

Panorama dos Combustíveis Sustentáveis de Aviação (SAF)

A descarbonização é um desafio global com maior complexidade para aqueles setores considerados como de difícil abatimento de carbono. É o caso do setor aeroviário. Dados do Fórum Econômico Mundial apontam que, em 2023, a aviação foi responsável por aproximadamente 2,5% das emissões globais de gás carbônico - CO₂. Enquanto o mundo continua a crescer, e assim deve seguir o aumento da demanda por combustíveis de aviação, já existem metas globais e individuais em muitos países para redução de emissões de gases de efeito estufa no transporte aéreo.

Neste cenário, o SAF¹ surge como uma das principais alternativas para mitigar as emissões desse setor. Com capacidade de proporcionar uma integração para uma aviação menos carbono-intensiva, tais biocombustíveis não comprometem o desempenho das aeronaves já existentes e não demandam modificações relevantes na infraestrutura de abastecimento nos aeroportos. O Brasil, com sua experiência na produção de biocombustíveis e a alta disponibilidade de matérias-primas renováveis, possui um grande potencial para assumir a liderança desse mercado de SAF e contribuir também nessa frente para uma economia global de baixo carbono.

Para melhor entendimento do mercado, esta nota técnica foi estruturada em diferentes seções e conta com um apêndice único sobre as principais rotas tecnológicas para obtenção dos combustíveis sustentáveis de aviação. Inicialmente, apresentamos um olhar sobre o mercado de combustíveis de aviação no mundo e no Brasil. Na sequência, ilustramos dados mundiais de SAF, incluindo quais são as principais empresas já estabelecidas, como está a regulamentação internacional e a participação do Brasil, além da projeção de consumo de SAF no país. Por fim, destacamos os principais projetos nacionais mapeados, em especial, aqueles localizados no estado do Rio de Janeiro.

COMBUSTÍVEIS DE AVIAÇÃO NO MUNDO E NO BRASIL

Antes de tratar especificamente dos combustíveis sustentáveis de aviação, é fundamental entender o mercado tradicional. Historicamente, a aviação depende de dois tipos principais de combustíveis de origem fóssil: a gasolina de aviação ou AVGAS, e o querosene de aviação ou QAV. O AVGAS é utilizado em aeronaves de

¹ SAF - *Sustainable Aviation Fuel* - Combustível Sustentável de Aviação

pequeno porte, equipadas com motores a pistão, enquanto o QAV é o combustível predominante no setor aéreo global, abastecendo grandes aeronaves e helicópteros que utilizam motores a turbina.

O QAV possui três principais classificações diferenciadas de acordo com o ponto de congelamento e outras propriedades físico-químicas:

- Jet A: utilizado nos Estados Unidos e no Canadá, com disponibilidade restrita a alguns aeroportos;
- Jet A-1 ou QAV-1: a versão mais amplamente utilizada em aeroportos ao redor do mundo, devido à sua maior estabilidade térmica e resistência a temperaturas extremas;
- Jet B: possui um ponto de congelamento mais baixo e é utilizado em regiões com temperaturas extremamente frias, como Alasca e Canadá.

Independentemente da classificação, tanto o AVGAS quanto o QAV apresentam uma qualidade superior em comparação aos combustíveis utilizados no transporte rodoviário. Além disso, esses combustíveis são formulados com aditivos especiais que reduzem o risco de congelamento e minimizam a volatilidade, reduzindo o potencial de explosão em condições operacionais extremas.

Com relação à demanda, o querosene de aviação tem mantido sua trajetória crescente nos últimos anos, acompanhando o crescimento do setor aéreo global pós-pandemia. De acordo com dados da EIA², em 2023, foram consumidos aproximadamente 417 bilhões de litros de QAV no mundo, sendo os principais mercados consumidores apresentados na Figura 1.

