



Combustíveis sustentáveis de aviação (*SAF*): pedidos de patente no Brasil e no mundo

**Fevereiro
2026**





Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

Instituto Nacional da Propriedade Industrial - INPI

Presidente: Julio César Castelo Branco Reis Moreira

Diretoria Executiva - DIREX

Diretora: Tania Cristina Lopes Ribeiro

Coordenação Geral de Economia e Inovação - CGEI

Coordenador-Geral: Rodrigo Ventura

Coordenação de Inteligência em Propriedade Industrial e Inovação - COIPI

Coordenadora: Irene Von Der Weid

Divisão de Estudos em Propriedade Industrial e Inovação - DEPIN

Chefe: Silvia Souza de Oliveira





Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

Autores

Sandro Guimarães Viveiros Rosa
Sílvia Souza de Oliveira
Flávio dos Reis Gonçalves
Rafael Fiorenco Mendonça
Irene von der Weid

DEPIN/COIPI/CGEI/DIREX
DEPIN/COIPI/CGEI/DIREX
DIPAT XVI /CGPAT III/DIRPA
DIPAT XXIII/CGPAT IV/DIRPA
COIPI/CGEI/DIREX

Colaboradores

Julio dos Santos Moreira de Souza
Luís Henrique Romani de Campos

DEPIN/CGEI/DIREX
DIECO/CGEI/DIREX





Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca de Propriedade Intelectual e Inovação Economista Claudio Treiguer

Bibliotecário Evanildo Vieira dos Santos - CRB7-4861

I59 Instituto Nacional da Propriedade Industrial (Brasil).

Combustíveis Sustentáveis para Aviação (SAF): pedidos de patente no Brasil e no mundo. / Sandro Guimarães Viveiros Rosa [Et al.]. Rio de Janeiro: Instituto Nacional da Propriedade Industrial (Brasil) – INPI, Diretoria Executiva – DIREX, Coordenação Geral de Economia e Inovação – CGEI, Coordenação de Inteligência em Propriedade Industrial e Inovação – COIPI e Divisão de Estudos em Propriedade Industrial e Inovação – DEPIN, 2026.

78 p.; figs.; tabs. Apêndice.
Radar Tecnológico – 2026.

1. Informação tecnológica – Patente. 2. Patente – Pedido – Brasil. 3. Patente – Pedido – Exterior. 4. Patente – Combustíveis sustentáveis. 5. Combustíveis sustentáveis – Aviação. I. Instituto Nacional da Propriedade Industrial (Brasil). II. Oliveira, Silvia Souza de. III. Gonçalves, Flávio dos Reis. IV. Mendonça, Rafael Fiorencio. V. Weid, Irene von der. VI. Título.

CDU: 347.771:621.311.25

Permitida a reprodução, desde que citada a fonte. Todos os direitos reservados aos autores e editores da publicação.

Como citar: INPI (2026). Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF): pedidos de patente no Brasil e no mundo (Radar Tecnológico). [Autores: Rosa, S.G.V; Oliveira, S.S; Gonçalves, F.R; Mendonça, R.F; von der Weid, I.]. Rio de Janeiro. Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI)/DIREX/CGEI/DEPIN. Disponível em: <https://www.gov.br/inpi/pt-br/assuntos/informacao/radares-tecnologicos>





Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

Resumo Executivo

Este Radar Tecnológico, realizado pelo INPI no âmbito do Grupo de Alto Nível Brasil-Suécia em Aeronáutica (GAN), analisa o cenário global e nacional de depósito de patentes em combustíveis sustentáveis de aviação (*sustainable aviation fuels* – SAF); tema crucial para os esforços internacionais de descarbonização do transporte aéreo e também para a política brasileira de neointustrialização, que enfatiza a bioeconomia, a transição energética e o fortalecimento da base produtiva e tecnológica nacional.

Foram identificadas 2.505 invenções relacionadas aos SAF em nível mundial, evidenciando um campo tecnológico recente, porém em rápida expansão, especialmente a partir de 2018. Os Estados Unidos lideram amplamente o setor, sendo o país de origem de 46% das invenções, seguidos pela China (20%). Recentemente, a China intensificou sua atividade, alcançando volumes de depósito de patentes anuais comparáveis aos dos EUA no período de 2020 a 2025. Outros países, como Reino Unido, Dinamarca, Coreia do Sul, Índia e Brasil, apresentam aceleração recente no número de invenções identificadas, ainda que partindo de bases menores, o que reforça o caráter emergente e altamente dinâmico do setor.

O Brasil ocupa a 11ª posição mundial em relação à origem das tecnologias, com aproximadamente 1,4% das invenções geradas. O país é um gerador modesto de tecnologia, mas um mercado estratégico para proteção de invenções estrangeiras. O Brasil é o 6º escritório de patentes mais procurado no mundo para proteção de tecnologias SAF, recebendo 16% das invenções identificadas no mundo. Isso reflete a percepção do Brasil como uma potencial base produtiva estratégica, especialmente para empresas como *Neste*, *Shell* e *BP*.

O perfil dos principais depositantes é dominado por grandes empresas globais dos setores de energia, petróleo e química. Os principais depositantes incluem *Neste*, *Honeywell UOP*, *Rolls Royce*, *Chevron*, *ExxonMobil*, *Shell* e *Sinopec*. Instituições de pesquisa, como o *IFP Energies Nouvelles* (França) e o *Dalian Institute of Chemical Physics* (China), também possuem participação relevante, evidenciando a base científica necessária para o desenvolvimento destas tecnologias emergentes.

Sob a perspectiva das áreas tecnológicas, observa-se predominância de invenções voltadas ao processamento químico e bioquímico de biomassa, que





Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

representam cerca de 80% do total de invenções identificadas. Dentro desta categoria, a biomassa vegetal é a fonte predominante, e o uso de resíduos vem ganhando relevância, atingindo 60% das invenções relacionadas à biomassa para produção de SAF no período mais recente.

Rotas emergentes associadas ao uso de hidrogênio/e-fuels e ao reaproveitamento de resíduos de plástico ou borracha também ganham espaço, refletindo a busca por diversificação de matérias-primas e maior sustentabilidade ambiental. Além disso, parcela relevante das invenções está associada a equipamentos e sistemas aplicados aos processos produtivos, indicando esforços contínuos de otimização industrial.

No recorte dos pedidos de patente que foram depositados no Brasil, há predominância de depositantes estrangeiros, responsáveis por 97% destes depósitos o que demonstra a atratividade do mercado brasileiro como território de proteção tecnológica. Os Estados Unidos constituem a principal origem das invenções depositadas no país, com cerca de 53% dos pedidos, seguidos por Finlândia, Países Baixos e Brasil. As empresas com maior número de depósitos no Brasil são a *Neste* e a *Shell*.

A *Petrobras* destaca-se como o único depositante brasileiro entre os principais titulares de patentes relacionadas a SAF no Brasil. Dos pedidos depositados por residentes, parcela relevante pertence à empresa, o que reforça seu papel central no desenvolvimento tecnológico nacional e a perspectiva de incorporação do SAF ao portfólio energético brasileiro.

Os resultados do Radar evidenciam que o SAF não constitui apenas uma agenda ambiental, mas um campo de competição tecnológica global. Para o Brasil, o desafio central consiste em transformar seu elevado potencial produtivo, baseado em abundância de biomassa, capacidade agrícola, parque industrial e experiência em biocombustíveis, em protagonismo inovador.

O Radar Tecnológico fornece dados relevantes para a formulação de políticas públicas e estratégias de pesquisa, desenvolvimento e inovação, ao mapear tendências tecnológicas globais, capacidades nacionais e lacunas tecnológicas. Todo o conjunto de dados levantado no estudo está disponível através de um [painel de dados](#) interativo, que consolida as informações extraídas dos pedidos de patente e oferece a visualização dos dados, permitindo análises segmentadas utilizando-se os parâmetros empregados neste estudo.





Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

Sumário

1	Objetivo do estudo	9
2	Contextualização	10
2.1	Combustíveis sustentáveis de aviação - SAF	11
2.2	Emissões de CO ₂ e o uso de combustíveis sustentáveis de aviação	14
2.3	Panorama de produção de SAF no mundo	15
2.4	Panorama de produção de SAF no Brasil	16
2.5	Processos de produção de SAF	18
2.5.1	Processo de produção de querosene parafínico sintético hidroprocessado (HEFA-SPK e HC-HEFA-SPK)	22
2.5.2	Processo querosene parafínico sintético via Fischer-Tropsch (FT-SPK e FT-SKA)	23
2.6	Processo de produção de querosene parafínico sintético a partir de álcool (ATJ-SPKe ATJ-SKA)	24
2.7	Políticas para a produção do SAF no mundo e no Brasil	25
2.8	Informação tecnológica contida nos documentos de patentes na área dos combustíveis sustentáveis de aviação	27
3	Desenho metodológico resumido	30
4	Resultados e discussão	31
4.1	Panorama mundial dos depósitos de famílias de pedidos de patente de tecnologias relacionadas aos SAF	31
4.1.1	Dados gerais dos pedidos de patente	31
4.1.2	Origem das invenções	32
4.1.3	Perfil dos depositantes	34
4.1.4	Áreas tecnológicas das invenções associadas aos SAF	37
4.1.4.1	Tipo de biomassa envolvida na produção de combustível	41
4.1.5	Países ou regiões onde se buscou proteção por patente para as invenções	46
4.1.6	Panorama mundial dos depósitos de famílias de pedidos de patente relacionadas aos SAF de depositantes brasileiros e suecos	51
4.1.6.1	Famílias de pedidos de patente relacionadas aos SAF de depositantes brasileiros	51





Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

4.1.6.2	Famílias de pedidos de patente relacionadas aos SAF de depositantes suecos	53
4.2	Panorama dos depósitos de patentes do SAF no Brasil	54
4.2.1	Dados gerais dos pedidos de patente	54
4.2.2	Origem das invenções	56
4.2.3	Perfil dos depositantes	57
4.2.4	Áreas tecnológicas das invenções associadas aos SAF	60
4.2.4.1	Tipo de biomassa envolvida na produção de combustível	62
5	Considerações Finais	66
6	Referências Bibliográficas	70
7	Apêndice: Metodologia	72
7.1	Levantamento mundial das famílias de pedidos de patente relacionadas aos SAF	72
7.2	Levantamento dos pedidos de patente relacionados aos SAF depositados no Brasil	75
7.3	Categorização dos pedidos de patente	75
7.3.1	Categorização dos pedidos de patente depositados no mundo por depositantes brasileiros ou suecos e dos pedidos de patente depositados no Brasil	78
7.3.2	Registro de litígio administrativo ou judicial	78





Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

1 Objetivo do estudo

As ciências aeronáuticas constituem uma área tecnológica estratégica, especialmente no contexto dos esforços globais voltados à redução das emissões de gases de efeito estufa. Nesse cenário, a utilização de combustíveis sustentáveis de aviação (SAF – do inglês, *sustainable aviation fuels*), em combinação ou em substituição ao querosene de aviação convencional, apresenta elevado potencial para a mitigação das emissões de dióxido de carbono (CO₂) associadas ao transporte aéreo.

Considerando o papel estratégico e o potencial inovador dos SAF no futuro do setor aeronáutico, o presente estudo tem como objetivo realizar um mapeamento tecnológico com base na análise de pedidos de patente depositados no Brasil e no cenário internacional. Parte-se do entendimento de que a sustentabilidade e a inovação são elementos centrais para o desenvolvimento produtivo e tecnológico, de modo que tecnologias voltadas à redução das emissões de gases de efeito estufa e ao enfrentamento das mudanças climáticas, como é o caso dos SAF, assumem papel fundamental para o alcance das metas estabelecidas no âmbito da política de neindustrialização brasileira, especialmente no que se refere à bioeconomia, à descarbonização e à transição e segurança energética.

Nesse contexto, o estudo busca analisar o panorama tecnológico dos combustíveis sustentáveis de aviação, visando identificar oportunidades de inovação, complementaridades tecnológicas e potenciais áreas de cooperação. Adicionalmente, pretende-se identificar os principais atores envolvidos no desenvolvimento dessas tecnologias, incluindo empresas, instituições de pesquisa e órgãos governamentais, de modo a mapear lacunas e oportunidades tecnológicas para o Brasil.

Por fim, o estudo tem como objetivo fornecer um panorama da informação tecnológica contida nos documentos de patente, com a finalidade de subsidiar e orientar os diversos atores envolvidos em atividades de pesquisa, desenvolvimento e inovação no campo dos combustíveis sustentáveis de aviação. Os resultados apresentados visam apoiar a formulação de estratégias, ações e políticas públicas, bem como subsidiar decisões de investimento em P&D, contribuindo para o fortalecimento da competitividade da indústria brasileira e para a ampliação da presença qualificada do país no mercado internacional.





Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

2 Contextualização

O presente estudo foi realizado no âmbito do Grupo de Alto Nível Brasil-Suécia em Aeronáutica (GAN), uma parceria que envolve governo, indústria e academia de ambos os países, objetivando cooperações para o desenvolvimento tecnológico no setor aeronáutico.

O GAN foi criado em 21/05/2015 como um desdobramento da compra com transferência tecnológica de aviões de caça suecos realizada pelo Governo brasileiro e é coordenado pelo Secretário Executivo do MDIC e pelo secretário de estado do *Ministry of Enterprise and Innovation* da Suécia. O INPI faz parte do comitê executivo do GAN desde 2020, tendo proposto realizar estudos de mapeamento tecnológico através de documentos de patentes em áreas de interesse do GAN, com foco na identificação de tecnologias desenvolvidas nestes dois países. O primeiro estudo realizado no âmbito do Grupo trata do “*Mapeamento de tecnologias relacionadas à inteligência artificial com aplicação em aeronáutica, no Brasil e Suécia, através da análise do depósito de patentes no setor*” (INPI, 2022).

As mudanças climáticas globais vêm impactando de forma significativa o setor de transportes, remodelando seu futuro por meio da incorporação de tecnologias voltadas à descarbonização e à redução do impacto ambiental. Atualmente, o setor de transportes é responsável por mais de um terço das emissões globais de dióxido de carbono (CO₂)¹, o que tem impulsionado a transição de combustíveis fósseis para fontes de energia alternativas, bem como o desenvolvimento de sistemas e infraestruturas mais eficientes.

Cada modalidade de transporte vem adotando abordagens tecnológicas distintas para alcançar a sustentabilidade. Enquanto o setor rodoviário concentra seus esforços principalmente na eletrificação como meio de reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE), os setores aéreo e marítimo, em função das demandas por longas distâncias e grandes volumes de carga, têm direcionado suas estratégias para a adoção de combustíveis alternativos sustentáveis^{2,3}.

No caso da aviação, a propulsão elétrica ainda enfrenta limitações significativas, sobretudo em razão do peso e da densidade energética das baterias

¹ IEA (2025). [\[Transport. International Energy Agency\]](#)

² IPCC (2022). [\[IPCC Sixth Assessment Report, Chapter 10: Transport\]](#)

³ IEA (2025). [\[Transport. International Energy Agency\]](#)





Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

atualmente disponíveis, o que inviabiliza sua aplicação em voos comerciais de médio e longo alcance. Em contrapartida, os combustíveis sustentáveis de aviação (SAF) demonstram elevada viabilidade prática e rapidez de implementação, uma vez que podem ser utilizados nos motores aeronáuticos e na infraestrutura de abastecimento existentes, sem a necessidade de modificações complexas em aeronaves ou aeroportos. Essa característica permite que o setor aéreo inicie de forma imediata a redução de suas emissões a partir da infraestrutura já instalada.

Apesar de seu potencial, os SAF representam atualmente menos de 0,3% do total de combustível de aviação consumido globalmente. A ampliação de sua participação para cerca de 10% até 2030 é considerada essencial para que a indústria da aviação alcance suas metas de sustentabilidade⁴. Entretanto, a adoção em larga escala enfrenta desafios relevantes, como os custos de produção mais elevados, questões técnicas relacionadas à compatibilidade com motores e infraestrutura existentes, além da necessidade de um fornecimento consistente e sustentável de matérias-primas. Nesse contexto, a expansão da produção de SAF em escala comercial demanda investimentos significativos em biorrefinarias e na modernização da infraestrutura.

2.1 Combustíveis sustentáveis de aviação - SAF

O combustível aeronáutico tradicional é um derivado fóssil conhecido como querosene de aviação (Jet A/Jet A-1). Por sua vez, o combustível sustentável de aviação, ou em inglês *sustainable aviation fuel* (SAF), é definido pela Organização da Aviação Civil Internacional (*International Civil Aviation Organization* – ICAO) como um combustível renovável ou derivado de resíduo que atenda a critérios de sustentabilidade⁵. No Brasil, o SAF é definido como o combustível alternativo ao combustível aeronáutico de origem fóssil, produzido a partir de quaisquer matérias-primas e processos que atendam a padrões de sustentabilidade, conforme definição da ICAO, que possa ser utilizado puro ou em mistura com o combustível de origem fóssil, conforme as especificações técnicas das normas aplicáveis, e que promova benefícios ambientais quando considerado o seu ciclo

⁴ IATA. [\[Net zero 2050: sustainable aviation fuels \(SAF\). Fact sheet\]](#)

⁵ ICAO. [\[Sustainable Aviation Fuels \(SAF\).\]](#)





Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

de vida completo⁶. O SAF é, portanto, um combustível alternativo quimicamente similar ao querosene de aviação convencional (Jet A/Jet A-1).

