

Inspere – Instituto de Ensino e Pesquisa

**O MERCADO DO SAF: DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA O BRASIL**

Vithor Antunes Huck

Orientador: Prof. Marcos Jank

2025

São Paulo

Curso de Ciências Econômicas

Vithor Antunes Huck

**O MERCADO DO SAF: DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA O BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Insper, como requisito para obtenção  
de Bacharelado em Ciências Econômicas

Orientador: Prof. Marcos Jank

São Paulo – SP

2025

## Índice

### **1. RESUMO**

### **2. INTRODUÇÃO**

### **3. METODOLOGIA**

3.1 O papel do Estado na promoção de mercados sustentáveis: Fundamentos teóricos e implicações para o SAF

### **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

4.1 O que é SAF: Conceitos e Iniciativas

4.2 Tipos de Combustíveis e Possíveis Ingredientes

4.3 Metas de Descarbonização e Sustentabilidade

4.4 Barreiras para o Avanço do SAF

4.5 Oportunidades para o Brasil

4.6 Políticas públicas para o fomento ao SAF: Experiências internacionais e o caso brasileiro

### **5. CONCLUSÃO**

### **6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

## 1. RESUMO

Este trabalho investiga o papel dos Sustainable Aviation Fuels (SAF) na descarbonização da aviação global, destacando as oportunidades e desafios para o Brasil consolidar-se como um dos principais produtores e exportadores desse combustível sustentável. A partir de uma revisão de literatura e dados setoriais, analisa-se como a ampla disponibilidade de biomassa e a expertise brasileira em biocombustíveis posicionam o país favoravelmente nesse mercado emergente. O estudo também discute os entraves tecnológicos e econômicos à adoção do SAF em larga escala, bem como a importância da intervenção estatal, por meio de políticas públicas e incentivos, para superar falhas de mercado e impulsionar o setor, inspirando-se em experiências internacionais como o Inflation Reduction Act e o ReFuelEU.

**Palavras-chave:** “Sustainable Aviation Fuels”; Descarbonização; Aviação; Políticas Públicas; Brasil; Biocombustíveis.

## **ABSTRACT**

This study examines the role of Sustainable Aviation Fuels (SAF) in the decarbonization of global aviation, highlighting the opportunities and challenges for Brazil to establish itself as a leading producer and exporter of this sustainable fuel. Based on a literature review and sectoral data, the research analyzes how Brazil's abundant biomass resources and expertise in biofuels position the country favorably in this emerging market. The study also addresses the technological and economic barriers to the large-scale adoption of SAF, emphasizing the importance of government intervention through public policies and incentives to overcome market failures and foster sectoral growth, drawing on international experiences such as the Inflation Reduction Act and the ReFuelEU initiative.

**Keywords:** Sustainable Aviation Fuels; Decarbonization; Aviation; Public Policies; Brazil; Biofuels.

## 2. INTRODUÇÃO

A aviação civil é um dos setores mais difíceis de descarbonizar, contribuindo com cerca de 2,5% das emissões globais de dióxido de carbono, mas a previsão de crescimento da demanda de voos pode fazer com que essa participação aumente significativamente nas próximas décadas. De acordo com a International Air Transport Association (IATA,2023), a expectativa é de que o tráfego aéreo cresça aproximadamente 3,5% ao ano até 2039, o que pressionaria ainda mais os esforços globais para reduzir as emissões de gases de efeito estufa. Esse crescimento será impulsionado principalmente por mercados emergentes na Ásia e América Latina, regiões que terão papel decisivo na adoção de combustíveis sustentáveis para evitar o aumento proporcional das emissões. O Acordo de Paris estabeleceu metas ambiciosas, e o setor de aviação precisará de soluções inovadoras para cumprir seu papel na limitação do aquecimento global a 1,5°C (UNFCCC. Paris Agreement, 2015).

Entre as várias estratégias avaliadas para a descarbonização do setor aéreo, os Sustainable Aviation Fuels (SAF) têm ganhado destaque. Esses combustíveis podem reduzir as emissões de carbono em até 80%, dependendo da matéria-prima utilizada e do processo de produção, segundo a International Civil Aviation Organization (ICAO, 2019). No entanto, apesar de seu potencial transformador, a adoção em larga escala do SAF enfrenta grandes desafios, incluindo o custo elevado de produção, o limitado fornecimento de matéria-prima e a necessidade de modernização da infraestrutura aeroportuária e de aviação.

Para que o SAF se torne uma solução viável em larga escala, governos e o setor privado precisam investir em pesquisa e desenvolvimento, criar políticas de incentivo, e adotar uma abordagem colaborativa, como já apontado pela World Economic Forum em seus relatórios sobre transição energética. Apesar dessas barreiras, o Brasil possui uma

série de vantagens estratégicas que o colocam em uma posição diferenciada para liderar esse processo.

Como um dos maiores produtores de biocombustíveis do mundo, o Brasil tem uma longa trajetória de desenvolvimento de tecnologias voltadas à produção de energia renovável. O país conta com uma ampla disponibilidade de biomassa, especialmente cana-de-açúcar, soja e outras culturas energéticas. A expertise acumulada na produção de etanol e biodiesel, associada a políticas públicas já estabelecidas, como o programa RenovaBio, permite que o Brasil esteja bem-posicionado para se tornar um player importante no mercado de SAF.