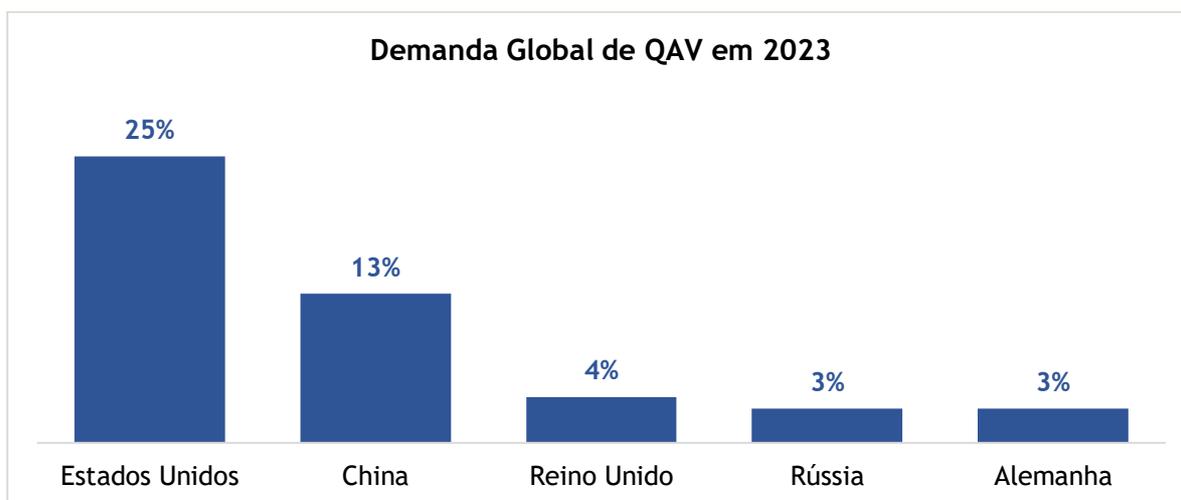


Figura 1 - Principais países consumidores de QAV em 2023 - fonte: EIA, 2023.

No Brasil, o consumo de QAV também apresenta grande relevância dentro do contexto energético nacional. Em 2024, a demanda brasileira foi de 7,0 bilhões de litros, e as projeções indicam um leve crescimento nos próximos anos. As estimativas da EPE³ apontam para um consumo de 7,3 e 7,5 bilhões de litros em 2025 e 2026 respectivamente.

² EIA - *Energy Information Administration* - Administração de Informação de Energia, agência do governo dos EUA

³ EPE - Empresa de Pesquisa Energética

DADOS MUNDIAIS DE SAF E PRINCIPAIS EMPRESAS ESTABELECIDAS

De acordo com o estudo de 2025 da ABBB⁴, alguns números podem ilustrar o panorama atual de SAF no mundo:

- Desde 2011, mais de 870 mil voos comerciais foram operados com SAF (representa 2,3% dos voos comerciais de 2024);
- 69 aeroportos são regularmente abastecidos por SAF (-0,7% dos aeroportos comerciais);
- 50 companhias aéreas se comprometeram com metas de SAF até 2030 (-1% das cias aéreas).

Em relação aos players do mercado mundial, a consultoria internacional SimpliFlying (2023) listou as 100 empresas produtoras de SAF por insumo, conforme a Figura 2. As principais empresas estão sediadas nos EUA - Gevo, Fulcrum Bioenergy e Alder Renewables; Reino Unido - Shell Aviation; e Finlândia - Neste.



Figura 2 - 100 Companhias trabalhando com SAF - fonte: SIMPLIFYNG, 2023.

⁴ ABBB - *Aviation Benefits Beyond Borders* - Benefícios da Aviação Além de Fronteiras, iniciativa da indústria de aviação comercial

REGRAS INTERNACIONAIS E O CONTEXTO BRASIL

Diante do crescimento da demanda e das suas conseqüentes emissões de gases de efeito estufa no setor da aviação, torna-se necessário adotar estratégias de descarbonização para reduzir o impacto ambiental dessa indústria. Dados da IATA⁵ de 2024 mostram que os combustíveis sustentáveis de aviação serão responsáveis por 65% da redução das emissões necessárias para que o setor alcance a neutralidade de carbono em 2050 (*net zero*). Essa transição deverá ocorrer em conjunto com outras medidas, como a compensação e captura de carbono, melhorias na eficiência da infraestrutura e das operações, além do desenvolvimento de novas tecnologias disruptivas, como aeronaves movidas a hidrogênio e eletricidade.

Assim, muitos países têm se mobilizado para impulsionar o desenvolvimento e a adoção desses combustíveis, seguindo diretrizes estabelecidas por organismos internacionais, como o CORSIA⁶ da ICAO⁷, que estabeleceu a meta de zero emissões líquidas até 2050.

O programa internacional foi estabelecido com o objetivo de mitigar as emissões de CO₂ provenientes dos voos internacionais, com base nos níveis de referência de 2019 e 2020. O Brasil aderiu ao CORSIA, que atualmente é regulamentado pela resolução da ANAC⁸, nº 743 de 2024. A Figura 3 mostra os países que aderiram no CORSIA.