Diversas metodologias são empregadas para mensurar a sustentabilidade e as emissões de GEE ao longo da cadeia produtiva dos combustíveis, abrangendo desde a extração da matéria-prima até o consumo final, por meio da análise de ciclo de vida. No Brasil, a Lei do Combustível do Futuro⁷ estabelece que, até o final de 2031, a avaliação das emissões de CO₂ adotará o conceito “do poço à roda”⁸, passando posteriormente ao critério “do berço ao túmulo”⁹.

O SAF pode ser misturado ao combustível fóssil em diferentes proporções, geralmente entre 10% e 50%, a depender da rota tecnológica e da matéria-prima utilizada. Essas características classificam o SAF como um combustível do tipo *drop-in*, ou seja, permitindo seu uso direto em motores aeronáuticos e na infraestrutura de abastecimento existente, sem a necessidade de modificações significativas no sistema de propulsão e tanques das aeronaves ou na estrutura dos aeroportos¹⁰. Por essa razão, a ampla adoção do SAF é considerada a principal alternativa de curto prazo para a redução das emissões de GEE no setor aéreo¹¹.

A padronização e certificação do SAF são regidas principalmente pelas normas internacionais da *ASTM International (American Society of Testing Materials)*, que asseguram a segurança operacional e a compatibilidade com a frota e a infraestrutura existentes. Destacam-se as normas ASTM D1655, referente às especificações do querosene de aviação convencional; ASTM D7566, dedicada às especificações de SAF que define os requisitos de qualidade do combustível para cada rota de produção aprovada; e ASTM D4054, que estabelece os procedimentos para avaliação de novas rotas de produção de combustíveis de aviação.

A regulamentação do uso de SAF varia entre os países, sendo orientada por diretrizes internacionais da ICAO, mas adaptada aos respectivos marcos regulatórios nacionais. Esses marcos incluem processos próprios de certificação,

⁶ Lei do Combustível do Futuro - Lei Nº 14.993, de 8 de outubro de 2024.

⁷ Lei Nº 14.993, de 8 de outubro de 2024.

⁸ Lei do Combustível do Futuro - Lei Nº 14.993: “ciclo do poço à roda: ciclo de vida que contabiliza as emissões de GEE oriundas dos processos de cultivo e extração de recursos e da produção dos combustíveis líquidos ou gasosos ou da energia elétrica, sua distribuição e utilização em veículos leves e pesados de passageiros e comerciais”

⁹ Lei do Combustível do Futuro - Lei Nº 14.993: “ciclo do berço ao túmulo: ciclo de vida que considera as emissões de GEE incorporadas no ciclo do poço à roda, acrescidas daquelas geradas desde a extração de recursos e na fabricação de autopeças, na montagem e no descarte dos veículos leves e pesados de passageiros e comerciais”

¹⁰ U.S. Department of Energy, 2020. [\[Sustainable aviation fuel\]](#).

¹¹ IATA. [\[Net zero 2050: sustainable aviation fuels \(SAF\). Fact sheet\]](#)





Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

que seguem normas similares às da *ASTM International*, embora não necessariamente idênticas.

A China, por exemplo, já desenvolve e utiliza SAF por meio de um sistema próprio de certificação liderado pela *Civil Aviation Administration of China* (CAAC), que criou, em 2024, um centro nacional para padronização e controle de qualidade¹². Empresas como a *Sinopec Zhenhai Refining* e o *Junheng Group* já produzem SAF certificado pelo órgão regulador chinês. Esses combustíveis seguem padrões nacionais, como o GB6537-2018, e não necessariamente a certificação internacional ASTM D7566^{13,14}. Não há reconhecimento automático e unilateral entre os sistemas de certificação. Assim, embora a aprovação pela CAAC ateste a conformidade com as regulamentações chinesas, ela não substitui o processo de avaliação e testes exigido para o atendimento às normas ASTM. Consequentemente, esses combustíveis podem ser aceitos para uso doméstico, mas não automaticamente em operações internacionais, o que pode gerar lacunas de interoperabilidade na integração ao mercado global.

No Brasil, a regulamentação do SAF envolve a atuação conjunta da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) e da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), em consonância com as normas internacionais. O principal marco legal relacionado aos SAF é a Lei nº 14.993/2024 (Lei do Combustível do Futuro), que institui o programa ProBioQAV e estabelece metas crescentes de redução das emissões de GEE na aviação doméstica por meio do uso de SAF, com o objetivo de alcançar uma redução de 10% a partir de 2037¹⁵.

A normatização brasileira dos SAF ocorre principalmente por meio da ANP, responsável por regulamentar a produção, as especificações de qualidade e a comercialização de todos os combustíveis de aviação, incluindo os alternativos, tendo como principal referência a Resolução ANP nº 856/2021, alinhada às especificações estabelecidas pela ASTM¹⁶. A ANAC, por sua vez, é responsável pelos aspectos operacionais, certificando o uso do SAF pelos operadores aéreos e assegurando o cumprimento das metas de redução de emissões e das normas internacionais da ICAO.

¹² CAAC. [\[China Launches Pilot Project for the Application of Sustainable Aviation Fuel.\]](#)

¹³ Advanced Biofuels USA. [\[China Achieves Mass Production of Sustainable Aviation Fuel\]](#)

¹⁴ Greenaimews. [\[China's SAF industry poised to be a transformative force in aviation's low-carbon future\]](#)

¹⁵ EPE (2024). [\[Combustíveis Sustentáveis de Aviação no Brasil Sustainable Aviation Fuel – SAF. Perspectivas Futuras.\]](#)

¹⁶ ANP. [\[Combustíveis Sustentáveis de Aviação \(SAF\): novos desafios para a regulação.\]](#)





Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

2.2 Emissões de CO₂ e o uso de combustíveis sustentáveis de aviação

Em 2023, a aviação foi responsável por aproximadamente 2,5% das emissões globais de CO₂ relacionadas à energia, apresentando um crescimento das emissões mais acelerado quando comparado aos demais setores de transporte (ferroviário, rodoviário e marítimo)¹⁷. Estima-se que a utilização de SAF possa reduzir as emissões de CO₂ entre 60% e 80% em comparação com a queima do querosene de aviação convencional^{18, 19}. A ICAO, agência especializada da Organização das Nações Unidas (ONU) responsável pela regulação e supervisão da aviação civil internacional, passou a tratar formalmente dos combustíveis sustentáveis de aviação a partir de 2007, quando reconheceu a importância do desenvolvimento de combustíveis alternativos mais eficientes e com menor impacto ambiental (ICAO, 2019). Em novembro de 2009, foi realizada no Rio de Janeiro a Primeira Conferência da ICAO sobre Aviação e Combustíveis Alternativos²⁰, que endossou o uso de recursos sustentáveis para a produção de combustíveis aeronáuticos como um meio importante de reduzir as emissões de CO₂ e recomendou o desenvolvimento de metodologias de ciclo de vida e critérios de sustentabilidade, além da criação do "Quadro global para combustíveis alternativos para a aviação"²¹ (ICAO, 2019). Mais recentemente, em 2023, um novo e fortalecido "Quadro global para combustíveis de aviação sustentáveis (SAF), combustíveis de aviação de menor carbono (LCAF) e outras energias mais limpas para a aviação" foi adotado na terceira conferência, estabelecendo uma meta coletiva de reduzir a intensidade de carbono do combustível de aviação em 5% até 2030²².

Em 2022, a Assembleia da ICAO adotou a meta aspiracional de longo prazo para a aviação²³, visando alcançar emissões líquidas zero de carbono (*net-zero*) até 2050, em alinhamento com o Acordo de Paris²⁴. Para esse fim, a organização enfatiza medidas como o uso de SAF, melhorias operacionais e o desenvolvimento de tecnologias inovadoras, além da implementação do programa CORSIA (*Carbon*

¹⁷ IEA (2025). [\[Transport. International Energy Agency\]](#)

¹⁸ ICAO. 2019 Environmental Report. Aviation and Environment [\[Destination green – The next chapter\]](#)

¹⁹ ICAO. 2022. [\[CORSIA methodology for calculating actual life cycle emissions values\]](#)

²⁰ Conference on Aviation Alternative Fuels - CAAF /1

²¹ Global Framework for Aviation Alternative Fuels – GFAAF - plataforma global de compartilhamento de informações sobre iniciativas e ações relacionadas aos SAF em todo mundo.

²² ICAO.2023. [\[ICAO Global Framework for SAF, LCAF and other Aviation Cleaner Energies\]](#)

²³ Do inglês *long-term global aspirational goal* (LTAG)

²⁴ ICAO. [\[Long term global aspirational goal \(LTAG\) for international aviation\]](#)





Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation), mecanismo global de compensação e redução de emissões de carbono no setor aéreo internacional. Atualmente voluntária, a adesão ao CORSIA se tornará obrigatória para os Estados-membros a partir de 2027.

Complementarmente, a *International Air Transport Association* (IATA), entidade representativa das companhias aéreas, estabeleceu o compromisso de alcançar emissões líquidas zero de CO₂ até 2050²⁵. Para tanto, a associação vem desenvolvendo ferramentas, padrões e mecanismos financeiros que viabilizam a operacionalização dessas metas, incluindo o uso de SAF, melhorias na eficiência tecnológica das aeronaves, otimização das operações aeroportuárias e iniciativas de compensação e captura de carbono.

2.3 Panorama de produção de SAF no mundo

A produção de SAF ainda se encontra em estágios iniciais. Em 2024, a produção global desse combustível atingiu aproximadamente 1,25 bilhão de litros, o que representou cerca de 0,3% do consumo total de combustível de aviação²⁶. No âmbito internacional, o número de aeroportos com sistemas de fornecimento contínuo ou em lotes de SAF aumentou significativamente, passando de apenas um aeroporto em 2014 para 179 em 2025, concentrados majoritariamente nos Estados Unidos e na Europa²⁷. As projeções para 2025 indicavam um crescimento expressivo da produção, devendo alcançar cerca de 2,4 bilhões de litros, correspondendo a aproximadamente 0,6% do consumo global de combustível de aviação. De acordo com a ICAO, já existem mais de 50 bilhões de litros de SAF contratados em acordos de comercialização, com mais de 553 plantas industriais previstas e investimentos anunciados que superam US\$ 67,5 bilhões em escala global²⁸. Apesar desse avanço, os volumes projetados ainda estão muito aquém das metas de descarbonização de longo prazo do setor aéreo, que estimam que a utilização de SAF deverá responder por cerca de 65% da mitigação necessária para o alcance de emissões líquidas zero de carbono até 2050²⁹.

²⁵ IATA. [\[Net zero 2050: sustainable aviation fuels\]](#).

²⁶ IATA. [\[Net zero 2050: sustainable aviation fuels \(SAF\). Fact sheet\]](#)

²⁷ ICAO. SAF. [\[SAF distribution in airports\]](#)

²⁸ ICAO. SAF. [\[SAF distribution in airports\]](#)

²⁹ IATA. [\[Net zero 2050: sustainable aviation fuels \(SAF\). Fact sheet\]](#)





Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

Entre os diversos atores envolvidos na produção ou no desenvolvimento de projetos de SAF em diferentes rotas tecnológicas, destacam-se empresas pioneiras como a finlandesa *Neste* e a norte-americana *World Energy*, que figuram entre os maiores produtores globais. A *Neste*, por exemplo, possui capacidade de produção anual superior a 1,5 bilhão de litros, com planos de expansão para 2,2 bilhões de litros por ano até o final de 2025³⁰. Outras empresas relevantes no cenário internacional incluem *TotalEnergies*, *OMV*, *Eni*, *Gevo*, *BP*, *Phillips 66*, *Fulcrum*, *SkyNRG*, *Avalon Energy*, *Alder Energy*, *Cemvita*, *USA BioEnergy*, *Shell Aviation*, *LanzaJet*, *SGP BioEnergy*, *Topsoe* e *Honeywell UOP*, entre outras^{31,32,33,34}.

2.4 Panorama de produção de SAF no Brasil

O Brasil consolidou-se como um dos principais produtores de bioenergia do mundo, ao lado de Estados Unidos, China e Índia, em razão do apoio público contínuo, aliado a condições sociais e tecnológicas favoráveis. Em 2023, o país produziu mais de 7 milhões de metros cúbicos de biodiesel e mais de 15 milhões de metros cúbicos de bioetanol (INPI, 2025). Esse histórico confere ao Brasil uma posição estratégica para o desenvolvimento do SAF, em função de sua expertise consolidada em biocombustíveis, da ampla disponibilidade de biomassa e da diversificada base de fontes renováveis de energia.

Atualmente, o país conta com iniciativas relevantes voltadas à produção de SAF por diferentes rotas tecnológicas. Contudo, ainda não há produção consolidada em escala comercial. A *Petrobras* lidera a produção experimental de SAF no Brasil e realizou, no final de 2025, a primeira produção em escala industrial em sua refinaria no estado de São Paulo. Por meio do coprocessamento, óleos vegetais foram incorporados ao processo convencional de produção de querosene de aviação, alcançando um teor de até 1,2% de componente renovável^{35,36}. A *Raízen*, *joint venture* entre as empresas *Shell* e *Cosan*, com unidades em São Paulo e no Rio de Janeiro, desenvolve a produção de SAF a partir da cana-de-açúcar, utilizando a rota tecnológica ATJ (*Alcohol-to-Jet*). O etanol produzido pela empresa

³⁰ P&S. [A Transformação Verde da Neste: Do Petróleo ao Combustível Sustentável de Aviação.]

³¹ Global Market Insights. [Sustainable Aviation Fuel Market Size - By Fuel Type, Technology, Blending Capacity, End Use Analysis, Share, Growth Forecast, 2025 – 2034]

³² Grease connections. [Identifying Leading SAF Producers & Refineries 2025 Guide]

³³ ICAP. SAF. [Production Facilities]

³⁴ Marketsandmarkets. [Sustainable Aviation Fuel (Biofuel) Market]

³⁵ [Petrobras testa produção de SAF com conteúdo renovável da Revap com foco na aviação sustentável]

³⁶ [Petrobras produz, pela primeira vez, SAF em escala industrial]





Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

foi certificado no âmbito do programa CORSIA como matéria-prima elegível para a produção de SAF, em conformidade com os padrões da ICAO³⁷. Destaca-se, ainda, a planta piloto instalada no *Hub* de Inovação e Tecnologia (HIT) do SENAI no Rio Grande do Norte, voltada à produção de SAF a partir da glicerina, coproduto da indústria de biodiesel com elevado valor energético³⁸.

Diversos projetos e investimentos vêm sendo anunciados no Brasil, com foco na ampliação da produção de SAF e na diversificação de matérias-primas e rotas tecnológicas. Entre os principais projetos previstos, destacam-se³⁹:

- i) o projeto da *Brasil BioFuels* (BBF), com início previsto para 2026, que contempla a implantação de uma biorrefinaria na Zona Franca de Manaus (AM) para produção de HVO (Óleo Vegetal Hidrotratado)⁴⁰ e SAF;
- ii) o projeto da *Petrobras*, com previsão para 2029, que prevê a instalação de uma unidade de produção de HVO e SAF anexa à refinaria de Cubatão (SP); e
- iii) o projeto da *Acelen*, com início estimado para 2027, que envolve a implantação de uma unidade de produção de HVO e SAF associada à Refinaria de Mataripe (BA).

Os projetos anunciados adotam majoritariamente a rota HEFA (*Hydroprocessed Esters and Fatty Acids*), tendo o óleo de soja como principal ou uma das principais matérias-primas. Também se observa a busca por diversificação, com a inclusão de outras fontes lipídicas, como óleo de palma, sebo bovino e macaúba. Considerando esses projetos, estima-se que a produção de SAF no Brasil possa alcançar cerca de 1,1 milhão de metros cúbicos ao ano em 2030, o que representa aproximadamente 12% da demanda de combustível de aviação prevista para os anos de 2030 a 2033⁴¹.

Além das iniciativas mencionadas, outras empresas também anunciaram projetos voltados à produção de SAF no país, entre as quais se destacam *Geo Bio*

³⁷ [Raízen é o primeiro player de etanol no mundo a receber certificação que habilita o produto para produção de SAF]

³⁸ SENAI. [RN ganha primeira planta piloto do Brasil para produzir combustível sustentável de aviação]

³⁹ EPE (2024). [Combustíveis Sustentáveis de Aviação no Brasil Sustainable Aviation Fuel – SAF. Perspectivas Futuras.]

