de patentes demonstra que as empresas apresentam diferentes graus de maturidade tecnológica e estratégias de inovação. A Boeing foca na escalabilidade com metas agressivas; Airbus investe em infraestrutura e desenvolvimento colaborativo; e a Embraer se destaca pela coerência entre inovação e sustentabilidade. Os resultados sugerem que o ambiente regulatório, como o CORSIA e as metas Net Zero, influenciam as decisões corporativas de inovação. A matriz SWOT apresentada no Quadro 5 sintetiza as forças, fraquezas, oportunidades e ameaças de cada fabricante em relação ao SAF.

Quadro 5 - Análise SWOT das fabricantes em relação ao SAF

Categoria	Boeing	Airbus	Embraer
Forças	Compromisso com ampliação do uso de SAF até 2030 e programas de sustentabilidade (Feng, 2025).	Liderança em 100% SAF/ZEROe (Feng, 2025) e eficiência via <i>fello'fly</i> (Ewert; Mäurer, 2023).	Inovação regional (eVTOL/ETS) e foco em nichos sustentáveis (Sampaio; Costa, 2024).
Fraquezas	Instabilidade financeira pós-737 MAX (Shrivastava, 2020) e baixa escala em SAF (Feng, 2025).	Infraestrutura global limitada para SAF e gargalos operacionais (Ugbeh-Johnson; Carpenter, 2023).	Escala e recursos financeiros reduzidos perante competidores globais (Souza; Kaltenecker; Santos, 2022).
Oportunidades	Vantagem competitiva em rotas de longo curso via SAF (Bell et al., 2025).	Tecnologias de hidrogênio e alinhamento com 10 ODS da ONU (Talwar; Joormann; Spengler, 2022; Dube; Nhamo, 2020).	Liderança em SAF e tecnologias limpas no mercado sul-americano (Cui; Chen, 2024).
Ameaças	Riscos de <i>greenwashing</i> (Feng, 2025) e disputas com a Airbus (Zhang, 2024).	Riscos cibernéticos no <i>fello'fly</i> e altos custos de implantação (Ewert; Mäurer, 2023; Ugbeh-Johnson; Carpenter, 2023).	Entrada de grandes <i>players</i> no nicho regional e dependência política (Souza; Kaltenecker; Santos, 2022; Cui; Chen, 2024).

Para Ewert e Mäurer (2023) e Feng (2025), por um lado, a Airbus tem se posicionado como líder em sustentabilidade, com iniciativas robustas, como aeronaves zero emissão, programas que utilizam 100% de SAF e projetos inovadores, como o *fello'fly*, que reduz o consumo ao aproveitar o vórtice de outra aeronave. Por outro lado, Feng (2025) e Shrivastava (2020) destacam que, embora a Boeing enfrente desafios financeiros – especialmente após a crise do modelo 737 MAX, que prejudica sua capacidade de escalar iniciativas ligadas ao SAF e inovação sustentável –, a empresa participa de iniciativas relacionadas ao SAF e mantém o compromisso com critérios ESG. Já a Embraer, conforme analisado por Sampaio e Costa (2024), destaca-se por sua atuação em inovação regional, com projetos como o táxi elétrico (ETS) no Phenom 300, que combinam sustentabilidade e foco em nichos de mercado.

Ugbeh-Johnson e Carpenter (2023) demonstram que a Airbus, apesar de suas parcerias estratégicas, lida com limitações de infraestrutura para SAF, sendo que as diferentes combinações (*blends*) ainda exigem otimizações técnicas e operacionais. Souza, Kaltenecker e Santos (2022) observam que a Embraer opera em menor escala e possui menor disponibilidade de recursos para realizar investimentos globais em SAF, especialmente quando comparada à Boeing.

Apesar desses desafios, há oportunidades significativas para os três fabricantes. Segundo Jain e Sharma (2022) e Talwar, Joormann e Spengler (2022) a expansão do SAF, as políticas públicas de incentivo e inovações em design de aeronaves representam tendências favoráveis às quais Airbus, Boeing e Embraer já estão se adaptando com investimentos estratégicos. Cui e Chen (2024) ressaltam que a Embraer pode se beneficiar ao focar em soluções de nicho para mercados regionais, como no contexto sul-americano.