A implementação foi planejada para ocorrer em três etapas. A etapa inicial, fase piloto, teve início em 2021 e foi concluída em 2023. A fase voluntária tem previsão de conclusão em 2026 e visa permitir uma adaptação progressiva dos países e das companhias aéreas envolvidas, como detalhado abaixo:

- Fase Voluntária - entre 2024 e 2026 - expansão da adesão voluntária, para atrair a participação de mais países;
- Fase Obrigatória - a partir de 2027 - todos os Estados signatários, exceto os países menos desenvolvidos e nações de pequeno porte, deverão cumprir integralmente as diretrizes do programa.

⁵ IATA - *International Air Transport Association* - Associação Internacional de Transporte Aéreo

⁶ CORSIA - *Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation* - Esquema de Compensação e Redução de Carbono para a Aviação Internacional

⁷ ICAO - *International Civil Aviation Organization* - Organização da Aviação Civil Internacional

⁸ ANAC - Agência Nacional de Aviação Civil

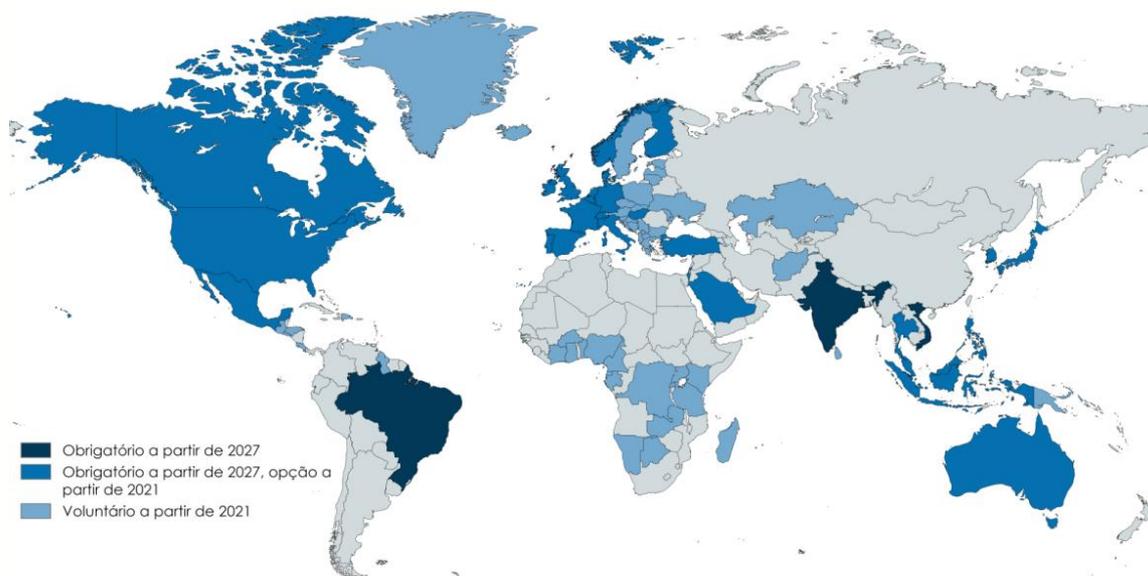


Figura 3 - Países participantes do CORSIA em 2023 - fonte: ICAO, 2023.

Na etapa atual do CORSIA, as companhias aéreas que operam rotas internacionais a partir do Brasil devem monitorar, reportar e verificar suas emissões de CO₂. Esse processo é essencial para estabelecer uma base de dados confiável e preparar as empresas para a fase obrigatória do programa. A partir de 2027, os operadores aéreos terão que compensar qualquer emissão internacional que ultrapasse a média registrada no período de 2019-2020, obrigação já válida para o Brasil conforme regulamentação da ANAC.

LEI COMBUSTÍVEL DO FUTURO E PROJEÇÃO NACIONAL DE CONSUMO DE SAF

Em outubro de 2024, entrou em vigor a Lei nº 14.993/24, conhecida como “Lei do Combustível do Futuro”, um marco legal voltado para a descarbonização do setor de transportes no Brasil. Essa legislação estabelece programas nacionais para o desenvolvimento e incentivo ao uso de combustíveis renováveis, incluindo o ProBioQAV⁹ e complementa o RenovaBio, política nacional de biocombustíveis no Brasil, estabelecida pela Lei 13.576/17.

Este Programa estabelece que em menos de dois anos as companhias aéreas que operam voos domésticos no Brasil serão obrigadas a reduzir suas emissões de GEE¹⁰ através do uso progressivo de SAF.