⁴⁰ HVO é um combustível diesel renovável e de alta qualidade, produzido a partir de óleos vegetais, gorduras animais ou resíduos (como óleo de cozinha usado)

⁴¹ EPE (2024). [Combustíveis Sustentáveis de Aviação no Brasil Sustainable Aviation Fuel – SAF. Perspectivas Futuras.]





Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

*Gas & Carbon*⁴², *Refinaria Riograndense* (controlada por *Petrobras*, *Braskem* e *Grupo Ultra*)^{43,44}, *Satarem America*⁴⁵ e *BSBIO/Be8 Energy*⁴⁶.

2.5 Processos de produção de SAF

O SAF pode ser produzido a partir de diferentes rotas tecnológicas e diversas matérias-primas, tais como óleos vegetais, resíduos, biomassa sacarídica e biomassa lignocelulósica. Em comum esses insumos contêm carbono, elemento fundamental para a formação dos hidrocarbonetos compatíveis com o querosene de aviação fóssil⁴⁷. As principais rotas tecnológicas para a produção de SAF na atualidade são HEFA (*Hydroprocessed Esters and Fatty Acids*), ATJ (*Alcohol-to-Jet*), FT (*Fischer-Tropsch*) e coprocessamento. Todas essas rotas são certificadas pela ASTM International para a produção de combustíveis passíveis de mistura com o querosene de aviação convencional (Jet A/Jet A-1). No entanto, cada uma dessas rotas apresenta diferentes níveis de maturidade tecnológica, disponibilidade de matérias-primas e desafios logísticos e econômicos.

Atualmente, onze processos de conversão para a produção de SAF foram aprovados pela ASTM International e outros 11 processos de conversão estão atualmente em fase de avaliação⁴⁸. O processo de aprovação de um novo combustível de aviação é rigoroso e demorado, muito em função da necessidade de se garantir que as características físico-químicas e de desempenho do SAF atinja o alto nível de qualidade que o próprio querosene de aviação convencional deve apresentar. A Tabela 1 apresenta um resumo dos processos para a produção de SAF aprovados, bem como suas principais características.

⁴² Geo bio gas&carbo. [Combustível Sustentável de Aviação (SAF).]

⁴³ [Topsoe to provide technology for one of Brazil's first commercial scale sustainable aviation fuel production plants]

⁴⁴ [Refinaria da Petrobras no RS será convertida em biorrefinaria com aportes de R\$ 5,5 bilhões]

⁴⁵ [Companhia dos EUA apresenta projeto para construir fábrica de SAF no Paraná]

⁴⁶ [BSBIO e ALTA unidas pelo biocombustível de Aviação – SAF]

⁴⁷ Revista Pesquisa FAPESP [Estudos sobre o SAF avançam no país].

⁴⁸ ICAO. [SAF Conversion processes].



Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

TABELA 1. PROCESSOS AUTORIZADOS PELA ASTM PARA A PRODUÇÃO DE SAF E SUAS CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS.⁴⁹

Processos	Aprovação na ASTM	Limites de mistura	Matérias-primas	Características
FT-SPK <i>Synthesized kerosene with aromatics derived by alkylation of light aromatics from non-petroleum sources</i>	FT-SPK, ASTM D7566 Annex A1. Aprovado pela ASTM em junho/2009.	50%	Carvão, gás natural ou biomassa	Utiliza a gaseificação de biomassa lignocelulósica ou resíduos sólidos urbanos para produzir gás de síntese (CO e H ₂). Esse gás é então convertido em hidrocarbonetos líquidos através do reator Fischer-Tropsch.
FT-SKA <i>Synthesized kerosene with aromatics derived by alkylation of light aromatics from non-petroleum sources</i>	FT-SPK/A, ASTM D7566 Annex A4. Aprovado pela ASTM em novembro/2015.	50%	Carvão, gás natural ou biomassa	Semelhante à rota FT padrão, mas inclui a alquilação de aromáticos leves para produzir um combustível que contém os aromáticos.
HEFA-SPK <i>Hydroprocessed Esters and Fatty Acids Synthetic Paraffinic Kerosene</i>	HEFA-SPK, ASTM D7566 Annex A2. Aprovada em julho/2011.	50%	Óleos vegetais, gorduras animais ou óleos de cozinha usados	É a rota mais madura e utilizada comercialmente no momento. São utilizadas matérias-primas de lipídios, como óleos vegetais, gorduras animais ou óleos de cozinha. O processo envolve a desoxigenação dos lipídios seguida por hidrocrackeamento e isomerização para produzir n-parafinas e iso-parafinas.
HC-HEFA-SPK <i>Synthesized paraffinic kerosene from hydrocarbon - hydroprocessed esters and fatty acids</i>	HC-HEFA-SPK, ASTM D7566 Annex A7. ASTM aprovou em maio/2020.	10%	Óleo de algas	Mesmo processo HEFA-SPK, especificamente para a conversão do óleo de triglicerídeos derivados de algas (<i>Botryococcus braunii</i>) em hidrocarbonetos.
SIP <i>Synthesized iso-paraffins from hydroprocessed fermented sugars</i>	SIP, ASTM D7566 Annex A3. Aprovado em junho/2014.	10%	Biomassa utilizada na produção de açúcar	Utiliza açúcares fermentados por microrganismos modificados para produzir uma molécula específica, o farnesano (C15).
ATJ-SPK <i>Alcohol-to-Jet Synthetic Paraffinic Kerosene</i>	ATJ-SPK, ASTM D7566 Annex A5. A ASTM aprovou em abril/2016 para isobutanol e em junho/2018 para etanol.	50%	Etanol, isobutanol e isobuteno a partir de biomassa sacarídica e lignocelulósica	Conversão da biomassa sacarídica ou lignocelulósica em álcoois através de reações de fermentação ou gaseificação. Converte álcoois, como etanol ou isobutanol, em querosene parafínico sintético. O processo envolve desidratação do álcool, oligomerização de alkenos e hidrogenação.
ATJ-SKA <i>Alcohol-to-Jet Synthetic Kerosene with Aromatics</i>	ATJ-SKA, ASTM D7566 Annex 8. Aprovado em agosto/2023.	50%	Álcoois com dois a cinco carbonos (C2 a C5).	Conversão de álcool (C2 e C5) em um combustível <i>drop-in</i> por meio de desidratação, hidrogenação, oligomerização e hidrotratamento. Esse combustível, devido a presença de aromáticos pode chegar a 100% <i>drop-in</i> no futuro segundo os produtores.
CHJ ou CH-SPK <i>Catalytic hydrothermolysis jet fuel ou Catalytic Hydrothermolysis Synthesized Paraffinic Kerosene</i>	CH-SPK or CHJ, ASTM D7566 Annex A6. Aprovado em fevereiro/2020.	50%	Óleos vegetais, gorduras animais ou óleos de cozinha usados	Utiliza triglicerídeos (como óleos vegetais) em um processo de craqueamento hidrotérmico catalítico que gera todas as quatro famílias de hidrocarbonetos presentes no querosene convencional.

⁴⁹ Elaborado a partir de: ICAO. [SAF Conversion processes], MCTI, 2022 e U.S. Department of Energy, 2020.



Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

Processos	Aprovação na ASTM	Limites de mistura	Matérias-primas	Características
Coprocessamento de lipídios <i>Co-hydroprocessing of esters and fatty acids in a conventional petroleum refinery</i>	ASTM D1655 Annex A1.	5%	Óleos vegetais, gorduras animais ou óleo usado	Processamento de mono-, di- e triglicerídeos, ácidos graxos livres e ésteres de ácidos graxos (óleos vegetais, gorduras animais, óleos de cozinha usados) junto com o petróleo bruto.
Coprocessamento com hidrocarbonetos produzidos via Fischer-Tropsch <i>Co-hydroprocessing of Fischer-Tropsch hydrocarbons in a conventional petroleum refinery</i>	ASTM D1655 Annex A1.	5%	Carvão, gás natural, biomassas, e energia elétrica/carbono sustentável	Processamento de hidrocarbonetos derivados de gás de síntese (syngas) obtidos via processo Fischer-Tropsch (geralmente a partir de biomassa residual ou resíduos sólidos urbanos) usando catalisadores. Permite que refinarias de petróleo tradicionais processem matérias-primas renováveis junto com o petróleo bruto.
Coprocessamento de HEFA <i>Co-processing of HEFA</i>	ASTM D1655 Annex A1.	10%	Ésteres/ácidos graxos hidroprocessados a partir de biomassa	Forma mais avançada de processar matérias-primas lipídicas através de hidroprocessamento, que permite uma maior proporção de mistura final. Permite o processamento junto com o petróleo bruto em unidades de hidrotratamento existentes.

Além disso, outras rotas de produção de SAF encontram-se em desenvolvimento ou em processo de certificação. Essas tecnologias focam na maior redução de emissões, menores custos ou remoção total da necessidade de aromáticos fósseis (MCTI, 2022; Ismail, 2025; U.S. Department of Energy, 2020). Dentre elas destacam-se alguns exemplos:

- **PtL (Power-to-Liquid):** Também conhecida como e-fuels ou combustíveis sintetizados. Utiliza eletricidade renovável para realizar a eletrólise da água, produzindo hidrogênio verde, que é combinado com CO₂ capturado da atmosfera ou de fontes biogênicas para produzir querosene via síntese de Fischer-Tropsch (FT). Embora a base tecnológica (FT) já seja aprovada, o caminho PtL completo ainda busca viabilidade econômica e maturidade industrial.
- **HDCJ - Hydrodeoxygenation Catalytic Jet:** Processo de pirólise catalítica de óleos vegetais ou lignina para a produção direta de aromáticos e cicloparafinas.
- **Pirólise Rápida Catalítica com Hidrotratamento:** Envolve a decomposição térmica da biomassa na ausência de oxigênio para produzir um bio-óleo, que é então submetido ao tratamento com





Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

hidrogênio (HDO - Hidrodeoxigenação) para remover oxigênio e saturação.

- HTL - *Hydrothermal Liquefaction*: Converte biomassas úmidas (como lodo de esgoto e resíduos de alimentos) em um bio-crude sob alta pressão e temperatura em ambiente de água subcrítica. O bio-crude resultante requer apenas hidrotreatamento moderado para atingir a qualidade de querosene.
- IH² - *Integrated Hydropyrolysis and Hydroconversion*: Baseia-se na hidropirólise catalítica, que consiste na decomposição térmica da biomassa na presença de gás hidrogênio. O produto líquido resultante desse reator inicial é fracionado por destilação, e as frações aromáticas passam por uma etapa subsequente de hidroconversão (hidrotreatamento) para saturação dos anéis.
- HDO-SAK - *Hydro-deoxygenation Synthetic Aromatic Kerosene*: é uma rota tecnológica de produção de um componente de mistura (*blendstock*) para SAF, focada especificamente na geração de hidrocarbonetos aromáticos. A rota baseia-se na hidrodesoxigenação (HDO), um processo que utiliza hidrogênio para remover o oxigênio de moléculas derivadas de biomassa (como açúcares ou lignina).

A diversificação de matérias-primas e de tecnologias é considerada essencial para viabilizar a ampliação dos volumes de produção de SAF em escala global. Atualmente, a rota HEFA predomina na produção comercial de SAF e há projeções de que continue sendo a via dominante nos próximos anos, respondendo por mais de 80% da produção de SAF⁵⁰. Observa-se ainda um crescimento expressivo no número de projetos associados a rotas PtL (*Power-to-Liquid*), impulsionada principalmente por iniciativas na Europa e na China.

A China apresenta um histórico bem-sucedido no desenvolvimento e na implantação de energias renováveis, o que confere ao país um elevado potencial de influência no fornecimento global de SAF. Embora a produção atual de SAF no país esteja majoritariamente baseada na rota HEFA, há um direcionamento estratégico para projetos PtL, que, caso implementados com sucesso em larga escala, poderão provocar mudanças significativas no panorama produtivo global⁵¹.

⁵⁰ IATA. [\[Media Briefing. SAF and Net Zero updates 2025.\]](#)

⁵¹ IATA. [\[Media Briefing. SAF and Net Zero updates 2025.\]](#)





Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

A seguir as rotas HEFA, FT e ATJ são explicadas em mais detalhe.

2.5.1 Processo de produção de querosene parafínico sintético hidroprocessado (HEFA-SPK e HC-HEFA-SPK)

O processo HEFA-SPK foi o segundo processo de conversão de biomassa em SAF aprovado pela ASTM, recebendo certificação em 2011⁵², com uma proporção de mistura máxima de 50% em querosene de aviação comum. A produção de SAF pelas rotas HEFA e HC-HEFA consiste na conversão de triglicerídeos em cadeias de hidrocarbonetos renováveis através de reações que utilizam hidrogênio e catalisadores.

O processo se inicia com a extração de óleo rico em ácidos graxos e glicerídeos insaturados e sua posterior hidrogenação catalítica. Os triglicerídeos saturados são hidrolisados termicamente em glicerol e ácidos graxos livres, sendo o glicerol convertido em propano, enquanto os ácidos graxos livres sofrem hidrogenação e/ou descarboxilação, resultando em alcanos lineares de cadeia longa. Esses alcanos, por sua vez, passam por hidrocrackeamento e hidroisomerização para formar parafinas ramificadas (Figura 1). Essa fase de ramificação das cadeias alquílicas é essencial para ajustar o ponto de congelamento do combustível, de acordo com as normas exigidas para o combustível de aviação.

O HC-HEFA possui as mesmas etapas do processo HEFA, mas se utiliza da conversão do óleo de triglicerídeos derivado da alga *Botryococcus braunii*. A rota HC-HEFA foi certificada pela ASTM D7566 em 2020 e seu percentual máximo de mistura é de 10%. O HEFA é considerado o método de produção de SAF mais eficiente em termos de energia e, atualmente, a opção comercialmente mais viável para SAF, sendo a principal rota de síntese de SAF utilizada até o momento. Devido à composição isoparafínica e ausente em aromáticos, que proporciona uma queima mais limpa, os combustíveis HEFA também apresentam emissões reduzidas de óxidos de nitrogênio (MCTI, 2022; U.S. Department of Energy, 2020; Ng *et al*, 2021).

⁵² ASTM D7566 Annex A2



Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

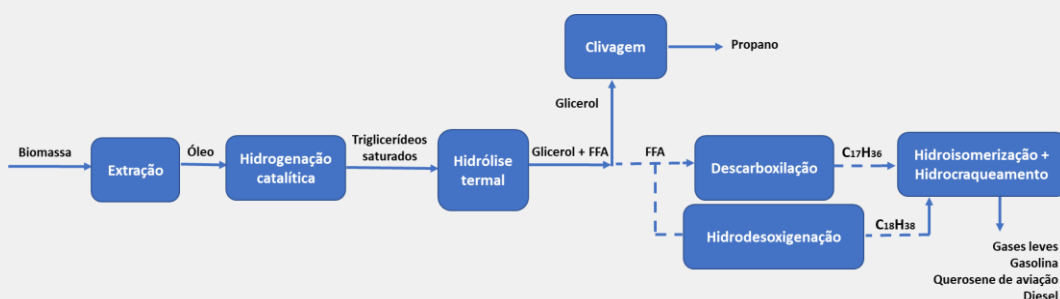


FIGURA 1: PROCESSO HEFA PARA PRODUÇÃO DE QUEROSENE DE AVIAÇÃO DE BIOMASSA.
FONTE: ADAPTADO DE NG ET AL, 2021

2.5.2 Processo querosene parafínico sintético via *Fischer-Tropsch* (FT-SPK e FT-SKA)

As rotas de obtenção de SAF FT-SPK e FT-SKA utilizam a gaseificação de biomassa sólida para gerar o gás de síntese (Figura 2). O processo inicia com o pré-tratamento da biomassa (secagem, moagem, entre outros), que em seguida é submetida ao processo termoquímico de gaseificação com o objetivo de convertê-la em gás de síntese. O Fischer-Tropsch (FT) é um processo termoquímico de síntese utilizado para converter gás de síntese em hidrocarbonetos líquidos. O gás de síntese, que serve como matéria-prima, é composto principalmente por uma mistura de hidrogênio (H_2) e monóxido de carbono (CO). A reação química fundamental ocorre dentro de um reator Fischer-Tropsch, onde o gás passa por catalisadores (geralmente baseados em ferro ou cobalto) para formar cadeias de hidrocarbonetos. Na etapa final ocorrem reações de acabamento (hidrocraqueamento e hidrotratamento) e o subsequente fracionamento para separação da fração do querosene de aviação.

O FT-SPK foi o primeiro processo aprovado pela ASTM para a produção de SAF em 2009. A rota de obtenção de FT-SKA é uma variante que inclui uma fração de hidrocarbonetos aromáticos. Esses aromáticos são derivados da alquilação de aromáticos leves provenientes de fontes não petrolíferas. Na composição do SAF, os hidrocarbonetos aromáticos desempenham um papel técnico crucial para garantir que o combustível seja do tipo *drop-in*, ou seja, totalmente compatível com as aeronaves e a infraestrutura de abastecimento existentes sem necessidade de modificações, especialmente no que se refere à compatibilidade com selos e



Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

vedações⁵³ e atendimento aos requisitos de densidade da ASTM (MCTI, 2022; U.S. Department of Energy, 2020; Ng *et al*, 2021).