Contudo, Zhang (2024) resalta que tanto a Boeing quanto a Airbus enfrentam ameaças, incluindo críticas relacionadas ao *greenwashing* e disputas geopolíticas e comerciais, que comprometem a percepção pública e a competitividade internacional. Além disso, Bell et al. (2025) destacam que a escassez de SAF em escala global e seus altos custos continuam sendo grandes entraves para todos os fabricantes, especialmente para a Embraer, cuja capacidade de absorção desses custos é menor.

Ao cruzar os achados sobre a infraestrutura da Airbus (Ewert e Mäurer, 2023), as inovações de *hardware* da Boeing (Feng, 2025) e a flexibilidade regional da Embraer (Sampaio e Costa, 2024), torna-se possível propor um modelo de cooperação sistêmica. Esta integração visa solucionar as limitações de escala e o diferencial de custo de 120% destacados por Watson et al. (2024) e Braun, Grimme e Oesingmann (2024), oferecendo uma resposta robusta aos desafios relacionados às metas das organizações internacionais para 2050.

5 CONCLUSÃO

A análise das estratégias de inovação em SAF adotadas pela Boeing, pela Airbus e pela Embraer revela diferentes abordagens frente ao desafio da descarbonização da aviação. Embora todos os fabricantes reconheçam a urgência da transição energética, suas estratégias variam conforme os modelos de inovação, parcerias, investimentos em propriedade intelectual e contexto operacional. A Boeing adota um modelo fechado, voltado à proteção de tecnologias proprietárias, a Airbus aposta em inovação aberta e colaborativa com foco em infraestrutura e integração de sistemas. Enquanto a Embraer segue uma estratégia regional e cooperativa, com forte

articulação com centros de pesquisa e soluções adaptadas ao mercado sul-americano.

As evidências apontam que, apesar dos avanços tecnológicos, a adoção do SAF ainda enfrenta obstáculos significativos, como o alto custo de produção, a ausência de políticas robustas em escala global e a limitada infraestrutura de distribuição. Entretanto, iniciativas como o *Clean Aviation*, o CORSIA e o ProBioQAV, além de incentivos nacionais como o Combustível do Futuro, têm potencial para estimular a competitividade e a viabilidade econômica do SAF.

A integração entre inovação tecnológica, estratégias corporativas e políticas públicas é crucial para superar essas barreiras e viabilizar um sistema de aviação sustentável. Nesse contexto, a propriedade intelectual, quando conciliada com práticas colaborativas de inovação, pode constituir um importante vetor para o avanço do SAF, desde que não imponha barreiras ao acesso e à disseminação das tecnologias essenciais para a descarbonização do setor, isto é, pode funcionar como uma alavanca poderosa para o desenvolvimento do SAF.

Esta pesquisa apresenta como principais limitações o recorte temporal (2009-2025), que pode excluir inovações recentes ou em fase confidencial, e a dependência de dados públicos, sem acesso a contratos de licenciamento ou acordos estratégicos. Apesar disso, contribui de forma relevante para a literatura acadêmica ao integrar ciência, tecnologia e estratégia corporativa, oferecendo uma análise comparativa robusta sobre as estratégias de inovação em SAF dos três maiores fabricantes aeronáuticos.

Assim, sua relevância reside na combinação da revisão sistemática, da análise de patentes e da avaliação estratégica, com destaque para a aplicação da matriz SWOT, que evidenciou as forças, fraquezas, oportunidades e ameaças específicas da Boeing, da Airbus e da Embraer no contexto da transição energética. Como linha de pesquisa futura, sugere-se o aprofundamento da temática com estudos empíricos e análise dos aspectos regulatórios sobre a adoção do SAF, bem como suas implicações para a competitividade e a sustentabilidade no setor.

Agradecimentos

Este trabalho contou com apoio parcial do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, por meio da concessão de bolsa, processo nº 141942/2025-8.