Estudos do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) também apontam que o Brasil tem potencial para atender tanto a demanda interna quanto se tornar um exportador de SAF, dada a sua capacidade agrícola e a infraestrutura existente para a produção de biocombustíveis. Além disso, iniciativas governamentais em conjunto com o setor privado têm avançado no desenvolvimento de tecnologias para aumentar a eficiência e reduzir o custo de produção desse combustível sustentável.

Assim, o presente trabalho tem como objetivo explorar as oportunidades e os desafios que o Brasil enfrenta para se consolidar como um protagonista no mercado de Sustainable Aviation Fuels (SAF), analisando como o país pode aproveitar suas vantagens competitivas — como a vasta disponibilidade de biomassa e a expertise em biocombustíveis — para contribuir na descarbonização global e atender à crescente demanda por combustíveis sustentáveis na aviação. Para tanto, a análise é orientada pelos fundamentos da Economia Institucional, que enfatizam a importância das instituições e das políticas públicas na estruturação de novos mercados e na correção de falhas que impedem a alocação eficiente de recursos, especialmente em setores estratégicos e intensivos em inovação, como o de combustíveis sustentáveis.

### **3. METODOLOGIA**

Este trabalho adota uma abordagem qualitativa e descritiva, fundamentada na revisão de literatura científica e técnica sobre políticas públicas, economia institucional e

desenvolvimento sustentável, com ênfase no papel do Estado na promoção de mercados emergentes, como o de Sustainable Aviation Fuels (SAF). A escolha metodológica busca compreender, a partir de referenciais teóricos consolidados, como intervenções estatais podem fomentar a transição para combustíveis sustentáveis na aviação, superando falhas de mercado e impulsionando a inovação tecnológica.

O referencial teórico baseia-se, principalmente, na Economia Institucional, que destaca a centralidade das instituições no delineamento dos incentivos econômicos e na estruturação de mercados. Autores como Joseph Stiglitz, Kenneth Arrow, Mariana Mazzucato, Dani Rodrik e Nicholas Stern orientam a análise, oferecendo fundamentos para a compreensão das justificativas econômicas e estratégicas da intervenção estatal na promoção do SAF.

A metodologia estrutura-se, portanto, na articulação entre teoria e prática: inicialmente, discutem-se os fundamentos teóricos que sustentam a atuação do Estado na indução de mercados sustentáveis (seção 3.1), para, posteriormente, analisar-se o contexto brasileiro à luz dessas contribuições, identificando oportunidades, desafios e caminhos possíveis para o desenvolvimento do mercado de SAF no país.

### **3.1. O PAPEL DO ESTADO NA PROMOÇÃO DE MERCADOS SUSTENTÁVEIS: FUNDAMENTOS TEÓRICOS E IMPLICAÇÕES PARA O SAF**

A emergência climática e a crescente demanda por soluções sustentáveis no setor de transportes, especialmente na aviação, colocam o Sustainable Aviation Fuel (SAF) no centro das estratégias globais de descarbonização. No entanto, o avanço do SAF como alternativa viável ao querosene fóssil depende de condições de mercado que, por vezes, não se estabelecem espontaneamente. Neste contexto, a literatura econômica oferece uma base sólida para compreender o papel do Estado como indutor de mercados sustentáveis, seja por meio da correção de falhas de mercado, seja por sua atuação proativa na criação e modelagem de setores estratégicos.

Joseph Stiglitz (2000), em sua obra clássica *Economics of the Public Sector*, argumenta que externalidades negativas, como as emissões de carbono, justificam a

intervenção do Estado para alinhar os incentivos privados com os custos sociais. Como a aviação é um setor com alto impacto ambiental e onde os custos ambientais não são internalizados no preço do combustível fóssil, o SAF se torna uma inovação que necessita de apoio institucional para competir. Stiglitz afirma que “em presença de externalidades, os mercados, sozinhos, não levam à alocação eficiente de recursos, sendo necessária a intervenção governamental” (STIGLITZ, 2000, p. 104).

Complementarmente, Kenneth Arrow (1962), ao analisar os incentivos à inovação tecnológica, aponta que a produção de conhecimento possui características de bem público — não rivalidade e não exclusividade —, o que leva a um subinvestimento crônico por parte do setor privado. Essa lógica é aplicável ao desenvolvimento de tecnologias para o SAF, que ainda demandam P&D intensivo e enfrentam alto risco de mercado. Segundo Arrow (1962, p. 620), “há falhas sistêmicas no incentivo privado à inovação, que só podem ser corrigidas com intervenção pública ou mecanismos de apoio coletivo”.

Superando a lógica da correção de falhas, Mariana Mazzucato (2013) propõe uma abordagem mais ativa. Em *The Entrepreneurial State*, a autora defende que o Estado deve ser visto como co-criador de valor econômico, assumindo riscos que o setor privado evita. Para ela, grandes transformações tecnológicas e setoriais — como a transição para combustíveis sustentáveis — não ocorrem sem uma atuação ousada e estratégica do poder público.