Para garantir a efetividade do programa, a ANP¹¹ e a ANAC terão papéis importantes para definição da metodologia de cálculo de quanto o BioQAV emite menos em relação ao QAV e para a fiscalização do cumprimento das obrigações pelas empresas aéreas. A quantidade de SAF necessária para atender às metas de redução de emissões não será fixa em termos volumétricos, mas sim proporcional à intensidade de carbono

⁹ ProBioQAV - Programa Nacional de Combustível Sustentável de Aviação

¹⁰ GEE - gases de efeito estufa

¹¹ ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

do combustível consumido. Isso ocorre porque tanto o CORSIA quanto o ProBioQAV baseiam suas metas em redução de emissões e não em volume absoluto de combustível consumido.

Cálculos próprios da Firjan, com base nas projeções de consumo de SAF da EPE, apontam para o volume anual que deve ser demandado para atender os voos domésticos dada a obrigação colocada pelo marco legal a partir de 2027. Para isso, utilizamos a média entre as intensidades de carbono máxima e mínima dos combustíveis. Os resultados e as metas de incorporação de SAF pelo ProBioQAV, podem ser consultados na Tabela 1.

Tabela 1 - Percentual anual mínimo de redução das emissões e projeção de consumo de SAF.

Ano	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037
Obrigação	1%	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%	9%	10%
Cálculo de demanda - voos domésticos (milhões de litros)	83	153	223	294	410	526	643	759	890	1.022	1.153

Esse cronograma visa uma transição estruturada para a adoção do SAF, incentivando investimentos em novas tecnologias e na capacidade produtiva nacional. A Empresa de Pesquisa Energética também realizou projeções da demanda de SAF no Brasil para o período de 2027 a 2037, considerando tanto as exigências do Brasil quanto as demandas oriundas da aviação internacional (ProBioQAV + CORSIA). Os estudos indicam que:

- Em 2027, o volume de SAF necessário pode variar entre 0,9 e 3,0 bilhões de litros, dependendo da intensidade de carbono do combustível disponível no mercado.
- Em 2037, com a ampliação das metas e a possível expansão da produção, a demanda projetada cresce para uma faixa entre 2,9 e 9,1 bilhões de litros.

Importante notar que já daqui a menos de dois anos, em 2027, o maior volume de SAF consumido no Brasil será para atender as metas dos voos internacionais com origem no país. Ao analisar os resultados dos estudos conjuntamente, podemos afirmar que a demanda para os voos domésticos, para 2027, deve variar em percentual de volume entre 3% e 9% no total de SAF brasileiro, sem considerar as compensações de crédito de carbono.

Historicamente, o percentual de combustível de aviação destinado a vendas internas fica no patamar aproximado de 61%, de acordo com dados obtidos no Painel Dinâmico do Mercado Brasileiro de Combustíveis de Aviação da ANP. Logo, podemos estimar também que se trabalharmos com o cenário de média de intensidade de carbono e um consumo total de combustível de aviação no Brasil até 7,8 bilhões de litros em 2027, o percentual de mistura em volume para voos domésticos deverá iniciar em 2027 com algo perto de 1,7%, valor que pode variar de acordo com quanto o biocombustível produzido emitirá a menos de gás de efeito estufa em seu ciclo de vida.

PROJETOS NO BRASIL E NO RIO DE JANEIRO

Apesar de ainda não haver capacidade produtiva instalada no país para produção de SAF, o Brasil é líder em biocombustíveis e tem abundância em matéria-prima renovável que pode ser utilizada em plantas de produção no futuro.

No estado do Rio de Janeiro, empreendimentos estão em fase de estudo ou desenvolvimento, indicando um potencial para agregar a capacidade produtiva nacional de SAF. Os projetos em destaque são liderados pela Petrobras:

- **Complexo de Energias Boaventura** - investimento em planta de biorrefino em Itaboraí, em área contígua onde já está estabelecida a operação do projeto integrado Rota 3, para produção de combustíveis sustentáveis.
- **Expansão da REDUC** - a Petrobras está conduzindo testes de coprocessamento de QAV (querosene de aviação) com 1% de conteúdo renovável na refinaria de Duque de Caxias, com previsão de introdução comercial em 2025, de acordo com notícias veiculadas na agência MegaWhat.

