



Desenvolvimento do Cluster Produtivo Inovador de
Combustível Sustentável de Aviação (SAF) em Goiás
definindo uma linha de ação prioritária para posicionar o
estado na vanguarda da produção de biocombustíveis
voltados ao setor aeronáutico

-

Edital UNES 2366/2025

-

Análise de mercado SAF no Brasil - estimativas de demanda

Elaborado por



ESSENZ
Soluções

Junho 2026



O presente documento corresponde ao Produto 2 - análise de mercado SAF no Brasil - estimativas de demanda, elaborado em conformidade com o Edital UNES nº 2366/2025.

O referido produto foi entregue em 15 de junho de 2026, por meio de envio eletrônico via e-mail, atendendo às condições e aos prazos estabelecidos no âmbito do referido Edital.

Sumário

Apresentação	7
1. Introdução.....	9
2. Estudo de Mercado: Estimativas de Demanda de SAF na Aviação Nacional e Regional	11
2.1 Histórico de Demanda de QAV.....	13
2.2 Projeção de Demanda de QAV	15
2.3 Emissões de QAV	19
2.4 Projeção de Demanda de SAF	21
2.4.1 Cone de Projeção Futura da Demanda de SAF.....	32
2.5 Produção Hoje e Projetos Anunciados de SAF no Brasil.....	34
3. Estimativas de Demanda de SAF na Aviação Regional – Goiás e Brasília	37
4. <i>Cluster</i> de SAF em Goiás	40
4.1 Regulatório.....	40
4.2 Tributário e incentivo	42
4.3 Técnico-econômico	44
4.4 Ambiental	46
4.5 Análise SWOT <i>Cluster</i> de SAF em Goiás.....	47
5. Conclusão.....	51
Referências	54
Anexo I	58
Metodologia de Cálculo para o Cenário Conservador	58
Metodologia de Cálculo para o Cenário Otimista.....	60

Figuras

Figura 1 - Consumo histórico de QAV no Brasil	14
Figura 2 - Demanda de QAV no Brasil - histórico e projeção em mil m ³	19
Figura 3 - Intensidade de carbono por rota de produção de SAF	25
Figura 4 - Cone de possibilidades da demanda de SAF no Brasil em mil m ³	32
Figura 5 - Análise SWOT <i>cluster</i> de SAF em Goiás	50

Tabelas

Tabela 1 – Consumo de QAV por país em 2024	11
Tabela 2 - Demanda de QAV fóssil total e para segmento doméstico e internacional em mil m ³	18
Tabela 3 – Emissões de QAV separadas em voos domésticos e internacionais	21
Tabela 4 – Emissões no setor de aviação no Brasil	27
Tabela 5 – Volume de combustível de aviação em cada cenário	29
Tabela 6 – Demanda potencial de SAF em Goiás e Brasília	38

Siglas

1G	Primeira geração
2G	Segunda geração
ABEAR	Associação Brasileira das Empresas Aéreas
ACV	Análise de Ciclo de Vida
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
ASTM	American Society for Testing and Materials International
ATJ	Alcohol-to-Jet
ATJ-SKA	Alcohol-to-Jet Synthetic Kerosene with Aromatics
ATJ-SPK	Alcohol-to-Jet Synthetic Paraffinic Kerosene
BECCS	Bioenergy with Carbon Capture and Storage
BEN	Balanço Energético Nacional
CAPEX	Capital Expenditure
CCS	Carbon Capture and Storage
CEBRI	Centro Brasileiro de Relações Internacionais
CEHTES	Centro de Excelência em Hidrogênio e Tecnologias Energéticas Sustentáveis
CHJ	Catalytic Hydrothermolysis Jet
CORSIA	Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation
DAC	Direct Air Capture
EMBRAPII	Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EPO	European Patent Office
FCC	Fluid Catalytic Cracking
FT	Fischer-Tropsch
FT-SPK	Fischer-Tropsch Synthetic Paraffinic Kerosene
FT-SPK/A	Fischer-Tropsch Synthetic Paraffinic Kerosene with Aromatics
GEE	Gases de Efeito Estufa
HC-HEFA-SPK	Hydroprocessed Hydrocarbons, Esters and Fatty Acids Synthetic Paraffinic Kerosene
HEFA	Hydroprocessed Esters and Fatty Acids
HEFA-SPK	Hydroprocessed Esters and Fatty Acids Synthetic Paraffinic Kerosene



HVO	Hydrotreated Vegetable Oil
IATA	International Air Transport Association
ICAO	International Civil Aviation Organization
ILUC	Indirect Land Use Change
INPI	Instituto Nacional da Propriedade Industrial
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ISCC	International Sustainability and Carbon Certification
ISO	International Organization for Standardization
LCA	Life Cycle Assessment
LCEF	Life Cycle Emissions Factor
LUC	Land Use Change
OPEX	Operating Expenditure
PCI	Poder Calorífico Inferior
PCT	Patent Cooperation Treaty
PIB	Produto Interno Bruto
PNE	Plano Nacional de Energia
ProBioQAV	Programa Nacional de Combustível Sustentável de Aviação
PtL	Power-to-Liquid
QAV	Querosene de Aviação
RED III	Renewable Energy Directive III
ReFuelEU Aviation	Regulamento ReFuelEU Aviation
RenovaBio	Política Nacional de Biocombustíveis
RPK	Revenue Passenger Kilometre
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
RTK	Revenue Tonne Kilometre
SAF	Sustainable Aviation Fuel
SIP	Synthesized Iso-Paraffins
SKA	Synthetic Kerosene with Aromatics
SPK	Synthetic Paraffinic Kerosene
SWOT	Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats
TRL	Technology Readiness Level
UCO	Used Cooking Oil – Óleo de cozinha usado
WIPO	World Intellectual Property Organization

Apresentação

O presente relatório “Análise de mercado SAF no Brasil - estimativas de demanda”, elaborado pela Essenz Soluções, é um entregável do Projeto “Desenvolvimento do Cluster Produtivo Inovador de Combustível Sustentável de Aviação (SAF) em Goiás definindo uma linha de ação prioritária para posicionar o estado na vanguarda da produção de biocombustíveis voltados ao setor aeronáutico”, no âmbito do Edital UNES 2366/2025.

O projeto tem como objetivo estruturar uma estratégia integrada para posicionar o estado de Goiás como referência nacional e potencial líder na produção de Combustível Sustentável de Aviação (SAF, na sigla em inglês *Sustainable Aviation Fuel*), contribuindo para a descarbonização do setor da aviação, um dos mais desafiadores da transição energética, e para o desenvolvimento regional.

Em um contexto global, no qual o setor energético responde por cerca de 75% das emissões de gases de efeito estufa (GEE) (CLIMATEWATCHDATA, 2025, IEA, 2025) e a aviação representa aproximadamente 2,5% das emissões globais de CO₂¹ (OUR WORLD IN DATA, 2024), o SAF surge como uma importante solução por sua capacidade de reduzir significativamente emissões sem necessidade de mudanças na infraestrutura existente (solução *drop-in*).

Goiás apresenta vantagens competitivas relevantes para o desenvolvimento desta indústria. Apoiado por sua forte base agroindustrial, com elevada produção de cana-de-açúcar e etanol, além de milho e da disponibilidade de resíduos de diferentes matérias-primas e coprodutos agrícolas e agroindustriais, incluindo de resíduos da cana-de-açúcar e do milho, sebo bovino e outras biomassas com potencial energético. Além das vantagens próprias, a proximidade do estado com o Distrito Federal amplia o mercado relevante de SAF que pode ser atendido com maior competitividade. Esses fatores, combinados com a presença de infraestrutura logística relevante, ainda que sujeita a gargalos e necessidades de aprimoramento, e um ambiente favorável à inovação, criam condições propícias para a formação de um hub de SAF no estado. O projeto busca, portanto, avaliar de forma abrangente as condições técnicas, econômicas, ambientais e regulatórias necessárias para viabilizar esse *cluster*, com foco especial nas rotas tecnológicas mais promissoras.

A metodologia do projeto está estruturada de forma integrada, combinando análises técnicas, econômicas, regulatórias e territoriais para avaliar o potencial de

¹Cerca de 12% das emissões relacionadas ao setor de transportes.

desenvolvimento do SAF em Goiás. O estudo envolve o levantamento e análise de dados secundários, a realização de consultas com *stakeholders* estratégicos, a avaliação de mercado e das principais rotas tecnológicas, bem como o mapeamento de matérias-primas, infraestrutura e impactos associados. Adicionalmente, contempla o desenvolvimento de modelos analíticos e econômico-financeiros, aliados a ações de capacitação e disseminação do conhecimento, com o objetivo de subsidiar a tomada de decisão e apoiar a implementação de um *cluster* produtivo de SAF no estado.

Como resultado, espera-se fornecer subsídios para a estruturação de um ecossistema indutor de investimentos em SAF no estado de Goiás, contribuindo para a formulação de políticas públicas e decisões de investimento. O projeto também busca fortalecer capacidades locais, estimular inovação e criar condições para inserção competitiva de Goiás no mercado de combustíveis sustentáveis de aviação, alinhando-se às tendências internacionais de descarbonização e às metas climáticas de longo prazo.

Este segundo relatório analisa quantitativamente as perspectivas de mercado de SAF e as condições estratégicas para o desenvolvimento de um *cluster* em Goiás. O estudo inclui estimativas de demanda nacional e regional, projeções de crescimento, identificação de segmentos promissores, análise SWOT.

1. Introdução

A descarbonização da aviação constitui um dos principais desafios da transição energética global, em razão da elevada dependência do setor por combustíveis líquidos de alta densidade energética e das limitações técnicas para substituição direta do querosene de aviação (QAV) por alternativas como eletrificação ou hidrogênio em voos comerciais de médio e longo curso.

Nesse contexto, o Combustível Sustentável de Aviação (SAF, na sigla em inglês *Sustainable Aviation Fuel*) tem assumido papel estratégico, por se tratar de uma solução *drop-in*, compatível com a infraestrutura aeroportuária e as aeronaves existentes, desde que observados os limites de mistura, as especificações técnicas e os critérios de certificação aplicáveis.

O avanço do mercado de SAF é impulsionado por uma combinação de metas climáticas, mandatos regulatórios, mecanismos de mercado e estratégias industriais voltadas à redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) na aviação². No plano internacional, o CORSIA, da ICAO, estabelece diretrizes para mitigação das emissões da aviação internacional, enquanto políticas regionais, como o ReFuelEU Aviation, reforçam a criação de demanda regulada por combustíveis de menor intensidade de carbono. No Brasil, a instituição do ProBioQAV, no âmbito da Lei do Combustível do Futuro, representa um marco relevante ao estabelecer obrigações progressivas de redução de emissões na aviação doméstica, criando sinalização regulatória para investimentos em novas rotas tecnológicas, cadeias produtivas e infraestrutura associada ao SAF.

A estruturação desse mercado, contudo, exige compreender previamente a dinâmica do consumo de QAV, uma vez que a demanda futura de SAF será determinada como fração da demanda total de combustíveis de aviação e das metas de abatimento de emissões aplicáveis. Assim, este relatório parte da análise do histórico de consumo de QAV no Brasil e no mundo, da projeção da demanda nacional de combustível de aviação e da conversão dessa demanda em emissões de gases de efeito estufa. A partir dessa linha de base fóssil, são estimados cenários de demanda potencial de SAF, considerando diferentes hipóteses de crescimento econômico, evolução regulatória, intensidade de carbono das rotas produtivas, maturidade tecnológica e disponibilidade de oferta.

² Detalhado no Produto 1 deste projeto. Relatório intitulado Análise das Perspectivas do Mercado de SAF e de suas Condicionantes Regulatórias.

No caso brasileiro, o SAF apresenta relevância estratégica tanto para o cumprimento de metas climáticas quanto para a inserção do país em cadeias globais de combustíveis sustentáveis. O Brasil reúne vantagens competitivas importantes, associadas à experiência consolidada em biocombustíveis, à disponibilidade de biomassa e resíduos, à matriz elétrica relativamente renovável e à existência de cadeias agroindustriais de grande escala.

Em Goiás, essas vantagens são particularmente relevantes. O estado possui forte base agroindustrial, com produção expressiva de cana-de-açúcar, etanol, soja, milho, sebo bovino e resíduos agroindustriais, além de localização estratégica no Centro-Oeste e proximidade com o Distrito Federal. Embora o mercado local de QAV em Goiás seja mais restrito quando comparado a grandes centros consumidores nacionais, a articulação com Brasília amplia significativamente o mercado regional relevante, especialmente em razão da importância do Aeroporto Internacional de Brasília como hub doméstico e ponto de abastecimento de voos internacionais. Essa integração regional é central para avaliar a viabilidade de um *cluster* de SAF em Goiás, tanto como plataforma produtiva quanto como base de abastecimento.

Diante desse contexto, este relatório tem como objetivo analisar as perspectivas de mercado de SAF no Brasil e em Goiás, com foco na estimativa de demanda nacional e regional, na projeção de emissões associadas ao QAV, na construção de cenários de inserção do SAF e na avaliação das condições estratégicas para o desenvolvimento de um cluster produtivo no estado. Para isso, o estudo combina análise de dados históricos, modelagem de demanda com base na relação entre PIB e consumo de QAV, aplicação de fatores de emissão, avaliação de metas regulatórias e levantamento de projetos anunciados de produção de SAF no Brasil.

O documento está organizado em cinco seções principais. Após esta Introdução, a seção 2 apresenta o estudo de mercado, contemplando o histórico e a projeção da demanda de QAV, as emissões associadas ao combustível fóssil, a estimativa de demanda de SAF em cenários conservador e otimista, o cone de possibilidades de demanda futura e o panorama da produção atual e dos projetos anunciados de SAF no Brasil. A seção 3 regionaliza a análise para Goiás e Distrito Federal, estimando a demanda potencial de SAF a partir da participação dessas unidades federativas no consumo nacional de QAV. A seção 4 avalia as condições para o desenvolvimento de um *cluster* de SAF em Goiás, considerando aspectos regulatórios, técnico-econômicos e ambientais, além de sistematizar os principais fatores em uma análise SWOT. Por fim, a seção 5 apresenta as conclusões e recomendações estratégicas.

2. Estudo de Mercado: Estimativas de Demanda de SAF na Aviação Nacional e Regional

Antes de tratar especificamente dos SAFs, é necessário entender o mercado convencional de aviação, dado que o mercado de SAF será uma fração dele. A demanda mundial de querosene de aviação (QAV) tem mantido sua trajetória crescente nos últimos anos, acompanhando o crescimento do setor aéreo global pós-pandemia. De acordo com dados da EIA, em 2024 (EIA, 2026a), foram consumidos aproximadamente 404 milhões de m³ de QAV³ no mundo, sendo os cinco principais mercados consumidores Estados Unidos, China, Reino Unido, Japão e Rússia.

Tabela 1 – Consumo de QAV por país em 2024

Países	Consumo de QAV (Mtep)	Consumo de QAV (milhões de m ³) ¹
Estados Unidos	88	110
China	39	48
Reino Unido	14	17
Japão	13	16
Rússia	12 ⁴	15
Emirados Árabes Unidos	11	13
Alemanha, Índia ¹	10 cada	12,5 cada
Austrália, Espanha, França, Coreia do Sul, Singapura e Canadá ¹	8 cada	10 cada
Turquia	7	8
Brasil e Itália ¹	6 cada	7 cada
Hong Kong, Arábia Saudita e México ¹	5 cada	6 cada
Somatório demais países	44	55
Total	323	404

¹ Densidade média do QAV - 0,799 t/m³ (ou 799 kg/m³). Adotou-se a relação aproximada de 1 Mtep ÷ 0,799 = 1,2516 milhão de m³ (1 Mtep ≈ 1,25 milhão de m³).

² Consumo indicado referente a cada país individualmente

Fonte: EIA, 2026a e o dado da China (Reuters, 2024)

O Brasil é o maior consumidor de combustíveis de aviação da América Latina (ANP, 2024a; Rocco e Henkers, 2020). Em 2024, a demanda brasileira foi de 7,0 bilhões de litros (7 milhões de m³) de QAV (EPE, 2026a).

A partir da identificação dos principais mercados consumidores e da posição do Brasil nesse contexto, torna-se possível estruturar um panorama internacional e nacional do consumo de QAV. Dimensionando a base fóssil atualmente utilizada pela aviação é

³ 404 bilhões de litros = 6,941 milhões bbl/d×366 dias em 2024×158,987 L/bbl =403,8 bilhões de litros em 2024

⁴ O consumo de QAV da Rússia em 2024, estimado em 239 mil barris por dia, corresponde a aproximadamente 11,9 Mtep.

possível compreender o tamanho do desafio de substituição parcial desse combustível por SAF.

A metodologia utilizada para estimar a demanda potencial de SAF no Brasil parte da construção de uma linha de base de consumo de QAV, utilizando séries históricas de demanda nacional de combustível de aviação (incluindo o consumo nacional e internacional) e sua relação com variáveis macroeconômicas, em especial o PIB.

Essa abordagem se justifica porque a demanda por transporte aéreo tende a acompanhar o nível de atividade econômica. Em períodos de expansão do Produto Interno Bruto (PIB), há aumento da renda, da mobilidade de passageiros, do turismo, das viagens corporativas e do transporte aéreo de cargas, o que se reflete em maior consumo de QAV. Embora essa relação não seja perfeita, pois também depende de tarifas aéreas, câmbio, preço do combustível, oferta de assentos, infraestrutura aeroportuária e choques conjunturais, o PIB funciona como uma variável explicativa para projeções agregadas de longo prazo. Ressalta-se que a inclusão das demais variáveis citadas na especificação do modelo preditivo não apresenta significância estatística para toda a série, exceto em períodos com eventos agudos (EPE, 2008 e 2009 e Saide *et al*, 2012). Por isso, em geral, se trata essas demais variáveis como ajustes no modelo - variáveis *dummies* para corrigir pontos fora da curva – ou *outliers*⁵.