Mazzucato exemplifica como o Estado norte-americano foi decisivo no desenvolvimento de tecnologias hoje associadas à Apple e ao Vale do Silício. Analogamente, no setor de aviação, programas como o Inflation Reduction Act (IRA) nos Estados Unidos mostram como créditos fiscais progressivos e previsibilidade regulatória estimulam a cadeia produtiva do SAF (MAZZUCATO, 2013). Assim, o Brasil poderia adotar políticas de fomento que combinem incentivos diretos (subsídios e crédito) e indiretos (regulação e metas de mistura obrigatória).

“A narrativa de que o setor privado é o herói da inovação ignora o papel transformador desempenhado pelo Estado em cada etapa crítica do desenvolvimento tecnológico.” (MAZZUCATO, 2013, p. 12)

Dani Rodrik (2007), em *One Economics, Many Recipes*, reforça a ideia de que países em desenvolvimento precisam de políticas industriais inteligentes, capazes de induzir a entrada em setores dinâmicos e coordenar investimentos entre governo, empresas e centros de pesquisa. Essa abordagem é particularmente relevante para o Brasil, que possui vantagens naturais e tecnológicas na produção de biocombustíveis, mas ainda carece de um marco estratégico específico para o SAF.

Rodrik defende a ideia de “experimentos estratégicos” com avaliação contínua e flexibilidade, permitindo ao Estado identificar e escalar setores com maior potencial. Em suas palavras: “A construção de novos setores demanda ação estatal proativa, com disposição para errar e corrigir o curso rapidamente” (RODRIK, 2007, p. 112).

Nicholas Stern (2006), no influente *The Economics of Climate Change*, argumenta que a mudança climática representa “a maior falha de mercado da história”. Sua abordagem destaca a urgência de ações governamentais coordenadas para incentivar a transição energética, através de taxação de carbono, subsídios à inovação limpa e regulamentações setoriais. No caso da aviação, Stern reconhece que políticas públicas robustas são fundamentais para viabilizar alternativas como o SAF, cujos custos ainda são significativamente superiores aos dos combustíveis fósseis.

“Somente com políticas deliberadas e de longo prazo será possível gerar os investimentos necessários para uma economia de baixo carbono” (STERN, 2006, p. xvii).

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Esta seção apresenta os principais achados da pesquisa, organizados em seis tópicos: definição e relevância do SAF; rotas tecnológicas e matérias-primas; metas globais de descarbonização; barreiras à sua expansão; oportunidades estratégicas para o Brasil; e políticas públicas de fomento. A análise articula aspectos técnicos, econômicos e institucionais, evidenciando como políticas e marcos regulatórios moldam as condições para o desenvolvimento do mercado de SAF, especialmente no contexto brasileiro.

### **4.1. O que é SAF: Conceitos e Iniciativas**

O Sustainable Aviation Fuel (SAF) é uma alternativa aos combustíveis fósseis convencionais utilizados na aviação, derivado de fontes renováveis, como biomassa, resíduos e óleos vegetais. O SAF pode reduzir as emissões de gases de efeito estufa em até 80%, dependendo do processo de produção e da matéria-prima utilizada (SHAHRIAR; KHANAL, 2022). Uma característica essencial do SAF é que ele é um combustível "drop-in", ou seja, pode ser utilizado em aeronaves existentes sem necessidade de modificações nos motores, tornando-o uma solução viável para a transição rumo à descarbonização no setor de aviação (ICAO, 2019).

A produção de SAF está em crescimento, mas ainda representa menos de 1% do consumo global de combustível de aviação, segundo o International Air Transport Association (IATA). A Organização da Aviação Civil Internacional (ICAO) estabeleceu metas para o aumento da produção e adoção de SAF até 2050, com a expectativa de que até 6,5 bilhões de litros sejam produzidos anualmente até 2032 (SHAHRIAR; KHANAL, 2022). Vários países, incluindo Estados Unidos e países da União Europeia, já implementaram políticas públicas e incentivos para fomentar a produção e o uso de SAF.

## **4.2. Tipos de Combustíveis e Possíveis Ingredientes**

Compreendida a relevância do SAF e os esforços globais para sua adoção, é essencial explorar os diferentes tipos de combustíveis sustentáveis que podem ser empregados na aviação, bem como suas rotas tecnológicas e matérias-primas associadas. Os SAFs podem ser produzidos a partir de diferentes tipos de matérias-primas e processos de conversão. Os principais processos são:

- HEFA (Hydrotreated Esters and Fatty Acids): Um dos métodos mais maduros para a produção de SAF, utilizando óleos vegetais e resíduos como matéria-prima. O HEFA produz parafinas com alta estabilidade térmica e baixa emissão de poluentes, porém, a falta de compostos aromáticos exige a mistura com combustíveis fósseis convencionais (SHAHRIAR; KHANAL, 2022).
- Fischer-Tropsch (FT): Utiliza biomassa ou resíduos sólidos para produzir combustíveis líquidos. Esse processo é altamente eficiente e possui grande

potencial de escalabilidade. No entanto, sua aplicação comercial ainda encontra desafios relacionados ao custo de produção (SHAHRIAR; KHANAL, 2022).

- Álcool para Jato (ATJ): Converte etanol ou butanol em combustível de aviação. É uma tecnologia promissora, especialmente em regiões com grande produção de álcool, como o Brasil (SHAHRIAR; KHANAL, 2022).