REFERÊNCIAS

ADESANYA, O. Intellectual property licensing: A catalyst for innovation and new venture development. **Social Science Research Network**, 2023. DOI 10.2139/ssrn.4597761. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4597761. Acesso em: 31 maio 2026.

ANDRADE, H. *et al.* A gestão da propriedade intelectual em ambiente de inovação aberta. **Revista Espacios**, Caracas, v. 37, n. 17, p. 3, 2016. Disponível em: <https://www.revistaespacios.com/a16v37n17/16371703.html>. Acesso em: 31 maio 2026.

AIRBUS. **Airbus evolves its innovation landscape with Airbus Scale**. 2021. Disponível em: <https://www.airbus.com/en/newsroom/press-releases/2021-11-airbus-evolves-its-innovation-landscape-with-airbus-scale>. Acesso em: 18 jun. 2025.

ALMENA, A.; SIU, R.; CHONG, K.; THORNLEY, P.; RÖDER, M. Reducing the environmental impact of international aviation through sustainable aviation fuel with integrated carbon capture and storage. **Energy Conversion and Management, Amsterdam**, v. 303, p. 118186, 2024. DOI 10.1016/j.enconman.2024.118186. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890424001274?via%3Dihub>. Acesso em: 31 maio 2026.

ANAC - AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **Conexão SAF**. Brasília, DF, 2024. Disponível em: <https://hotsites.anac.gov.br/conexaosaf/>. Acesso em: 26 fev. 2026.

ARUNNIMA, B. S.; BIJULAL, D.; KUMAR, R. S. Open innovation intellectual property risk maturity model: An approach to measure intellectual property risks of software firms engaged in open innovation. **Sustainability**, Basel, v. 15, n. 14, p. 11036, 2023. DOI 10.3390/su151411036. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/14/11036>. Acesso em: 31 maio 2026.

BELL, A. *et al.* Life cycle CO₂e intensity of commercial aviation with specific sustainable aviation fuels. **Applied Energy**, Oxford, v. 382, p. 125075, 2025. DOI 10.1016/j.apenergy.2024.125075. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261924024590?via%3Dihub>. Acesso em: 31 maio 2026.

BERGERO, G.; GIELEN, D.; KANG, C. Pathways to net-zero emissions from aviation. **Clean Energy**, Oxford, v. 7, n. 4, p. 404-414, 2023. DOI 10.1093/ce/zkad019. Disponível em: <https://academic.oup.com/ce/article/7/4/795/7234643>. Acesso em: 31 maio 2026.

BRANDT, K. L.; MARTINEZ VALENCIA, L.; WOLCOTT, M. P. Cumulative impact of federal and state policy on minimum selling price of sustainable aviation fuel. **Frontiers in Energy Research**, Lausanne, v. 10, p. 828789, 2022. DOI 10.3389/fenrg.2022.828789. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/energy-research/articles/10.3389/fenrg.2022.828789/full>. Acesso em: 31 maio 2026.

BRAUN, M.; GRIMME, W.; OESINGMANN, K. Pathway to net zero: Reviewing sustainable aviation fuels, environmental impacts and pricing. **Journal of Air Transport Management**, [s. l.], v. 117, p. 102575, 2024. DOI 10.1016/j.jairtraman.2024.102580. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0969699724000450>. Acesso em: 31 maio 2026.

BRASIL. **Lei nº 14.993, de 8 de outubro de 2024**. Dispõe sobre a promoção da mobilidade sustentável de baixo carbono, a captura e estocagem de dióxido de carbono, além de instituir programas de combustíveis sustentáveis. Brasília: Presidência da República, 2024. Disponível em:

https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/lei/l14993.htm. Acesso em: 23 maio 2026.

BRISSET, N. Big Data Tooling and Usage Perspectives in the Airbus Helicopters Test Center. In: **EUROPEAN TEST AND TELEMETRY CONFERENCE - ETTTC 2022**, Nuremberg, Alemanha, 2022. Proceedings... Marignane: Airbus Helicopters, 2022. DOI 10.5162/ettc2022/7.4. Disponível em: <https://www.ama-science.org/proceedings/details/4219>. Acesso em: 31 maio 2026.