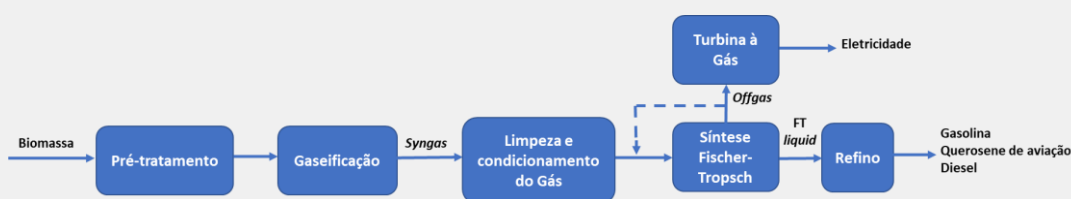


FIGURA 2: PROCESSOS INTEGRADOS DE GASIFICAÇÃO, FT, REFINO/HIDROPROCESSAMENTO PARA A PRODUÇÃO DE GASOLINA, QUEROSENE DE AVIAÇÃO E DIESEL.
 FONTE: ADAPTADO DE NG ET AL, 2021

2.6 Processo de produção de querosene parafínico sintético a partir de álcool (ATJ-SPKe ATJ-SKA)

O processo ATJ (*Alcohol-to-jet*) envolve a geração de álcoois de cadeia curta, produzidos a partir de fontes renováveis, com a posterior conversão em SAF, ou seja, em hidrocarbonetos mais longos (C8-C16) e ramificados (Figura 3).

A produção de álcoois a partir de fontes renováveis inclui desde rotas consolidadas, como a fermentação alcoólica, até alternativas mais inovadoras, como as rotas termoquímicas. Diferentes tipos de bio-álcoois vêm sendo considerados para a rota ATJ, como metanol, etanol, n-butanol e isobutanol. A etapa de conversão dos álcoois de cadeia curta em hidrocarbonetos de cadeia mais longa possui duas rotas principais, uma a partir do metanol e outra a partir dos álcoois superiores.

No processo ATJ-SPK, o álcool passa por desidratação, oligomerização e hidrogenação completa para formar apenas cadeias saturadas. A oligomerização é necessária para o aumento do tamanho da cadeia de carbonos do grupamento álcool e a etapa de hidrogenação se faz necessária para a eliminação de ligações duplas das cadeias carbônicas. Após a destilação, é produzido um querosene

⁵³A função mais crítica dos aromáticos é garantir o inchamento de selos e vedações de elastômeros (como anéis *o-ring* de borracha nitrílica) presentes nos sistemas de combustível. Desta forma, minimizam a deterioração das partes das borrachas de vedação, previnem vazamentos e auxiliam na manutenção da pressão hidráulica no motor.



Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

parafínico sintético composto quase inteiramente por parafinas (iso-parafinas e n-parafinas), livre de aromáticos e cicloparafinas. No processo ATJ-SKA, desenvolvido pela empresa sueca *Swedish Fuels*, parte da síntese é direcionada para a ciclização e aromatização (geralmente usando catalisadores de zeólita), permitindo a criação de anéis aromáticos de fonte renovável antes da mistura final. A inclusão de aromáticos (SKA) visa permitir que, futuramente, o SAF possa ser utilizado em concentrações superiores a 50% ou até 100%, sem depender da mistura com querosene fóssil para obter aromáticos (MCTI, 2022; U.S. Department of Energy, 2020; Ng *et al*, 2021).

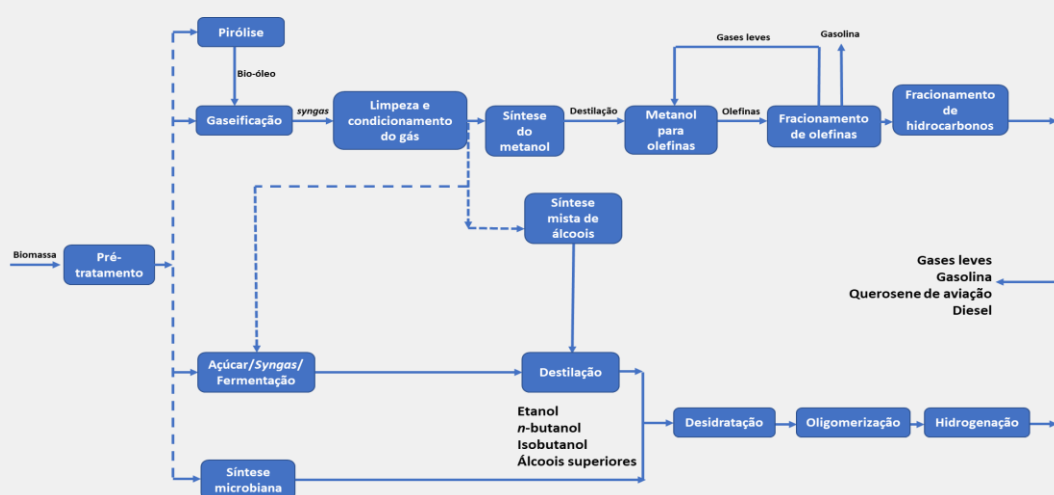


FIGURA 3: ILUSTRAÇÃO DO MECANISMO DE CONVERSÃO DE ÁLCOOIS EM COMBUSTÍVEL DE AVIAÇÃO ATRAVÉS DO PROCESSO ATJ.

FONTE: ADAPTADO DE NG ET AL, 2021

2.7 Políticas para a produção do SAF no mundo e no Brasil

Alguns países já aprovaram legislações específicas e outras políticas no intuito de suportar iniciativas organizacionais para a promoção do crescimento da produção e adoção do SAF como combustível. A Tabela 2 abaixo apresenta alguns dos países que já possuem legislações e políticas ligadas à produção e/ou consumo do SAF assim como os principais objetivos das mesmas.



Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

TABELA 2: LEGISLAÇÕES E POLÍTICAS PARA A PRODUÇÃO E/OU CONSUMO DO SAF⁵⁴.

País	Legislações e/ou Políticas	Ano	Objetivos
Estados Unidos da América	Independência Energética e Lei de Segurança (EISA).	2007	Produzir 16 bilhões de galões de etanol celulósico (equivalente a 9,8 bilhões de galões de combustível de aviação).
	Fazenda para voar	2010	Produzir 1 bilhão de galões de biocombustíveis de aviação de uso imediato anualmente.
	Padrão de Combustível Renovável 2 (RFS2)	2011	Introduzir um sistema de comércio de créditos que exija que produtores e importadores de petróleo sejam obrigados a usar combustível renovável.
	Projeto de Produção Biocombustíveis avançados	2014	Produzir 100 milhões de galões de diesel marítimo verde e SAF para os militares por menos de US\$ 4 por galão e manter as emissões 50% mais baixas do que com o uso dos combustíveis convencionais.
	Conselho de Recursos Aéreos da Califórnia: Política de Padrão de combustível de baixo carbono	2018	Introduzir um sistema de incentivo econômico que utilize um sistema de créditos negociáveis obtidos através da produção de combustível limpo.
	Ato do Combustível Sustentável de Aviação	2021	Estabelecer um crédito fiscal de US\$ 1,50 a US\$ 1,75 por galão do SAF, dependendo da redução de gases do efeito estufa (GEE) alcançada pelo SAF.
União Europeia	Trajetoária de voo dos Biocombustíveis Avançados Europeus	2011	Produzir 2 milhões de toneladas do SAF por ano.
	(Directive) 2008/101/EC	2012	Introduzir o pagamento pelas emissões de carbono para qualquer voo entrando na região da UE.
	ReFuelEU - Iniciativa para aviação	2021	Atingir 2% de uso do SAF em 2025 e até 63% de uso em 2050.
Japão	Iniciativas para combustíveis de aviação da próxima geração	2014	Estabelecer uma cadeia de abastecimento para SAF no Japão.
	Projeto de Produção Biocombustíveis avançados	2015	Operar voos para as Olimpíadas e Paraolimpíadas de Tóquio Jogos usando SAF.
China	Acordo entre o Quadro de óleo de palma da Malásia e o a câmara de comércio da China	2019	Desenvolver uma planta industrial para produção do SAF com um investimento de US\$ 480 milhões oriundos da China.
Indonésia	Plano de ação nacional da Indonésia	2013	Alcançar 2% de mistura de combustíveis renováveis em 2016, 3% até 2020, e 5% até 2025.
	Esquema de carbono Arquipelágico	2013	Certificar qualquer redução nas emissões de GEE através da introdução de sistema de crédito de carbono (uma unidade de crédito equivale a 1,1 tonelada redução de CO ₂).
Portugal	Roadmap para a neutralidade de carbono em 2050	2019	Alcançar a descarbonização no setor da aviação até 2050.
França	Lei de mudanças climáticas	2020	Abastecer 5% das necessidades de combustível de aviação usando SAF.
Espanha	Lei de mudanças climáticas	2020	Abastecer 2% das necessidades de combustível de aviação usando SAF.
Suécia	Iniciativa Sueca Indústria livre de fósseis	2020	Atingir uma proporção de mistura SAF de 30% em 2030.

⁵⁴ Dados de legislações e políticas para SAF no mundo obtidos em Shahriar & Khanal, 2022.





Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

País	Legislações e/ou Políticas	Ano	Objetivos
	Consórcio dos governos dos Países Baixos e Suécia e empresas	2021	Desenvolvimento de uma planta operacional em 2026 para produzir SAF a partir de resíduos florestais, utilizando o processo de Fischer-Tropsch, com uma produção anual de 16 toneladas do SAF
Brasil	Política Nacional Brasileira de Biocombustíveis	2019	Reduzir a intensidade da pegada de carbono promovendo a descarbonização de todos os combustíveis e criando um mercado de créditos de carbono.
	Programa Nacional do Bioquerosene	2021	Incentivar a pesquisa e o fomento da produção de energia à base de biomassas, visando à sustentabilidade da aviação brasileira.
	Edital de Financiamento de Investimento em SAF	2024	Edital conjunto do BNDES e Finep para a produção de combustíveis sustentáveis de aviação (SAF).
	Nova Indústria Brasil – Missão 5	2024	Aumentar a participação dos biocombustíveis na matriz energética dos transportes de 21% para 50% até 2033; Reduzir em 30% as emissões de CO ₂ no valor adicionado ao PIB pela indústria; aumentar o uso sustentável da biodiversidade pela indústria em 1% ao ano.
	Lei do combustível do futuro	2024	Promover a mobilidade sustentável de baixo carbono; consolidar o país como líder na transição energética global, focando no aumento da participação de biocombustíveis na matriz energética. Estabelece programas nacionais para diesel verde, SAF e biometano, além de aumentar a mistura de etanol e biodiesel à gasolina e ao diesel, respectivamente. A partir de 2027, as companhias aéreas serão obrigadas a utilizar o SAF para reduzir as emissões de gases do efeito estufa em voos domésticos.

2.8 Informação tecnológica contida nos documentos de patentes na área dos combustíveis sustentáveis de aviação

As bases de dados de patentes constituem um repositório único e altamente relevante de informações tecnológicas. Para a obtenção de uma patente, os inventores são obrigados a divulgar de forma detalhada a tecnologia que pretendem proteger, o que frequentemente ocorre anos antes de os produtos ou processos correspondentes serem introduzidos no mercado. Dessa forma, uma parcela significativa do conhecimento técnico gerado no âmbito das atividades de pesquisa, desenvolvimento e inovação (P&D&I) é registrada exclusivamente nos documentos de patente.

Essa característica singular dos dados patentários confere às patentes um papel fundamental como fonte de informação tecnológica, oferecendo subsídios valiosos para a orientação de atividades de P&D&I. A análise sistemática desses documentos possibilita a identificação de tecnologias protegidas, o mapeamento do estado da arte, a prevenção de esforços redundantes de pesquisa e a revelação de tendências emergentes no cenário global de inovação. Além disso, as informações contidas nos documentos de patente podem ser utilizadas como indicadores quantitativos e qualitativos da dinâmica inovativa, permitindo o





Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

monitoramento da evolução tecnológica, a identificação de atores-chave, o reconhecimento de gargalos tecnológicos e a prospecção de oportunidades em setores específicos. Assim, o uso estratégico da informação tecnológica presente nas patentes contribui para a tomada de decisão baseada em evidências, o fortalecimento da competitividade e o aprimoramento de políticas públicas voltadas ao desenvolvimento tecnológico e à inovação.

Um estudo recente publicado pela Organização Mundial da Propriedade Intelectual apresenta um panorama abrangente sobre o futuro do transporte (WIPO, 2025). A partir da análise de patentes relacionadas aos diversos modais de transporte, o estudo constatou que o setor de transporte aéreo é a segunda modalidade com maior atividade de desenvolvimento tecnológico. Com uma elevada taxa de crescimento anual, o número de famílias de patentes depositadas nesse setor aumentou de aproximadamente 1.100, em 2000, para mais de 12.800 em 2023. Sustentabilidade e digitalização configuram-se como as tendências dominantes que vêm transformando o setor, concentradas em três grandes áreas tecnológicas:

- i. Tecnologias de propulsão sustentável, que incluem turbinas aeronáuticas mais eficientes, combustíveis sustentáveis de aviação, aeronaves elétricas e/ou híbridas movidas a baterias e aeronaves movidas a hidrogênio, com potencial para reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e melhorar a sustentabilidade ambiental;
- ii. Tecnologias de comunicação e segurança, como sistemas de navegação avançados, comunicação dispositivo a dispositivo, computação em nuvem e redes de baixa latência, que contribuem para maior eficiência operacional, segurança e melhoria da experiência do usuário;
- iii. Tecnologias de automação e circularidade, voltadas ao uso eficiente de materiais, à manufatura inteligente e à adoção de práticas aprimoradas de reciclagem.

O referido estudo identifica ainda os SAF como uma tendência emergente no setor aéreo. Segundo a análise, a comunidade científica tem demonstrado crescente interesse nesse tema, evidenciado pelo aumento do número de publicações dedicadas ao aprimoramento dos processos de produção, à avaliação dos impactos ambientais e à melhoria do desempenho dos SAF em aplicações





Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

aeronáuticas. No que se refere à atividade de patenteamento, observa-se que os depósitos relacionados aos SAF começaram a crescer no final da década de 2000, atingindo um pico em 2014, com 128 famílias de patentes. Após um período de relativa estabilidade, a atividade apresentou declínio, voltando a se recuperar de forma significativa apenas em 2023, quando ultrapassou 150 famílias de patentes.

Em 2025, o INPI publicou um estudo sobre as principais tendências tecnológicas e os padrões de uso da propriedade industrial no setor de biocombustíveis no Brasil. De acordo com o levantamento, o bioetanol e o biodiesel predominam entre as invenções depositadas no país, enquanto o bioquerosene responde por cerca de 3% dos pedidos de patente relacionados a biocombustíveis. O estudo também identificou um protagonismo crescente de depositantes brasileiros na proteção de invenções nesse setor, com destaque para o biodiesel e o bioquerosene. No contexto nacional, foi observado ainda um volume expressivo de recursos destinados à P&D&I em bioquerosene de aviação nos últimos anos, sinalizando o interesse estratégico nesse tipo de combustível. Contudo, tais investimentos ainda não se refletem de forma proporcional nos grupos de pesquisa e publicações científicas internacionais de pesquisadores brasileiros, nem no volume de pedidos de patente depositados no Brasil relacionados a este tema (INPI, 2025). Ainda em relação a patentes na área de SAF, outro estudo com levantamento global de pedidos de patente de tecnologias de produção de combustíveis SAF identificou uma grande concentração da rota HEFA. Entre os principais depositantes de patentes identificados destacam-se as empresas *UOP*, *Exxon*, *ConocoPhillips*, *Petrobras*, *Shell*, *Total*, *Neste* e *Haldor Topsoe* (Gonçalves, 2023).





Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

3 Desenho metodológico resumido

Os pedidos de patente relacionados a combustíveis sustentáveis de aviação (SAF) foram recuperados a partir de bases de dados de patentes, por meio da aplicação de estratégias de busca que combinam classificações de patentes e palavras-chave, conforme detalhado no Apêndice.

O levantamento foi realizado em âmbito mundial e incluiu exclusivamente pedidos de patente com ano de depósito a partir do ano 2000. Os documentos identificados foram organizados em famílias de patentes e, ao longo do estudo, cada família foi considerada representativa de uma única invenção. Com o objetivo de abranger de forma ampla o cenário de informação tecnológica e de produção de conhecimento, todos os pedidos recuperados foram incluídos na análise, independentemente de seu *status* legal vigente nos respectivos países de depósito.