Já no Brasil, existem grandes projetos confirmados, que devem totalizar uma capacidade de produção futura de aproximadamente 1,1 bilhão de litros de SAF por ano:

- **Zona Franca de Manaus (AM):** A empresa Brasil BioFuels (BFF) está desenvolvendo uma biorrefinaria, com capacidade produtiva de 500 milhões de litros anuais de SAF e diesel verde (HVO), com utilização de óleos de palma, soja e milho como matérias-primas. O início da operação está previsto para 2026.
- **Refinaria de Mataripe (BA):** A Acelen Renováveis planeja construir uma biorrefinaria anexa à Refinaria de Mataripe, com previsão de início das operações em 2028. O empreendimento terá capacidade para produzir 1 bilhão de litros por ano de diesel verde (HVO) e SAF. A empresa aposta na diversificação das matérias-primas utilizadas, com um foco especial na macaúba, uma palmeira nativa do Brasil que pode ser uma alternativa sustentável ao óleo de soja.
- **Refinaria Presidente Bernardes (SP):** A Petrobras planeja produzir SAF e diesel verde em uma nova unidade que será instalada na Refinaria Presidente Bernardes (RPBC), em Cubatão (SP). Com início previsto para 2029, a planta terá uma capacidade de produção estimada em 350 milhões de litros de SAF por ano. A principal matéria-prima utilizada será uma mistura de 70% de óleo de soja e 30% de sebo bovino.
- **Refinaria de Paulínia (SP):** A Petrobras prepara uma planta de SAF a partir do etanol - rota *alcohol to jet* (ATJ) - com capacidade projetada de produzir 10 mil barris de SAF por dia, consumindo de 3 milhões a 4 milhões de litros de álcool por dia.

Ademais, enquanto a produção nacional de SAF avança, o Brasil já conta com sua primeira operação de importação do combustível. Em março de 2025, a Vibra Energia, por meio da sua subsidiária BR Aviation, realizou a primeira importação e distribuição de SAF no país. O combustível importado está disponível, inicialmente, no Galeão - **Aeroporto Internacional Tom Jobim**, no Rio de Janeiro. O produto foi obtido a partir da rota HEFA, utilizando óleo de cozinha usado (UCO - *used cooking oil*) como matéria-prima, resultando

em uma redução de até 80% nas emissões de gases de efeito estufa (GEE) em comparação ao QAV fóssil tradicional. Essa iniciativa demonstra um passo significativo na transição energética do setor aéreo brasileiro, possibilitando que companhias aéreas operando no Brasil possam iniciar a adoção do SAF antes mesmo do início da produção nacional em larga escala, de acordo com matéria de 2025 da agência de notícias Eixos. Mais detalhes sobre o SAF e suas rotas de obtenção encontram-se no apêndice deste documento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Brasil tem uma grande oportunidade de se tornar um líder global na produção de SAF, aproveitando sua vasta disponibilidade de biomassa, expertise em biocombustíveis e infraestrutura energética consolidada. Com a implementação dos mandatos do ProBioQAV e do CORSIA a partir de 2027, a demanda por SAF crescerá substancialmente, tornando essencial uma estratégia bem definida para atender às exigências ambientais sem comprometer a competitividade do setor aéreo.

Um ponto relevante é que a transição para a mistura do SAF no combustível fóssil, pode acontecer sem a necessidade de troca ou modificação dos motores das aeronaves atuais, o que representa uma vantagem significativa para a sua adoção em larga escala pelas companhias aéreas. No entanto, pode haver impacto direto na infraestrutura de abastecimento nos aeroportos, que poderá demandar investimentos para armazenar, misturar e distribuir o novo combustível.

A definição da melhor rota tecnológica será vital para equilibrar sustentabilidade e viabilidade econômica. Nesse sentido, a produção de SAF se conecta a outras agendas estratégicas. É o caso do hidrogênio, como insumo fundamental para o processo de produção de SAF. Outro ponto que precisa ser aprofundado é como se darão as compensações no mercado de crédito de carbono, seja a intersecção com o Programa RenovaBio e os CBios - créditos de descarbonização, seja com o sistema *Book & Claim*, mecanismo que permite a compensação até para voos abastecidos onde o SAF não estiver disponível. Além disso, é fundamental que a expansão da produção de SAF ocorra de forma harmoniosa com a segurança alimentar, evitando que a utilização de matérias-primas para biocombustíveis gere pressões inflacionárias sobre produtos agrícolas essenciais.