CAAS AND AIRBUS. CAAS and Airbus sign MOU on sustainable aviation. **Fuel Cells Bulletin**, 2021. DOI: 10.1016/s1464-2859(21)00644-1. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/s1464-2859\(21\)00644-1](https://doi.org/10.1016/s1464-2859(21)00644-1). Acesso em: 31 maio 2026.

CABRERA, E.; DE SOUSA, J. M. M. Use of sustainable fuels in aviation - A review. **Energies**, Basel, v. 15, n. 7, p. 2440, 2022. DOI 10.3390/en15072440. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/7/2440>. Acesso em: 31 maio 2026.

CHUNIKHINA, T. S. et al. Strategic management of open innovations. **Economics. Finances. Law**, [S. l.], n. 3, p. 26-29, 2022. DOI 10.37634/efp.2022.3.6. Disponível em: <https://efp.in.ua/en/journal-article/852>. Acesso em: 31 maio 2026.

CINTRA, P. R.; COSTA, J.; CAMPOS, A. Proximities at the aerospace complex of São José dos Campos (Brazil). **Management Research: Journal of the Iberoamerican Academy of Management**, Bingley, v. 18, n. 6, p. 201-219, 2019. DOI 10.1108/mrjiam-11-2018-0890. Disponível em: <https://www.emerald.com/mrjiam/article-abstract/18/2/201/452516/Proximities-at-the-aerospace-complex-of-Sao-Jose?redirectedFrom=fulltext>. Acesso em: 31 maio 2026.

CLAUDEL, C. SoPhAr: Solar Phased-Arrays to boost the range of electric, hydrogen and SAF airliners in a solar world. **ArXiv**, Ithaca, 2024. DOI 10.48550/arXiv.2404.04779. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2404.04779>. Acesso em: 31 maio 2026.

CUI, Q.; CHEN, B. Cost-benefit analysis of using sustainable aviation fuels in South America. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 435, p. 140556, 2024. DOI 10.1016/j.jclepro.2024.140556. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652624000039?via%3Dihub>. Acesso em: 31 maio 2026.

DE NEGRI, F.; SQUEFF, F. de H. S. (org.). **Sistemas setoriais de inovação e infraestrutura de pesquisa no Brasil**. Brasília: Ipea: FINEP: CNPq, 2016. 637 p. Disponível em: <https://repositorio.mcti.gov.br/handle/mctic/5147>. Acesso em: 18 jul. 2025.

DEUBER, R. S. et al. Production of sustainable aviation fuels from lignocellulosic residues in Brazil through hydrothermal liquefaction: Techno-economic and environmental assessments. **Energies**, Basel, v. 16, n. 6, p. 2723, 2023. DOI 10.3390/en16062723. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/6/2723>. Acesso em: 31 maio 2026.

DUBE, K.; NHAMO, G. Major global aircraft manufacturers and emerging responses to the SDGs agenda. In: NHAMO, G.; ADOM, A. B.; DUBE, D. T. G. (ed.). **Sustainable Development Goals and Institutions of Higher Education**. Cham: Springer, 2020. p. 99-113. DOI 10.1007/978-3-030-33216-7_7. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-33216-7_7. Acesso em: 31 maio 2026.

EMBRAER. **Relatório anual 2024**. São José dos Campos: Embraer, 2024.

Disponível em:

https://www.embraer.com/media/upmo2iux/relatorio_anual_2024_pt.pdf. Acesso em: 24 jul. 2025.

EMBRAER. **Embraer-X destaca inovação aberta em iniciativa conjunta com o Sustainable Aero Lab, da Alemanha**. 2024. Disponível em:

<https://www.embraer.com/media-center/pt/?mediatype=NEWS&detail=13851-Embraer-X-destaca-inova%C3%A7%C3%A3o-aberta-em-iniciativa-conjunta-com-o-Sustainable-Aero-Lab%2C-da-Alemanha>. Acesso em: 14 set. 2025.