Outros processos emergentes incluem a Catalytic Hydrothermolysis (CH) e o Synthesized Iso-Paraffins (SIP), que utilizam açúcares e lignocelulose como matérias-primas.

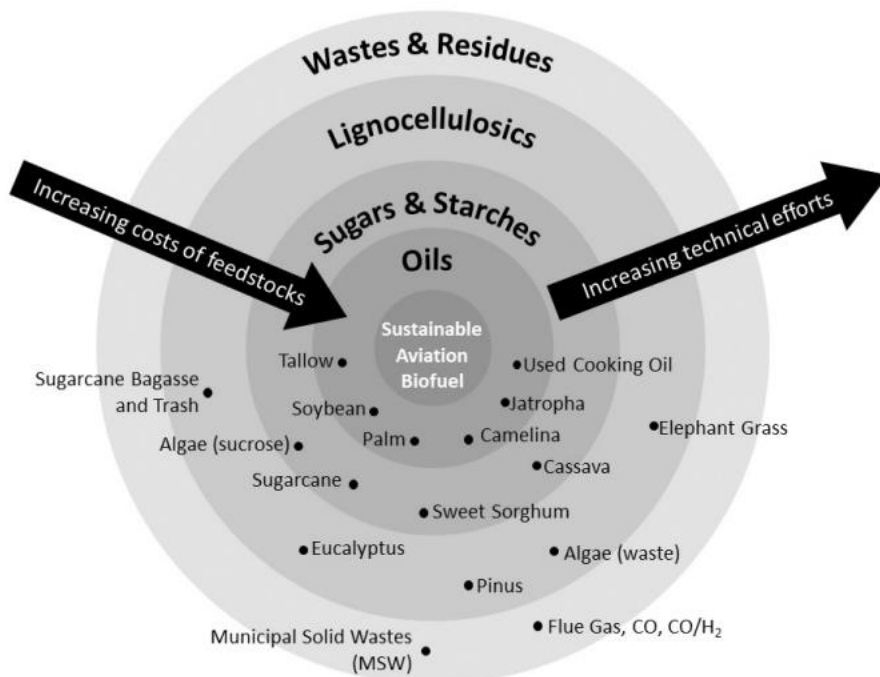


Figura 1: Matérias-primas e sua posição relativa quanto aos custos e esforços técnicos para conversão em biocombustível de aviação. Fonte: Cortez (2014).

Um gráfico interessante para ilustrar os diferentes tipos de matérias-primas e seu esforço técnico para conversão em biocombustível de aviação pode ser encontrado na Figura 1 (p. 147) de "The Future Role of Biofuels", que mostra a comparação entre matérias-primas em termos de custo e esforço de conversão.

### **4.3. Metas de Descarbonização e Sustentabilidade**

Diante dessa diversidade de rotas tecnológicas, torna-se crucial analisar o papel do SAF no cumprimento das metas globais de sustentabilidade e descarbonização estabelecidas por organismos internacionais. A descarbonização do setor de aviação é um dos maiores desafios enfrentados para o cumprimento das metas estabelecidas pelo Acordo de Paris. A aviação responde por cerca de 2,5% das emissões globais de dióxido de carbono, e a projeção de crescimento do tráfego aéreo mundial agrava essa questão. A IATA estabeleceu metas de reduzir as emissões líquidas de carbono em 50% até 2050, com o SAF desempenhando um papel fundamental para alcançar esse objetivo. Países como Estados Unidos e Alemanha já estabeleceram metas de substituição parcial de combustíveis fósseis por SAF em suas rotas aéreas até 2030, o que pressiona o mercado brasileiro a se alinhar com esses compromissos. (SHAHRIAR; KHANAL, 2022).

O SAF também é uma peça central nos compromissos assumidos pela ICAO, que criou um plano de ação de longo prazo visando a neutralidade de carbono no setor até 2050. No entanto, para que essas metas sejam atingidas, será necessário um aumento significativo na produção de SAF e a implementação de políticas de incentivo para reduzir o gap entre o custo do SAF e dos combustíveis fósseis tradicionais (SHAHRIAR; KHANAL, 2022).