Assim, a partir do histórico de consumo de QAV e de cenários futuros de crescimento econômico, estima-se a trajetória esperada da demanda de QAV no país, que representa a base energética sobre a qual incidirão as obrigações de descarbonização da aviação.

Em seguida, a projeção volumétrica de QAV é convertida em emissões de GEE por meio da aplicação de um fator de emissão do combustível fóssil, uma vez que as metas regulatórias e climáticas associadas ao SAF são expressas em termos de redução de emissões, e não apenas em volume físico de combustível. Os direcionadores são o ProbioQAV para as metas nacionais e o CORSIA para internacionais. Essa etapa permite quantificar, para cada ano, o volume de emissões associado ao consumo projetado de QAV e, posteriormente, estimar a redução obrigatória de emissões conforme as metas aplicáveis (EPE, 2018).

⁵ Esse ponto é destacado há bastante tempo por especialistas, como EPE (2008 e 2009) e Saide *et al* (2012).

A demanda de SAF é então calculada a partir da diferença entre as emissões da linha de base fóssil e o nível de emissões compatível com a meta, considerando a intensidade de carbono do SAF em relação ao QAV convencional. Dessa forma, quanto menor a intensidade de carbono do SAF utilizado, menor será o volume necessário para cumprir uma mesma meta de abatimento. Isto é, quanto menor as emissões ao longo do ciclo de vida da produção do SAF, rotas com melhor desempenho ambiental, exigirão menores volumes de SAF para alcançar a redução requerida.

2.1 Histórico de Demanda de QAV

Para o histórico da demanda de QAV no Brasil, utilizam-se os dados de consumo de combustível divulgados pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2026a). Com esses dados, é possível realizar a desagregação entre o consumo em movimentações nacionais⁶ e internacionais⁷ e, permitindo também desagregar as emissões estimadas segundo a mesma lógica operacional. O consumo total de QAV no Brasil na Figura 1, considera a soma do consumo nacional e do abastecimento de aeronaves estrangeiras no Brasil.

⁶O consumo de combustível em movimentações domésticas é proveniente da Tabela 3.6.3.a do Balanço Energético Nacional – BEN.

⁷O consumo de QAV em movimentações internacionais é aquele indicado no BEN como “Bunker incluído na exportação”, uma vez que esse dado corresponde à soma do consumo de QAV em movimentações internacionais e do volume exportado para consumo em outros países. Inclui o abastecimento a aeronaves estrangeiras no Brasil.

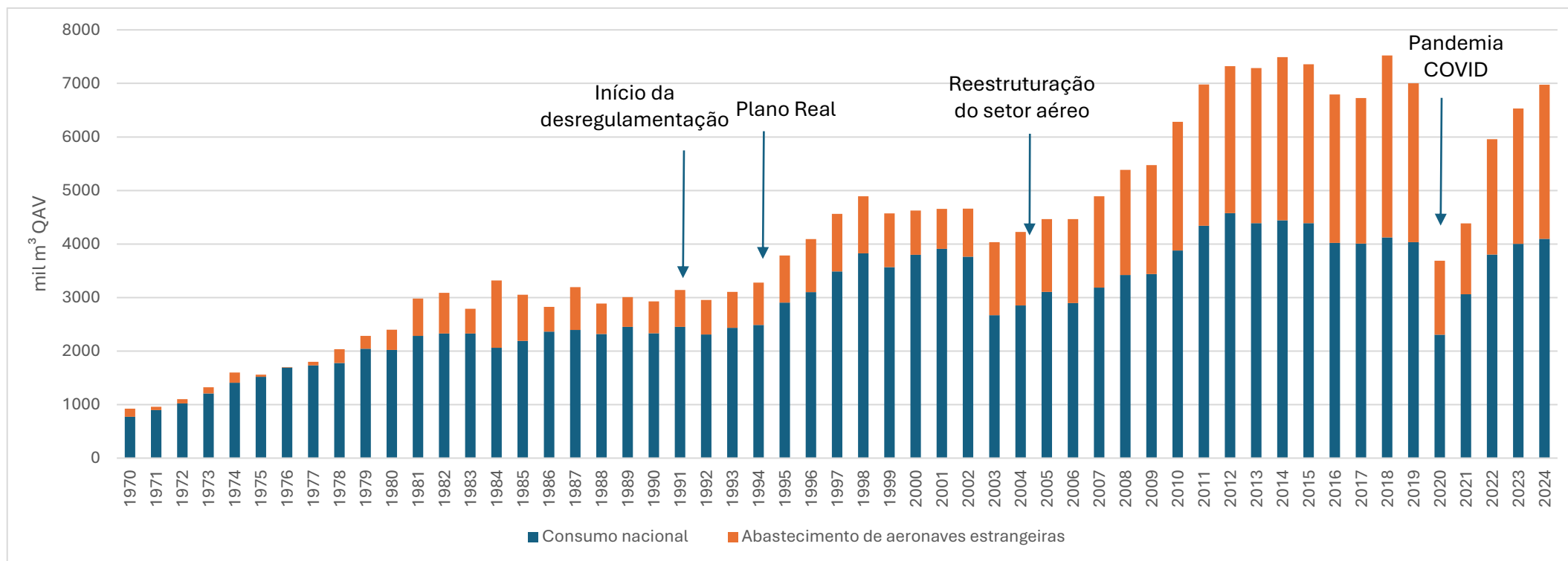


Figura 1 - Consumo histórico de QAV no Brasil

Fonte: elaboração própria baseado em dados da (EPE,2026a)

A série histórica evidencia uma trajetória de crescimento de longo prazo, embora marcada por oscilações associadas a eventos econômicos, institucionais e setoriais⁸. Em 2020, verifica-se uma queda abrupta do consumo, reflexo direto das restrições de mobilidade durante a pandemia de COVID-19. Nos anos subsequentes, há recuperação progressiva da demanda, com retomada do consumo.

De forma geral, a demanda de QAV no Brasil é fortemente condicionada pelo nível de atividade do transporte aéreo, respondendo tanto a ciclos econômicos quanto a choques exógenos.

2.2 Projeção de Demanda de QAV

As projeções de demanda de energia estão sujeitas a incertezas estruturais e conjunturais, associadas ao desempenho da economia, à formulação de políticas públicas, à ocorrência de guerras e conflitos, à evolução tecnológica e aos ganhos de eficiência, bem como ao preço e à disponibilidade do petróleo e outros recursos, à competitividade de combustíveis substitutos e aos efeitos das mudanças climáticas (EPE, 2017). No caso do QAV, essas incertezas são particularmente relevantes porque seu consumo é derivado da demanda por serviços de transporte aéreo (carga e passageiro).

Basicamente, a demanda por transporte aéreo cresce em função da renda, do turismo, da atividade econômica, do comércio e integração produtiva. Para efeito de ilustração da relação entre o nível de renda e a demanda do transporte aéreo, elasticidade-renda⁹ do transporte aéreo é estimada em 1,186 em um cenário-base, podendo alcançar 1,546 em rotas internacionais (Gallet & Doucouliagos, 2014). O que indica que a demanda por transporte aéreo tende a crescer mais que proporcionalmente ao aumento da renda.

Nesse sentido, ressalta-se que o PIB é a principal variável explicativa da demanda por transporte aéreo (ABEAR, 2018 e 2022), tanto para movimento de passageiros como de carga (RPK e RTK¹⁰). O PIB sintetiza o nível agregado de atividade econômica e,

⁸ Observa-se expansão gradual do consumo entre as décadas de 1970 e 1980, seguida por variações no início dos anos 1990, período associado ao processo de desregulamentação do setor aéreo. A partir da segunda metade da década de 1990 e nos anos 2000, o consumo de QAV passa a apresentar crescimento mais expressivo, acompanhando a expansão do transporte aéreo doméstico. Entre 2011 e 2019, o consumo atingiu patamares elevados, período em que o mercado aéreo brasileiro alcançou seus maiores níveis históricos de atividade.

⁹ A elasticidade-renda da demanda mede a variação percentual da demanda por um bem ou serviço em resposta a uma variação percentual da renda, mantendo-se constantes os demais fatores. Quando a elasticidade-renda é maior que 1, a demanda cresce mais que proporcionalmente à renda, caracterizando um bem ou serviço de comportamento superior ou de luxo. Quando é igual a 1, a demanda cresce na mesma proporção da renda. Quando é menor que 1, mas positiva, a demanda cresce menos que proporcionalmente à renda, caracterizando um bem normal de menor sensibilidade à renda.

¹⁰ RTK e RPK são indicadores-padrão de atividade do transporte aéreo. O RTK (*Revenue Tonne Kilometre*) corresponde a uma tonelada métrica de carga comercial transportada por um quilômetro, incluindo carga, correio e o peso equivalente

portanto, captura parte relevante dos fatores que determinam o transporte aéreo, como viagens corporativas, turismo doméstico e internacional, movimentação de cargas de maior valor agregado e integração regional. A demanda de QAV é derivada desse tráfego por meio de hipóteses adicionais sobre eficiência energética, frota, fatores de carga ou preço.

Logo, cenários macroeconômicos são insumos para projeções de demanda em estudos de planejamento energético de longo prazo. O Plano Nacional de Energia 2050 e 2055 (EPE/MME, 2020 e 2026b) são instrumento de suporte à estratégia de longo prazo do setor energético, com elaboração de cenários de produção e uso da energia futuro. No setor aéreo, o Plano Aeroviário Nacional 2022-2052 (MPOR 2024), também utiliza projeções de demanda para orientar a infraestrutura aeroportuária e o planejamento do transporte aéreo brasileiro.

A projeção da demanda por QAV proposta no presente estudo foi realizada por meio de uma modelagem econométrica *top-down*, na qual o consumo é estabelecido como uma função direta do PIB brasileiro (EPE, 2017). A equação geral pode ser expressa como:

$$QAV = F(PIB, dummies)$$

A correlação¹¹ entre essas variáveis demonstra que o desempenho econômico dita a atividade do setor aéreo. Projeções indicam que um crescimento de 3% ao ano no PIB pode impulsionar um aumento de 5% ao ano na demanda doméstica de QAV (PROQR; MCTI; GIZ, 2022), da mesma forma que retrações econômicas (como as observadas durante a pandemia de COVID-19) geram quedas expressivas no transporte de passageiros e no consumo de combustível.

Para fins de projeção, adotou-se uma especificação linear simples, estimada com base na relação histórica entre o PIB brasileiro, em R\$ de 2025, e a demanda histórica de QAV no Brasil (nacional e internacional). A função da demanda de QAV futura usa a função linear gerada com o PIB Brasil de 2002 até 2019 e a demanda QAV do mesmo período:

$$QAV = 0,0009xPIB - 3289,2$$

em que:

de passageiros e bagagens. Já o RPK (*Revenue Passenger Kilometre*) corresponde a um passageiro pagante transportado por um quilômetro. Assim, enquanto o RPK mede a atividade associada ao transporte de passageiros, o RTK mede a atividade de transporte em termos de massa transportada e distância percorrida.

¹¹ A correlação dos valores do PIB do Brasil (em R\$2025 milhões) e demanda de QAV (em mil m³) é 0,77. Uma correlação positiva forte entre duas variáveis, o que significa que, quando o valor de uma variável aumenta, a outra variável também tende a aumentar de forma consistente.

QAV = demanda nacional de querosene de aviação, em mil m³

PIB = Produto Interno Bruto brasileiro, em milhões de R\$ de 2025

A regressão apresentou $R^2 = 0,9321$ ¹², indicando elevado poder explicativo da variável PIB sobre a demanda histórica de QAV no período considerado. A interpretação econômica direta é que quando o PIB cresce, há aumento da renda, da mobilidade, do turismo, das viagens de negócios e da movimentação de cargas. E consequentemente, há aumento da atividade aérea e do consumo de QAV. De forma inversa, choques econômicos e sanitários, como a pandemia de COVID-19 (*dummies*), produzem quedas na atividade aérea e no consumo de combustível, como observado em 2020.

Para 2026 adotou-se o valor de 2,3% de crescimento do PIB de acordo com a Secretaria de Política Econômica (SPE) do Ministério da Fazenda (MF, 2026). Para 2027 em diante, adotou-se trajetória de crescimento de longo prazo do PNE 2055 (EPE, 2026), de crescimento médio de 2,5% a.a, coerente com cenário macroeconômico moderado¹³.

Como a regressão linear estimada com dados históricos projeta para 2025 um valor superior à referência setorial disponível, foi aplicada uma regra de convergência gradual do histórico para a tendência¹⁴. Essa regra evita uma descontinuidade abrupta entre o valor observado de 2024 e a trajetória econométrica de longo prazo. A partir de 2029, considera-se que a demanda já retornou integralmente à tendência estrutural estimada pela regressão.

Além disso, para desagregar a projeção nacional total de QAV entre os mercados doméstico e internacional, adotou-se a estrutura média de participação observada nos últimos 20 anos da série histórica. Com base nessa distribuição, considerou-se que 62% da demanda projetada de QAV corresponde ao mercado doméstico e 38% ao mercado internacional¹⁵. Essa abordagem permite manter coerência com o comportamento

¹² Testes estatísticos: a regressão linear entre PIB e demanda de QAV apresentou elevado poder explicativo, com R^2 de 0,9321 e R^2 ajustado de 0,9278, indicando que aproximadamente 93% da variação histórica da demanda é explicada pela variação do PIB na amostra analisada. O modelo também se mostrou estatisticamente significativo pelo teste F, com valor de 219,58. O coeficiente associado ao PIB apresentou sinal positivo, estatística t de 14,82 e valor-p extremamente baixo, indicando forte significância estatística da variável explicativa. O erro padrão da regressão foi de 347,18 mil m³, valor relativamente moderado frente à escala da demanda nacional de QAV. A análise dos resíduos não indica, preliminarmente, presença generalizada de *outliers* severos.

¹³ Cenário de Transição continuada do PNE 2055 em fase de consulta pública - 2,5% a.a. de crescimento do PIB e redução marginal da desigualdade, governança bem estruturada, manutenção do ritmo histórico de transição energética do país.

¹⁴ Para 2025 a 2028, o fator de convergência aumenta gradualmente, aproximando a demanda projetada da tendência econométrica. Em 2029, assume-se fator=1, ou seja, a projeção passa a ser integralmente determinada pela equação linear PIBxQAV. Essa escolha é metodologicamente adequada porque preserva a informação conjuntural dos anos posteriores a 2024, mas mantém a coerência de longo prazo com a relação estrutural entre PIB e demanda de QAV.

¹⁵ A participação doméstica e internacional no consumo de QAV do Brasil apresentou relativa estabilidade no período analisado, embora com variações associadas a ciclos econômicos, dinâmica do setor aéreo e efeitos conjunturais. Na série considerada, a participação doméstica variou aproximadamente entre 55% e 70%, enquanto a participação

estrutural do consumo de QAV no Brasil, evitando a extrapolação de oscilações anuais específicas e preservando a relação média entre os dois segmentos ao longo do horizonte projetado. Assim, a demanda total estimada para cada ano foi multiplicada por esses percentuais médios, resultando nas projeções separadas de QAV doméstico e QAV internacional. Cabe destacar que essa hipótese representa uma projeção tendencial, baseada na composição histórica do mercado brasileiro, e não incorpora mudanças estruturais relevantes na organização da malha aérea internacional¹⁶.

A projeção da demanda de QAV total resultante indica recuperação e crescimento progressivo da demanda nacional de QAV ao longo do horizonte analisado. O consumo, que foi de 7 milhões de m³ em 2024, alcança 9,7 milhões de m³ em 2030, 13,8 milhões de m³ em 2040 e 18,3 milhões de m³ em 2050. Em termos acumulados, a demanda projetada em 2050 é aproximadamente 2,6 vezes superior ao nível de 2024 (Tabela 2 e Figura 2).

Tabela 2 - Demanda de QAV fóssil total e para segmento doméstico e internacional em mil m³

	Ano	PIB (milhões R\$2025)	Demanda QAV total (mil m ³)	Demanda QAV Doméstico (mil m ³)	Demanda QAV Internacional (mil m ³)
Histórico	1995	6.553.254	3.786	2.904	882
	2000	7.288.456	4.625	3.800	825
	2005	8.406.258	4.465	3.106	1.359
	2010	10.461.348	6.283	3.878	2.405
	2015	11.068.857	7.360	4.391	2.969
	2020	10.808.348	3.686	2.305	1.381
Projeção	2025	12.738.566	7.215	4.351	2.864
	2030	14.508.164	9.768	6.094	3.674
	2035	16.673.133	11.717	7.310	4.407
	2040	19.024.365	13.833	8.630	5.203
	2045	21.489.736	16.052	10.014	6.037
	2050	24.093.627	18.395	11.476	6.919

Fonte: elaboração própria

internacional variou entre 30% e 45%. Considerando os últimos 20 anos, a média resultante foi de 62% para o mercado doméstico e 38% para o mercado internacional.

¹⁶ A hipótese adotada não incorpora mudanças estruturais na inserção internacional da aviação brasileira, como eventual ampliação relevante do papel do Brasil como hub de conexão aérea regional ou intercontinental. Caso ocorra transferência de rotas internacionais para aeroportos brasileiros ou aumento expressivo da conectividade internacional do país, a participação do mercado internacional no consumo de QAV poderá ser superior à média histórica adotada.