EMBRAER. **Embraer avança em estudos com SAF após aquisição do biocombustível da Vibra**. São José dos Campos, 2025. Disponível em:

<https://www.embraer.com/media-center/pt/?mediatype=NEWS&detail=22178>. Acesso em: 26 fev. 2026.

EWERT, T.; MÄURER, N. Safety and security considerations on the Airbus wake energy retrieval program "fello'fly". In: **INTEGRATED COMMUNICATION, NAVIGATION AND SURVEILLANCE CONFERENCE (ICNS)**, 2023. Anais [...].

Piscataway: IEEE, 2023. p. 1-12. DOI 10.1109/ICNS58246.2023.10124302.

Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10124302>. Acesso em: 31 maio 2026.

EYBERG, V. *et al.* Techno economic assessment and comparison of Fischer-Tropsch and Methanol to Jet processes to produce sustainable aviation fuel via Power-to-Liquid. **Energy Conversion and Management**, Amsterdam, v. 315, p. 118728, 2024. DOI 10.1016/j.enconman.2024.118728. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890424006691?via%3Diuhub>. Acesso em: 31 maio 2026.

EPE - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Análise de conjuntura dos biocombustíveis: ano 2024**. Rio de Janeiro, 2025. (NT-EPE-DPG-SDB-2025-06).

Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-904/NT-EPE-DPG-SDB-2025-06_An%C3%A1lise%20de%20Conjuntura_Ano%20base%202024.pdf. Acesso em: 26 fev. 2026.

EASA - EUROPEAN UNION AVIATION SAFETY AGENCY. **European Aviation Environmental Report**. 2025. ISBN: 978-92-9210-286-9. DOI: 10.2822/1537033.

Disponível em: https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/eaer-downloads/EASA_EAER_2025_Book_v5.pdf. Acesso em: 31 maio 2026.

FENG, Z. ESG risk assessment in the aviation industry: A comparative analysis of Airbus, Boeing, and Bombardier's financial and sustainability strategies. **Advances in Economics, Management and Political Sciences**, [S.

1.], v. 151, p. 85-91, 2025. DOI 10.54254/2754-1169/2024.19424. Disponível em: <https://aemps.ewapub.com/article/view/19424>. Acesso em: 31 maio 2026.

FERNANDES, J. *et al.* Biocombustíveis na aviação: desafios e inovações. **Revista Foco**, [S. l.], v. 17, n. 10, p. 1-15, 2024. DOI 10.54751/revistafoco.v17n10-021. Disponível em: <https://ojs.focopublicacoes.com.br/foco/article/view/6360>. Acesso em: 31 maio 2026.

FIORINI, A. C. *et al.* Sustainable aviation fuels must control induced land use change: An integrated assessment modelling exercise for Brazil. **Environmental Research Letters**, Bristol, v. 18, n. 1, p. 015001, 2023. DOI 10.1088/1748-9326/acaee1. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/acaee1>. Acesso em: 31 maio 2026.

FUSARO, R.; VIOLA, N.; GALASSINI, D. Sustainable supersonic fuel flow method: An evolution of the Boeing fuel flow method for supersonic aircraft using sustainable aviation fuels. **Aerospace**, Basel, v. 8, n. 11, p. 331, 2021. DOI 10.3390/aerospace8110331. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2226-4310/8/11/331>. Acesso em: 31 maio 2026.

GALGANI, M. Embraer Stock In Focus After Boeing Backs Prototype For Flying Taxi Unit. **Investor's Business Daily**, Los Angeles, 2024. Disponível em: <https://www.investors.com/research/how-to-find-the-best-stocks-to-buy/embraer-erj-stock-evtol-eve-air-mobility-prototype-boeing/>. Acesso em: 25 jul. 2025.

SCHNEIDER, L.; GRAICHEN, J. Should CORSIA be changed due to the COVID-19 crisis? Berlin: **Öko-Institut**, 2020. Disponível em: <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Should-CORSIA-be-changed-due-to-the-COVID-19-crisis.pdf>. Acesso em: 31 maio 2026.