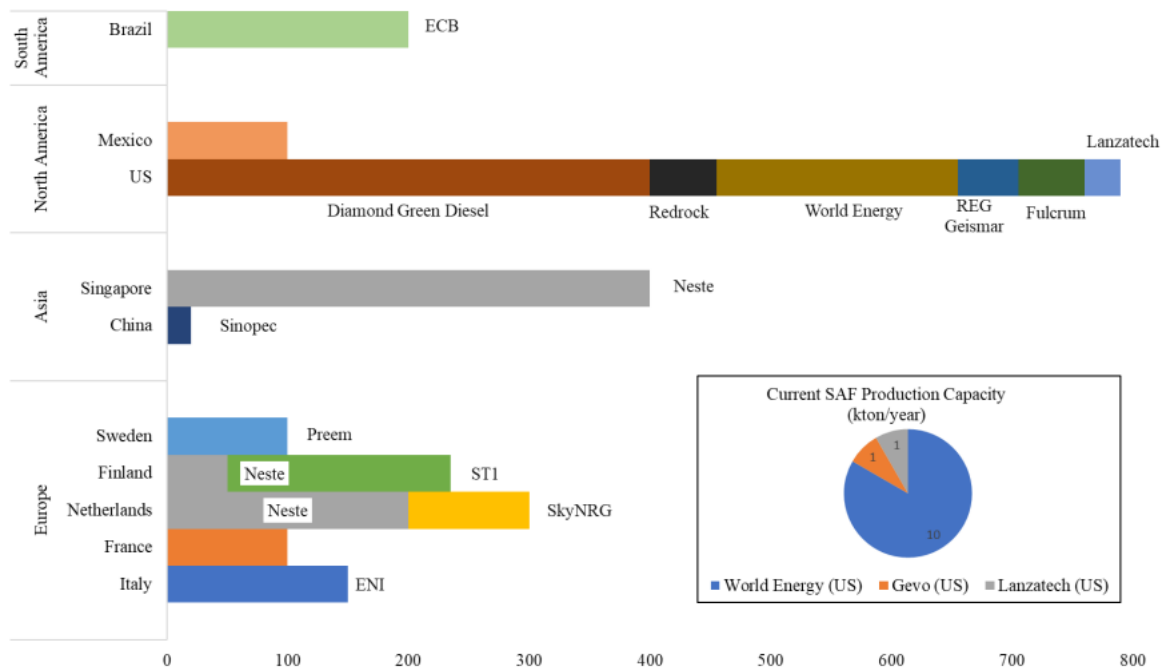


Figura 2: Capacidade de produção atual e potencial global de SAF. Fonte: SkyNRG

Um gráfico útil para ilustrar as metas globais de produção de SAF até 2032 seria a projeção da produção global de SAF, apresentada no gráfico da Figura 2.

Apesar do papel estratégico do SAF nas metas climáticas internacionais, sua adoção ainda é limitada por diversos entraves técnicos, econômicos e logísticos, os quais serão explorados a seguir.

#### 4.4. Barreiras para o Avanço do SAF

Apesar do potencial do SAF, existem barreiras significativas que impedem sua adoção em larga escala. Uma das principais dificuldades está no alto custo de produção, que ainda é muito superior ao do querosene de aviação fóssil. A Análise Tecnoeconômica realizada por Shahriar e Khanal (2022) indica que, mesmo com incentivos governamentais, a competitividade do SAF dependerá da redução dos custos associados à matéria-prima e à escalabilidade das tecnologias de conversão.

Outro desafio é a infraestrutura limitada para a produção e distribuição de SAF. Atualmente, poucos países possuem plantas comerciais de SAF, o que restringe a oferta

global. Além disso, a necessidade de se cumprir os rigorosos padrões de certificação da ASTM International para combustíveis de aviação impõe desafios adicionais às novas tecnologias, retardando sua implementação comercial. Um exemplo prático é o rigor das certificações exigidas para novos biocombustíveis nos Estados Unidos, que afeta a capacidade de empresas brasileiras de expandirem sua participação no mercado norte-americano.

#### **4.5. Oportunidades para o Brasil**

O Brasil está em uma posição privilegiada para liderar o mercado de SAF devido à sua forte infraestrutura de biocombustíveis e à abundância de matérias-primas. O país é um dos maiores produtores de etanol do mundo, derivado principalmente da cana-de-açúcar, que pode ser utilizado no processo ATJ (Álcool para Jato). A competitividade do Brasil é reforçada por sua capacidade de desenvolver uma cadeia de produção integrada, desde a agricultura até o refino e transporte, garantindo eficiência operacional e redução de custos. Além disso, o Brasil possui vasta experiência na produção de biodiesel e biogás, que também podem ser convertidos em SAF via processos como HEFA.

Outro ponto favorável para o Brasil é a existência de políticas públicas que incentivam a bioenergia, como o programa RenovaBio, que visa aumentar a produção de biocombustíveis e reduzir as emissões de carbono. Segundo dados do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), o Brasil tem potencial para se tornar um exportador de SAF, suprimindo a crescente demanda global por combustíveis sustentáveis na aviação (BID, 2021).

Além da infraestrutura estabelecida e da abundância de biomassa, o Brasil possui uma vantagem estratégica ao participar de cadeias globais de valor ligadas à produção sustentável. A parceria entre empresas nacionais e estrangeiras, como Raízen e Shell, exemplifica como o país pode atrair investimentos para aumentar a capacidade produtiva de SAF. Outra oportunidade reside na exportação de expertise técnica: com o sucesso dos biocombustíveis tradicionais, o Brasil se coloca como um possível exportador de

tecnologia e know-how em processos como HEFA e ATJ, colaborando com países que buscam desenvolver suas próprias cadeias de produção sustentável.

Ademais, iniciativas internacionais como o CORSIA (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation), coordenado pela Organização da Aviação Civil Internacional (ICAO), têm aberto espaço para a inserção dos biocombustíveis certificados no mercado global de aviação. O CORSIA foi concebido como um mecanismo de compensação das emissões de CO<sub>2</sub> provenientes do crescimento do transporte aéreo internacional a partir de 2020, estabelecendo que as companhias aéreas devem compensar seu excedente de emissões por meio da aquisição de créditos de carbono ou pelo uso de combustíveis sustentáveis. Neste contexto, o SAF certificado produzido no Brasil pode assumir papel estratégico, oferecendo uma solução viável para companhias aéreas globais — especialmente na Europa e nos Estados Unidos, onde as exigências ambientais são mais rigorosas e crescentes.