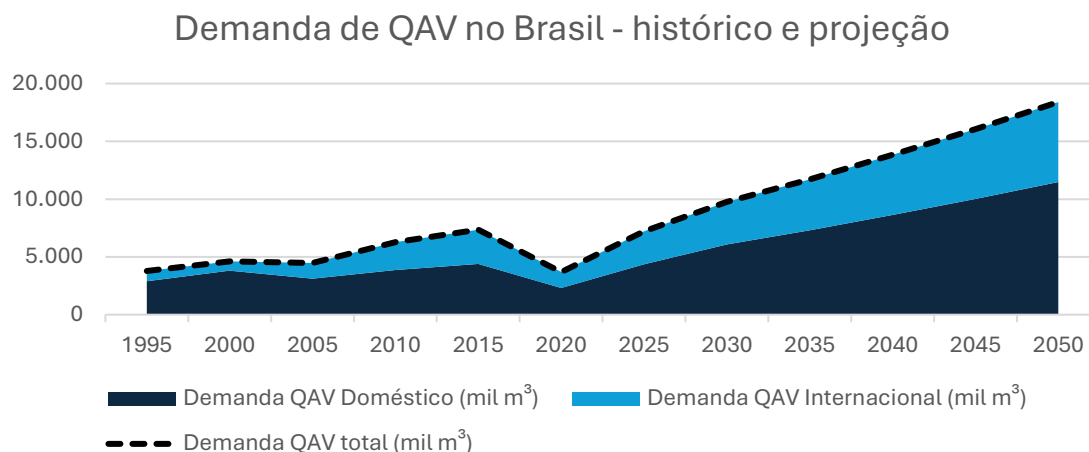


Figura 2 - Demanda de QAV no Brasil - histórico e projeção em mil m³

Fonte: elaboração própria

Essa trajetória é compatível com a expectativa de continuidade do crescimento do mercado aéreo brasileiro no longo prazo. O Plano Aeroviário Nacional (MPOR, 2024) indica expansão estrutural da demanda por transporte aéreo, reforçando a necessidade de compatibilizar infraestrutura, planejamento energético e transição para combustíveis sustentáveis.

2.3 Emissões de QAV

A Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) calcula e disponibiliza estimativas de emissões atmosféricas da aviação civil brasileira por meio do Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas da Aviação Civil, contemplando GEE e poluentes que afetam a qualidade do ar local (ANAC, 2024c). A metodologia de cálculo do inventário utiliza a abordagem Tier 3a recomendada pelo IPCC para estimativas mais detalhadas e são incorporadas no inventário nacional (MCTI, 2024). No entanto, também são apresentadas estimativas baseadas em consumo agregado de combustíveis reportados no Balanço Energético Nacional (BEN) (Tier 1).

A estimativa de emissões associada à demanda projetada de QAV foi estruturada com base em uma abordagem compatível com o nível de detalhamento disponível para o modelo de demanda. Como as projeções desenvolvidas neste relatório partem do volume anual de combustível consumido, a metodologia adotada para o cálculo das

emissões será a abordagem Tier 1¹⁷ com base no volume de QAV, conforme diretrizes do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC). Essa escolha assegura consistência metodológica entre a série histórica e as projeções futuras, evitando a combinação de bases de dados com diferentes escopos, níveis de detalhamento¹⁸ e premissas operacionais.

Assim, para a projeção de emissões associada à demanda futura de combustíveis de aviação, o foco metodológico recai sobre o QAV fóssil e sobre sua substituição parcial por SAF com base no ProbioQAV para o nacional e Corsia e LTAG 2050 para o internacional.

A estimativa das emissões (Tier 1) parte da multiplicação do consumo de combustível pelo fator de emissão (intensidade de carbono) correspondente (ANAC, 2024a). São considerados o fator de emissão de carbono, a fração de carbono oxidado, os fatores de emissão de CH₄ e N₂O¹⁹.

O fator agregado de emissão do QAV fóssil utilizado nas projeções será de 0,003045 MtCO₂e por mil m³ de QAV²⁰ consumido (EPE, 2024b). A projeção de consumo de QAV foi detalhada no item 2.2. Assim, as emissões foram estimadas multiplicando-se a demanda projetada de QAV fóssil pelo respectivo fator de emissão, conforme apresentado na equação abaixo:

$$\text{Emissões de GEE (MtCO}_2\text{e)} = \text{Demanda de QAV fóssil (mil m}^3\text{)} \times 0,003045$$

A partir dessa relação, a Tabela 3 apresenta a evolução das emissões associadas ao consumo de QAV nos segmentos internacional e doméstico, contemplando o período histórico até 2024 e as projeções de 2025 a 2050. Os resultados indicam crescimento

¹⁷ No setor aéreo, as emissões de GEE podem ser estimadas por diferentes níveis metodológicos. De forma simplificada, a abordagem Tier 1 utiliza dados agregados de consumo de combustível e fatores médios de emissão por tipo de combustível (metodologia top-down), adequada quando o objetivo é estimar emissões totais a partir de volumes energéticos consolidados. A abordagem Tier 3, possui maior nível de desagregação (bottom-up), baseada em informações operacionais de voo, como origem e destino, tipo de aeronave, fase de voo, modelo de motor e classificação da movimentação como doméstica ou internacional. Essa metodologia permite maior refinamento espacial e operacional das emissões, inclusive por aeródromo e por etapa de voo, mas requer um conjunto de dados que não está necessariamente disponível para projeções agregadas de demanda futura.

¹⁸ A aplicação de metodologias mais detalhadas, como Tier 3a, exigiria informações operacionais específicas sobre voos futuros, frota, rotas, aeroportos, fatores de ocupação e tipos de aeronave, informações que extrapolam o escopo do modelo paramétrico adotado.

¹⁹ Os dados de CO₂e utilizam a métrica GWP - 100 anos (Global Warming Potential). O GWP é uma medida de quanta energia determinada quantidade de um gás retém na atmosfera em relação a uma mesma quantidade de CO₂, em determinado horizonte de tempo. Os fatores GWP -100 (AR5) são 28 para o CH₄ e 265 para o N₂O.

²⁰ PCI [MJ/kg] × Massa específica [kg/m³] × IC [gCO₂/MJ] = Fator de emissão [gCO₂/m³]

Para o QAV fóssil:

(43,54 [MJ/kg] × 799 [kg/m³] × 87,5 [gCO₂/MJ]) / 10⁶ = 3,044 [tCO₂/m³] → 0,003044 [MtCO₂/mil m³]

contínuo no horizonte projetado, com as emissões totais passando de 22 MtCO₂e em 2025 para 56 MtCO₂e em 2050.

Tabela 3 – Emissões de QAV separadas em voos domésticos e internacionais

	Ano	Emissões QAV Internacional (MtCO ₂ e)	Emissões QAV Doméstico (MtCO ₂ e)	Emissões QAV Total (MtCO ₂ e)
Histórico	2019	9,0	12,3	21,3
	2020	4,2	7,0	11,2
	2021	4,0	9,3	13,4
	2022	6,6	11,6	18,1
	2023	7,7	12,2	19,9
	2024	8,8	12,5	21,2
	2025	8,7	13,2	22,0
	2026	9,0	14,1	23,0
Projeção	2027	9,2	15,3	24,5
	2028	9,9	16,4	26,3
	2029	10,8	17,9	28,7
	2030	11,2	18,6	29,7
	2040	15,8	26,3	42,1
	2045	18,4	30,5	48,9
	2050	21,1	34,9	56,0

Fonte: elaboração própria

2.4 Projeção de Demanda de SAF

A projeção de demanda de SAF foi calculada a partir de premissas sobre crescimento da demanda de QAV no Brasil (tanto para voos domésticos como para internacionais), evolução regulatória, disponibilidade tecnológica, oferta de matérias-primas, investimentos industriais, custos relativos e contabilização de emissões. Resultando em um cone de possibilidades, e não uma previsão²¹ pontual do comportamento futuro do mercado. Dessa forma, foram considerados um cenário conservador (limite inferior) e um otimista (limite superior), que delimitam uma faixa plausível de demanda de SAF até 2050 no Brasil.

A conversão da projeção volumétrica de QAV fóssil em emissões de GEE (Tabela 4) permite estabelecer a linha de base fóssil sobre a qual são aplicadas as metas do CORSIA e LTAG 2050, para voos internacionais, e do ProBioQAV²², para voos

²¹ Uma previsão pressuporia maior capacidade de antecipar a trajetória efetiva do mercado, o que não é adequado em um setor ainda em estruturação.

²² Percentuais anuais de redução de emissões aplicáveis ao ProBioQAV, conforme trajetória regulatória considerada para o período de 2027 a 2037, iniciando em 1% em 2027 e aumentando progressivamente até 10% em 2037.

domésticos. Como essas metas são definidas em termos de abatimento de emissões de GEE, e não como uma obrigação volumétrica fixa de consumo de combustível sustentável, a demanda de SAF depende diretamente da projeção de consumo de QAV, a curva regulatória de redução de emissões e a intensidade de carbono do SAF utilizado. Assim, para cada ano da projeção, estima-se o volume de emissões associado ao consumo total de QAV e, em seguida, calcula-se o nível de emissões compatível com as metas regulatórias aplicáveis à aviação doméstica e internacional.

Para os voos domésticos, considerou-se inicialmente a aplicação das metas do ProBioQAV, no âmbito do Programa Combustível do Futuro, que estabelece trajetória progressiva de redução de emissões para o setor aéreo nacional já definidas até 2037, para os dois cenários. Para o período posterior a 2037, a projeção nacional de demanda de SAF foi construída a partir de dois cenários de longo prazo, um conservador e outro otimista de demanda de SAF.

No cenário conservador, a demanda doméstica de SAF foi estimada com base em projetos já divulgados, no avanço esperado das rotas tecnológicas mais maduras e no posicionamento estratégico da Petrobras para bioprodutos. Esse cenário considera uma inserção gradual do SAF, predominantemente por rotas de coprocessamento, HEFA e ATJ, que são atualmente as alternativas com maior grau de maturidade comercial e maior sinergia com cadeias existentes de produção de biocombustíveis, óleos e gorduras e etanol. Segundo o cenário de mudança no perfil de demanda do setor de transporte apresentado pela Petrobras²³ (2024 e 2025c), o SAF pode representar cerca de 30% da demanda energética total de combustível de aviação em 2050 no mercado doméstico. Em termos de emissão, isso resulta em uma redução de 21% das emissões²⁴ em 2050 em relação ao cenário base no qual toda a demanda seria atendida por QAV fóssil (o detalhamento do cálculo é apresentado no Anexo I).

No cenário otimista, considerou-se uma aceleração mais intensa da transição energética no setor aéreo doméstico, com maior disponibilidade de SAF, redução de custos, ampliação de rotas tecnológicas, expansão da capacidade produtiva nacional e fortalecimento de mandatos regulatórios e mecanismos de mercado. Nesse caso, admite-se que aproximadamente 90% da demanda energética doméstica total de

²³ Estimativa de atendimento da demanda de combustíveis de aviação por SAF da Petrobras e parceiros no Plano Estratégico 2050, com projetos definidos nas carteiras de investimento e de avaliação.

²⁴ A intensidade de carbono do SAF adotada no cenário conservador corresponde a um fator de emissão de aproximadamente 0,000916 MtCO₂e/mil m³, equivalente a uma redução de cerca de 70% em relação ao QAV fóssil. Esse valor foi estimado a partir de um mix tecnológico que privilegia rotas com maior maturidade comercial e maior aderência às cadeias produtivas já existentes, especialmente HEFA e ATJ, além de outras rotas complementares de menor intensidade de carbono. Dessa forma, o cenário conservador não representa o menor fator de emissão tecnicamente possível para o SAF, mas uma estimativa intermediária, compatível com tecnologias mais próximas de implantação em escala comercial.

combustível de aviação em 2050 seja atendida por SAF²⁵. Esse cenário combina maior ambição tecnológica e climática, e uma disponibilidade de SAF com intensidade de carbono inferior à das rotas mais convencionais. Como consequência, o benefício de abatimento por unidade de combustível substituído é maior, permitindo que uma mesma meta de redução de emissões seja alcançada com menor volume de SAF em comparação a rotas com maior intensidade de carbono. Consequentemente, em termos de emissão, isso resulta em uma redução de 85,5% das emissões²⁶ em 2050 em relação ao cenário base (o detalhamento do cálculo é apresentado no Anexo I).

Para a volume de SAF alocados à descarbonização internacional, em ambos os cenários, adotou-se como premissa o alinhamento à trajetória de descarbonização da aviação internacional, que estabelece uma trajetória de estabilização e posterior redução das emissões da aviação internacional (seguindo a redução do CORSIA até 2035 e após esse ano o LTAG da ICAO²⁷, com zero emissão em 2050) e a contabilização dessa redução como SAF²⁸, sem considerar parcela passível de atendimento por unidades de compensação²⁹. Assim, o componente internacional assume uma trajetória mais ambiciosa mesmo no cenário conservador, enquanto o mercado doméstico varia conforme o grau de maturação tecnológica, regulatória e econômica considerado em cada cenário.

Cabe destacar que, mesmo no cenário otimista de demanda, não foi considerado o efeito do Brasil como um *hub* internacional de abastecimento de SAF. Essa premissa é conservadora, pois não incorpora o potencial de atração de rotas internacionais para abastecimento no país, caso o Brasil consiga ofertar SAF em volumes relevantes, com

²⁵ A hipótese de 90% de penetração de SAF no cenário otimista não pressupõe que as limitações atuais de mistura permaneçam constantes até 2050 (atualmente limite de até 50%). Esse limite, portanto, deve ser interpretado como uma restrição regulatória e de qualificação técnica vigente, e não como uma incompatibilidade química definitiva entre SAF e aeronaves. No cenário otimista, considera-se que, até 2050, haverá avanço tecnológico, ampliação do portfólio de rotas certificadas, maior disponibilidade de SAF com aromáticos sintéticos/biogênicos e evolução das especificações de combustível, permitindo misturas superiores às atuais e, em determinados casos, operação com 100% SAF ([ASTM, 2023](#); [EASA, 2026](#)). Essa hipótese também considera a introdução gradual de aeronaves e motores compatíveis com maiores teores de SAF, especialmente em rotas domésticas de maior densidade e rentabilidade, como Rio de Janeiro e São Paulo, nas quais há maior viabilidade econômica para adoção antecipada de combustíveis de menor intensidade de carbono. Assim, a participação de 90% em 2050 representa uma condição prospectiva de alta maturidade tecnológica, regulatória e comercial, alinhada às discussões internacionais sobre certificação e uso futuro de SAF em teores superiores aos atualmente autorizados.

²⁶ No cenário otimista, a intensidade de carbono do SAF é variável ao longo do período de projeção. Entre 2025 e 2035, adota-se um fator de emissão de aproximadamente 0,000609 MtCO₂e/mil m³, correspondente a uma redução de cerca de 80% em relação ao QAV fóssil. A partir de 2036, considera-se uma redução progressiva da intensidade de carbono, alcançando aproximadamente 0,000152 MtCO₂e/mil m³ em 2050, equivalente a uma redução de cerca de 95% em relação ao QAV fóssil. Essa trajetória representa a evolução esperada para SAF de melhor desempenho climático, associada à maior participação de matérias-primas residuais, resíduos agrícolas e florestais, rotas tecnológicas avançadas, uso de hidrogênio de baixa emissão e eletricidade de baixo.

²⁷ LTAG: Long-Term Aspirational Goal, ou Meta Global Aspiracional de Longo Prazo. Organização da Aviação Civil Internacional (ICAO, na sigla em inglês) e a Associação Internacional de Transportes Aéreos (IATA, na sigla em inglês) assumiram o compromisso global de atingir a neutralidade nas emissões de carbono (Net Zero) até o ano de 2050.

²⁸ Foi assumido como premissa a conversão integral da obrigação de compensação em demanda volumétrica de SAF.

²⁹ Hipótese de modelagem 100% da obrigação internacional atendida por SAF

preços competitivos e certificação reconhecida internacionalmente. A consolidação de um *hub* brasileiro de SAF poderia ampliar a demanda projetada.

A partir desses cenários e premissas, foi construída a trajetória anual de demanda de SAF para os dois cenários considerados. Em cada cenário, a participação projetada de SAF em 2050 (em relação ao volume de combustível) foi utilizada como ponto de chegada. Então, calculou-se a redução de emissões associada à substituição parcial do QAV fóssil por SAF, considerando os fatores de emissão específicos adotados para cada cenário. Com isso, permitiu-se estimar, ano a ano, o volume de SAF necessário para atender à demanda doméstica de combustível de aviação.

Cada rota de produção de SAF apresenta uma intensidade de carbono específica, que varia conforme a tecnologia de conversão utilizada, a matéria-prima processada, o consumo energético do processo e as emissões associadas ao ciclo de vida do combustível. Dessa forma, combustíveis produzidos por diferentes rotas, como HEFA, FT (BtL e PtL) ou ATJ, podem gerar níveis distintos de abatimento em relação ao QAV fóssil³⁰. A Figura 3 apresenta exemplos de faixas de intensidade de carbono para diferentes combinações de rotas e matérias-primas.

³⁰ A demanda volumétrica de SAF (em m³) depende da rota tecnológica e da matéria-prima considerada.