GRIMALDI, M.; GRECO, M.; CRICELLI, L. A framework of intellectual property protection strategies and open innovation. **Journal of Business Research**, Amsterdam, v. 123, p. 156-164, 2021. DOI 10.1016/j.jbusres.2020.09.043. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0148296320306263?via%3Dihub>. Acesso em: 31 maio 2026.

HILL, C.; NWEIRAN, R. B. Evolving university partnerships for sustainable development. In: CALDERON, C. A. (ed.). **University partnerships for sustainable development**. Bingley: Emerald Publishing, 2020. cap. 13. DOI 10.1108/s2055-364120200000020013. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/342314897_Evolving_University_Partnerships_for_Sustainable_Development. Acesso em: 31 maio 2026.

HYPE INNOVATION. **How Airbus created a successful innovation management program**. 2024. Disponível em: <https://www.hypeinnovation.com/how-airbus-created-a-successful-innovation-management-program>. Acesso em: 18 jun. 2025.

IATA - INTERNATIONAL AIR TRANSPORT ASSOCIATION. **Developing Sustainable Aviation Fuel (SAF)**. Montreal, 2026. Disponível em:

<https://www.iata.org/en/programs/sustainability/sustainable-aviation-fuels/>. Acesso em: 23 maio 2026.

ICAO - INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. **Sustainable Aviation Fuels (SAF)**. Montreal, 2022. Disponível em:

<https://www.icao.int/environmental-protection/pages/SAF.aspx>. Acesso em: 18 jul. 2025.

INPI - INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL. **Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF): pedidos de patente no Brasil e no mundo**.

Brasília, DF, 2026. (Radar Tecnológico n. 48). Disponível em: https://www.gov.br/inpi/pt-br/uso-estrategico-da-pi/estudos-e-informacao-tecnologica/radar-tecnologico_saf_2026_rev-final.pdf. Acesso em: 26 fev. 2026.

JAIN, I.; SHARMA, M. The move towards sustainable aviation. **Journal of Student Research**, [S. l.], v. 11, n. 3, 2022. DOI

10.47611/jsrhs.v11i3.2923. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/369675009_The_Move_Towards_Sustainable_Aviation. Acesso em: 31 maio 2026.

KURZAWSKA-PIETROWICZ, P. Life cycle emission of selected sustainable aviation fuels - A review. **Transportation Research Procedia**, Amsterdam, v. 75, p. 77-85, 2023. DOI 10.1016/j.trpro.2023.12.010. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235214652301253X?via%3Dihub>. Acesso em: 31 maio 2026.

MAULET, N. UK policy instruments for aviation decarbonisation: The sustainable aviation fuel mandate and policymaking approach underlying the future UK framework. **Global Energy Law and Sustainability**, Edinburgh, v. 5, n. 2, p. 182-197, 2024. DOI 10.3366/gels.2024.0123. Disponível em:

<https://www.eupublishing.com/doi/10.3366/gels.2024.0123>. Acesso em: 31 maio 2026.

MALINA, R.; ABATE, M.; SCHLUMBERGER, C. E.; NAVARRO PINEDA, F. **The role of sustainable aviation fuels in decarbonizing air transport**. Washington, DC: World Bank, 2022. Disponível em:

<https://documents1.worldbank.org/curated/en/099845010172249006/pdf/P17486308a996a08b098a10d078d421c6a3.pdf>. Acesso em: 23 maio 2026.

MAZIOĞLU, V.; GÜNGÖR, H. An Examination of the Sustainability Activities of Global Airline Collaborations within the Scope of IATA's Sustainability Goals. **Journal of Aviation**, [S. l.], v. 8, n. 3, p. 288-304, 2024. DOI

10.30518/jav.1483173. Disponível em: <https://dergipark.org.tr/en/pub/jav/article/1483173>. Acesso em: 31 maio 2026.