A participação efetiva do Brasil nesse novo mercado, contudo, dependerá de avanços institucionais e operacionais. Para que o país possa maximizar as oportunidades geradas pelo CORSIA, será fundamental consolidar uma infraestrutura nacional de certificação de combustíveis sustentáveis alinhada aos critérios da ICAO, além de enfrentar desafios logísticos relacionados à conexão eficiente entre as regiões produtoras de biomassa e os principais hubs aeroportuários. Tais medidas permitirão não apenas atender à demanda doméstica por descarbonização, mas também posicionar o Brasil como um fornecedor internacional de SAF certificado, ampliando sua presença em cadeias globais de valor e fortalecendo sua competitividade no comércio climático emergente.

Além disso, o Brasil possui uma vasta quantidade de terras agrícolas e uma cadeia produtiva bem desenvolvida para culturas energéticas, como a soja e o milho, que podem ser utilizadas como matéria-prima para a produção de SAF via processos como Fischer-Tropsch e HEFA.

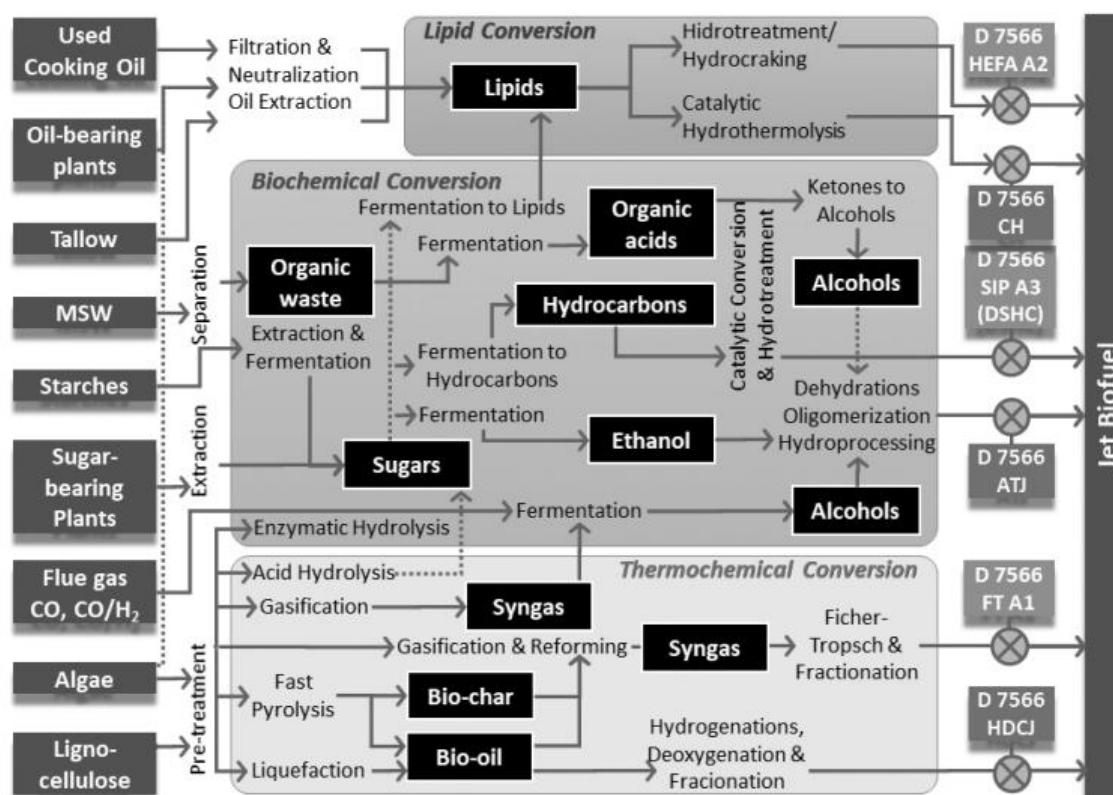


Figura 3: Rotas identificadas para a produção de biocombustível de aviação no Brasil. Fonte: FAPESP.

#### 4.6. Políticas públicas para o fomento ao SAF: Experiências internacionais e o caso brasileiro

Considerando as barreiras e as oportunidades estruturais no cenário brasileiro, é necessário analisar o papel das políticas públicas, tanto internacionais quanto nacionais,

no fomento à produção e adoção do SAF. A transição para combustíveis sustentáveis na aviação, como o SAF, exige mais do que avanços tecnológicos e disponibilidade de biomassa: ela requer políticas públicas robustas, com incentivos bem desenhados e previsibilidade regulatória. Esta seção analisa três experiências emblemáticas de intervenção estatal no setor de combustíveis renováveis: o Inflation Reduction Act (IRA) nos Estados Unidos, o ReFuelEU Aviation da União Europeia, e o RenovaBio, no Brasil.