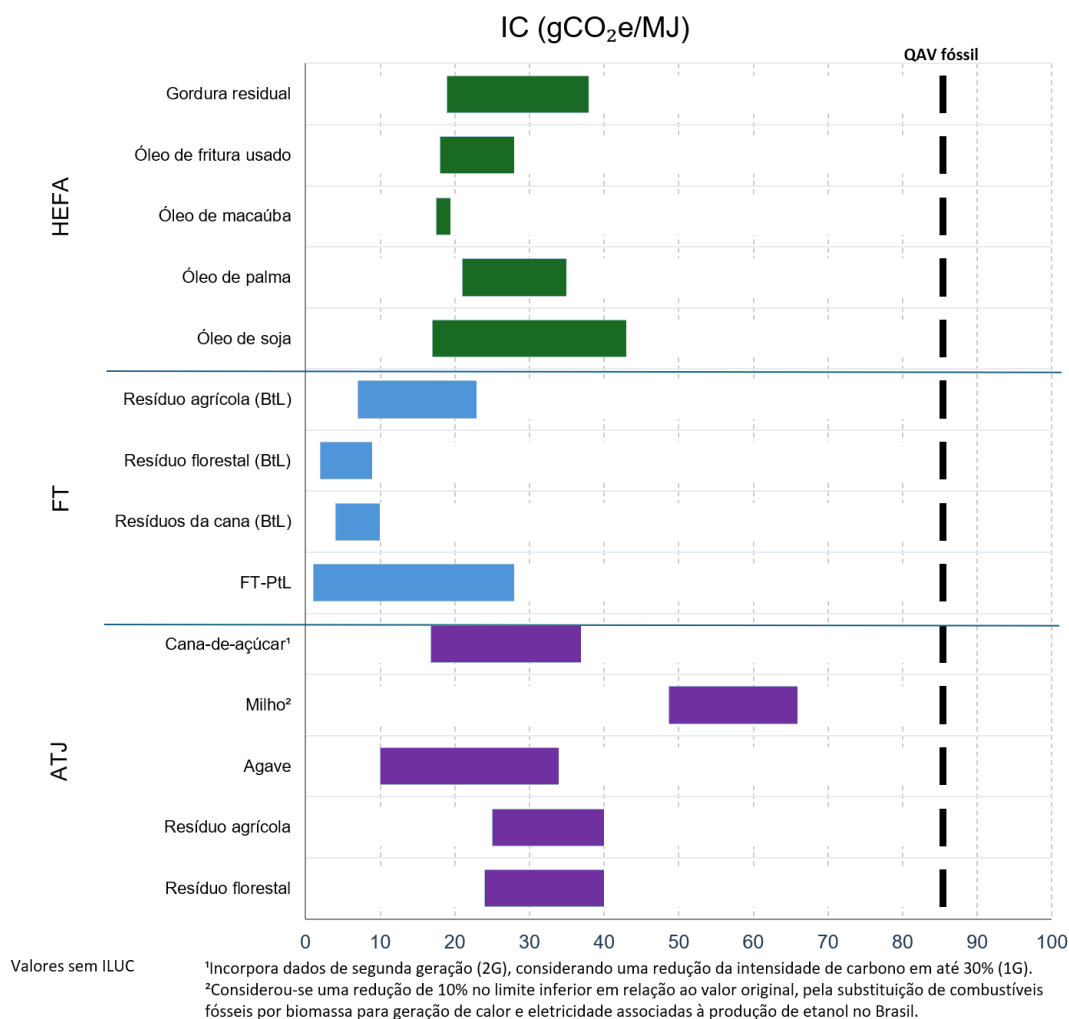


Figura 3 - Intensidade de carbono por rota de produção de SAF

Fonte: adaptado de EPE, 2024b e Micheli *et al*, 2022

A Tabela 4 apresenta as emissões dos cenários com SAF comparadas às emissões de do cenário-base, no qual toda a demanda de combustível de aviação seria atendida exclusivamente por QAV fóssil. A diferença entre esses dois resultados corresponde ao abatimento anual de emissões proporcionado pela introdução do SAF. Como a participação do SAF cresce progressivamente ao longo do tempo e os fatores de emissão variam entre os cenários conservador e otimista, a redução anual de emissões também apresenta trajetória crescente e diferenciada em cada caso. Essa abordagem permite estimar, de forma integrada, a demanda anual de SAF.

A Tabela 5 apresenta a demanda volumétrica de SAF, estimada considerando que seu potencial de abatimento depende diretamente da intensidade de carbono associada à rota tecnológica e à matéria-prima utilizada. Assim, foram adotados fatores de emissão distintos para os cenários analisados.

No cenário conservador, utilizou-se um SAF médio com maior intensidade de carbono, associado a um mix de rotas mais maduras, resultando em menor abatimento por unidade de combustível e, portanto, maior necessidade relativa de SAF para alcançar determinada redução de emissões. No cenário otimista, adotou-se um SAF de menor intensidade de carbono, associado a rotas e matérias-primas de melhor desempenho climático, o que amplia o abatimento por mil m³ e reduz o volume necessário para cumprir metas equivalentes. Dessa forma, os volumes apresentados refletem não apenas diferentes níveis de penetração do SAF, mas também diferentes hipóteses de desempenho ambiental do combustível. O detalhamento das premissas, fatores de emissão e equações utilizadas encontra-se no Anexo I.

Os resultados indicam que, na ausência das metas de descarbonização, as emissões totais associadas ao QAV no Brasil cresceriam de 22 MtCO₂e em 2025 para 56 MtCO₂e em 2050. Com a aplicação conjunta do CORSIA e do ProBioQAV, as curvas de emissões compatíveis com as metas e premissas de cada cenário passam para 27,6 MtCO₂e no cenário conservador e 5,1 MtCO₂e no cenário otimista, refletindo a combinação entre a redução progressiva das emissões domésticas (mais acelerada no cenário otimista) e a meta de descarbonização integral dos voos internacionais no horizonte final da projeção. Em termos absolutos, a redução requerida em 2050 é 28,4 MtCO₂e no cenário conservador e 50,9 MtCO₂e no otimista.

Tabela 4 – Emissões no setor de aviação no Brasil

Ano	Emissões de GEE (MtCO ₂ e)										
	QAV Brasil			SAF							
	Emissões QAV Internacional - MtCO ₂ e	Emissões QAV Doméstico - MtCO ₂ e	Emissões QAV - Curva base Total - MtCO ₂ e	Internacionais		Domésticos				Emissões Totais (MtCO ₂ e)	
				Voos Internacionais - MtCO ₂ e	Meta CORSIA e LTAG 2050 (% de emissões em relação ao ano de 2019)	Voos Domésticos - Cenário conservador - MtCO ₂ e	Meta ProBioQAV até 2037, depois redução percentual cenário conservador	Voos Domésticos - Cenário otimista - MtCO ₂ e	Meta ProBioQAV até 2037, depois redução percentual cenário otimista	Cenário otimista para a entrada de SAF no Brasil	Cenário conservador para a entrada de SAF no Brasil
2025	8,7	13,2	22,0	7,7	85%	13,2	0%	13,2	0,0%	20,9	20,9
2026	9,0	14,1	23,0	7,7	85%	14,1	0%	14,1	0,0%	21,7	21,7
2027	9,2	15,3	24,5	7,7	85%	15,1	-1%	15,1	1,0%	22,8	22,8
2028	9,9	16,4	26,3	7,7	85%	16,3	-1%	16,3	1,0%	24,0	24,0
2029	10,8	17,9	28,7	7,7	85%	17,5	-2%	17,5	2,0%	25,2	25,2
2030	11,2	18,6	29,7	7,7	85%	18,0	-3%	18,0	3,0%	25,7	25,7
2031	11,6	19,3	30,9	7,7	85%	18,5	-4%	18,5	4,0%	26,2	26,2
2032	12,0	20,0	32,0	7,7	85%	19,0	-5%	19,0	5,0%	26,7	26,7
2033	12,5	20,7	33,2	7,7	85%	19,5	-6%	19,5	6,0%	27,2	27,2
2034	13,0	21,5	34,4	7,7	85%	20,0	-7%	20,0	7,0%	27,7	27,7
2035	13,4	22,3	35,7	7,7	85%	20,5	-8%	20,5	8,0%	28,2	28,2
2036	13,9	23,0	36,9	7,2	79%	21,0	-9%	21,0	9,0%	28,1	28,1
2037	14,4	23,8	38,2	6,7	74%	21,4	-10%	21,4	10,0%	28,1	28,1
2038	14,9	24,6	39,5	6,1	68%	22,0	-11%	20,7	15,8%	26,9	28,1
2039	15,3	25,5	40,8	5,6	62%	22,5	-12%	19,9	21,6%	25,6	28,1
2040	15,8	26,3	42,1	5,1	57%	23,0	-13%	19,1	27,4%	24,2	28,1



2041	16,3	27,1	43,5	4,6	51%	23,5	-13%	18,1	33,2%	22,7	28,1
2042	16,8	27,9	44,8	4,1	45%	24,0	-14%	17,0	39,0%	21,1	28,1
2043	17,4	28,8	46,1	3,6	40%	24,5	-15%	15,9	44,8%	19,5	28,0
2044	17,9	29,6	47,5	3,1	34%	24,9	-16%	14,6	50,7%	17,7	28,0
2045	18,4	30,5	48,9	2,6	28%	25,4	-17%	13,3	56,5%	15,8	27,9
2046	18,9	31,4	50,3	2,0	23%	25,8	-18%	11,8	62,3%	13,9	27,9
2047	19,4	32,2	51,7	1,5	17%	26,3	-18%	10,3	68,1%	11,8	27,8
2048	20,0	33,1	53,1	1,0	11%	26,7	-19%	8,7	73,9%	9,7	27,8
2049	20,5	34,0	54,5	0,5	6%	27,2	-20%	6,9	79,7%	7,4	27,7
2050	21,1	34,9	56,0	0,0	0%	27,6 ¹	-21%	5,1 ²	85,5%	5,1	27,6

¹Emissão considerando 30% da demanda doméstica projetada de QAV substituída por SAF

² Emissão considerando 90% da demanda doméstica projetada de QAV substituída por SAF

Fonte: elaboração própria

Tabela 5 – Volume de combustível de aviação em cada cenário

Volume de combustível em mil m³								
Ano	QAV Brasil			SAF				
	Demanda QAV Internacional (mil m³)	Demanda QAV Doméstico (mil m³)	Demanda total QAV (mil m³)	Internacional volume de SAF alocados à descarbonização internacional (mil m³)	Demanda SAF Doméstico - Cenário conservador (mil m³)	Demanda SAF Doméstico – Cenário otimista (mil m³)	Demanda total SAF Cenário conservador (mil m³)	Demanda total SAF Cenário otimista (mil m³)
2025	2.864	4.351	7.215	426 ¹	0	0	426	426
2026	2.944	4.617	7.560	526 ¹	0	0	526	526
2027	3.023	5.015	8.038	626	72	63	698	689
2028	3.254	5.398	8.652	914	77	67	992	982
2029	3.540	5.872	9.412	1.272	168	147	1.440	1.418
2030	3.674	6.094	9.768	1.439	261	229	1.701	1.668
2031	3.813	6.325	10.138	1.613	362	316	1.975	1.930
2032	3.956	6.563	10.519	1.792	469	410	2.262	2.202
2033	4.104	6.807	10.911	1.977	584	511	2.561	2.487
2034	4.254	7.057	11.311	2.165	707	617	2.871	2.782
2035	4.407	7.310	11.717	2.355	836	731	3.192	3.086
2036	4.561	7.566	12.128	2.725	974	841	3.699	3.565
2037	4.718	7.826	12.545	3.088	1.119	954	4.208	4.042
2038	4.878	8.091	12.968	3.445	1.255	1.541	4.700	4.986
2039	5.039	8.359	13.398	3.797	1.397	2.151	5.195	5.948
2040	5.203	8.630	13.833	4.142	1.547	2.784	5.690	6.927
2041	5.368	8.903	14.271	4.481	1.703	3.440	6.185	7.922
2042	5.533	9.179	14.712	4.814	1.867	4.119	6.681	8.932
2043	5.700	9.455	15.155	5.140	2.037	4.818	7.177	9.958
2044	5.868	9.733	15.601	5.459	2.215	5.540	7.674	10.999



2045	6.037	10.014	16.052	5.774	2.400	6.282	8.174	12.056
2046	6.209	10.299	16.507	6.083	2.592	7.047	8.676	13.130
2047	6.382	10.587	16.969	6.389	2.792	7.834	9.181	14.223
2048	6.558	10.879	17.437	6.690	3.001	8.643	9.691	15.333
2049	6.737	11.175	17.912	6.988	3.218	9.474	10.206	16.462
2050	6.919	11.476	18.395	7.283 ⁴	3.443 ²	10.329 ³	10.726	17.612

¹ inspiracional, o mandatário é 2027.

²30% da demanda doméstica projetada de QAV substituída por SAF

³90% da demanda doméstica projetada de QAV substituída por SAF

⁴No cenário internacional, admite-se que o volume de SAF contabilizado possa superar o volume de QAV associado especificamente às operações internacionais no Brasil, em função da premissa de neutralização das emissões desse segmento até 2050. Como o SAF mantém emissões residuais ao longo de seu ciclo de vida, mesmo com redução de aproximadamente 95% em relação ao QAV fóssil, pode ser necessário contabilizar cerca de 1,05 unidade de SAF para cada unidade de QAV para que o abatimento corresponda à totalidade das emissões de referência. Essa hipótese é compatível com mecanismos de *Book and Claim*, que permitem dissociar o uso físico do SAF da titularidade de seus atributos ambientais. Destaca-se que ao longo de toda a projeção, o consumo total de QAV no Brasil permanece superior à soma dos volumes de SAF doméstico e internacional, indicando que existe demanda física suficiente para absorção do SAF no país. Assim, o combustível pode ser efetivamente utilizado no mercado brasileiro, enquanto seus atributos ambientais são adquiridos por empresas internacionais para cumprimento de suas metas de descarbonização, desde que asseguradas a certificação, a rastreabilidade e a ausência de dupla contagem dos benefícios ambientais.

Fonte: elaboração própria

Com base nas premissas adotadas e nos resultados obtidos, a demanda total de SAF associada ao cumprimento conjunto das metas CORSIA e ProBioQAV varia, em 2027, entre 689 mil m³ e 698 mil m³, conforme o cenário considerado. No horizonte de 2050, a demanda total de SAF alcança entre 10,7 e 17,6 milhões m³.

A desagregação entre os mercados internacional e doméstico mostra que, nos primeiros anos da projeção, a maior parte da demanda de SAF está associada ao atendimento das metas aplicáveis aos voos internacionais. Em 2027, por exemplo, a demanda estimada para cumprimento do CORSIA é 626 mil m³, enquanto a demanda associada ao ProBioQAV varia entre 63 mil m³ e 72 mil m³. Nesse ano, os voos domésticos representariam aproximadamente 10% da demanda total de SAF estimada, desconsiderando outros mecanismos de compensação. Esse resultado indica que, no curto prazo, a demanda brasileira de SAF será fortemente condicionada pelas obrigações internacionais, enquanto o ProBioQAV ganha relevância progressiva a partir da intensificação de suas metas.

Como referência de capacidade indicada de produção da Petrobras considera a capacidade de SAF por coprocessamento de até 1,3 Mbpd³¹ (Petrobras, 2026), aproximadamente 75,4 milhões de m³/ano de produto processado, assumindo 1% de conteúdo renovável, isso representaria cerca de 754 mil m³/ano de SAF equivalente, valor superior à demanda total estimada para 2027. Assim, em termos de ordem de grandeza, a capacidade anunciada pela Petrobras é suficiente para atender a demanda inicial projetada de SAF até 2027, especialmente considerando a entrada das unidades em implantação e o maior potencial de conteúdo renovável associado à Replan.

Ao final do período, em 2050, a demanda doméstica estimada varia entre 3,4 e 10,3 milhões m³. No cenário superior supera a demanda internacional, estimada em 7,2 milhões m³. Esse comportamento reflete a trajetória mais restritiva assumida para o ProBioQAV no longo prazo no cenário, associada à redução de 85,5% das emissões domésticas no horizonte de 2050.

³¹ 1 barril = 0,158987 m³. Os volumes apresentados referem-se à capacidade máxima potencial de produção de SAF, conforme indicado pela Petrobras. Esse valor não deve ser interpretado como produção fixa ou que será necessariamente realizada nesse patamar. Em unidades com configuração integrada, pode existir flexibilidade operacional na alocação da capacidade entre SAF e HVO, de forma análoga à flexibilidade observada entre correntes de QAV e diesel em determinadas configurações de refino. Assim, a produção efetiva de SAF pode variar em função do *share* de produtos, da disponibilidade e das características das matérias-primas, das condições operacionais e da estratégia de produção da unidade, permanecendo o valor apresentado como limite superior de capacidade de produção.

É importante destacar que as emissões do SAF são avaliadas com base em análise de ciclo de vida. Embora o SAF também emita CO₂ no momento da combustão, seu benefício climático decorre da redução líquida de emissões ao longo da cadeia produtiva em comparação ao QAV fóssil. Portanto, o SAF não foi tratado como combustível de emissão nula, seu efeito de mitigação foi calculado conforme sua intensidade de carbono relativa ao QAV convencional.

2.4.1 Cone de Projeção Futura da Demanda de SAF

A abordagem dos resultados como cone de possibilidades da projeção de demanda de SAF é necessária porque a trajetória futura de inserção do SAF depende de variáveis ainda sujeitas a elevada incerteza, como ritmo de crescimento da demanda aérea, evolução tecnológica das rotas de produção, disponibilidade e custo das matérias-primas, consolidação de cadeias produtivas, desenho regulatório, mecanismos de certificação, instrumentos de mercado e intensidade das políticas climáticas aplicáveis à aviação.

Assim, em vez de definir uma única trajetória esperada, o estudo trabalha com uma faixa de resultados plausíveis, delimitada por um cenário conservador (limite inferior) e um cenário otimista (limite superior) (Figura 4).

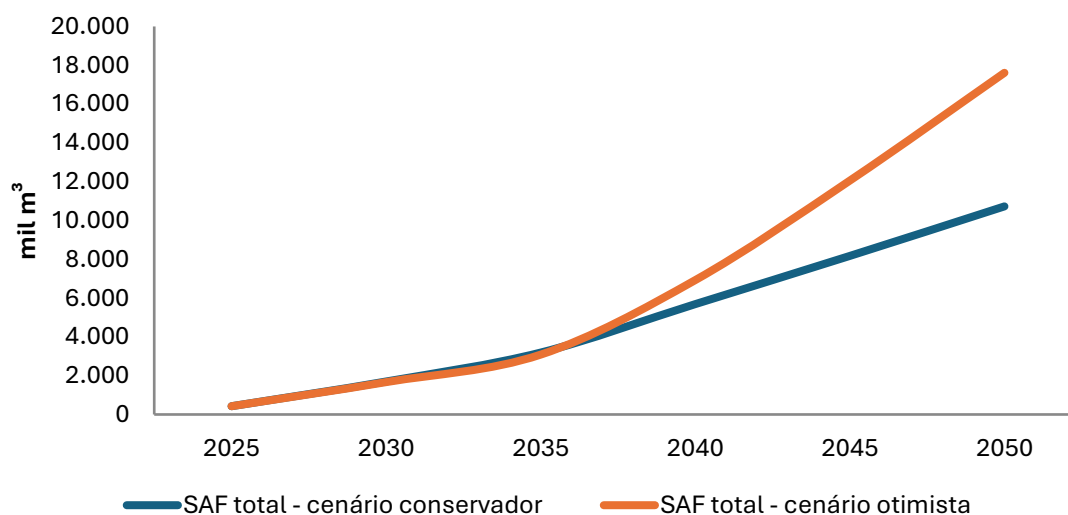


Figura 4 - Cone de possibilidades da demanda de SAF no Brasil em mil m³

Até 2037, os dois cenários seguem a trajetória estabelecida pelas metas de redução de emissão do ProBioQAV. Nesse período, a demanda nacional de SAF é condicionada pelo mandato regulatório definido para o setor aéreo brasileiro. Esse mandato está

associado à redução de emissões específicas (em relação ao cenário base de evolução da demanda de QAV), e não diretamente a um volume físico predeterminado de SAF, de modo que o volume necessário dependerá da intensidade de carbono das rotas utilizadas em cada cenário. A partir de 2037, no entanto, os cenários passam a assumir trajetórias distintas, refletindo diferentes hipóteses sobre ambição climática, disponibilidade de oferta, competitividade econômica e capacidade de expansão das rotas tecnológicas.