Os pedidos de patente foram categorizados de acordo com a área tecnológica da invenção e a matéria-prima envolvida, com base em metodologia própria, também descrita no Apêndice. Adicionalmente, procedeu-se à limpeza e à harmonização dos dados bibliográficos, o que permitiu o agrupamento de empresas de um mesmo grupo sob uma mesma designação de depositante. Todos os atributos associados a uma mesma invenção foram considerados na análise, incluindo, entre outros, a totalidade de seus depositantes, classificações e categorias tecnológicas.

No que se refere aos pedidos de patente depositados no Brasil, os dados bibliográficos, o perfil dos depositantes brasileiros e as informações relativas ao andamento processual foram obtidos a partir da Base de Informação Tecnológica do INPI (BINTEC).

O conjunto de pedidos de patente identificados no Radar está disponível para acesso através do [painel de dados](#) interativo, que consolida as informações extraídas dos pedidos de patente e oferece visualizações dos dados, que podem ser customizadas, utilizando-se os parâmetros empregados neste estudo.



4 Resultados e discussão

4.1 Panorama mundial dos depósitos de famílias de pedidos de patente de tecnologias relacionadas aos SAF

4.1.1 Dados gerais dos pedidos de patente

Em nível mundial, foram identificadas 2.505 invenções que descrevem tecnologias relacionadas aos SAF, contabilizadas a partir do número de famílias de pedidos de patente com data de depósito entre 2000 e 2025 (Figura 4).

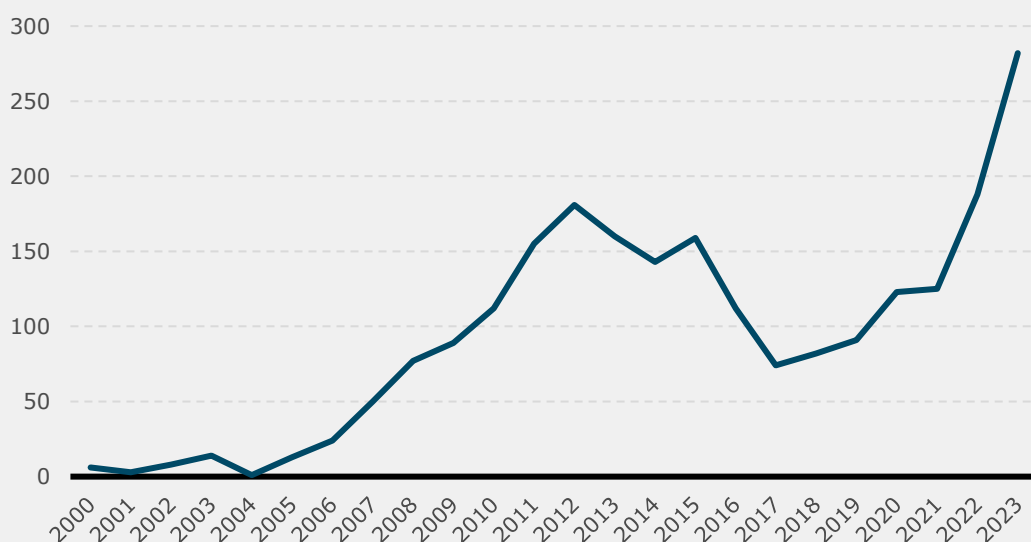


FIGURA 4. NÚMERO DE FAMÍLIAS DE PEDIDOS DE PATENTE RELACIONADAS AOS SAF NO MUNDO POR ANO DE DEPÓSITO⁵⁵.

⁵⁵ Os dados dos pedidos de patente depositados em 2024 e 2025 não foram incluídos na figura uma vez que, a maioria dos pedidos depositados nos últimos anos ainda não foram publicados em razão do período de sigilo de 18 meses a partir da data de depósito concedido pelo sistema de patentes, a menos que seja solicitada a publicação antecipada pelo depositante (disponível em alguns países). Deste modo, o quantitativo identificado em 2024 e 2025 ainda não são representativos do montante total para esses anos.



Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

As invenções associadas aos SAF concentram-se majoritariamente nos últimos 15 anos, sendo que o período de 2000 a 2009 responde por menos de 12% do total de invenções identificadas. Observa-se o início de uma trajetória de crescimento a partir de 2006, que culminou em mais de 140 invenções depositadas anualmente no intervalo entre 2011 e 2015, seguida por uma redução significativa no número de depósitos.

No entanto, nos últimos cinco anos observa-se uma retomada expressiva da atividade de depósito de tecnologias relacionadas aos SAF, com crescimento acelerado no número de novas invenções depositadas por ano a partir de 2018, alcançando em 2023 o marco de 282 invenções.

4.1.2 Origem das invenções

No que se refere à origem geográfica das tecnologias identificadas, os principais países de origem das invenções relacionados aos SAF são os Estados Unidos da América, responsáveis por 46% das invenções, e a China, com 20%. O Brasil ocupa a 11ª posição, figurando como país de origem de aproximadamente 1,4% das invenções depositadas (Figura 5), sendo a maior parte desses depósitos proveniente da empresa *Petrobras*.

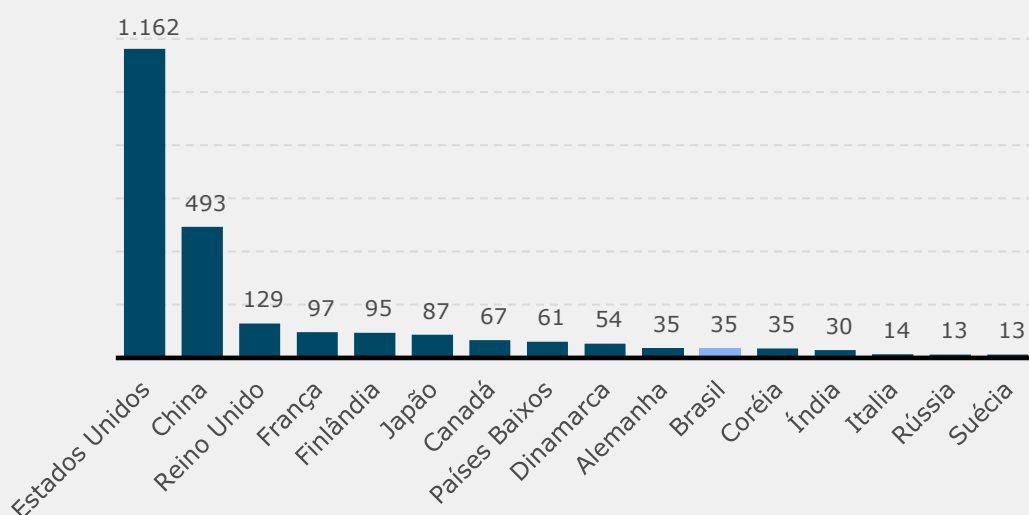


FIGURA 5. NÚMERO DE FAMÍLIAS DE PEDIDOS DE PATENTE POR PAÍS DE ORIGEM DOS DEPOSITANTES DAS INVENÇÕES RELACIONADAS AOS SAF NO MUNDO.



Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

Em uma análise desagregada por quinquênios os Estados Unidos mantêm-se como o principal país de origem das tecnologias associadas aos SAF ao longo de todo o período analisado (Figura 6). A China, por sua vez, apresentou crescimento acelerado na atividade de patenteamento, alcançando recentemente volumes comparáveis aos dos EUA. No intervalo de 2020 a 2025, cada um desses países foi responsável por cerca de 30% do total de pedidos de patente depositados.

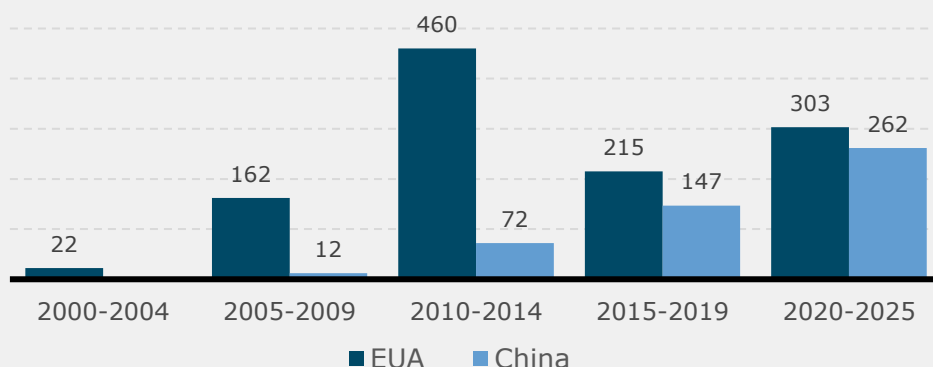


FIGURA 6. NÚMERO DE FAMÍLIAS DE PEDIDOS DE PATENTE RELACIONADAS AOS SAF DEPOSITADAS NO MUNDO COM ORIGEM EM EUA E CHINA POR PERÍODO.

Além da China, que concentrou mais da metade dos depósitos entre 2020 e 2025, observa-se uma intensificação recente da geração de invenções relacionadas aos SAF também em outros países, indicando o caráter emergente e dinâmico das tecnologias deste setor em escala global. Entre os países que aceleraram a geração de invenções, com metade ou mais de suas famílias de patente depositadas a partir do ano 2020, destacam-se: Reino Unido (71%), Dinamarca (61%), Coreia do Sul (49%), Brasil (49%) e Índia (70%) (Figura 7).



Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

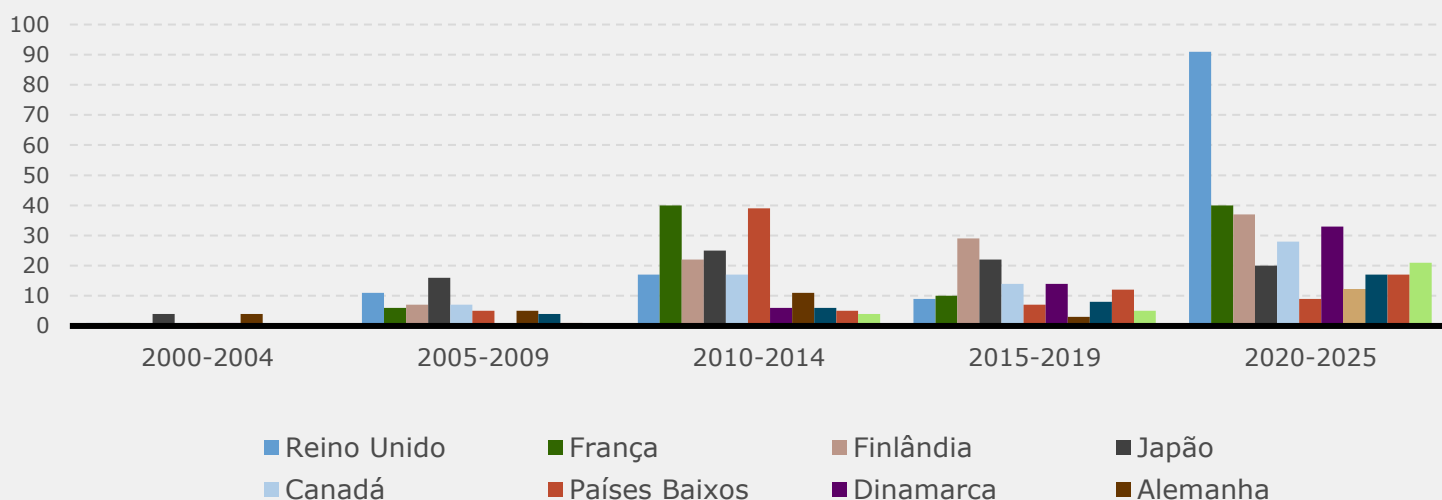


FIGURA 7. NÚMERO DE FAMÍLIAS DE PEDIDOS DE PATENTE RELACIONADAS AOS SAF NO MUNDO POR PERÍODO DOS PRINCIPAIS PAÍSES DE ORIGEM (EXCETO EUA E CHINA, JÁ APRESENTADOS NA FIGURA ANTERIOR).

4.1.3 Perfil dos depositantes

Os depositantes com maior número de pedidos de patente relacionados aos SAF incluem as empresas *Honeywell UOP* (EUA), *Rolls Royce* (Reino Unido), *Chevron/REG (Renewable Energy Group)* (EUA), *Neste* (Finlândia), *Exxonmobil* (EUA), *SINOPEC* (China) e *Shell* (Países Baixos). Conforme ilustrado na Figura 8, observa-se um predomínio de grandes empresas globais com atuação consolidada nos setores de óleo, gás, energia e petroquímica, tais como *Honeywell UOP*, *Chevron*, *Neste*, *Exxonmobil*, *Sinopec*, *Shell*, *Totalenergies* e *Topsoe*. O predomínio de grandes companhias globais indica o potencial de mercado associado a este novo combustível, refletido no investimento em desenvolvimento de tecnologias aplicadas à esfera industrial, com foco na criação de novos produtos e no aprimoramento de processos produtivos.

Paralelamente, instituições de pesquisa também figuram entre os principais depositantes de patentes, com destaque para o *Dalian Institute of Chemical Physics*, vinculado à *Academia Chinesa de Ciências (Chinese Academy of Sciences – CAS)*, e para o *IFP Energies Nouvelles (Institut Français du Pétrole – IFPEN)*, da França. A participação expressiva de instituições de pesquisas científicas e tecnológicas sinaliza a intensa dinâmica científico-tecnológica característica de áreas emergentes. O perfil das invenções sinaliza a coexistência de tecnologias de



Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

SAF já em estágio de produção industrial com outras ainda em fases iniciais de maturidade tecnológica, cujo avanço em direção à comercialização demanda investimentos adicionais em pesquisa, desenvolvimento e inovação.

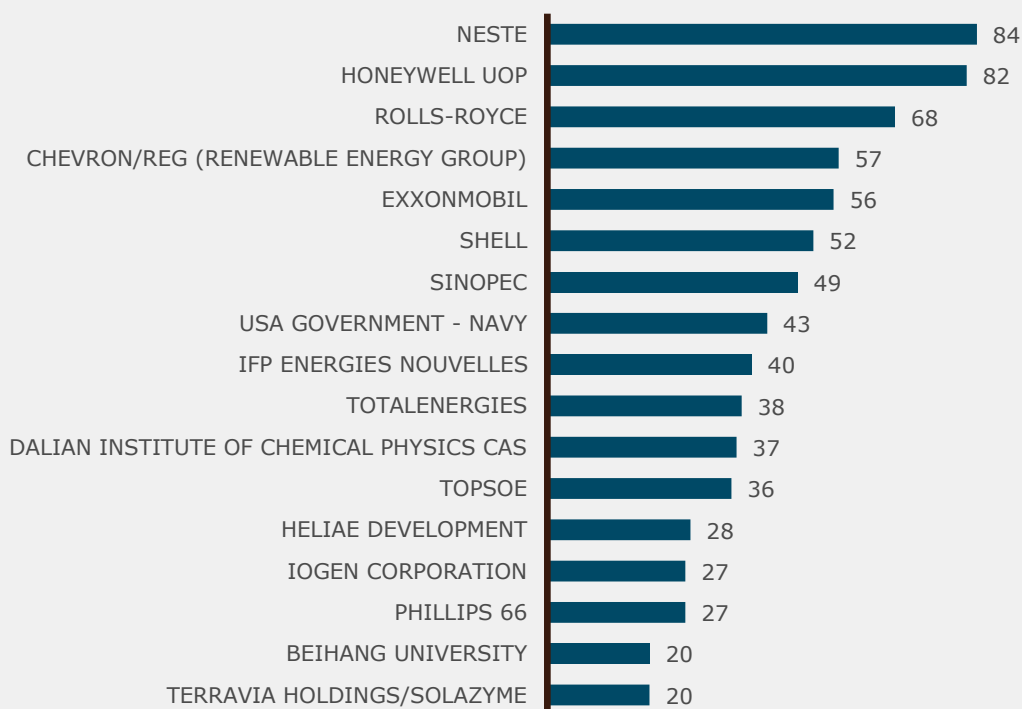


FIGURA 8. NÚMERO DE FAMÍLIAS DE PEDIDOS DE PATENTE DOS PRINCIPAIS DEPOSITANTES DE INVENÇÕES RELACIONADAS AOS SAF NO MUNDO.

A análise da dinâmica de depósitos ao longo do tempo (Tabela 3) mostra as empresas *Neste*, da Finlândia, e *Honeywell UOP*, dos EUA, entre os principais depositantes de invenções na área ao longo de todo intervalo temporal analisado (inclusive no período de 2000 a 2009, não mostrado na tabela por concentrar menos de 12% dos pedidos). Por outro lado, diversas empresas assumiram um lugar de protagonismo entre os depositantes nos anos mais recentes como a britânica *Rolls-Royce*, as estadunidenses *Chevron* e *Exxonmobil*, as chinesas *Sinopec* e *Henan Junheng Industrial Group Biological Technology*, a dinamarquesa *Topsoe*, a francesa *Totalenergies*, a canadense *Iogen Corporation* e a brasileira *Petrobras*.





Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

TABELA 3. PRINCIPAIS DEPOSITANTES DE INVENÇÕES RELACIONADAS AOS SAF DEPOSITADOS NO MUNDO POR PERÍODO^{56,57}

	2010-2014 [751 FAMÍLIAS, 30%]	2015-2019 [518 FAMÍLIAS, 21%]	2020-2025 [942 FAMÍLIAS, 38%]
1.	SHELL [36]	NESTE [28]	ROLLS-ROYCE [61]
2.	HELIAE DEVELOPMENT [28]	USA GOVERNMENT - NAVY [23]	CHEVRON/REG (RENEWABLE ENERGY GROUP) [43]
3.	HONEYWELL UOP [28]	DALIAN INSTITUTE OF CHEMICAL PHYSICS CHINESE ACADEMY OF SCIENCES [21]	SINOPEC [35]
4.	IFP ENERGIES NOUVELLES [24]	HONEYWELL UOP [11]	TOPSOE [33]
5.	PHILLIPS 66 [20]	SINOPEC [10]	NESTE [32]
6.	NESTE [17]		EXXONMOBIL [31]
7.	USA GOVERNMENT - NAVY [17]		HONEYWELL UOP [28]
8.	EXXONMOBIL [16]		TOTALENERGIES [23]
9.	COOL PLANET ENERGY SYSTEMS/COOL PLANET BIOFUELS [13]		IOGEN CORPORATION [17]
10.	DALIAN INSTITUTE OF CHEMICAL PHYSICS CHINESE ACADEMY OF SCIENCES [12]		HENAN JUNHENG INDUSTRIAL GROUP BIOLOGICAL TECHNOLOGY [15]
11.	TERRAVIA HOLDINGS/SOLAZYME [12]		BEIHANG UNIVERSITY [12]
12.	TOTALENERGIES [11]		PETROBRAS [11]
13.	INAERIS TECHNOLOGIES/KIOR [10]		SOUTHEAST UNIVERSITY [10]
14.	UPM-KYMMENE CORPORATION [10]		

⁵⁶ Listados todos os depositantes com mais de 10 famílias de pedidos de patente depositados no período.

⁵⁷ Entre colchetes consta o número de famílias de pedidos de patente relacionadas aos SAF no mundo associada a cada depositante no período





Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

4.1.4 Áreas tecnológicas das invenções associadas aos SAF

Entre as invenções associadas aos SAF, observa-se que a ampla maioria, aproximadamente 80% do total, está relacionada ao processamento químico e bioquímico de biomassa para a obtenção de combustíveis destinados à aviação (Figura 9). Além da biomassa, identificam-se também invenções que utilizam outros insumos como matéria-prima, destacando-se o uso de “resíduos de plástico ou borracha” e de “hidrogênio”, mencionados em 12% e 11% das invenções, respectivamente.

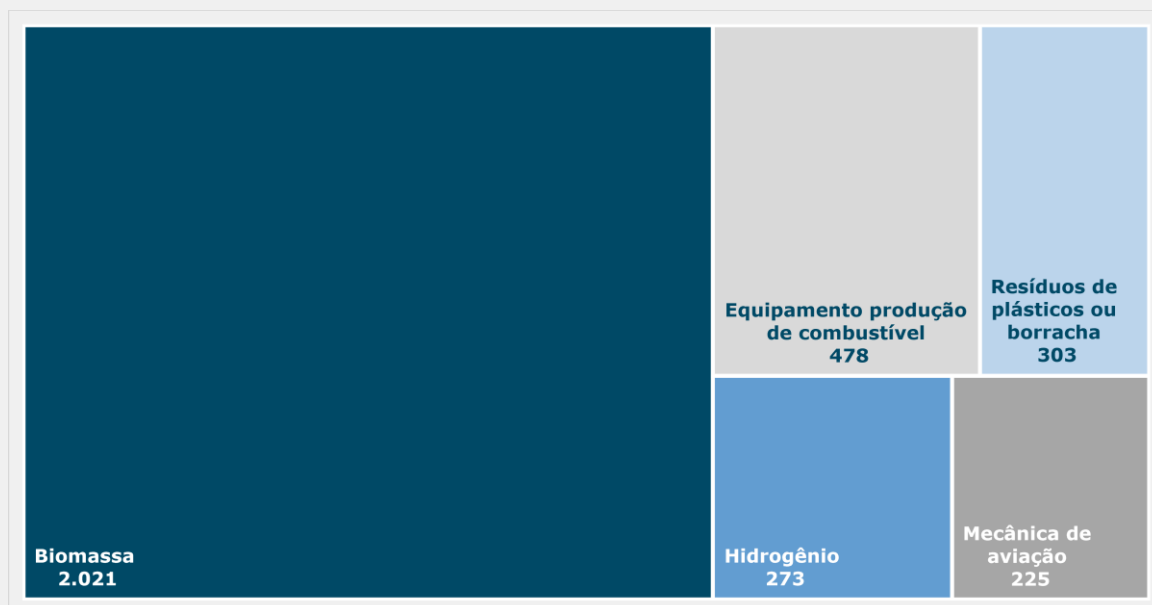


FIGURA 9. ÁREAS TECNOLÓGICAS DAS INVENÇÕES ASSOCIADAS AOS SAF⁵⁸.

Cerca de um quinto das invenções descreve avanços técnicos associados a máquinas e equipamentos aplicados aos processos de produção de combustíveis, enquanto 9% das invenções estão relacionadas a elementos mecânicos e de controle vinculados à aviação (Figura 9).

⁵⁸ Uma mesma invenção pode pertencer a mais de uma área tecnológica de acordo com a natureza da mesma.



Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

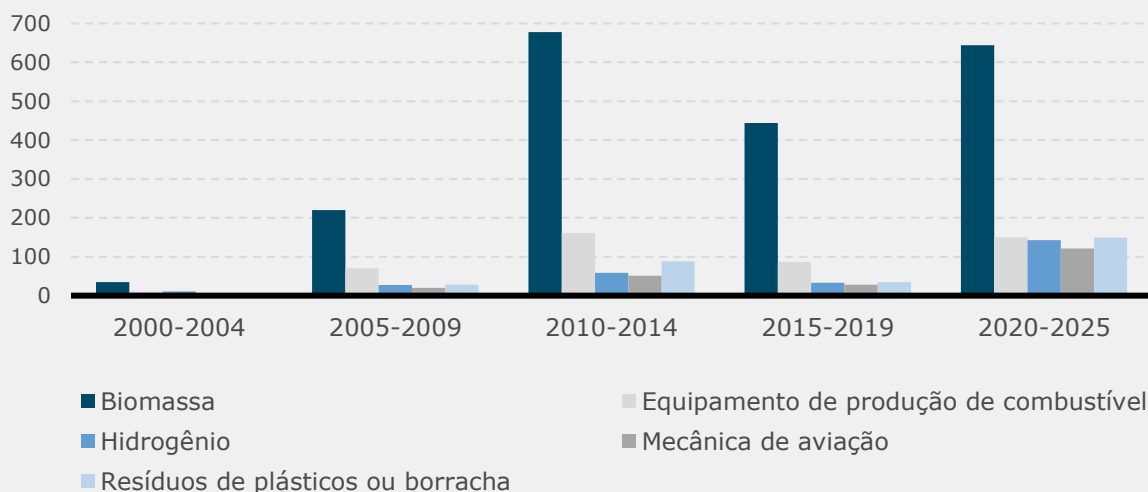


FIGURA 10. NÚMERO DE FAMÍLIAS DE PEDIDOS DE PATENTE NO MUNDO RELACIONADAS AOS SAF POR ÁREA TECNOLÓGICA POR PERÍODO.

Ao longo de todo o período analisado, o processamento de biomassa para a produção de combustíveis manteve-se como a área tecnológica predominante (Figura 10). Os principais depositantes nessa área são grandes empresas globais dos setores de energia, óleo e gás, como *Neste*, *Exxonmobil*, *Sinopec*, *Shell* e *Chevron / REG (Renewable Energy Group)*, além da *Honeywell Uop* ligada à indústria de refino e petroquímica (ver Tabela 4). Entre os principais depositantes também figuram instituições de pesquisa, como o *IFP Energies Nouvelles* e *Dalian Institute of Chemical Physics*, vinculado à *Chinese Academy of Sciences*.

As invenções relacionadas a equipamentos de produção, que representam cerca de 20% do total associado aos SAF, abrangem reatores, fornos, plantas industriais e sistemas aplicados aos processos químicos e bioquímicos de produção de combustíveis. Essa parcela relevante das invenções, associada a equipamentos e sistemas aplicados aos processos produtivos, representa os esforços contínuos de otimização industrial.

No período mais recente, as áreas associadas ao uso de “resíduos de plástico ou borracha” e de “hidrogênio” ganharam relevância, cada uma alcançando cerca de 15% das invenções depositadas entre 2020 e 2025 (Figura 10). Essas tecnologias emergentes associadas ao uso de hidrogênio/e-fuels e ao reaproveitamento de resíduos de plástico ou borracha refletem a busca por diversificação de matérias-primas e maior sustentabilidade ambiental.





Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

O uso de resíduos plásticos ou de borracha é particularmente relevante nas invenções das empresas *Honeywell Uop*, *Neste* e *Chevron / REG (Renewable Energy Group)*, aparecendo em mais de um terço de seus pedidos de patente (Tabela 4). Outras empresas de menor porte que se destacam nessa área são *Anellotech* e *Inentec*, ambas sediadas nos Estados Unidos.

Na área de “hidrogênio”, sobressaem as tecnologias associadas aos *e-fuels* ou rotas *power-to-liquid* (PtL), nas quais o hidrogênio produzido a partir de fontes renováveis é combinado com carbono proveniente da biomassa, da atmosfera ou de fontes industriais para a produção de combustíveis sintéticos. Nessa área, destacam-se as empresas *Iogen Corporation* e *Infinium Technology* (Tabela 4).

As invenções relacionadas à mecânica de aviação também apresentaram crescimento ao longo do período analisado, passando de 7% entre 2000 e 2019 para 13% do total de invenções depositadas entre 2020 e 2025 (Figura 10). As invenções referem-se principalmente a sistemas e controles de fornecimento de combustível, turbinas e tecnologias de propulsão. A principal depositante nessa área é a empresa *Rolls-Royce*, responsável por quase um terço dos pedidos, seguida por *General Electric Company* e *Airbus* (Tabela 4).

Embora o SAF seja classificado como um combustível do tipo *drop-in*, isto é, compatível com os sistemas atuais de abastecimento e motores aeronáuticos sem a necessidade de modificações mecânicas, as patentes identificadas nessa área tecnológica abordam diversas estratégias para otimizar seu uso. Entre elas destacam-se:

- i. sistemas de combustível flexíveis que permitem o uso de diferentes combustíveis em distintas fases do voo, através do direcionamento dos respectivos combustíveis ou misturas a injetores de combustível pré-determinados na câmara de combustão;
- ii. a medição e determinação das características do combustível, incluindo a proporção de SAF;
- iii. a otimização da alocação de combustível para minimizar emissões de partículas não voláteis (nvPM) considerando a disponibilidade limitada de SAF;
- iv. a utilização de SAF na unidade de potência auxiliar (APU), que visa à melhora da qualidade do ar nos aeroportos e adjacências, uma vez que a unidade de potência auxiliar é utilizada principalmente no solo,





Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

- antes da partida dos motores principais, para fornecer energia elétrica e pneumática;
- v. o controle da taxa de vazamento (*spill*) em sistemas de propulsão;
 - vi. otimização no gerenciamento dos sistemas de troca térmica de acordo com o poder calorífico, estabilidade térmica e lubrificidade de cada combustível, visando garantir consistência e segurança operacional.

TABELA 4. NÚMERO DE FAMÍLIAS DE PEDIDOS DE PATENTE DOS PRINCIPAIS DEPOSITANTES POR ÁREA TECNOLÓGICA.

ÁREA TECNOLÓGICA	DEPOSITANTES	Nº DE INVENÇÕES/FAMÍLIAS DE PEDIDOS DE PATENTE NA ÁREA	% EM RELAÇÃO AO TOTAL DE INVENÇÕES DO DEPOSITANTE
Biomassa [2.021, 81%]	1.NESTE	84	93%
	2.HONEYWELL UOP	82	79%
	3.EXXONMOBIL	56	82%
	4.SINOPEC	49	94%
	5.SHELL	52	85%
	6.IFP ENERGIES NOUVELLES	40	98%
	7.CHEVRON/REG (RENEWABLE ENERGY GROUP)	57	65%
	8.DALIAN INSTITUTE OF CHEMICAL PHYSICS	37	100%
	9.USA GOVERNMENT - NAVY	43	84%
	10.TOTALENERGIES	38	89%
Equipamento produção de combustível [478, 19%]	1.HONEYWELL UOP	13	16%
	2.ENSYN RENEWABLES	9	75%
	3.SHELL	8	17%
	4.SUNDROP FUELS	8	100%
	5.SINOPEC	7	14%
	6.BP	6	50%
	7.FULCRUM BIOENERGY	6	100%
	8.INENTEC	6	100%
	9.IOGEN CORPORATION	6	22%
	10.POWERDYNE	6	100%
	11.TERRAVIA HOLDINGS/SOLAZYME	6	30%
	12.THERMOCHEM RECOVERY INTERNATIONAL	6	100%
	13.UNIVERSITY OF CALIFORNIA	6	43%
Resíduos de plásticos ou borracha	14.HONEYWELL UOP	31	38%
	15.NESTE	29	35%
	16.CHEVRON/REG (RENEWABLE ENERGY	24	42%



Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

[303, 12%]	17.IFP ENERGIES NOUVELLES	13	33%
	18.TOPSOE	10	28%
	19.SHELL	9	17%
	20.EXXONMOBIL	8	14%
	21.ANELLOTECH INC.	6	86%
	22.INENTEC	6	100%
	23.TOTALENERGIES	6	16%
Hidrogênio [273, 11%]	1.IOGEN CORPORATION	18	67%
	2.INFINIUM TECHNOLOGY	9	100%
	3.HONEYWELL UOP	8	10%
	4.ROLLS-ROYCE	8	12%
	5.TOPSOE	7	19%
	6.AFTON CHEMICAL CORPORATION	6	86%
	7.POWERDYNE	6	100%
	8.THERMOCHEM RECOVERY INTERNATIONAL	6	100%
	9.AIRBUS	5	45%
	10.VELOCYS TECHNOLOGIES	5	71%
Mecânica [225, 9%]	1.ROLLS-ROYCE	68	100%
	2.GENERAL ELECTRIC COMPANY	13	68%
	3.AIRBUS	11	100%
	4.BEIHANG UNIVERSITY	6	30%
	5.POWERDYNE	5	83%

4.1.4.1 Tipo de biomassa envolvida na produção de combustível

No grupo de pedidos associados à tecnologia de processamento químico e bioquímico de biomassa para a obtenção de SAF, identificado no item anterior (Item 4.1.4), foi realizada uma análise mais detalhada para evidenciar as distintas características da biomassa utilizada como matéria-prima. Em razão das características da invenção, é comum que um mesmo pedido de patente seja classificado em mais de uma entre as categorias elencadas na análise: biomassa vegetal, biomassa animal, biomassa de microrganismo, resíduos, lipídios e carboidratos. Por exemplo, uma invenção que utiliza óleo vegetal será categorizada como biomassa vegetal e também como lipídio.

Entre as invenções relacionadas ao uso de biomassa, a maioria envolve a utilização de biomassa vegetal, enquanto biomassas de origem animal ou de microrganismos são mencionadas em uma proporção menor (Figura 11).



Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

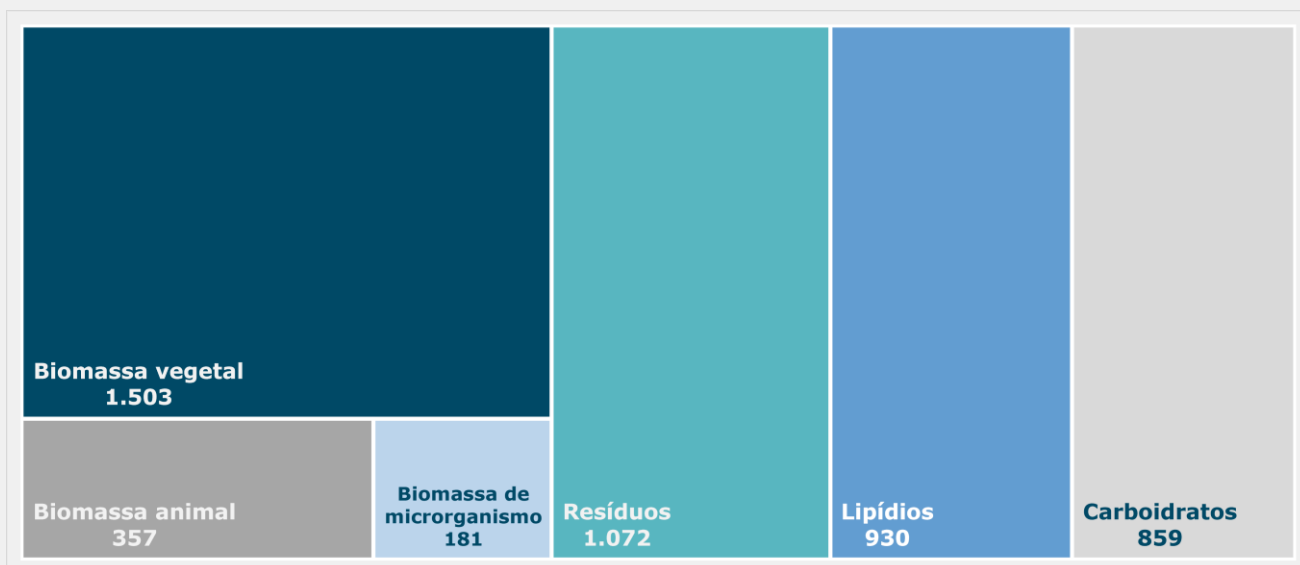


FIGURA 11. TIPO DE BIOMASSA RELACIONADA ÀS INVENÇÕES DE SAF NA ÁREA TECNOLÓGICA DE BIOMASSA.⁵⁹

Ao longo do período analisado, a biomassa vegetal manteve participação em torno de 70% das invenções relacionadas à biomassa, enquanto a biomassa animal esteve presente em aproximadamente 18%. A biomassa de microrganismos apresentou um pico de participação entre 2010 e 2014, quando representou cerca de 14% das invenções, mas nos períodos mais recentes essa participação foi reduzida, alcançando apenas 5% das invenções relacionadas à biomassa entre 2020 e 2025 (Figura 12).