MENG, Z. A financial analysis and risk assessment of Airbus. **Advances in Economics, Management and Political Sciences**, [S. l.], 2025. DOI

10.54254/2754-1169/2024.19445. Disponível em: <https://aemps.ewapub.com/article/view/19445>. Acesso em: 31 maio 2026.

MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Análise econômica de diferentes rotas de produção de SAF**. Brasília, DF: MME, 2024. Disponível em:

<http://www.gov.br/mme/pt-br/programa-combustivel-do-futuro/analise-economica-diferentes-rotas-de-producao-de-saf.pdf>. Acesso em: 23 maio 2026.

MKRTCHYAN, A.; BAI, J. (Jianqiu); DAI, R.; WAN, C. Creativity without walls: The case of open innovation. **The Wharton School Research Paper**, Philadelphia, 2025. DOI 10.2139/ssrn.5150413. Disponível em:

https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=5150413. Acesso em: 31 maio 2026.

NING, X. *et al.* Experimental and numerical studies on the explosion characteristics of ethanol-air mixtures under aviation conditions. **Fire**, Basel, v. 6, n. 9, p. 349, 2023. DOI 10.3390/fire6090349. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2571-6255/6/9/349>. Acesso em: 31 maio 2026.

PEREIRA, B.; LOHMANN, G.; HOUGHTON, L. The role of collaboration in innovation and value creation in the aviation industry. **Journal of Creating Value**, Thousand Oaks, v. 7, n. 1, p. 44-59, 2021. DOI

10.1177/23949643211010588. Disponível em:

<https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/23949643211010588>. Acesso em: 31 maio 2026.

RADE, D. *et al.* Brazilian Engineering Research Center for the Aerial Mobility of the Future. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRICAL SYSTEMS FOR AIRCRAFT, RAILWAY, SHIP PROPULSION AND ROAD VEHICLES & INTERNATIONAL TRANSPORTATION ELECTRIFICATION CONFERENCE (ESARS-ITEC)**, 2023. Anais [...]. Piscataway: IEEE, 2023. p. 1-6. DOI 10.1109/ESARS-ITEC57127.2023.10114814. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ESARS-ITEC57127.2023.10114814>. Acesso em: 31 maio 2026.

RAÍZEN. **Combustível Sustentável de Aviação (SAF): o que falta para a ideia virar realidade**. Piracicaba, 2026. Disponível em:

<https://www.raizen.com.br/blog/saf-combustivel>. Acesso em: 26 fev. 2026.

ROJAS-MICHAGA, M. F. *et al.* Sustainable aviation fuel (SAF) production through power to liquid (PtL): A combined techno economic and life cycle assessment. **Energy Conversion and Management**, Amsterdam, v. 275, p. 117427, 2023. DOI 10.1016/j.enconman.2023.117427. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890423007732?via%3Dihub>. Acesso em: 31 maio 2026.

SAMPAIO, L.; COSTA, J. Electric Taxiing System. Kinetic Energy Recovery System as an electric taxiing solution: Economic and environmental analysis. **Journal of the Air Transport Research Society**, Amsterdam, 2024. DOI 10.1016/j.jatrs.2024.100037. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2941198X24000484?via%3Dihub>. Acesso em: 31 maio 2026.

SHEHAB, M. *et al.* Analysis of the potential of meeting the EU's sustainable aviation fuel targets in 2030 and 2050. **Sustainability**, Basel, v. 15, n.

12, p. 9266, 2023. DOI 10.3390/su15129266. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/12/9266>. Acesso em: 31 maio 2026.

SHRIVASTAVA, V. A study on the crash of Boeing 737 MAX. **International Journal of Science and Research (IJSR)**, [S. l.], 2020. DOI 10.21275/sr20805210709. Disponível em: <https://www.ijsr.net/getabstract.php?paperid=SR20805210709>. Acesso em: 31 maio 2026.

SILTALOPPI, J.; BALLARDINI, R. Promoting systemic collaboration for sustainable innovation through intellectual property rights. **Journal of Co-operative Organization and Management**, Amsterdam, v. 11, n. 2, p. 100200, 2023. DOI 10.1016/j.jcom.2023.100200. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213297X23000034?via%3Dihub>. Acesso em: 31 maio 2026.