O cenário conservador representa uma trajetória de inserção gradual do SAF, compatível com rotas tecnológicas mais maduras, projetos já anunciados e maior sinergia com cadeias produtivas existentes no Brasil. Nesse caso, considera-se que o SAF alcançaria participação relevante, mas ainda parcial, na matriz de combustíveis da aviação até 2050, atingindo 10.726 mil m³ em 2050.

Já o cenário otimista pressupõe maior aceleração da transição energética no setor aéreo, com ampliação expressiva da oferta de SAF, redução de custos, maior disponibilidade de matérias-primas, avanço de rotas de menor intensidade de carbono e fortalecimento dos mecanismos regulatórios e de mercado. Nesse cenário, o SAF passa a ocupar posição predominante no atendimento da demanda energética da aviação, alcançando 17.612 mil m³ em 2050.

A adoção de um cone de projeção também permite alinhar a análise deste estudo com exercícios nacionais recentes de planejamento energético. O PNE 2055³² (EPE, 2026b) reforça que cenários de longo prazo devem ser compreendidos como futuros possíveis, construídos para apoiar a tomada de decisão sob incerteza, e não como trajetórias únicas ou previsões determinísticas. Na mesma direção, o programa de transição energética (CEBRI *et al*, 2026)³³ indica diferentes ritmos de entrada de biocombustíveis avançados no setor de transportes, incluindo o SAF, a depender do grau de ambição climática, da coordenação regulatória, do desenvolvimento tecnológico e da disponibilidade de recursos energéticos renováveis.

Dessa forma, o intervalo considerado neste estudo é coerente com a leitura de que a demanda futura de SAF pode assumir trajetórias distintas, variando conforme as condições tecnológicas, econômicas e institucionais observadas ao longo das próximas

³² No PNE 2055, a produção de SAF em 2055 varia de 8,71 milhões de tep (aproximadamente 10.369 mil m³) no cenário Transição Alongada e 14,64 milhões de tep (17.429 mil m³) no cenário Transição Net Zero 2050 (EPE, 2026).

³³ Programa de Transição Energética apresenta trajetórias distintas de participação do SAF no consumo energético do transporte aéreo até 2050. Considerando o consumo total de transporte aéreo de 0,58 EJ em 2050, a participação de SAF alcança 41% no cenário Transição Brasil (0,2378 EJ aproximadamente 6.762 mil m³), 93% no cenário Transição Alternativa (0,5394 EJ, 15.337 mil m³) e 83% no cenário Transição Global (0,4814 EJ, 13.690 mil m³) (CEBRI *et al*, 2026).

décadas. O cone de projeção evita atribuir falsa precisão a um mercado ainda em formação, no qual os volumes efetivos dependerão da velocidade de implantação de projetos, da competitividade relativa do SAF frente ao QAV fóssil e da evolução das obrigações regulatória.

Os resultados reforçam a relevância estratégica do SAF para a descarbonização da aviação no Brasil. O país reúne condições favoráveis para ocupar posição de destaque nesse mercado, em razão da experiência acumulada com biocombustíveis, da disponibilidade de biomassa, resíduos e fontes renováveis de energia, bem como do potencial de produção de combustíveis sustentáveis com intensidade de carbono competitiva (EPE, 2024b). Nesse contexto, a trajetória projetada de demanda indica que a estruturação de cadeias produtivas nacionais de SAF será determinante não apenas para o cumprimento das metas climáticas do setor aéreo, mas também para a inserção do Brasil em um mercado internacional de SAF.

2.5 Produção Hoje e Projetos Anunciados de SAF no Brasil

A produção de SAF no Brasil ainda se encontra em estágio muito inicial. Do ponto de vista tecnológico, o país já conta com rotas autorizadas pela regulação nacional (ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis), em alinhamento com especificações internacionais de combustíveis de aviação (ASTM)³⁴. Essas rotas permitem o uso de diferentes matérias-primas, como óleos vegetais, gorduras residuais, sebo animal, resíduos sólidos urbanos, resíduos agrícolas e florestais, açúcares, amidos e biomassas lignocelulósicas. A diversidade de rotas é relevante pois a competitividade do SAF no Brasil dependerá não apenas da disponibilidade física de matérias-primas, mas também de custos logísticos, intensidade de carbono, maturidade tecnológica e capacidade de certificação.

Em termos de produção efetiva, a Petrobras³⁵ iniciou a produção e comercialização de SAF por coprocessamento. Em 2025, a companhia entregou um lote de aproximadamente 3 mil m³ de SAF produzido na Refinaria Duque de Caxias (Reduc - RJ)³⁶. Nessa rota, uma parcela de matéria-prima renovável (nesse caso, óleo técnico de milho e óleo de soja) é processada conjuntamente com correntes tradicionais de

³⁴ Entre elas estão as rotas HEFA, HC-HEFA, Fischer-Tropsch (FT-SPK), SPK/A, ATJ, SIP e CHJ, com diferentes limites de mistura ao QAV fóssil, em geral de até 50%, e de 10% em algumas rotas específicas

³⁵ [Forbes Agro, 2025](#)

³⁶ volume equivalente a cerca de um dia de consumo de QAV nos aeroportos do estado do Rio de Janeiro

petróleo, resultando em um combustível quimicamente equivalente ao QAV convencional, mas com conteúdo renovável certificado.

Segundo a Petrobras, a parcela renovável do combustível pode proporcionar redução de até 87% nas emissões líquidas de CO₂. A Reduc possui autorização da ANP para incorporar até 1,2% de matéria-prima renovável na produção de SAF por essa rota de coprocessamento.

Em 2025, a Refinaria Henrique Lage (Revap, em São José dos Campos), realizou testes para a produção de SAF a partir do coprocessamento de óleo vegetal com correntes tradicionais de petróleo, atingindo teor de até 1,2% de componente renovável no produto e produção de cerca de 10 mil m³/ano (PETROBRAS, 2026a). Para 2026, a expectativa indicada pela companhia é de avanço da produção e comercialização também em outras unidades do parque de refino, com destaque para a Refinaria de Paulínia (Replan em SP) e Refinaria Gabriel Passos (Regap em MG), com aproximadamente 5 mil m³/ano. A partir de 2027, a Replan também aparece com projeto de coprocessamento de aproximadamente 43 mil m³/ano (EPE, 2025).

A produção de SAF por coprocessamento apresenta volumes menores quando comparados às plantas dedicadas, mas têm importância estratégica, pois permitirem uma entrada mais rápida do SAF no mercado, aproveitando ativos existentes de refino (EPE, 2025).

Além do coprocessamento, a Petrobras também iniciou movimentos voltados à produção de SAF por rota Alcohol-to-Jet³⁷, a partir de etanol (PETROBRAS, 2025c). O projeto em avaliação prevê uma biorrefinaria anexa à Replan. Essa iniciativa conecta a indústria brasileira de etanol, já consolidada em escala, à cadeia de SAF.

Para além da Petrobras, há outros projetos anunciados com potencial de adicionar capacidade relevante de produção nos próximos anos EPE (2024b e 2025). Os projetos somam aproximadamente 2,1 bilhões de litros (2.100 mil m³/ano) por ano em 2030 e alcançam cerca de 3,6 bilhões (3.600 mil m³/ano) de litros por ano em 2035 (EPE, 2025). A expansão reflete uma carteira diversificada de empreendimentos, mas concentrada nas rotas HEFA, ATJ e coprocessamento.

A partir de 2027 e 2028, a projeção passa a incorporar projetos dedicados de maior escala pela rota HEFA, como a Acelen, com capacidade prevista de 600 mil m³/ano em 2027 (utilizando soja, milho e macaúba no futuro) (EPE, 2024b), a Riograndense, com

³⁷ [CNN Brasil](#)

520 mil m³/ano em 2028, a Petrobras RPBC, com 520 mil m³/ano em 2029, e o projeto da Petrobras Boaventura, com 660 mil m³/ano em 2032 (EPE, 2025)³⁸.

A partir de 2030 há a entrada da rota ATJ, com o projeto da Energisa, com capacidade estimada de 790 mil m³/ano em 2030, seguido pelo projeto da Petrobras Replan, com 420 mil m³/ano em 2033 (EPE, 2025).

A EPE (2025) avalia que esses projetos já anunciados atendem parcialmente às necessidades de descarbonização associadas ao CORSIA e ao ProBioQAV até 2037, considerados conjuntamente. Até 2037, 85% das metas de redução de emissões de GEE definidas pelo ProBioQAV³⁹ e CORSIA (EPE, 2025).

A EPE (2025) avalia que esses projetos de produção de SAF já anunciados no Brasil têm potencial para atender parcialmente às necessidades de descarbonização associadas ao CORSIA e ao ProBioQAV até 2037, quando consideradas de forma conjunta. Segundo a estimativa, caso os projetos mapeados entrem efetivamente em operação, eles supririam 85% das metas de redução de emissões de GEE necessárias para o período (EPE, 2025). Esse resultado indica que a carteira atual de projetos é relevante, mas ainda insuficiente para cobrir integralmente a demanda regulatória esperada. Portanto, permanece espaço para a entrada de novos empreendimentos, especialmente em regiões com vantagens produtivas e disponibilidade de matérias-primas como Goiás. Esse potencial tende a se ampliar ainda mais no horizonte pós-2037 e até 2050, período em que a demanda por SAF deverá crescer de forma mais expressiva em cenários de maior ambição climática e substituição progressiva do QAV fóssil.

³⁸ Há também o empreendimento da BBF (Brasil Biofuels), com produção prevista de HEFA de 250 mil m³/ano, no entanto a empresa está em recuperação judicial

³⁹ Considerando apenas o ProBioQAV os projetos anunciados são suficientes para atender as metas estabelecidas (EPE, 2025)

3. Estimativas de Demanda de SAF na Aviação Regional – Goiás e Brasília

A estimativa regional de demanda de SAF para Goiás e Distrito Federal foi construída a partir da projeção nacional de demanda de QAV e da participação histórica de cada unidade federativa no consumo brasileiro de querosene de aviação. Para isso, foram utilizados os dados de vendas de QAV da ANP (ANP,2026b). A partir dessa base, estimou-se que Goiás representa aproximadamente 1,1% do consumo nacional de QAV, enquanto o Distrito Federal responde por cerca de 6,2%. Esses percentuais foram aplicados à projeção nacional de demanda de QAV para distribuir regionalmente o consumo futuro de combustível de aviação. Premissa básica é a manutenção da participação relativa no total nacional⁴⁰.

Com base nessa metodologia, a demanda total de QAV de Goiás em 2024 foi de 75 mil m³. No cenário projetado, esse volume cresce para 105 mil m³ em 2030 e 197 mil m³ em 2050. No Distrito Federal, a demanda estimada é significativamente superior, refletindo sua maior participação no consumo nacional de QAV e a relevância do Aeroporto de Brasília como hub de conexões domésticas e internacionais. Em 2024, o consumo total foi de 383⁴¹ mil m³. No horizonte projetado, a demanda total alcança 603 mil m³ em 2030 e 1.136 mil m³ em 2050.

A demanda regional de SAF é fortemente concentrada no Distrito Federal quando comparada a Goiás. Em 2050, por exemplo, o consumo projetado de QAV no Distrito Federal é cerca de 5,8 vezes superior ao de Goiás, o que indica maior potencial de mercado para SAF em Brasília.

Nesse sentido, a regionalização da demanda de QAV em Goiás e no Distrito Federal deve ser interpretada como uma estimativa da base física potencial para inserção de SAF, e não como uma obrigação rígida de consumo local. Como o uso de SAF depende de limites técnicos de mistura por rota tecnológica e certificação do combustível, a possibilidade de atendimento regional pode ser representada pelo percentual máximo de mistura aplicável a cada rota, variando, de forma indicativa, entre 5%, 10% e 50% do volume de QAV consumido. Assim, a Tabela 6 apresenta a demanda potencial de SAF em Goiás e Brasília pode ser estimada pela aplicação desses limites sobre o consumo

⁴⁰ A série histórica de vendas de QAV da ANP indica que a participação de Goiás no consumo nacional manteve relativa estabilidade ao longo do período recente, oscilando, nos últimos dez anos, em torno de 1,0% a 1,3% do total brasileiro. No caso do Distrito Federal, no período mais recente, situa-se entre 5,5% e 7,2%. Essa estabilidade reforça a robustez da premissa adotada para a participação estadual na demanda nacional projetada.

⁴¹ 5,47%, enquanto os 6,2% são a participação estrutural/média usada prospectivamente

regional projetado, respeitando as especificações técnicas, a rota de produção e o nível máximo de mistura autorizado para cada combustível.

Tabela 6 – Demanda potencial de SAF em Goiás e Brasília

	Ano	QAV (mil m³)		SAF (5% mistura)		SAF (10% mistura)		SAF (50% mistura)	
		Distrito		Distrito		Distrito		Distrito	
		Goiás	Federal	Goiás	Federal	Goiás	Federal	Goiás	Federal
Histórico	2005	27	244	0	0	0	0	0	0
	2010	61	397	0	0	0	0	0	0
	2015	85	570	0	0	0	0	0	0
	2020	43	173	0	0	0	0	0	0
Projeção	2025 ¹	77	446	4	22	8	45	39	223
	2030	105	603	5	30	10	60	52	302
	2035	126	724	6	36	13	72	63	362
	2040	148	854	7	43	15	85	74	427
	2045	172	991	9	50	17	99	86	496
	2050	197	1.136	10	57	20	114	99	568

¹O dado de 2025 é projeção do que já poderia ter sido implementado considerando as metas internacionais

Fonte: elaboração própria

Essa lógica é possível devido a adoção de mecanismos como o *book and claim*, que ampliam a relevância estratégica da produção e do abastecimento regional de SAF. Por esse mecanismo, o combustível sustentável pode ser produzido ou disponibilizado fisicamente em Goiás ou Brasília, enquanto o benefício ambiental correspondente é contabilizado para cumprimento de metas em outras regiões ou rotas aéreas, desde que observados os critérios de rastreabilidade, certificação e dupla contagem. Dessa forma, Goiás e Distrito Federal podem assumir papel relevante não apenas como mercados consumidores de SAF, mas também como plataformas regionais de oferta e certificação de atributos ambientais, contribuindo para o atendimento das metas do ProBioQAV e do CORSIA mesmo quando o consumo físico do combustível ocorrer em localidades distintas daquelas em que a obrigação regulatória é contabilizada.

As estimativas regionais de demanda indicam que Goiás e Distrito Federal devem ser analisados de forma integrada na estratégia de inserção do SAF. Embora Goiás apresente menor consumo direto de QAV, sua base agroindustrial e disponibilidade de matérias-primas conferem ao estado uma vocação produtiva relevante. Por outro lado, Brasília concentra maior demanda potencial e maior capacidade de absorção do combustível sustentável, especialmente em razão da importância do seu aeroporto internacional na malha aérea nacional.



Essa complementaridade entre oferta potencial em Goiás e mercado consumidor ampliado no Distrito Federal reforça a necessidade de avaliar não apenas a demanda física regional, mas também as condições regulatórias, técnico-econômicas e ambientais capazes de sustentar a formação de um *cluster* de SAF em Goiás, tema desenvolvido na seção seguinte.

4. Cluster de SAF em Goiás

A análise do potencial de desenvolvimento de um *cluster* de SAF em Goiás parte da avaliação integrada dos fatores regulatórios, tecnológicos, econômicos e ambientais que condicionam a viabilidade dessa cadeia no estado.

Já foi destacado que Goiás reúne atributos relevantes para se posicionar como polo estratégico na produção de combustíveis sustentáveis de aviação, como a disponibilidade de matérias-primas agrícolas e residuais, infraestrutura agroindustrial existente e proximidade com importantes centros consumidores do Centro-Oeste. No entanto, o avanço desse mercado depende da superação de desafios associados aos elevados custos de produção, à logística de escoamento e à maturidade das rotas tecnológicas.

Nesse contexto, a análise SWOT⁴² apresentada no item 4.5 sistematiza os principais pontos fortes, fraquezas, oportunidades e ameaças para a consolidação de um *cluster* de SAF em Goiás, considerando tanto as especificidades estaduais quanto o panorama mais amplo do mercado brasileiro.

4.1 Regulatório

Como já detalhado no Produto 1, a expansão do SAF é fortemente impulsionada por mandatos legais. No âmbito internacional, o programa CORSIA (da ICAO) e nacionalmente, o ProBioQAV da Lei do Combustível do futuro (Lei nº 14.993/2024).

No âmbito estadual, há a Política Estadual de Energia de Goiás (Decreto nº 10.872/2026), que define o zoneamento de potencialidades energéticas, incluindo o SAF, e prevê mecanismos de fomento, planejamento energético e transição energética justa. Além do Programa Estadual de Combustível Sustentável de Aviação (GOIÁS SAF), que reforça a intenção do estado de estruturar uma agenda específica para o desenvolvimento dessa cadeia produtiva, articulando governo, setor produtivo, academia e potenciais investidores.