Aprovado em 2022, o Inflation Reduction Act constitui a mais ambiciosa política climática da história dos Estados Unidos. No contexto dos biocombustíveis, destaca-se a criação de créditos fiscais específicos para o SAF, por meio do Sustainable Aviation Fuel Credit, o qual varia conforme a intensidade de carbono do combustível produzido. O crédito pode chegar a US\$ 1,75 por galão, dependendo da performance ambiental (U.S. CONGRESS, 2022).

Esse mecanismo não apenas reduz o custo final do SAF, mas também premia produtores mais eficientes, incentivando a inovação e o investimento em tecnologias de menor emissão. Trata-se de uma política que combina incentivo direto (via subsídio tributário) com sinalização regulatória de longo prazo, criando um ambiente atrativo para o capital privado.

Segundo Mazzucato (2013), políticas como o IRA exemplificam o papel do Estado enquanto indutor de mercados estratégicos e agente assumidor de riscos, especialmente em setores onde os retornos sociais superam os retornos privados no curto prazo.

Enquanto os EUA optam por mecanismos de preço (via incentivos fiscais), a União Europeia avançou com mandatos regulatórios claros. O ReFuelEU Aviation, aprovado como parte do pacote Fit for 55, estabelece uma meta obrigatória e progressiva de incorporação de SAF no combustível de aviação utilizado em voos que partem do território europeu.

A meta inicial é de 2% em 2025, com aumento gradual até 70% em 2050. A política visa garantir demanda mínima para o SAF e atrair investimentos em produção e infraestrutura. Ao alinhar metas ambientais com obrigações de mercado, a UE cria um modelo replicável que pode servir de referência para países em desenvolvimento.

O Brasil conta, desde 2017, com o RenovaBio, um programa nacional de biocombustíveis que busca promover a eficiência ambiental na produção e uso desses combustíveis. Seu principal instrumento é o Crédito de Descarbonização (CBIO), um ativo financeiro negociado em bolsa, emitido por produtores que comprovam menores emissões na produção de etanol, biodiesel e outros biocombustíveis (BRASIL, 2017).

O programa se destaca por sua abordagem de mercado, que remunera externalidades positivas e incentiva a eficiência ambiental sem impor mandatos específicos de mistura. Segundo dados da B3, mais de 180 milhões de CBIOs já foram emitidos até 2024, com crescente adesão de distribuidores de combustíveis e produtores certificados.

Apesar dos avanços, o RenovaBio ainda não contempla o SAF de forma explícita, o que tem sido objeto de críticas por parte de especialistas e representantes do setor aéreo. A ausência de incentivos específicos para o SAF limita sua competitividade frente aos combustíveis fósseis, especialmente num setor que opera com margens estreitas e forte volatilidade cambial.

Nesse contexto, surge a Lei nº 14.905/2024, conhecida como Lei do Combustível do Futuro, aprovada em março de 2024. A nova legislação atualiza o marco regulatório nacional para combustíveis sustentáveis e estabelece metas obrigatórias de redução de intensidade de carbono para o setor aéreo, além de criar o Programa Nacional de Combustível Sustentável de Aviação (ProBioQAV).

Entre os principais dispositivos da nova lei, destacam-se: a autorização para a ANP estabelecer percentuais mínimos de SAF no querosene de aviação comercial; a possibilidade de inclusão do SAF no RenovaBio por meio da emissão de CBIOs específicos; a criação de um plano de metas escalonadas de uso de SAF até 2040; e incentivos à pesquisa, inovação e produção nacional de rotas tecnológicas, como HEFA, AtJ e GtL.

A nova legislação coloca o Brasil mais próximo dos modelos internacionais, ao conjugar instrumentos de mercado (CBIOs) com mandatos regulatórios (percentuais de mistura), como observado no ReFuelEU Aviation europeu.

A tabela a seguir resume as principais características das políticas discutidas:

Política	País / Bloco	Mecanismo Principal	Aplicação ao SAF
Inflation Reduction Act	Estados Unidos	Crédito fiscal por intensidade de carbono	Reduz custo e estimula inovação
ReFuelEU Aviation	União Europeia	Mandato de mistura progressiva	Obriga uso crescente de SAF em voos
RenovaBio	Brasil	Mercado de CBIOS (incentivo ambiental)	Ainda não incluía o SAF até 2024
Combustível do Futuro	Brasil	Mandatos + incentivo + regulação técnica	Marco específico para SAF e rotas verdes

Essa análise evidencia que o Brasil avança em direção a uma estrutura mais integrada e eficaz de apoio ao SAF, especialmente com a aprovação da nova lei. No entanto, ainda são necessárias ações complementares, como a estruturação de linhas de crédito, subvenções para unidades-piloto e cooperação internacional para padronização de certificações e rotas tecnológicas. Como defende Rodrik (2007), políticas industriais eficazes requerem coordenação público-privada e aprendizagem institucional contínua, algo que o Brasil começa a consolidar com essa nova legislação, mas ainda demanda implementação técnica e articulação federativa robusta.

## 5. CONCLUSÃO

A análise realizada ao longo deste trabalho evidenciou que o Sustainable Aviation Fuel (SAF) constitui uma solução central para a descarbonização do setor aéreo global, alinhando-se às metas internacionais de redução de emissões. O Brasil apresenta vantagens competitivas significativas para consolidar-se como um dos principais produtores e exportadores desse combustível sustentável, destacando-se pela ampla disponibilidade de biomassa, pela infraestrutura consolidada em biocombustíveis e pela capacidade técnica acumulada ao longo das últimas décadas.