A Série de Workshops - Próximos Passos: Combustível do Futuro, promovida pelo MME, e o fórum de debate permanente Conexão SAF com participação ativa da ANAC, ANP e mais de 100 organizações participando como membros, são iniciativas fundamentais para seguirmos a trilha de construção de um mercado sadio e competitivo.

O Rio de Janeiro, como um dos principais hubs logísticos e aeroportuários do país, tem um papel estratégico na consolidação do SAF no Brasil. A recente disponibilização de SAF importado no Galeão representa um passo inicial para o abatimento de carbono nos voos que são abastecidos nos aeroportos do estado fluminense. Os projetos já anunciados também reforçam o potencial do Rio em se tornar um polo de produção e distribuição desses combustíveis, agregando ainda mais diversidade energética no estado.

Com políticas públicas adequadas, incentivos regulatórios, inovação tecnológica e investimentos estratégicos, o Brasil - e o Rio de Janeiro em particular - podem se consolidar como referências globais na produção de SAF, promovendo um setor aéreo mais sustentável, competitivo e alinhado com as metas internacionais de redução das emissões de carbono.

[abertos/publicacoes/perspectivas-para-o-mercado-brasileiro-de-combustiveis-no-curto-prazo](#). Acesso em: 20 jun. 2025.

FECOMBUSTÍVEL. **Acelen anuncia primeira extração industrial de óleo de macaúba para combustíveis**. Federação Nacional do Comércio de Combustíveis e Lubrificantes, fev. 2025. Disponível em: <https://www.fecombustiveis.org.br/noticia/acelen-anuncia-primeira-extracao-industrial-de-oleo-de-macauba-para-combustiveis/259961>. Acesso em: 24 mar. 2025.

IATA. **Net Zero 2050: Sustainable Aviation Fuels**. International Air Transport Association, dez. 2024. Disponível em: <https://www.iata.org/en/iata-repository/pressroom/fact-sheets/fact-sheet-sustainable-aviation-fuels/>. Acesso em: 24 mar. 2025.

IATA. **Industry Statistics: Fact Sheet**. International Air Transport Association, jun. 2025. Disponível em: <https://www.iata.org/en/iata-repository/pressroom/fact-sheets/industry-statistics>. Acesso em: 9 jul. 2025.

ICAO. **Approved Conversion Processes**. International Civil Aviation Organization, 2025. Disponível em: <https://www.icao.int/environmental-protection/GFAAF/Pages/Conversion-processes.aspx>. Acesso em: 24 mar. 2025.

ICAO. **CORSIA Participating States for 2023**. International Civil Aviation Organization, 2025. Disponível em: https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Pages/CORSIA_participating_States.aspx. Acesso em: 26 mar. 2025.

MEGAWHAT. **Planta de SAF da Petrobras deve consumir 4 milhões de litros de etanol por dia**. MegaWhat, jun. 2025. Disponível em: https://megawhat.energy/combustiveis/biocombustiveis/petrobras-planeja-planta-de-saf-a-partir-de-etanol-para-2029/?mc_cid=e2882f27fc&mc_eid=d21ab1b9eb. Acesso em: 10 jul. 2025.

PETROBRAS. **Petrobras contrata tecnologia para produção de bioquerosene de aviação e diesel 100% renovável**. Agência Petrobras, dez. 2023. Disponível em: <https://agencia.petrobras.com.br/w/petrobras-contrata-tecnologia-para-producao-de-bioquerosene-de-aviacao-e-diesel-100-renovavel>. Acesso em: 24 mar. 2025.

PLANALTO. **Lei 14.993/2024**. Presidência da República, out. 2024. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/lei/l14993.htm. Acesso em: 24 mar. 2025.

SENTINEL AVIATION. **Over 40,000 airports in the world, only 9,000 served by commercial airlines**. Sentinel Aviation, jul. 2025. Disponível em: <https://sentinel-aviation.com/blog/over-40000-airports-in-the-world-only-9000-served-by-commercial-airlines/>. Acesso em: 9 jul. 2025.

SIMPLIFYING. **Sustainable Aviation Fuels - Powerlist 2023**. Simplifying, 2023. Disponível em: <https://issuu.com/simplifying/docs/saf-powerlist-2023>. Acesso em: 27 mar. 2025.

WEF. **Net-Zero Industry Tracker 2024 - Aviation**. World Economic Forum, dez. 2024. Disponível em: <https://www.weforum.org/publications/net-zero-industry-tracker-2024/aviation-sector-net-zero-tracker-2024/>. Acesso em: 24 mar. 2025.