Essas iniciativas indicam a construção de um ambiente regulatório favorável à atração de projetos de SAF em Goiás, que ao criar diretrizes institucionais, sinalização política

⁴² A análise SWOT é uma ferramenta de diagnóstico estratégico utilizada para identificar fatores internos e externos que influenciam a viabilidade e o posicionamento de algo. A sigla deriva dos termos em inglês *Strengths*, *Weaknesses*, *Opportunities* e *Threats*, traduzidos como forças, fraquezas, oportunidades e ameaças. As forças e fraquezas correspondem aos aspectos internos, nesse caso Goiás. Já as oportunidades e ameaças referem-se a fatores externos, relacionados ao ambiente de mercado, regulatório, tecnológico e ambiental, no Brasil e no mundo.

e instrumentos de coordenação, são capazes de reduzir incertezas, estimular investimentos e posicionar o estado de forma competitiva.

Um gargalo regulatório central é a conclusão da regulamentação do ProBioQAV pela ANP. A Lei nº 14.993/2024 atribui à Agência a definição dos valores de emissões equivalentes por unidade de energia para cada rota tecnológica de produção de SAF, considerando o ciclo de vida “do poço à queima”. Esses parâmetros determinarão quanto cada combustível efetivamente contribui para o cumprimento da meta de redução de emissões e o volume de SAF necessário para cada rota. A ausência desses critérios dificulta a certificação, a comparação entre tecnologias, a elaboração de contratos e o planejamento dos investimentos. Como a primeira meta do ProBioQAV entra em vigor em 2027, eventuais atrasos na regulamentação reduzem o período de adaptação dos produtores, distribuidores e operadores aéreos e representam um risco para a implementação operacional do programa.

Apesar dos avanços regulatório (sinalização estratégica), ainda há a necessidade de criar instrumentos voltados para mecanismos econômicos operacionais. Por exemplo, instrumentos de incentivo e mecanismos de monitoramento para gerar segurança efetiva aos investidores.

No plano externo, uma ameaça do ponto de vista regulatório e comercial, é que a aderência das soluções brasileiras deve ser avaliada separadamente para o CORSIA e o ReFuelEU Aviation, na União Europeia, uma vez que os dois mecanismos possuem objetivos e critérios de elegibilidade distintos. No CORSIA, o uso de combustíveis elegíveis permite reduzir as obrigações de compensação das companhias aéreas, desde que a matéria-prima, a rota tecnológica, as emissões de ciclo de vida e a cadeia de custódia sejam verificadas por um esquema de certificação aprovado pela ICAO (2026). Já o ReFuelEU, estabelece obrigações físicas de fornecimento nos aeroportos europeus, iniciadas em 2% de SAF em 2025, e cria uma demanda específica para e-combustíveis, com participação mínima de 1,2% em 2030 e 35% em 2050 (EUROPEAN COMMISSION, 2025). Embora o regulamento europeu permita que SAF produzido em países terceiros seja contabilizado, suas regras funcionam como um filtro regulatório de acesso ao mercado, pois os combustíveis derivados de culturas alimentares e forrageiras, bem como de materiais provenientes da soja, não são contabilizados para o cumprimento das metas mínimas⁴³ (EUROPEAN COMMISSION, 2025). Assim, rotas

⁴³ Enquanto resíduos, matérias-primas constantes do Anexo IX da Diretiva de Energias Renováveis e combustíveis sintéticos de origem não biológica recebem tratamento mais favorável.

brasileiras baseadas em etanol de cana ou milho e óleo de soja podem apresentar boa aderência ao CORSIA, mas enfrentar limitações no mercado regulado europeu. Para reduzir esse risco, pode-se elaborar estruturar antecipadamente contratos de compra que reconheçam os atributos ambientais, atuar diplomaticamente pela aceitação de dados e metodologias adaptados às condições brasileiras e diversificar a inserção comercial em mercados asiáticos, da Oceania e de outros países participantes do CORSIA, evitando que a estratégia nacional dependa exclusivamente de uma jurisdição com critérios mais restritivos para biossoluções.

Há também a ameaça relacionada à incerteza sobre a implementação prática dos mandatos de descarbonização da aviação. Embora o ProBioQAV estabeleça metas obrigatórias, sua efetividade dependerá de regulamentação infralegal, critérios de certificação, metodologias de cálculo de emissões e fiscalização. Adicionalmente, há risco de competição regulatória entre estados brasileiros, caso outras unidades federativas avancem mais rapidamente na criação de incentivos, infraestrutura institucional e regimes específicos para atração de projetos de SAF.

Outro ponto regulatório de atenção refere-se à aceitação ou não de mecanismos de *book and claim* para fins de cumprimento de metas e contabilização de atributos ambientais do SAF. Embora esse modelo represente uma oportunidade relevante para Goiás⁴⁴, sua efetividade depende da aceitação⁴⁵ pelos marcos regulatórios aplicáveis e pelos sistemas de registro, rastreabilidade e prevenção de dupla contagem. Assim, ainda que o *book and claim* possa ampliar a atratividade de Goiás como plataforma regional de produção e certificação de SAF, a não aceitação ou a aceitação restrita desse mecanismo em programas nacionais e internacionais deve ser considerada uma ameaça regulatória, pois reduziria a possibilidade de monetização dos atributos ambientais do combustível produzido no estado e limitaria sua inserção em mercados mais amplos.

4.2 Tributário e incentivo

A viabilidade econômica e a consolidação de um mercado competitivo de SAF no Brasil dependem diretamente da estruturação de um ambiente tributário e de incentivos atrativo. Como a produção de SAF é uma indústria intensiva em capital e apresenta

⁴⁴ Permite que o SAF produzido, certificado ou disponibilizado regionalmente tenha seus benefícios ambientais reconhecidos em outras rotas ou mercados.

⁴⁵ Há críticas ao mecanismo está associada ao risco de dissociação excessiva entre o fluxo físico do combustível e a reivindicação do benefício ambiental, o que pode gerar questionamentos sobre adicionalidade, transparência, integridade climática e eventual greenwashing, especialmente em contextos de múltiplos sistemas regulatórios e mercados voluntários.

custos que ainda variam consideravelmente, o arcabouço fiscal atua como um dos principais condicionantes de mercado para a viabilização de novos projetos (EPE, 2024; TOPSOE, 2025).

Nesse sentido, por se tratar de uma indústria ainda em formação, a definição dos tributos sobre importação e a aquisição de equipamentos tende a ter um peso ainda maior, influenciando diretamente a atratividade desses novos projetos e no custo final do combustível (TOPSOE, 2025; COPERSUCAR, 2025).

Essa questão aparece de forma concreta na carga tributária estimada para o SAF produzido no Brasil. Os tributos federais incidentes somam 15,75%, considerando 9,25% de PIS/COFINS e 6,50% de IPI, além do ICMS, que varia conforme o estado. No QAV convencional, o IPI é zerado, o que cria uma diferença relevante entre o combustível fóssil e o produto renovável (EMBRAER, 2025). Em relação ao ICMS⁴⁶, o estado de Goiás tem um alíquota geral de 19%, que seria aplicada para o SAF por não possuir alíquota específica. No entanto, a alíquota do querosene de aviação convencional é de 17%⁴⁷. Nesse contexto, estados que avançarem mais rapidamente na definição de marcos legais e incentivos específicos tendem a se tornar mais atrativos para novos projetos. Em Goiás, o Decreto nº 10.872/2026 incluiu o SAF entre as potencialidades energéticas estaduais e previu mecanismos de incentivo às cadeias produtivas de biocombustíveis e combustíveis avançados de baixo carbono (GOIÁS, 2026).

Outros estados também vêm adotando iniciativas relacionadas ao tema. No Paraná, por exemplo, o Decreto nº 9.817/2025 isentou de ICMS as operações com o SAF, biogás, biometano, metanol e CO₂, e sobre aquisição de máquinas e equipamentos voltados ao setor. Da mesma forma, Mato Grosso instituiu, por meio da Lei nº 13.250/2026, uma política estadual inteiramente direcionada ao fomento, industrialização e uso do SAF (PARANÁ, 2025; MATO GROSSO, 2026).

No Rio Grande do Sul, o Decreto nº 58.140/2025 aborda a questão do ICMS na importação de óleos e gorduras para produtores de HVO, SAF e químicos verdes (RIO GRANDE DO SUL, 2025). Em São Paulo, tramita o Projeto de Lei nº 534/2026, voltado

⁴⁶ O ICMS é um tributo estadual incidente sobre operações de circulação de mercadorias e sua incidência ocorre na comercialização do combustível. O contribuinte responsável pelo recolhimento depende da operação e do regime tributário aplicável à cadeia, mas o imposto tende a ser incorporado ao preço de venda e suportado ao longo da cadeia até o consumidor final.

⁴⁷ <https://www.taxgroup.com.br/intelligence/icms-go-tabela-atualizada/>

à isenção de ICMS nas operações de comercialização de SAF destinado ao abastecimento de aeronaves (SÃO PAULO, 2026).

Esse movimento mostra que a agenda de SAF faz parte das estratégias estaduais de desenvolvimento produtivo e transição energética. Ainda, a criação de marcos legais e incentivos indica que eles estão buscando se posicionar na atração desses novos investimentos e projetos. No caso de Goiás, a agenda tributária pode ser um instrumento ainda mais importante para reforçar a competitividade do estado, especialmente se estiver alinhada às cadeias produtivas locais e às rotas de SAF com maior aderência (TOPSOE, 2025; REFINA BRASIL, 2024).

4.3 Técnico-econômico

O Brasil possui uma posição de destaque global na produção de biocombustíveis e potencial para liderar o mercado de SAF na América Latina, apoiado por sua experiência consolidada em etanol, biodiesel, biomassa e cadeias agroindustriais de grande escala

Nesse contexto, o estado de Goiás se destaca por sua forte base produtiva, sendo o 3º maior produtor nacional de cana-de-açúcar e etanol, além de possuir expressiva produção de soja e milho. Essa abundância de insumos reduz riscos de suprimento, favorece economias de escala e torna o estado um polo atrativo para investimentos industriais associados principalmente às rotas HEFA e ATJ, especialmente em municípios com maior concentração agrícola, infraestrutura sucroenergética e capacidade logística.

As rotas de SAF ainda apresentam ampla variação de custos, refletindo diferenças de maturidade tecnológica, disponibilidade de matéria-prima, escala produtiva e complexidade de conversão. Entre as rotas mais aderentes ao perfil produtivo de Goiás, a HEFA, apresenta faixa de referência entre US\$ 0,5/L e US\$ 2/L, combinando elevado nível de maturidade tecnológica, TRL 8-9, com maior previsibilidade econômica no curto prazo. Essa rota tende a ser a mais competitiva para implantação inicial, sobretudo pela disponibilidade regional de soja, sebo bovino e outros insumos lipídicos. Já a rota ATJ (TRL 7–8), baseada em etanol, apresenta faixa mais ampla, entre US\$ 0,75/L e US\$ 4,1/L, indicando potencial competitivo, mas também maior incerteza econômica. Embora o limite inferior seja atrativo, a amplitude da faixa revela sensibilidade relevante a preço do etanol, escala da planta, rendimento de conversão, custo de capital e integração com unidades sucroenergéticas existentes.

As rotas de FT (BtL e PtL) também apresentam ampla variação de custos, com preços de referência entre US\$ 0,9/L e US\$ 3,9/L, sendo um valor médio para FT BtL de US\$2,08/L (com faixa entre US\$ 0,9/L e US\$ 3,7/L) e para FT PtL valor médio mais elevado de US\$3,9/L (com faixa entre US\$ 2,3/L e US\$5,2/L). A rota FT BtL apresenta competitividade quando associadas a biomassa residual. No entanto, no caso de Goiás, sua viabilidade econômica tende a ser mais desafiadora no curto prazo, em razão do maior CAPEX, da complexidade tecnológica, da necessidade de pré-tratamento da biomassa e da menor maturidade comercial em comparação à HEFA.

As rotas de coprocessamento, por sua vez, apresentam elevado grau de prontidão tecnológica em alguns casos, mas sua contribuição para a formação de um cluster estadual de SAF dependeria da existência de ativos de refino e de arranjos industriais específicos.

Apesar das vantagens competitivas de Goiás em disponibilidade de matérias-primas e base agroindustrial, o custo de produção do SAF ainda permanece superior ao do QAV fóssil, em geral entre 2 e 5 vezes maior, evidenciando a necessidade de políticas de incentivo, mecanismos de precificação de carbono, contratos de longo prazo e ganhos de escala. A competitividade econômica do SAF não depende apenas do custo tecnológico, mas também da estrutura de suprimento, logística, demanda regulada e capacidade de reduzir riscos para investidores.

Nesse contexto, a competitividade do SAF também deve considerar a existência de um prêmio verde (*green premium*), entendido como o valor adicional⁴⁸ que as companhias aéreas e outros compradores estão dispostos a pagar pelo SAF em relação ao QAV fóssil em função de seus atributos ambientais. Essa disposição a pagar pode variar conforme a intensidade de carbono do combustível, de modo que SAF produzidos por rotas com maior capacidade de abatimento de emissões podem, em determinadas condições de mercado, receber uma remuneração adicional. A magnitude desse prêmio verde dependerá, entre outros fatores, da disponibilidade e da oferta de SAF, do custo das alternativas de cumprimento das metas de descarbonização, da existência de mandatos e penalidades pelo não cumprimento, da possibilidade de repasse dos custos adicionais aos passageiros ou clientes corporativos e das estratégias voluntárias de redução de emissões das companhias aéreas. Assim, em um mercado no qual os agentes buscam cumprir compromissos regulatórios e corporativos de

⁴⁸ A disposição a pagar pelo SAF pode ser interpretada como função do custo incremental do combustível, do valor marginal de abatimento de emissões e do custo de oportunidade associado ao não cumprimento das metas climáticas, não sendo determinada exclusivamente pelo preço observado nos mercados de carbono

descarbonização, o diferencial de preço entre SAF e QAV pode refletir não apenas o valor monetário das emissões evitadas, mas também o valor estratégico associado ao cumprimento dessas metas. No entanto, a monetização desse atributo ambiental depende da elegibilidade do combustível nos mecanismos aplicáveis, de certificação reconhecida, da definição da titularidade dos atributos ambientais, de sistemas adequados de rastreabilidade e da prevenção de dupla contagem das reduções de emissões. Do ponto de vista da demanda, o mercado específico de QAV em Goiás, e futuramente de SAF, é limitado quando comparado a grandes centros consumidores nacionais. A proximidade com Brasília, que possui maior movimentação aérea e maior consumo de combustível de aviação, representa uma oportunidade para o escoamento regional da produção. Ressalte-se que, pela posição geográfica de Goiás, especialmente em razão da distância em relação aos portos e da dependência de modais terrestres para longos deslocamentos, a estratégia mais favorável para exportação de SAF pelo estado é o abastecimento a aeronaves estrangeiras nos aeroportos de Goiás e Brasília (tecnicamente é registrado como exportação). Assim, a atratividade econômica do cluster tende a estar mais associada ao abastecimento em aeronaves regionalmente, incluindo Goiânia, Brasília e outros aeroportos do Centro-Oeste, e o abastecimento local a aeronaves estrangeiras do que à exportação direta do combustível.

Adicionalmente, cabe destacar que, no estudo de mercado do item 2, mesmo na hipótese otimista, não foi considerado o impacto do Brasil como um *hub* internacional de produção e abastecimento de SAF. A consolidação de um *hub* brasileiro de SAF poderia ampliar a demanda projetada, melhorar a escala das biorrefinarias, reduzir custos unitários e fortalecer estados produtores de biomassa, como Goiás, dentro de uma estratégia nacional de descarbonização da aviação.

4.4 Ambiental

O SAF tem papel estratégico na descarbonização da aviação. Em termos gerais, as reduções podem variar entre 60% e 80%, podendo alcançar patamares superiores, a depender da rota tecnológica, da matéria-prima utilizada e da matriz energética do processo produtivo. No caso de Goiás, o potencial ambiental é relevante devido à ampla disponibilidade de matérias-primas agroindustriais e residuais, como sebo bovino, resíduos da cadeia sucroenergética, bagaço e palha de cana, além de biomassas agrícolas associadas às cadeias de soja, milho e etanol.

A vantagem ambiental do *cluster* de SAF em Goiás está fortemente associada à possibilidade de aproveitamento de cadeias produtivas já estabelecidas e de resíduos ou subprodutos agroindustriais que podem ser incorporados à produção de SAF. O uso de matérias-primas residuais tende a reduzir a pressão sobre novas áreas agrícolas, diminuir riscos de mudança direta e indireta do uso da terra e fomentar princípios de economia circular. Nesse sentido, rotas como HEFA, quando baseadas em gorduras animais e outros resíduos lipídicos, e rotas FT BtL, quando associadas a biomassa residual, podem apresentar melhor desempenho ambiental do que alternativas baseadas exclusivamente em matérias-primas agrícolas dedicadas.

O potencial de mitigação climática do SAF é o principal vetor de expansão do mercado, mas é preciso avaliar os impactos em outras categorias ambientais. No caso de Goiás, rotas baseadas em óleo de soja ou etanol apresentam forte aderência à estrutura produtiva estadual, mas exigem atenção a temas como uso da terra, competição com cadeias energéticas já existentes, consumo hídrico, uso de fertilizantes e defensivos agrícolas, eutrofização e acidificação do solo.

Assim, o desempenho ambiental do SAF goiano dependerá não apenas da rota tecnológica escolhida, mas também da rastreabilidade das matérias-primas, das práticas agrícolas adotadas, da origem do hidrogênio (no caso da rota HEFA, ATJ e de FT PtL/e-SAF) e da energia utilizada nos processos industriais. Recomenda-se, que futuros projetos de SAF no estado realizem avaliações ambientais que incorpore múltiplas categorias de impacto e critérios de sustentabilidade, para posterior comprovação e rastreabilidade para processos de certificação.