Entretanto, os resultados indicam que essas vantagens, embora relevantes, não são suficientes por si só para garantir o protagonismo brasileiro no mercado emergente de SAF. Persistem barreiras importantes, especialmente relacionadas ao alto custo de produção, à necessidade de expansão e modernização da infraestrutura, e à adequação aos rigorosos padrões internacionais de certificação.

O estudo demonstrou que a superação dessas barreiras depende da construção de um ambiente institucional e regulatório favorável, que induza investimentos privados e públicos, reduza riscos tecnológicos e promova a inovação. A experiência internacional, com destaque para o Inflation Reduction Act, nos Estados Unidos, e o ReFuelEU Aviation, na União Europeia, evidencia a eficácia de políticas públicas robustas, combinando incentivos financeiros, mandatos regulatórios e previsibilidade normativa.

No contexto brasileiro, a aprovação da Lei do Combustível do Futuro representa um marco importante, ao estabelecer bases legais e instrumentos específicos para a promoção do SAF. Todavia, sua plena efetividade dependerá da capacidade de articulação entre os diversos níveis de governo, da implementação eficiente dos dispositivos legais e da integração com políticas industriais e ambientais mais amplas.

A discussão teórica, fundamentada na Economia Institucional, permitiu compreender que a formação de mercados sustentáveis, como o de SAF, exige a atuação deliberada do Estado na correção de falhas de mercado, na indução de inovações e na coordenação de investimentos. Assim, a trajetória futura do Brasil nesse setor dependerá da qualidade e da consistência de suas instituições e políticas públicas, sendo

fundamental avançar para uma estratégia integrada que potencialize as vantagens existentes e elimine os entraves estruturais identificados.

Por fim, a análise realizada reforça que o desenvolvimento do mercado brasileiro de SAF é não apenas uma resposta necessária aos compromissos climáticos internacionais, mas também uma oportunidade estratégica para fortalecer a inserção do país na economia de baixo carbono, promovendo inovação, competitividade e sustentabilidade no setor aéreo.

## **6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ARROW, Kenneth J. Economic Welfare and the Allocation of Resources for Invention. In: NELSON, R. R. (Org.). *The Rate and Direction of Inventive Activity: Economic and Social Factors*. Princeton: Princeton University Press, 1962.

MAZZUCATO, Mariana. *The Entrepreneurial State: Debunking Public vs. Private Sector Myths*. London: Anthem Press, 2013.

RODRIK, Dani. *One Economics, Many Recipes: Globalization, Institutions, and Economic Growth*. Princeton: Princeton University Press, 2007.

STERN, Nicholas. *The Economics of Climate Change: The Stern Review*. Cambridge: Cambridge University Press, 2006.

STIGLITZ, Joseph E. *Economics of the Public Sector*. 3. ed. New York: W. W. Norton & Company, 2000.

BRASIL. Lei nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017. Institui a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio). *Diário Oficial da União*, Brasília, 2017.

BRASIL. Lei nº 14.905, de 12 de março de 2024. Institui a Lei do Combustível do Futuro. Diário Oficial da União, Brasília, 2024.

U.S. CONGRESS. Inflation Reduction Act of 2022. Public Law No: 117-169, Washington, D.C., 2022.

BANCO INTERAMERICANO DE DESENVOLVIMENTO (BID). Biofuels and Sustainable Aviation Fuel: Opportunities for Latin America. 2021. Disponível em: <https://www.iadb.org>. Acesso em: 21 set. 2024.

FAPESP. Raw materials and their relative position according to costs and technical efforts to be converted into sustainable aviation biofuel. 2022.

FAPESP. Identified pathways to produce sustainable jet biofuel in Brazil. 2022.

FAPESP. Brazilian exports and imports of ethanol from 2008 to 2019. 2022.

INTERNATIONAL AIR TRANSPORT ASSOCIATION (IATA). Fueling the Future: Sustainable Aviation Fuel. 2020. Disponível em: <https://www.iata.org>. Acesso em: 19 set. 2024.

INTERNATIONAL AIR TRANSPORT ASSOCIATION (IATA). SAF Market Monitor: Global Outlook. 2023. Disponível em: <https://www.iata.org>. Acesso em: 21 out. 2024.

INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION (ICAO). Environmental Report. 2019. Disponível em: <https://www.icao.int>. Acesso em: 21 set. 2024.

SHAHRIAR, S.; KHANAL, S. Sustainable Aviation Fuel (SAF): A Solution to the Greenhouse Gas Emissions from the Aviation Industry. *Journal of Clean Energy Technologies*, v. 10, n. 4, p. 175-186, 2022. Disponível em: <https://www.jocet.org>. Acesso em: 17 set. 2024.

THE FUTURE ROLE OF BIOFUELS: Bioenergy from Sugarcane in Brazil. Editado por FAPESP. Elsevier, 2019.

CONVENÇÃO-QUADRO DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MUDANÇA DO CLIMA (UNFCCC). **Acordo de Paris**. 2015. Disponível em: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>. Acesso em: 14 nov. 2024.