WIKIPEDIA. List of Airlines. Disponível em: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_airline_codes. Acesso em: 9 jul. 2025.

EXPEDIENTE: Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro (Firjan) - Av. Graça Aranha, 01 - CEP: 20030-002 - Rio de Janeiro. **Presidente:** Luiz César Caetano; **Diretor Executivo SESI/SENAI:** Alexandre dos Reis; **Gerente Geral de Petróleo, Gás, Energias e Naval:** Karine Barbalho Fragoso de Sequeira; **Gerente de Projetos:** Thiago Valejo Rodrigues; **Gerente de Cenários:** Fernando Luiz Ruschel Montera; **Coordenadora da Divisão de Relacionamento e Parcerias:** Juliana de Castro Lattari; **Equipe Técnica:** Bernard Melo Campos; Carina de Souza Torres Faria; Carolina de Moraes Ribeiro; Emanuelle Ferreira de Lima; Felipe da Cunha Siqueira; Guilherme de Castro e Souza; Iva Xavier da Silva; Letícia Cristina Pereira C Nascimento; Manuella Gonçalves Lopes; Maria Eduarda Domingos de Menezes; Maria Eduarda Jacinto de Miranda; Pedro Rodrigues da Silva Neto; Priscila Lima dos Santos Gomes; Savio Bueno Guimarães Souza; Wilson Koji Matsumoto

Informações: petroleo.gas@firjan.com.br
Visite nossa página: <http://www.firjan.com.br/>

APÊNDICE

SAFs E SUAS ROTAS

Também podendo ser chamados como *biojet* ou BioQAV, SAF são combustíveis produzidos a partir de fontes renováveis e possuem um alto potencial de mitigação. Dependendo da matéria-prima e do processo de produção utilizado, o SAF pode contribuir para reduzir as emissões de CO₂ entre 70% e 90% quando comparados ao querosene de aviação (QAV) de origem fóssil.

Nos últimos anos, a produção global de SAF tem apresentado crescimento acelerado. Em 2024, a oferta mundial atingiu 1,25 bilhão de litros, o que representa o dobro da produção registrada no ano anterior, de acordo com a IATA em 2024. Esse crescimento reflete o aumento do interesse e dos investimentos na tecnologia, impulsionados por políticas públicas, compromissos internacionais e a crescente demanda por soluções sustentáveis no setor aéreo.

Uma das principais vantagens do SAF é sua característica "*drop-in*", o que significa que ele pode substituir diretamente o querosene de aviação convencional sem a necessidade de modificações nos motores ou na infraestrutura existente. Essa compatibilidade permite que o SAF seja incorporado de maneira progressiva na matriz energética da aviação, facilitando sua adoção e reduzindo custos de adaptação para as companhias aéreas e aeroportos. Entretanto, a sustentabilidade e a viabilidade econômica do SAF dependem diretamente dos insumos utilizados e dos processos produtivos empregados. Fatores como o tipo de matéria-prima, eficiência do processo industrial e impactos ambientais da produção devem ser considerados para garantir que os benefícios climáticos do SAF sejam efetivos ao longo de toda a sua cadeia produtiva.

Atualmente a ASTM Internacional¹², por meio da norma ASTM D7566, e a ANP, por meio da Resolução ANP 856/2021 reconhecem 7 rotas tecnológicas para a produção de SAF, listadas na Tabela 2, seguindo os dados da ICAO de 2025; da EPE de 2024; e da ANP de 2021.

Entre as rotas existentes, a mais consolidada hoje é a HEFA¹³ que utiliza óleos vegetais e gorduras minerais como matéria-prima. No curto e médio prazo, as rotas FT-SPK¹⁴ e ATJ¹⁵ também tendem a ganhar participação no mercado. Os custos comparativos dessas rotas mais consolidadas de acordo com as principais matérias-primas brasileiras estão dispostos na Figura 4.

Ainda, além da produção de SAF, esses processos industriais também possibilitam a obtenção de outros produtos sustentáveis, como diesel renovável, nafta de baixo carbono e GLP¹⁶ de baixo carbono, ampliando as oportunidades de diversificação e viabilidade econômica dessas novas biorrefinarias.