4.5 Análise SWOT *Cluster* de SAF em Goiás

O desenvolvimento de um *cluster* de SAF em Goiás apresenta como principal força a combinação entre disponibilidade de matérias-primas, base agroindustrial consolidada e ambiente institucional em estruturação. O estado possui elevada produção de cana-de-açúcar, soja, milho, etanol, e subprodutos da indústria frigorífica, como sebo bovino, o que cria condições favoráveis para rotas aderentes ao perfil regional, especialmente HEFA e ATJ. A presença de cadeias produtivas já estabelecidas reduz riscos de suprimento, favorece ganhos de escala e permite maior integração com usinas sucroenergéticas. Do ponto de vista regulatório, a Política Estadual de Energia de Goiás e o Programa GOIÁS SAF sinalizam uma agenda pública favorável à atração de investimentos, ao mesmo tempo em que os mandatos nacionais e internacionais de

descarbonização criam um vetor estrutural de demanda. Ambientalmente, o aproveitamento de resíduos regionais reforça o potencial de redução de emissões. A proximidade do aeroporto de Brasília, um hub regional que também recebe voos internacionais, amplia o mercado relevante potencial de SAF que pode ser por Goiás. Ressalte-se que o abastecimento a aeronaves estrangeiras é uma maneira competitiva de exportar a partir de uma logística local.

Apesar das vantagens comparativas, a consolidação de um *cluster* de SAF ainda enfrenta fraquezas. Embora as rotas HEFA e ATJ sejam aderentes à estrutura produtiva estadual, elas apresentam sensibilidades. A HEFA depende da disponibilidade e do preço de óleos, gorduras e insumos lipídicos, enquanto a ATJ é sensível ao preço do etanol, ao rendimento de conversão e ao custo de capital. O mercado local de QAV e, futuramente, de SAF em Goiás é restrito quando comparado a grandes centros consumidores. No campo regulatório, as iniciativas estaduais ainda se encontram em fase de estruturação, com necessidade de instrumentos econômicos, governança, incentivos e mecanismos de monitoramento que deem maior segurança aos investidores. Ambientalmente, a expansão da demanda por matérias-primas agrícolas pode gerar competição com cadeias energéticas já existentes, pressão sobre recursos hídricos, uso intensivo de fertilizantes, além de potenciais restrições futuras caso o SAF produzido não atenda a critérios internacionais mais rigorosos de sustentabilidade, rastreabilidade e ACV.

As oportunidades para o *cluster* de SAF em Goiás estão associadas à convergência entre demanda regulada e valorização de cadeias agroindustriais regionais. A implementação do CORSIA e do ProBioQAV tende a criar demanda crescente por SAF no médio e longo prazo, abrindo espaço para estados produtores de biomassa se posicionarem de forma estratégica. Goiás pode capturar parte dessa demanda ao estruturar projetos integrados às cadeias de etanol, soja e resíduos agrícolas, ampliando o valor agregado da produção agroindustrial e fortalecendo a economia circular. A proximidade com Brasília e outros aeroportos do Centro-Oeste representa uma oportunidade logística relevante, pois o aeroporto possui uma maior movimentação aérea e maior consumo potencial de combustível de aviação. Além disso, mecanismos de mercado como o *Book & Claim* aplicado ao SAF podem ampliar a atratividade de Goiás, ao permitir que os atributos ambientais do combustível sejam transferidos contabilmente, independentemente do fluxo físico do produto, reduzindo barreiras logísticas e favorecendo regiões competitivas em biomassa, custo e intensidade de carbono. A eventual consolidação do Brasil como *hub* internacional de produção e abastecimento de SAF poderia ampliar a demanda projetada, melhorar a escala das

biorrefinarias, reduzir custos e fortalecer Goiás como fornecedor estratégico de matérias-primas e combustíveis sustentáveis. Do ponto de vista ambiental, o uso de resíduos e subprodutos pode permitir menor intensidade de carbono e acesso a mercados regulados mais exigentes.

As principais ameaças ao desenvolvimento do *cluster* de SAF em Goiás decorrem do custo de produção do SAF, de incertezas regulatórias, competição por investimentos e riscos socioambientais. A primeira delas está relacionada ao custo de produção do SAF, que permanece superior ao do QAV fóssil no mundo todo, em geral entre 2 e 5 vezes maior, exigindo políticas de incentivo, contratos de longo prazo, mecanismos de precificação de carbono e ganhos de escala para viabilizar economicamente os projetos. No plano regulatório, embora os mandatos de descarbonização estabeleçam uma direção clara, sua efetividade dependerá da regulamentação infralegal, de metodologias de cálculo de emissões, critérios de certificação e fiscalização. Há também risco de competição regulatória entre estados brasileiros, caso outras unidades federativas avancem mais rapidamente na criação de incentivos, regimes fiscais ou infraestrutura institucional para atrair biorrefinarias. A distância em relação aos portos e a dependência de modais terrestres limitam a vocação exportadora direta do estado, podendo reduzir sua competitividade frente a regiões com melhor acesso logístico. Como já mencionado, a estratégia mais adequada para a exportação é o abastecimento a aeronaves estrangeiras nos aeroportos de Goiás e Brasília (tecnicamente é uma forma de exportação).

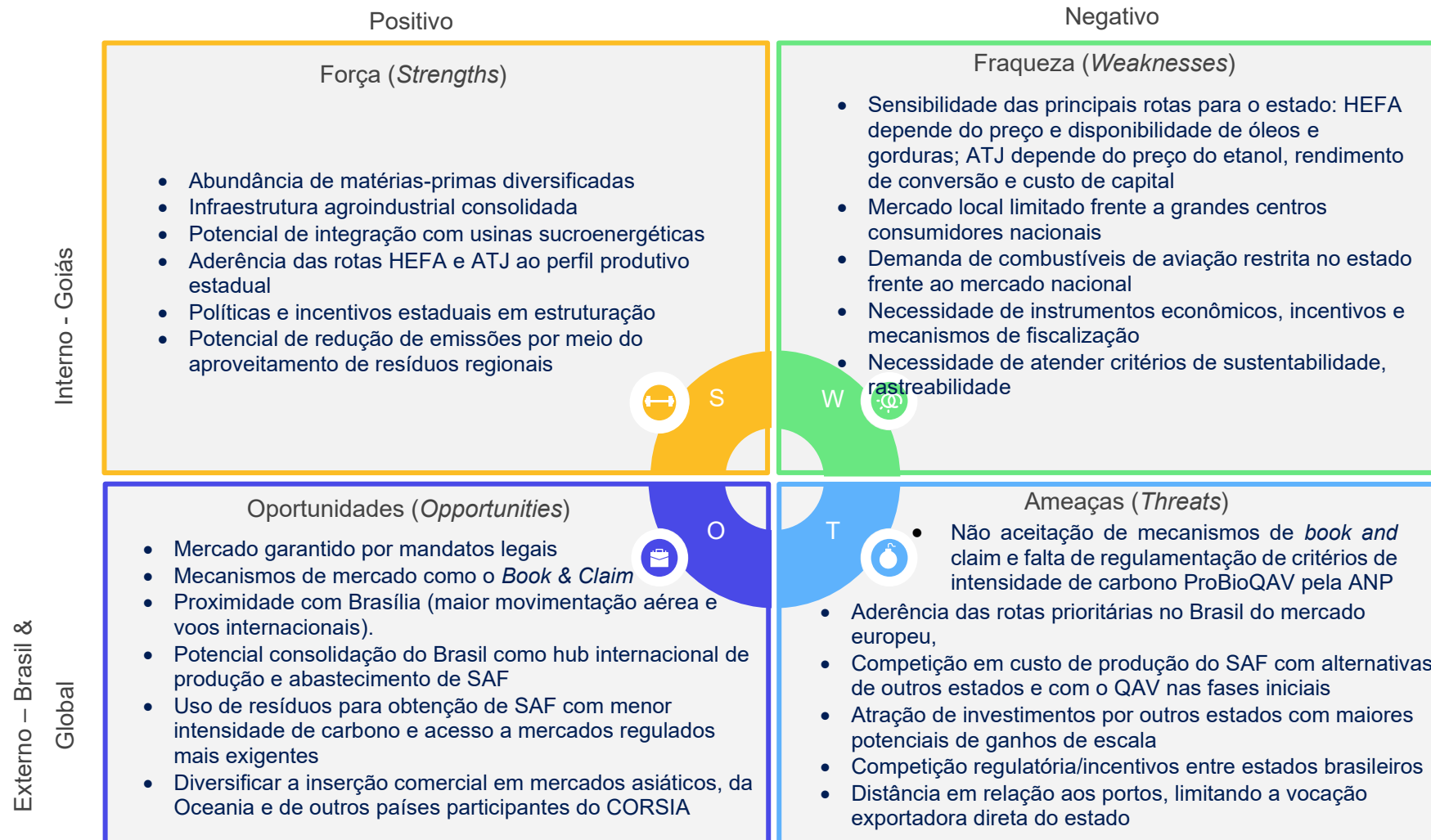


Figura 5 - Análise SWOT *cluster* de SAF em Goiás
 Fonte: elaboração própria

5. Conclusão

A análise desenvolvida indica que o mercado de SAF no Brasil tende a se expandir de forma progressiva nas próximas décadas, impulsionado pela combinação entre crescimento estrutural da demanda por transporte aéreo, metas regulatórias de descarbonização e avanço das rotas tecnológicas de produção.

A projeção da demanda de QAV evidencia que, mantida a trajetória de crescimento econômico e de recuperação do setor aéreo, o consumo nacional de combustível de aviação poderá passar de cerca de 7 milhões de m³ em 2024 para aproximadamente 18,4 milhões de m³ em 2050. Como consequência, na ausência de medidas de substituição por combustíveis de menor intensidade de carbono, as emissões associadas ao QAV tenderiam a crescer de forma significativa, reforçando a necessidade de inserção progressiva do SAF na matriz de combustíveis da aviação brasileira.

A estimativa de demanda de SAF construída neste estudo demonstra que o volume necessário para atender às metas de descarbonização dependerá diretamente da evolução regulatória, da intensidade de carbono das rotas produtivas, da disponibilidade de matérias-primas, da escala industrial e da competitividade econômica do combustível sustentável em relação ao QAV fóssil. Nesse sentido, a abordagem por cenários, apresentada como cone de possibilidades, é adequada para representar um mercado ainda em formação e sujeito a incertezas tecnológicas, econômicas e institucionais. No cenário conservador, a demanda total de SAF no Brasil alcança cerca de 10,7 milhões de m³ em 2050, enquanto no cenário otimista pode atingir aproximadamente 17,6 milhões de m³ no mesmo horizonte. Essa diferença reflete distintas hipóteses sobre a velocidade de expansão da oferta, o grau de ambição climática, a maturidade das rotas produtivas e a penetração do SAF no mercado doméstico.

Os resultados também indicam que, no curto prazo, a demanda brasileira de SAF será condicionada pelas obrigações internacionais associadas ao CORSIA, enquanto o ProBioQAV tende a ganhar relevância progressiva à medida que suas metas de redução de emissões se intensificam. A existência de projetos anunciados de produção de SAF no Brasil, principalmente por rotas de coprocessamento, HEFA e ATJ, sinaliza um movimento inicial de estruturação da oferta nacional. Contudo, a carteira atual de projetos ainda não elimina a necessidade de novos investimentos, especialmente no horizonte pós-2037, quando a demanda projetada cresce de forma mais expressiva e passa a exigir maior escala produtiva e diversificação tecnológica.

No recorte regional, Goiás apresenta condições relevantes para se posicionar como polo estratégico na cadeia nacional de SAF. O estado reúne base agroindustrial, elevada disponibilidade de matérias-primas agrícolas e residuais, presença de cadeias consolidadas de etanol, soja, milho e pecuária, além de potencial para aproveitamento de resíduos com menor intensidade de carbono. As rotas HEFA e ATJ se destacam como as mais aderentes ao perfil produtivo estadual no curto e médio prazo, respectivamente. A HEFA apresenta maior maturidade tecnológica e maior previsibilidade econômica, especialmente quando associada a óleos, gorduras e resíduos lipídicos. A rota ATJ, por sua vez, representa oportunidade estratégica para agregar valor à cadeia sucroenergética e ao etanol, embora ainda dependa de ganhos de escala, redução de custos e consolidação comercial.

A análise regional de demanda demonstra que o mercado consumidor direto de Goiás é restrito quando comparado a grandes centros nacionais, mas a proximidade com o Distrito Federal amplia de forma significativa o mercado relevante. Nesse contexto, Goiás e Brasília devem ser analisados de forma integrada, tanto pela complementaridade entre produção e consumo quanto pela possibilidade de estruturação de uma plataforma regional de oferta, certificação e comercialização de atributos ambientais.

A consolidação de um *cluster* de SAF em Goiás, entretanto, dependerá da superação de desafios importantes. O custo de produção do SAF ainda permanece superior ao do QAV fóssil, o que exige instrumentos de incentivo, contratos de longo prazo, mecanismos de precificação ou valorização de carbono, redução de riscos para investidores e ganhos de escala. Além disso, a competitividade do estado será condicionada por fatores logísticos, pela necessidade de articulação com Brasília, pela disponibilidade de matérias-primas, pela rastreabilidade das cadeias produtivas e pela realização de análises de ciclo de vida capazes de comprovar o desempenho ambiental do combustível produzido. A aceitação de mecanismos como o *book and claim* também poderá ser decisiva para ampliar a inserção de Goiás em mercados mais amplos, embora sua adoção dependa de reconhecimento regulatório, sistemas de certificação e salvaguardas contra dupla contagem.

Dessa forma, recomenda-se que Goiás priorização gradual de rotas com maior aderência territorial e construção de um ambiente institucional capaz de reduzir incertezas e atrair investimentos.

Conclui-se, que Goiás possui vantagens comparativas relevantes para participar da expansão do mercado brasileiro de SAF, mas a transformação dessas vantagens em

competitividade efetiva dependerá de coordenação entre política pública, setor produtivo, academia, investidores e agentes da aviação. A estruturação de um *cluster* de SAF no estado pode contribuir simultaneamente para a descarbonização do transporte aéreo, a agregação de valor às cadeias agroindustriais, a atração de novos investimentos, a geração de empregos qualificados e o fortalecimento da posição de Goiás na transição energética.

Para isso, será essencial avançar na governança do Programa GOIÁS SAF, criar instrumentos econômicos e regulatórios específicos, fomentar projetos-piloto e consolidar uma estratégia regional integrada com Brasília e demais mercados consumidores do Centro-Oeste.

Referências

ABEAR. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS AÉREAS. Panorama 2018. São Paulo: ABEAR, 2018. Disponível em: <https://www.abear.com.br/wp-content/uploads/2019/12/Panorama2018.pdf>. Acesso em: 8 jun. 2026.

ABEAR. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS AÉREAS. Panorama 2022. São Paulo: ABEAR, 2022. Disponível em: <https://www.abear.com.br/wp-content/uploads/2023/12/Panorama2022-vf.pdf>. Acesso em: 8 jun. 2026.

ANAC. AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. Inventário de emissões: metodologia Tier 1. Brasília, DF: ANAC, 2024a. Disponível em: <https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/meio-ambiente/inventario-de-emissoes-metodologia-tier-1> . Acesso em: 8 jun. 2026.

ANAC. AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. Metodologia do Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas. 2. ed. Brasília, DF: ANAC, 2024c. Disponível em: <https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/meio-ambiente/arquivos/MetodologiadoInventrioNacionaldeEmissesAtmosfericas.pdf> . Acesso em: 8 jun. 2026.

ANP. AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Combustíveis de aviação**. Brasília, DF: ANP, 2024a. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-de-derivados-de-petroleo-e-processamento-de-gas-natural/producao-de-derivados-de-petroleo-e-processamento-de-gas-natural/combustiveis-de-aviacao> . Acesso em: 8 jun. 2026.

ANP. AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Vendas de derivados de petróleo e biocombustíveis. Brasília, DF: ANP, 2026b. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/dados-abertos/vendas-de-derivados-de-petroleo-e-biocombustiveis> . Acesso em: 8 jun. 2026.

BRASIL. Lei nº 14.993, de 8 de outubro de 2024. Brasília, DF: Presidência da República, 2024. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2024/lei-14993-8-outubro-2024-796443-publicacaooriginal-173317-pl.html>. Acesso em: 2 jun. 2026.

CEBRI, BID, BNDES, Coppe (UFRJ), EPE, FIPE (USP) e MRTS (USP). Programa de Transição Energética (PTE). 2025. Disponível em: <https://pte2.org/index.html>. Acesso em: 8 jun. 2026.

CLIMATEWATCHDATA. Historical GHG Emissions. 2025. Disponível em: https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions?breakBy=sector&chartType=percentage&end_year=2022&start_year=1990. Acesso em: 2 set. 2025.

EIA. U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. Annual refined petroleum products consumption. Washington, DC: EIA, 2026a. Disponível em: <https://www.eia.gov/international/data/world/petroleum-and-other-liquids/annual-refined-petroleum-products-consumption?pd=5&p=000001001vq00000000000000000000000000000000g&u=0&f=A&v=mapbubble&a=-&i=none&vo=value&t=C&q=none&l=249-rvvvvvfvtnvv1rvvvvfv>. Acesso em: 8 jun. 2026.

EUROPEAN COMMISSION. FAQ on ReFuelEU Aviation. Brussels: European Commission, [2025]. Disponível em: https://transport.ec.europa.eu/transport-modes/air/environment/refueleu-aviation_en. Acesso em: 5 ago. 2026.

EPE. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA., 2008. **Revisão das metodologias para previsão de demanda de derivados de petróleo – QAV. Estudos Associados ao Plano Decenal de Energia.** Empresa de Pesquisa Energética.

EPE. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA., 2009. **Serviço técnico especializado para apoio em econometria, visando o Plano Decenal de Energia/PDE2020 – Produto II.** Rio de Janeiro. Empresa de Pesquisa Energética.