Entre os principais depositantes de invenções envolvendo biomassa, a biomassa vegetal é mencionada com maior frequência como fonte de matéria-prima por empresas como *Terravia Holdings/Solazyme*, *Inaeris Technologies/Kior*, *Petrobras* e *Virent Energy Systems*, nas quais mais de 90% do conjunto de invenções está associado a esse tipo de biomassa.

⁵⁹ Uma mesma invenção pode pertencer a mais de uma categoria referente ao tipo de biomassa de acordo com a natureza da mesma.



Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

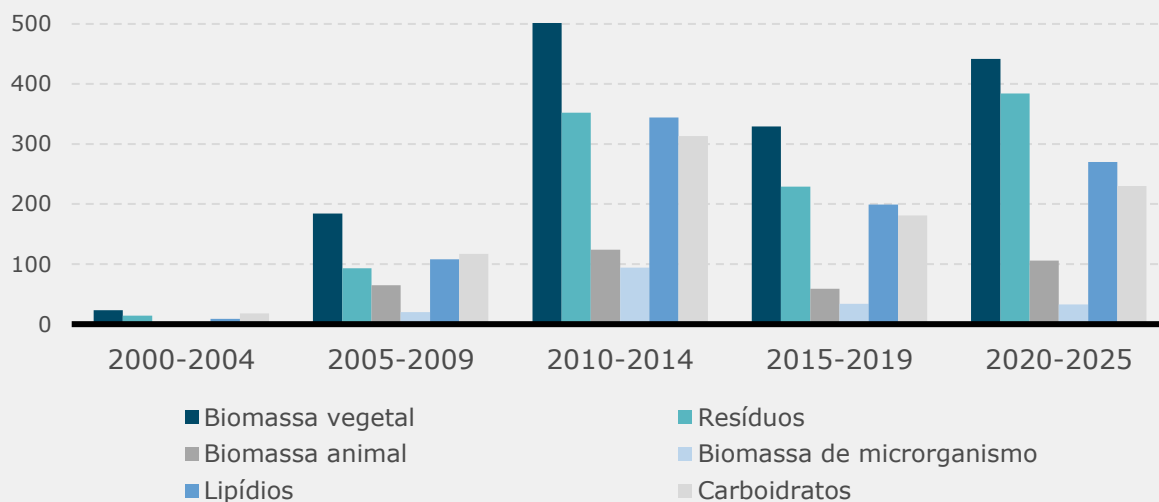


FIGURA 12. NÚMERO DE FAMÍLIAS DE PEDIDOS DE PATENTE POR TIPO DE BIOMASSA POR PERÍODO.

A biomassa de microrganismos constitui a principal fonte de matéria-prima nas invenções depositadas pelas empresas *Heliae Development* e *Terravia Holdings/Solazyme*, nas quais esse tipo de biomassa é citada em todas ou quase todas as invenções. A biomassa obtida a partir dos microrganismos é principalmente lipídica e pode ser aplicada, por exemplo, na rota HEFA para produção de SAF.

A biomassa animal, por sua vez, não figura como principal fonte de matéria-prima entre os depositantes analisados. As invenções da empresa *Neste* são aquelas onde a biomassa animal é citada com maior frequência, sendo os resíduos de gordura animal uma das matérias-primas base para utilização em suas refinarias a fim de obter produtos renováveis⁶⁰.

A utilização de "resíduos" como fonte de biomassa é mencionada em cerca de metade das invenções (Figura 11). Essa temática vem ganhando relevância e apresenta crescimento expressivo ao longo do tempo, alcançando aproximadamente 60% das invenções relacionadas à biomassa no período de 2020 a 2025 (Figura 12).

⁶⁰ Neste. [\[Renewable raw materials in our portfolio today\]](#)





Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

A biomassa a partir de resíduos é uma das principais categorias de matéria-prima identificadas nos pedidos de patente. A tendência de ampliação da incorporação de matérias-primas locais e residuais na produção de SAF, favorece a integração entre economia circular e produção de combustíveis sustentáveis e o atingimento dos critérios de sustentabilidade associados ao processo de produção do combustível. Os principais depositantes de invenções envolvendo biomassa a partir de resíduos são as empresas *Honeywell Uop*, *Neste* e *Shell*. Destaca-se ainda a empresa *Cool Planet Energy Systems/Cool Planet Biofuels*, na qual 89% das invenções estão relacionadas ao uso de biomassa proveniente de resíduos.

Do ponto de vista bioquímico, a biomassa utilizada como matéria-prima na síntese de SAF pode ser classificada em dois grandes grupos: “carboidratos” e “lipídios”. No primeiro grupo, os carboidratos de estruturas complexas, provenientes de biomassas sacarídicas ou lignocelulósicas, são convertidos, de forma bioquímica ou térmica, em moléculas mais simples, tais como álcoois ou gás de síntese, que após etapas adicionais dão origem a combustíveis líquidos. No segundo grupo, na biomassa de lipídeos (incluindo gorduras, óleos, ceras, entre outros) os ácidos graxos são transformados por reações de catálise química, seguidas de etapas subsequentes de síntese, resultando na formação de hidrocarbonetos utilizados no SAF. Biomassas do tipo “carboidratos” são empregadas principalmente em rotas como ATJ, FT e HFS, enquanto biomassas do tipo “lipídios” estão associadas, sobretudo, às rotas HEFA e CHJ.

Os processos de produção de combustível envolvendo “lipídios” estão presentes em 46% das invenções associadas à biomassa ao longo do período analisado (Figura 11). Muitas dessas invenções tratam da produção de combustíveis líquidos por meio de processamentos catalíticos, abordando aspectos relacionados aos catalisadores e leitos catalíticos, especialmente nas reações de hidroxidação, hidrotreamento, hidrocrackeamento e hidroisomerização de hidrocarbonetos. Entre as organizações com maior concentração de invenções nesse grupo destacam-se *Neste*, *Heliae Development*, *Totalenergies*, *Terravia Holdings/Solazyme*, *Energy & Environmental Research Center Foundation* e *Upm-Kymmene Corporation* (Tabela 5).

Os processos envolvendo “carboidratos” aparecem em 43% das invenções associadas à biomassa (Figura 11); entretanto, no período mais recente, entre 2020 e 2025, sua participação reduziu-se para 36% (Figura 12). Essas invenções estão majoritariamente relacionadas a processos de fermentação, em especial para a produção de etanol e butanol. Os depositantes que destinaram maior





Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

proporção de suas invenções a esse tipo de biomassa incluem *Shell*, *Terravia Holdings/Solazyme*, *Virent Energy Systems* e *Novozymes* (Tabela 5).

TABELA 5. NÚMERO DE FAMÍLIAS DE PEDIDOS DE PATENTE DOS PRINCIPAIS DEPOSITANTES POR TIPO DE BIOMASSA.

TIPO DE BIOMASSA	DEPOSITANTES	Nº DE INVENÇÕES/ FAMÍLIAS DE PEDIDOS DE PATENTE	% EM RELAÇÃO AO TOTAL DE INVENÇÕES DO DEPOSITANTE RELACIONADAS À BIOMASSA
Biomassa vegetal [1.503, 74%]	1.NESTE	66	79%
	2.HONEYWELL UOP	45	55%
	3.SHELL	41	79%
	4.EXXONMOBIL	34	61%
	5.IFP ENERGIES NOUVELLES	34	85%
	6.CHEVRON/REG (RENEWABLE ENERGY GROUP)	30	53%
	7.SINOPEC	30	61%
	8.USA GOVERNMENT - NAVY	30	70%
	9.DALIAN INSTITUTE OF CHEMICAL PHYSICS CHINESE	29	78%
	10.PHILLIPS 66	23	85%
Resíduos [1.072, 53%]	1.NESTE	46	55%
	2.HONEYWELL UOP	41	50%
	3.SHELL	31	60%
	4.SINOPEC	24	49%
	5.IFP ENERGIES NOUVELLES	19	48%
	6.CHEVRON/REG (RENEWABLE ENERGY GROUP)	19	33%
	7.TOTALENERGIES	19	50%
	8.COOL PLANET ENERGY SYSTEMS/COOL PLANET	17	89%
	9.EXXONMOBIL	17	30%
	10.IOGEN CORPORATION	17	63%
	11.PHILLIPS 66	17	63%
Lipídios [930, 46%]	1.NESTE	65	77%
	2.HONEYWELL UOP	41	50%
	3.HELIAE DEVELOPMENT	28	100%
	4.SINOPEC	27	55%
	5.CHEVRON/REG(RENEWABLE ENERGY GROUP)	26	46%
	6.TOTALENERGIES	23	61%
	7.EXXONMOBIL	21	38%
	8.TERRAVIA HOLDINGS/SOLAZYME	20	100%



Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

	9.IFP ENERGIES NOUVELLES	19	48%
	10.ENERGY & ENVIROMENTAL RESEARCH CENTER	14	100%
	11.TOPSOE	14	39%
	12.UPM-KYMMENE CORPORATION	14	78%
Carboidratos [859, 43%]	1.SHELL	34	65%
	2.USA GOVERNMENT - NAVY	24	56%
	3.NESTE	23	27%
	4.TERRAVIA HOLDINGS/SOLAZYME	17	85%
	5.TOTALENERGIES	15	39%
	6.EXXONMOBIL	14	25%
	7.HELIAE DEVELOPMENT	14	50%
	8.PHILLIPS 66	14	52%
	9.HONEYWELL UOP	13	16%
	10.VIRENT ENERGY SYSTEMS	13	100%
	11.IFP ENERGIES NOUVELLES	12	30%
	12.NOVOZYMES	12	92%
Biomassa animal [357, 18%]	1.NESTE	47	56%
	2.HONEYWELL UOP	27	33%
	3.CHEVRON/REG (RENEWABLE ENERGY GROUP)	21	37%
	4.IFP ENERGIES NOUVELLES	18	45%
	5.EXXONMOBIL	17	30%
	6.TOTALENERGIES	14	37%
	7.SINOPEC	11	22%
Biomassa de microorganismo [181, 9%]	1.HELIAE DEVELOPMENT	28	100%
	2.NESTE	25	30%
	3.HONEYWELL UOP	19	23%
	4.TERRAVIA HOLDINGS/SOLAZYME	18	90%

4.1.5 Países ou regiões onde se buscou proteção por patente para as invenções

Os EUA constituem o principal território de busca por proteção patentária para as invenções relacionadas a combustíveis sustentáveis de aviação (Figura 13). Além de representarem o primeiro destino de proteção para os depositantes de origem estadunidense, os EUA figuram também entre os principais destinos de depósito para patentes geradas por depositantes de diversas regiões do mundo (Tabela 6). A China e o Escritório Europeu de Patentes (*European Patent Office – EPO*) também se destacam entre os principais escritórios de depósito, seguidos por Canadá, Brasil, Japão, Índia e Austrália.



Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

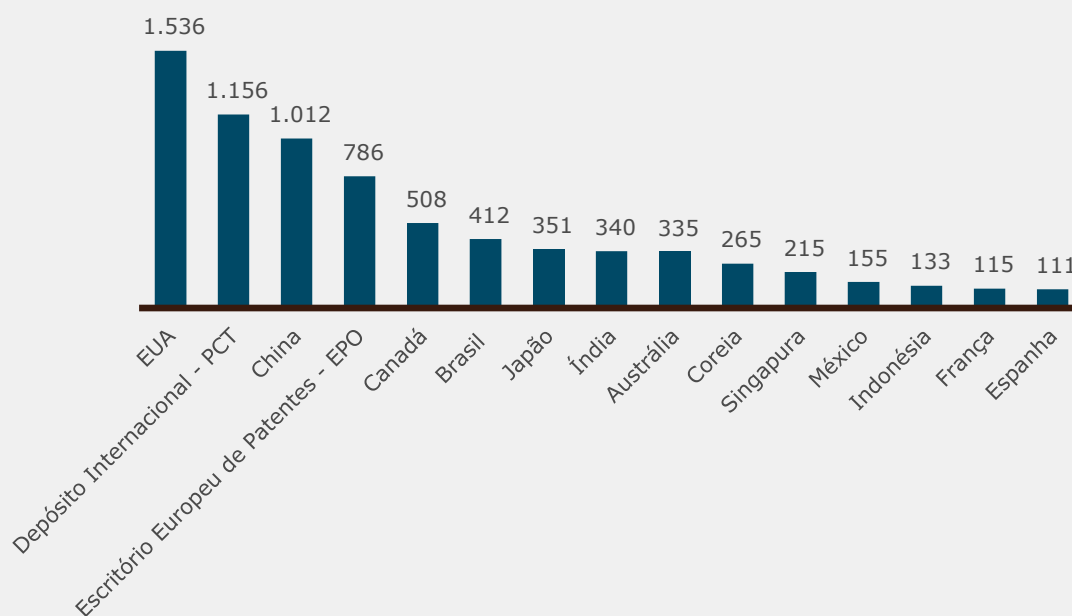


FIGURA 13. PRINCIPAIS ESCRITÓRIOS DE PATENTE COM DEPÓSITO DE INVENÇÕES RELACIONADAS AOS SAF.

Observa-se que uma parcela expressiva das invenções analisadas buscou proteção internacional por meio do sistema de patentes. Aproximadamente metade das invenções resultou em depósitos internacionais via Tratado de Cooperação em Matéria de Patentes (PCT), e cerca de 40% das invenções geraram ao menos um pedido de depósito adicional em outro país ou escritório regional, além do pedido inicial. De modo geral, conforme evidenciado na Tabela 6, os depositantes realizam o primeiro depósito no país de origem da invenção e, posteriormente, decidem pela extensão da proteção a outros territórios, utilizando os mecanismos previstos nos acordos internacionais, como a Convenção da União de Paris (CUP) ou o PCT.

O perfil de depósito varia de acordo com as estratégias de proteção adotadas pelas organizações. Depositantes sediados nos EUA, em países europeus e no Japão apresentam maior propensão à extensão da proteção patentária para outros países ou regiões, quando comparados aos depositantes chineses, os quais, em sua maioria, concentram seus pedidos de patente exclusivamente no território da China (Tabela 6).





Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

O Brasil é um importante destino de depósito para invenções relacionadas aos SAF, figurando em 6º lugar ao receber pedidos de patente para 412 das 2.505 (16%) invenções geradas no mundo. O país é especialmente relevante para depositantes oriundos dos EUA, França, Japão, Finlândia, Países Baixos e Dinamarca. Destaca-se, nesse contexto, a atividade de depósito de empresas estrangeiras *Honeywell UOP* e *Chevron/REG (Renewable Energy Group)*; *BP* (dos EUA/Reino Unido); *Neste* e *Upm-Kymmene Corporation* (da Finlândia); *Shell* (da Países Baixos); e o instituto de pesquisa francês *IFP Energies Nouvelle*. Isso reflete a percepção do Brasil como uma potencial base produtiva estratégica e a atratividade do mercado brasileiro como território de proteção tecnológica.

TABELA 6. PRINCIPAIS DESTINOS DE DEPÓSITO POR PAÍS DE ORIGEM DAS INVENÇÕES.