SOUZA, C. L.; KALTENECKER, E.; SANTOS, A. B. Internationalization of manufacturing and global value chains: Analysis of manufacturing profiles between Embraer and Boeing. **Pensamento & Realidade**, São Paulo, v. 36, n. 2, p. 117-127, 2022. DOI 10.23925/2237-4418.2021v36i2p.117-127. Disponível em: <https://revistas.pucsp.br/index.php/pensamentorealidade/article/view/57400>. Acesso em: 31 maio 2026.

TALWAR, C.; JOORMANN, I.; SPENGLER, T. Comparison of adoption rates of hydrogen, hydrogen-electric and SAF in the future air transport system with a system dynamics model. In: SPENGLER, T. S.; L. G. S. et al. (ed.). **Operations Research Proceedings**. Cham: Springer, 2022. p. 597-602. DOI 10.1007/978-3-031-24907-5_71. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-24907-5_71. Acesso em: 31 maio 2026.

UGBEH-JOHNSON, J.; CARPENTER, M. The impact of sustainable aviation fuels on aircraft fuel line ice formation and pump performance. **The Aeronautical Journal**, Cambridge, 2023. DOI 10.1017/aer.2023.6. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/aeronautical-journal/article/impact-of-sustainable-aviation-fuels-on-aircraft-fuel-line-ice-formation-and-pump-performance/A0926BF97F25641B30DD9E33FB96781F>. Acesso em: 31 maio 2026.

UNDAVALLI, V. et al. Recent advancements in sustainable aviation fuels. **Progress in Aerospace Sciences**, Oxford, v. 136, p. 100876, 2023. DOI 10.1016/j.paerosci.2022.100876. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0376042122000689?via%3Dihub>. Acesso em: 31 maio 2026.

WALTER, A. et al. Spatially explicit assessment of the feasibility of sustainable aviation fuels production in Brazil: Results of three case studies. **Energies**, Basel, v. 14, n. 16, p. 4972, 2021. DOI 10.3390/en14164972. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/16/4972>. Acesso em: 31 maio 2026.

WANG, S.; ZHANG, J.; WEI, H. China's aviation passenger transport can reduce CO2 emissions by 2.9 billion tons by 2050 if certain abatement

options are implemented. **One Earth**, Cambridge, v. 6, n. 8, p. 1050-1065, 2023. DOI 10.1016/j.oneear.2023.07.009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S259033222300310X>. Acesso em: 31 maio 2026.

WATSON, M. J.; OU, L.; BENDER, J.; LI, Y. Sustainable aviation fuel technologies, costs, emissions, policies, and markets: A critical review. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 449, p. 141472, 2024. DOI 10.1016/j.jclepro.2024.141472. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095965262400920X?via%3Dihub>. Acesso em: 31 maio 2026.

WIPO. WIPO Technology Trends Technical Annex: The Future of Transportation in the Air - **Emerging Technology in Detail: Sustainable Aviation Fuel**. Genebra: WIPO, 2025. Disponível em: <https://www.wipo.int/web-publications/wipo-technology-trends-technical-annex-the-future-of-transportation-in-the-air/en/emerging-technology-in-detail-sustainable-aviation-fuel.html>. Acesso em: 31 maio 2026.

XU, G. Airbus—A solid, reliable and trustworthy long-term partner for China. In: **China and Globalization**. Cham: Springer, 2022. p. 1-15. DOI 10.1007/978-981-16-8603-0_15. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/358665713_Airbus-A_Solid_Reliable_and_Trustworthy_Long-Term_Partner_for_China. Acesso em: 31 maio 2026.

ZHANG, J. The subsidy dispute derived from the long-time competition between Airbus and Boeing. **Finance & Economics**, [S. l.], v. 1, n. 3, p. 119-126, 2024. DOI 10.61173/yz9f4e66. Disponível em: <https://lsee.net/index.php/fe/article/view/253>. Acesso em: 31 maio 2026.