EPE. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **RenovaBio: metodologia de projeção.** Rio de Janeiro: EPE, 2017. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-155/topico-749/Workshop%20CTBE%20E2%80%93RenovaBio%20E2%80%93Metodologia%20de%20Proje%C3%A7%C3%A3o%20E2%80%93Set2017%20-%20ARQUIVO%208.pdf>. Acesso em: 8 jun. 2026.

EPE. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Bioquerosene e RenovaBio. Rio de Janeiro: EPE, 2018. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/sala-de-imprensa/noticias/Documents/EPE_Jos%C3%A9%20Mauro_Bioquerosene%20e%20RenovaBio_07mai.pdf. Acesso em: 8 jun. 2026.

EPE. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Investimentos e custos operacionais e de manutenção no setor de biocombustíveis: 2025-2034. Rio de Janeiro: EPE, 2024a. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-343/topico-729/NT-EPE-DPG-SDB-2023-07_Investimentos_Custos_O_e_M_Bios_2025-2034.pdf. Acesso em: 5 jun. 2026.

EPE. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Combustíveis sustentáveis de aviação no Brasil: Sustainable Aviation Fuel, SAF, perspectivas futuras. Rio de Janeiro: EPE, 2024b. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-839/CA-EPE-DPG-SDB-2024-02_Combust%C3%ADveis_Sustent%C3%A1veis_Avia%C3%A7%C3%A3o_Brasil.pdf. Acesso em: 22 maio 2026.

EPE. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Combustíveis sustentáveis de aviação no Brasil e sinergia com o diesel verde. Rio de Janeiro: EPE, 2025. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-924/CA-EPE-DPG-SDB-2025-17_Caderno%20de%20SAF%20e%20diesel%20verde_2025.pdf . Acesso em: 8 jun. 2026.

EPE. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Balanço Energético Nacional: séries históricas completas. Rio de Janeiro: EPE, 2026a. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/BEN-Series-Historicas-Completas> . Acesso em: 8 jun. 2026.

EPE. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Plano Nacional de Energia 2055: rumo a 2055: perspectivas para o sistema energético nacional do futuro. Brasília, DF: EPE, 2026b. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-865/topico-844/PNE%202055_Caderno%20S%C3%ADntese_Fevereiro%202026_Vers%C3%A3o%20Consulta%20P%C3%ABlica.pdf . Acesso em: 8 jun. 2026.

EPE; MME. Empresa de Pesquisa Energética/ Ministério de Minas e Energia. BRASIL. Plano Nacional de Energia 2050. Brasília, DF: MME; EPE, 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-563/Relatorio%20Final%20do%20PNE%202050.pdf> . Acesso em: 8 jun. 2026.

GALLET, C. A.; DOUCOULIAGOS, H. The income elasticity of air travel: a meta-analysis. *Annals of Tourism Research*, v. 49, p. 141-155, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160738314001145> . Acesso em: 8 jun. 2026.

IEA. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Global Energy Review 2025. [S.l: s.n.], 2025. Disponível em: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/5b169aa1-bc88-4c96-b828-aaa50406ba80/GlobalEnergyReview2025.pdf> . Acesso em: 8 jun. 2026.

INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION — ICAO. CORSIA eligible fuels. Montreal: ICAO, 2026. Disponível em: <https://www.icao.int/CORSIA/corsia-eligible-fuels> Acesso em: 5 ago. 2026.

MF. Ministério da Fazenda. BRASIL. **SPE mantém previsão de crescimento de 2,3% para 2026 mesmo diante do conflito no Oriente Médio**. Brasília, DF: Ministério da Fazenda, 2026. Disponível em: <https://www.gov.br/fazenda/pt-br/assuntos/noticias/2026/marco/spe-mantem-previsao-de-crescimento-de-2-3-para-2026-mesmo-diante-do-conflito-no-orientes-medio> . Acesso em: 8 jun. 2026.

Micheli, M.; Moore, D.; Bach, V.; Finkbeiner, M. **Life-Cycle Assessment of Power-to-Liquid Kerosene Produced from Renewable Electricity and CO₂ from Direct Air Capture in Germany**. *Sustainability* 2022, 14, 10658. <https://doi.org/10.3390/su141710658>

MPOR. Ministério de Portos e Aeroportos. BRASIL. **Plano Aeroviário Nacional 2022-2052**. Brasília, DF: MPOR, 2024. Disponível em: https://www.gov.br/portos-e-aeroportos/pt-br/assuntos/transporte-aereo/plano-aeroviario-nacional/pan24_plano_aeroviario_nacional_2022_2052.pdf/@@display-file/file. Acesso em: 8 jun. 2026.

OUR WORLD IN DATA. Our World in Data. 2024. What share of global CO₂ emissions come from aviation? Disponível em: <https://ourworldindata.org/global-aviation-emissions>. Acesso em: 2 set. 2025.

PETROBRAS. **Petrobras produz SAF na Revap**. Rio de Janeiro: Agência Petrobras, 2025a. Disponível em: <https://agencia.petrobras.com.br/w/petrobras-produz-saf-na-revap>. Acesso em: 5 jun. 2026.

PETROBRAS. **Plano Estratégico 2050 e Plano de Negócios 2026-2030**. Rio de Janeiro: Petrobras, 2025c. Disponível em: <https://petrobras.com.br/quem-somos/estrategia>. Acesso em: 8 jun. 2026.

PETROBRAS. **Plano Estratégico 2050: Plano de Negócios Petrobras 2025-2029**. Rio de Janeiro: Petrobras, 2024. Disponível em: <https://vipfiles.valor.com.br/BDEmpresas/b0201927-2769-4e05-8957-83c5df1db21f.pdf?shem=rims pwouoe>. Acesso em: 8 jun. 2026.

PROQR; MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES (MCTI); DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT (GIZ). Análise econômica de diferentes rotas de produção de combustíveis sustentáveis de aviação. Brasília, DF: ProQR; MCTI; GIZ, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/programa-combustivel-do-futuro/analise-economica-diferentes-rotas-de-producao-de-saf.pdf>. Acesso em: 2 jun. 2026.

REUTERS. **China's aviation fuel demand seen up 13% in 2024**, CNPC research says. London: Reuters, 2024. Disponível em: <https://www.reuters.com/business/aerospace-defense/chinas-aviation-fuel-demand-seen-up-13-2024-cnpc-research-2024-02-28/>. Acesso em: 8 jun. 2026.

ROCCO, E.; HENKERS, C. **Biocombustíveis sustentáveis para a aviação no Brasil**. 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/349174140_BIOCOMBUSTIVEIS_SUSTENTAVEIS_PARA_A_AVIACAO_NO_BRASIL. Acesso em: 8 jun. 2026.

Saide, Clara S. M; Aragão, Amanda P.; Machado, Giovani V.; Cavalcanti, Marcelo C. B.; Valle, Ricardo Nascimento e Silva do. 2012. **PERSPECTIVAS DA DEMANDA DE QUEROSENE DE AVIAÇÃO (QAV) NO BRASIL**. ROG: IBP1385_12.

EUROPEAN COMMISSION. FAQ on ReFuelEU Aviation. Brussels: European Commission, [2025]. Disponível em: https://transport.ec.europa.eu/transport-modes/air/environment/refueeu-aviation_en. Acesso em: 5 ago. 2026.

INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION — ICAO. CORSIA eligible fuels. Montreal: ICAO, 2026. Disponível em: <https://www.icao.int/CORSIA/corsia-eligible-fuels>. Acesso em: 5 ago. 2026.

Anexo I

Metodologia de Cálculo para o Cenário Conservador

O cenário conservador foi construído a partir de uma hipótese de penetração gradual do SAF no mercado doméstico brasileiro, tomando como referência a trajetória de projetos já divulgados, a maturidade relativa das rotas tecnológicas atualmente disponíveis e o posicionamento estratégico da Petrobras para bioprodutos no setor de transporte (2024 e 2025c).

Nesse cenário, foi considerado que o SAF representará 30% da demanda energética nacional de combustível de aviação em 2050, percentual compatível com a leitura do cenário apresentado pela Petrobras para mudança no perfil de demanda do setor de transporte. Assim, o cenário conservador não pressupõe substituição integral do QAV fóssil, mas uma inserção relevante e progressiva do SAF, concentrada principalmente em rotas com maior maturidade e maior sinergia com as cadeias produtivas existentes no Brasil, em especial HEFA e ATJ.

Em 2050, a demanda total projetada de combustível de aviação é de 18.395 mil m³, dos quais 11.476 mil m³ correspondem à demanda nacional (item 2.2). Aplicando-se a participação de 30% de SAF sobre a demanda nacional, obtém-se uma demanda doméstica de SAF de 3.443 mil m³ em 2050. O volume remanescente para atendimento da demanda continuaria sendo atendido por combustível de aviação convencional (QAV fóssil). Dessa forma, o cenário conservador representa uma trajetória de transição parcial, na qual o SAF passa a ter papel relevante na matriz de combustíveis da aviação doméstica, mas sem alcançar predominância total até 2050.

A metodologia de cálculo do fator de emissão médio do SAF foi baseada na composição tecnológica esperada para a capacidade instalada de produção. Inicialmente, adotou-

se um mix composto por 55,6% de HEFA-SPK, 11,1% de ATJ-SPK e 33,3% de outras rotas, baseado na capacidade mundial instalada hoje no mundo (EPE, 2024b) e na estratégia da Petrobrás. Em seguida, foram atribuídas intensidades médias de carbono para cada rota, expressas em gCO₂e/MJ, com base nos intervalos observados para diferentes matérias-primas. Para o cenário, considerou-se 25 gCO₂e/MJ para HEFA-SPK, valor representativo de rotas com óleos residuais, gorduras residuais e óleos vegetais de baixa a média intensidade de carbono; 45 gCO₂e/MJ para ATJ-SPK, valor intermediário entre rotas com cana-de-açúcar, de menor intensidade, e milho, de maior intensidade; e 20 gCO₂e/MJ para outras rotas, representando alternativas como FT a partir de resíduos agrícolas e florestais e demais rotas de menor intensidade de carbono.

A intensidade de carbono média do SAF foi calculada pela média ponderada das rotas tecnológicas, conforme a participação de cada rota no mix de SAF e a intensidade de carbono atribuída à respectiva rota. Assim:

$$ICS_{SAF_{Conservador}} = (0,556 \times 25) + (0,111 \times 45) + (0,333 \times 20)$$

$$ICS_{SAF_{Conservador}} = 13,90 + 5,00 + 6,66 = 25,56 \frac{gCO_2e}{MJ}$$

$$= 0,0001916 MtCO_2e/mil m^3$$

Esse valor representa a intensidade de carbono média ponderada do SAF utilizado no cenário conservador, equivalente a aproximadamente 0,000916 MtCO₂e/mil m³, o que corresponde a uma redução de cerca de 70% em relação ao QAV fóssil.

Em 2050, caso toda a demanda nacional de 11.476 mil m³ fosse atendida por QAV fóssil, as emissões associadas seriam de aproximadamente 34,9 MtCO₂e. No cenário conservador, com 3.443 mil m³ de SAF e 8.033 mil m³ de QAV fóssil, as emissões seriam:

$$Emissões\ domésticas\ SAF = 3.443 \times 0,000916 = 3,15 MtCO_2e$$

$$Emissões\ domésticas\ QAV\ fóssil = 8.033 \times 0,003045 = 24,46 MtCO_2e$$

$$Emissões\ domésticas\ totais = 3,15 + 24,46 = 27,61 MtCO_2e$$

Assim, a introdução de 30% de SAF na demanda nacional de combustível de aviação em 2050 reduziria as emissões de aproximadamente 34,9 MtCO₂e para 27,6 MtCO₂e, evitando cerca de 7,3 MtCO₂e. Em termos relativos, isso representa uma redução de aproximadamente 21% em relação ao cenário-base de uso integral de QAV fóssil.

Utilizou-se a redução de 21% das emissões domésticas em 2050 como para o cenário conservador. A partir disso, foi construída a trajetória anual de redução de emissões devido ao uso de SAF. Essa trajetória foi construída a partir de 2037, para continuar as metas de redução do ProBioQAV, manteve-se a lógica de ampliação gradual da participação do SAF na matriz de combustíveis da aviação doméstica, até alcançar, em 2050, uma redução de 21% das emissões em relação ao cenário-base.

Logo, para cada ano, as emissões do cenário com SAF foram comparadas às emissões de um cenário-base (QAV fóssil). A diferença entre esses dois resultados corresponde ao abatimento anual de emissões proporcionado pela substituição parcial do QAV fóssil por SAF. Com base nesse abatimento anual e no fator de emissão médio do SAF já descrito, estimou-se o volume de SAF necessário em cada ano para cumprir a trajetória de redução considerada. Dessa forma, a metodologia permite calcular simultaneamente a demanda anual de SAF e o respectivo potencial de redução de emissões associado à sua inserção na aviação doméstica.

Metodologia de Cálculo para o Cenário Otimista

O cenário otimista foi construído a partir de uma hipótese de aceleração da inserção do SAF no mercado doméstico brasileiro, considerando maior avanço tecnológico, ampliação da disponibilidade de matérias-primas, redução de custos de produção, expansão da capacidade industrial e fortalecimento dos instrumentos regulatórios e de mercado voltados à descarbonização da aviação. O cenário otimista considera uma transformação mais intensa da matriz de combustíveis da aviação doméstica até 2050.

Nesse cenário, foi considerado que o SAF representará 90% da demanda nacional de combustível de aviação em 2050. Essa hipótese reflete uma trajetória de maior ambição climática, na qual o SAF passa a ser o principal combustível utilizado na aviação doméstica. Trata-se, portanto, de um cenário de elevada penetração de SAF, compatível

com um contexto de maior maturidade tecnológica, expansão da oferta de combustíveis sustentáveis e maior pressão regulatória para redução das emissões do setor aéreo.

Em 2050, aplicando-se a participação de 90% de SAF sobre a demanda nacional, obtém-se uma demanda doméstica de SAF de 10.329 mil m³ em 2050. O volume remanescente (1.147 mil m³), continuaria sendo atendido por combustível de aviação convencional. Dessa forma, o cenário otimista representa uma trajetória de transição avançada, na qual o SAF assume papel predominante na matriz de combustíveis da aviação doméstica.

A metodologia de cálculo do fator de emissão do SAF no cenário otimista parte da hipótese de redução progressiva da intensidade de carbono do combustível ao longo do horizonte de projeção. Nesse caso, o cenário otimista considera maior participação de rotas com melhor desempenho climático, acompanhando a evolução tecnológica das rotas de produção como alternativas baseadas em resíduos e rotas de baixa intensidade de carbono, processos com menor intensidade energética e menor emissão ao longo do ciclo de vida.

Diferentemente da adoção de um único fator de emissão para todo o período, o cenário otimista considera uma trajetória anual para a intensidade de carbono do SAF. Até 2035, adota-se um fator de emissão de aproximadamente 0,000609 MtCO₂e/mil m³, correspondente a uma redução de cerca de 80% em relação ao QAV fóssil, cujo fator de emissão é de 0,003045 MtCO₂e/mil m³. A partir de 2036, assume-se uma redução progressiva da intensidade de carbono do SAF, que passa de aproximadamente 0,000579 MtCO₂e/mil m³ em 2036, equivalente a uma redução de 80% em relação ao QAV, para 0,000152 MtCO₂e/mil m³ em 2050, correspondente a uma redução de aproximadamente 95%. A trajetória foi construída de forma gradual, com ganho aproximado de um ponto percentual por ano na redução da intensidade de carbono entre 2035 e 2050. Dessa forma, o cenário não pressupõe que as rotas atualmente predominantes apresentem imediatamente esse nível de desempenho, mas sim uma transição tecnológica gradual até 2050.

Em 2050, caso toda a demanda nacional de 11.476 mil m³ fosse atendida por QAV fóssil, as emissões associadas seriam de aproximadamente 34,9 MtCO₂e. No cenário otimista, com 10.329 mil m³ de SAF e 1.147 mil m³ de QAV fóssil, as emissões seriam:

$$Emissões domésticas SAF = 10.329 \times 0,000152 = 1,57 MtCO_2e$$

$$\text{Emissões domésticas QAV fóssil} = 1.147 \times 0,003045 = 3,49 \text{ MtCO}_2\text{e}$$

$$\text{Emissões domésticas totais} = 0,72 + 3,49 = 5,1 \text{ MtCO}_2\text{e}$$

Assim, a introdução de aproximadamente 90% de SAF na demanda nacional de combustível de aviação em 2050 reduziria as emissões domésticas de aproximadamente 34,9 MtCO₂e para 5,1 MtCO₂e, evitando cerca de 29,9 MtCO₂e. Em termos relativos, isso representa uma redução de aproximadamente 85,5% em relação ao cenário-base de uso integral de QAV fóssil.

Utilizou-se a redução de 85,5% das emissões domésticas em 2050 como ponto de chegada do cenário otimista. A trajetória anual foi construída de forma compatível com as metas de redução do ProBioQAV até 2037 de 10%. A partir desse ano, a curva foi prolongada de forma mais acelerada do que no cenário conservador, refletindo a hipótese de maior disponibilidade de SAF de baixa intensidade de carbono e de maior penetração desse combustível na matriz da aviação doméstica. Dessa forma, o cenário otimista combina dois vetores de descarbonização: maior penetração volumétrica de SAF e melhoria progressiva do desempenho climático do combustível produzido e utilizado ao longo do período de projeção.

Para cada ano, as emissões do cenário com SAF foram comparadas às emissões do cenário-base (QAV fóssil). A diferença entre esses dois resultados corresponde ao abatimento anual de emissões proporcionado pela substituição parcial do QAV fóssil por SAF. Com base nesse abatimento anual e no fator de emissão adotado para o SAF no cenário otimista, estimou-se o volume de SAF necessário em cada ano para cumprir a trajetória de redução considerada. Dessa forma, a metodologia permite calcular simultaneamente a demanda anual de SAF e o respectivo potencial de redução de emissões associado à sua inserção na matriz de combustíveis da aviação doméstica.