¹² ASTM International - *American Society for Testing and Materials* - Sociedade Americana de Testes e Materiais

¹³ HEFA - *Hydroprocessed Esters and Fatty Acids* - Ésteres e Ácidos Graxos Hidroprocessados

¹⁴ FT-SPK - *Fischer-Tropsch Synthetic Paraffinic Kerosene* - Querosene Parafínico Sintético

¹⁵ ATJ - *Alcohol-to-Jet* - Álcool para Combustível de Aviação

¹⁶ GLP - Gás Liquefeito de Petróleo

Tabela 2 - Rotas tecnológicas autorizadas

Principais Insumos	Abreviação	Processo	Mistura Máxima ¹	TLR ²
Triglicerídeos: oleaginosas, algas, óleos e gorduras residuais	HEFA	Querosene parafínico sintetizado por ácidos graxos e ésteres hidroprocessados	50%	9
	HC-HEFA	Querosene parafínico sintetizado por hidrocarbonetos bioderivados	10%	5
	CHJ	Querosene de hidrotermólise catalítica	50%	6
Biomassa lignocelulósica: eucalipto, pinheiro, capim elefante, bagaço de cana	SPK-FT	Querosene parafínico hidroprocessado e sintetizado por Fischer-Tropsch	50%	7
	SPK-A	Querosene parafínico sintetizado com aromáticos	50%	5
	SIP	Isoparafinas sintetizadas de açúcares fermentados e hidroprocessados	10%	5-7
Açúcares e amidos: cana-de-açúcar, milho, beterraba, mandioca	ATJ	Querosene parafínico sintetizado por álcool	50%	7

¹ Mistura máxima: percentual máximo permitido de mistura ao querosene de aviação em resolução ANP

² Nível de Prontidão Tecnológica

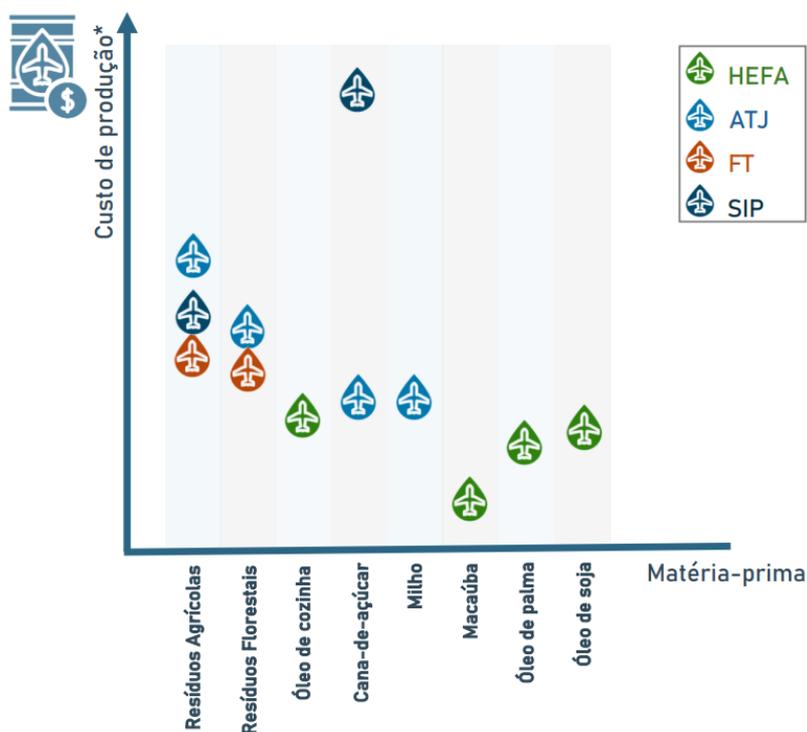


Figura 4 - Custos de produção por matéria-prima.

Fonte: EPE (2024)

Na figura de custos de produção de SAF acima, a macaúba aparece bem-posicionada, o que pode ser atribuído à sua elevada produtividade agrícola. A oleaginosa pode apresentar uma produtividade entre 5 e 7 vezes superior à da soja por área cultivada, tornando-a uma alternativa altamente eficiente em termos de rendimento de óleo por hectare. Entretanto, apesar desse grande potencial, é importante ressaltar que o desenvolvimento da cultura da macaúba no Brasil ainda está em fase inicial, o que impacta diretamente sua viabilidade para o curto prazo. Um dos principais desafios para a sua ampla adoção como fonte de matéria-prima para SAF está na domesticação e produção de sementes e no estabelecimento de sistemas produtivos robustos, que ainda se encontram em estágio de desenvolvimento. Dessa forma, a consolidação da macaúba como fonte competitiva para biocombustíveis deve ocorrer no médio prazo, à medida que avanços na pesquisa agrônômica, cultivo comercial e estruturação da cadeia produtiva forem implementados.