PAÍS DE ORIGEM DAS INVENÇÕES	Nº DE INVENÇÕES/FAMÍLIAS DE PEDIDOS DE PATENTE	MÉDIA DO Nº DE PAÍSES ONDE A INVENÇÃO FOI DEPOSITADA	PRINCIPAIS DESTINOS DE DEPÓSITO
1.EUA	1.153	3,3	Estados Unidos [1.075, 93%] Depósito Internacional - PCT [654, 57%] Escritório Europeu de Patentes [393, 34%] Canadá [279, 24%] China [263, 23%] Brasil [204, 18%]
2.CHINA	492	1,3	China [490, 100%] Depósito Internacional - PCT [20, 4%] Estados Unidos [16, 3%] Escritório Europeu de Patentes [8, 2%]
3.REINO UNIDO	122	3,7	Estados Unidos [86, 70%] Reino Unido [74, 61%] Escritório Europeu de Patentes [46, 38%] Depósito Internacional - PCT [39, 32%] Alemanha [36, 30%] França [34, 28%] China [27, 22%]
4.FRANÇA	86	4,3	França [77, 90%] Depósito Internacional - PCT [63, 73%] Escritório Europeu de Patentes [48, 56%] Estados Unidos [45, 52%] China [27, 31%] Brasil [19, 22%] Canadá [19, 22%] Índia [19, 22%]





Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

5.JAPÃO	84	3,7	Japão [78, 93%] Depósito Internacional - PCT [40, 48%] Estados Unidos [33, 39%] China [28, 33%] Escritório Europeu de Patentes [27, 32%] Coreia [15, 18%] Índia [15, 18%] Brasil [14, 17%] Indonésia [14, 17%]
6.FINLÂNDIA	76	5,2	Depósito Internacional - PCT [57, 75%] Estados Unidos [56, 74%] Finlândia [46, 61%] China [44, 58%] Escritório Europeu de Patentes [44, 58%] Canadá [41, 54%] Brasil [32, 42%] Singapura [22, 29%] Coreia [15, 20%]
7.CANADÁ	66	3	Estados Unidos [42, 64%] Depósito Internacional - PCT [34, 52%] Canadá [32, 48%] Escritório Europeu de Patentes [21, 32%] Índia [10, 15%]
8.PAÍSES BAIXOS	55	4,6	Depósito Internacional - PCT [48, 87%] Estados Unidos [47, 85%] Escritório Europeu de Patentes [39, 71%] Brasil [33, 60%] China [32, 58%] Canadá [28, 51%] Índia [25, 45%] Austrália [24, 44%] África do Sul [12, 22%] Indonésia [12, 22%]
9.DINAMARCA	38	4,7	Depósito Internacional - PCT [37, 97%] Estados Unidos [24, 63%] Escritório Europeu de Patentes [23, 61%] China [15, 39%] Austrália [10, 26%] Canadá [10, 26%] Índia [10, 26%] Brasil [8, 21%]
10.COREIA	35	1,7	Coreia [34, 97%] Estados Unidos [9, 26%] Depósito Internacional - PCT [7, 20%] China [5, 14%] Escritório Europeu de Patentes [4, 11%]





Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

1. BRASIL	34	2,4	Brasil [32, 94%] Depósito Internacional - PCT [13, 38%] Estados Unidos [13, 38%] Escritório Europeu de Patentes [9, 26%] Canadá [6, 18%] Argentina [5, 15%] China [5, 15%]
2. ÍNDIA	30	2,4	Índia [28, 93%] Depósito Internacional - PCT [10, 33%] Estados Unidos [4, 13%] Escritório Europeu de Patentes [3, 10%]

No que se refere a dimensão territorial da proteção patentária, cabe ressaltar que as invenções relacionadas aos SAF tiveram um expressivo aumento recente no número de depósitos, concentrando 28% das invenções a partir de 2022. Em razão do prazo concedido para entrada em fase nacional pelos acordos internacionais CUP e PCT (de 12 e 30 meses a partir do primeiro depósito, respectivamente) boa parte das invenções identificadas no estudo ainda se encontravam com possibilidade de depósito em outros países ou regiões. Deste modo, esse conjunto de invenções mais recente, identificados com data de depósito a partir de 2022, pode sofrer alteração na composição das famílias de pedidos de patente, em razão do depósito de pedidos de patente em novos países ou regiões.





Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

4.1.6 Panorama mundial dos depósitos de famílias de pedidos de patente relacionadas aos SAF de depositantes brasileiros e suecos

4.1.6.1 Famílias de pedidos de patente relacionadas aos SAF de depositantes brasileiros

A partir do levantamento mundial de famílias de pedidos de patente relacionadas aos SAF, foram identificadas 35 famílias depositadas por brasileiros. A Tabela 7 apresenta a relação completa desses depositantes, destacando-se a *Petrobras* com 14 famílias de pedidos de patente, e a *Universidade Estadual de Campinas – Unicamp*, com 4 famílias de pedidos de patente. Entre as invenções desenvolvidas pelo *Instituto Nacional de Tecnologia - INT*, três foram depositadas em regime de parceria: duas em conjunto com o *Instituto Militar de Engenharia (IME)*, e uma em parceria com a *Petrobras*⁶¹. Essas invenções estão associadas, sobretudo, a processos catalíticos de hidrogenação e hidrogenólise aplicados à produção de SAF.

TABELA 7. DEPOSITANTES BRASILEIROS DE INVENÇÕES PARA PRODUÇÃO DO SAF NO MUNDO

DEPOSITANTES	Nº DE INVENÇÕES/ FAMÍLIAS DE PEDIDOS DE PATENTE
PETROBRAS	14
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS	4
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO	3
INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA	3
INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA	2
ASSOCIAÇÃO KEPPE & PACHECO	1
CLODENIR PONCIANO LIMA	1
EDGE OF SPACE IND. COM. ENG. E CONSULT. LTDA	1
EMBRAER S.A.	1
FRANSCARI ROBERTO HEITOR	1
FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE MINAS GERAIS	1
KEPPE NORBERTO DA ROCHA	1
LEONARDO WILLIAMS GLIDIZ	1
REYNALDO DIAS DE MORAES E SILVA	1
SOÓS CARLOS CÉSAR	1
UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ	1
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ	1

⁶¹ BR102020024881





Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS	1
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS	1
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA	1
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA	1

Observa-se que a maior parte dos pedidos de patente relacionados aos SAF concentra-se na Região Sudeste do país, especialmente nos estados do Rio de Janeiro e de São Paulo. A *Petrobras*, principal depositante nacional, é uma empresa de capital misto, com participação estatal e privada, e figura como a maior produtora de querosene de aviação (QAV) no Brasil, sendo responsável, em 2023, pela maior parcela da produção nacional desse combustível, conforme dados do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás (IBP)⁶². Outras refinarias produtoras de QAV no país, como a Refinaria de Mataripe, operada pela Acelen, e a Refinaria do Amazonas (REAM)⁶³, são entidades empresariais privadas que, contudo, não figuram entre os depositantes nacionais de pedidos de patente relacionados aos SAF, segundo os dados analisados. Ressalte-se, entretanto, que a Acelen vem realizando investimentos da ordem de bilhões de reais em projetos voltados à produção de SAF em escala industrial, com destaque para o uso do óleo de macaúba no Acelen Agripark, seu centro de inovação tecnológica localizado no município de Montes Claros (MG)⁶⁴.

Do total de 35 famílias de pedidos de patente depositadas por brasileiros, 19 buscaram proteção para as invenções fora do Brasil, com especial destaque para os depósitos realizados pela Petrobras. Os principais territórios de interesse para a proteção dessas invenções no exterior foram os Estados Unidos, o Escritório Europeu de Patentes (EPO), o Canadá, a China e a Argentina.

No que se refere às tecnologias desenvolvidas por depositantes brasileiros, observa-se a predominância de processos baseados em biomassa lipídica, com pelo menos oito famílias de pedidos de patente associadas à rota HEFA. Em segundo lugar, aparecem processos envolvendo biomassa lignocelulósica e/ou sacarídica (açúcares e amidos), com pelo menos quatro famílias relacionadas à rota ATJ. Nota-se, ainda, que uma parcela relevante dos pedidos de patente está associada a etapas de obtenção, purificação e pré-tratamento de matérias-primas. Adicionalmente, foram identificados três pedidos de patente relacionados a

⁶² Saiba mais em: [\[Revap bate recordes históricos em 2024 na produção de asfalto e QAV\]](#).

⁶³ Saiba mais em: [\[Refinaria de mataripe registra recorde na produção de querosene de aviação em 2024\]](#).

⁶⁴ Saiba mais em: [\[Acelen reforça aposta de US\\$ 3 bilhões na macaúba como "querosene verde"\]](#)





Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

motores aeronáuticos, depositados pela *Embraer*, *Universidade Federal de Santa Maria* e *Associação Keppe & Pacheco*.

4.1.6.2 Famílias de pedidos de patente relacionadas aos SAF de depositantes suecos

A partir do levantamento mundial de famílias de pedidos de patente relacionadas aos SAF, as invenções de depositantes suecos no mundo somaram 13 famílias de patente, das quais apenas três apresentaram depósito no Brasil⁶⁵. A relação dos depositantes suecos encontra-se apresentada na Tabela 8, destacando-se a *Swedish Biofuels* e a *Lantmännen Agrofuel* como os únicos depositantes com mais de uma família de patentes identificada no estudo.

TABELA 8. DEPOSITANTES SUECOS DE PEDIDOS DE PATENTE DE TECNOLOGIAS PARA PRODUÇÃO DO SAF NO MUNDO.

DEPOSITANTES	Nº DE INVENÇÕES/ FAMÍLIAS DE PEDIDOS DE PATENTE
LANTMANNEN AGROFUEL AB	2
SWEDISH BIOFUELS AB	2
ECO-OIL MILJOBANSLEN I SVERIGE AB	1
HEART AEROSPACE AB	1
ORGANOFUEL SWEDEN AB	1
REAC FUEL AB	1
RISE RESEARCH INSTITUTES OF SWEDEN AB	1
SCA FOREST PRODUCTS AB	1
SHARETEX AB	1
SUNPINE AB	1
WASTE 2 FUEL AB	1

Em contraste com o perfil observado para os depositantes brasileiros, a maior parte dos suecos que desenvolveram e buscaram proteger suas invenções por patentes são entidades empresariais atuantes no setor de combustíveis.

⁶⁵ BR0013808, BR112024003811 e BR112020009865





Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

No que se refere às rotas tecnológicas, observa-se forte concentração na rota *Alcohol-to-Jet* (ATJ), à qual se associam pelo menos cinco famílias de pedidos de patente, correspondendo a 40% do total. A empresa sueca *Swedish Biofuels* foi responsável pelo desenvolvimento e consolidação das tecnologias para produção de SAF a partir de diversos tipos de álcoois, denominadas ATJ-SPK e ATJ-SKA^{66,67}, sendo as duas famílias de patentes identificadas no estudo relacionadas a estas rotas para produção de SAF.

4.2 Panorama dos depósitos de patentes do SAF no Brasil

4.2.1 Dados gerais dos pedidos de patente

No cenário mundial, foram identificadas 2.505 invenções que descrevem tecnologias relacionadas a combustíveis sustentáveis de aviação (SAF), contabilizadas com base no número de famílias de pedidos de patente com data de depósito entre 2000 e 2025. Desse universo, foram selecionadas 412 famílias de patente que apresentaram ao menos um pedido de patente depositado no Brasil, totalizando 448 pedidos protocolados junto ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI).

Entre os pedidos de patente depositados no Brasil, observa-se um crescimento no número de depósitos a partir de 2006, com pico em 2011, seguido de um período de decréscimo. Esse comportamento reflete, em grande medida, a dinâmica global de depósitos no mesmo intervalo temporal. Contudo, enquanto no âmbito mundial há uma retomada expressiva do número de depósitos a partir de 2017, com novas máximas a partir de 2022, no Brasil o crescimento é mais moderado e somente passa a ser observado a partir de 2019 (Figura 14).

Em média, 20% das invenções que buscaram proteção por patente no mundo entre 2000 e 2022 apresentaram ao menos um pedido depositado no Brasil. Entretanto, essa proporção foi mais elevada no período inicial da análise, atingindo 27% entre 2000 e 2013, e reduziu-se para 14% no período de 2014 a 2022.

⁶⁶ Saiba mais em [\[ASTM decision brings 100% SAF certification within reach\]](#).

⁶⁷ Swedish Biofuels. [\[EU funded Project BFSJ 612763\]](#).





Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

Essa redução relativa no número de depósitos realizados no Brasil está associada, principalmente, ao crescimento recente da atividade de depósito por depositantes chineses no cenário global, os quais, em geral, demonstram baixo interesse em proteger seus portfólios de invenções fora da China. Exemplificam esse comportamento organizações como a *Sinopec*, o *Dalian Institute of Chemical Physics* e a *Beihang University*, que figuram entre os principais depositantes em nível mundial, mas possuem um ou nenhum pedido de patente depositado no Brasil.

Adicionalmente, alguns depositantes com origem nos EUA também apresentaram baixa procura para proteção de suas invenções no país, como é o caso das empresas *Exxonmobil* e *Phillips 66* e também pelo governo dos EUA - *USA Government – Navy*. Outros depositantes relevantes no âmbito global, com elevada atividade de depósito no período recente, como a *Rolls-Royce* (Reino Unido) e *Iogen Corporation* (Canadá), igualmente pouco buscaram proteger suas invenções relacionadas aos SAF no Brasil.

Dessa forma, importantes geradores globais de invenções, entre os quais se destacam: *Rolls-Royce*, *Exxonmobil*, *Sinopec*, *USA Government – Navy*, *Dalian Institute of Chemical Physics*, *Iogen Corporation*, *Phillips 66* e *Beihang University*, não aparecem entre os principais depositantes de pedidos de patente no Brasil. Tais organizações detêm poucos ou mesmo nenhum pedido de patente realizados junto ao INPI entre o conjunto de invenções identificadas no estudo.



Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

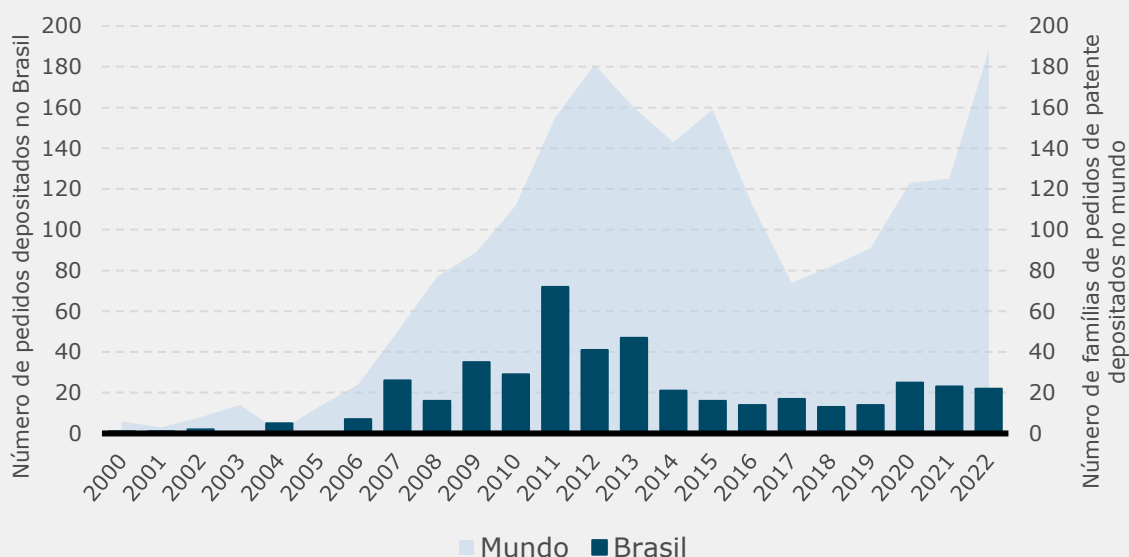


FIGURA 14. NÚMERO DE PEDIDOS DE PATENTE DEPOSITADOS NO BRASIL POR ANO DE DEPÓSITO E NÚMERO DE FAMÍLIAS DE PEDIDOS DE PATENTE DEPOSITADOS NO MUNDO RELACIONADOS AOS SAF.⁶⁸

4.2.2 Origem das invenções

A Figura 15 apresenta os países de origem dos depositantes dos pedidos de patente no Brasil. Os EUA constituem a principal origem das invenções relacionadas aos SAF depositadas no Brasil respondendo por 53% do total de pedidos de patente. Na sequência, destacam-se os depósitos com origem na Finlândia (11%), Países Baixos (9%) e Brasil (7%). Nota-se que das 35 famílias de pedidos de patentes de origem brasileira identificados no mundo (ver item 4.1, Figura 5), apenas 32 estão depositadas, até o momento, no Brasil.

⁶⁸ Os anos de 2023 a 2025 foram excluídos do gráfico uma vez que não podem ser considerados representativos quanto ao total de documentos de patente depositados o Brasil, tendo em vista o período de sigilo de 18 meses, contado da data de depósito, até que o mesmo seja publicado, a menos que seja solicitada a publicação antecipada pelo depositante. Além disso, patentes depositadas no exterior tem o período de até 12 meses (por meio da Convenção da União de Paris – CUP) ou até 30 meses (por meio do Tratado de Cooperação em matéria de Patentes - PCT) para entrar na fase nacional no Brasil.



Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

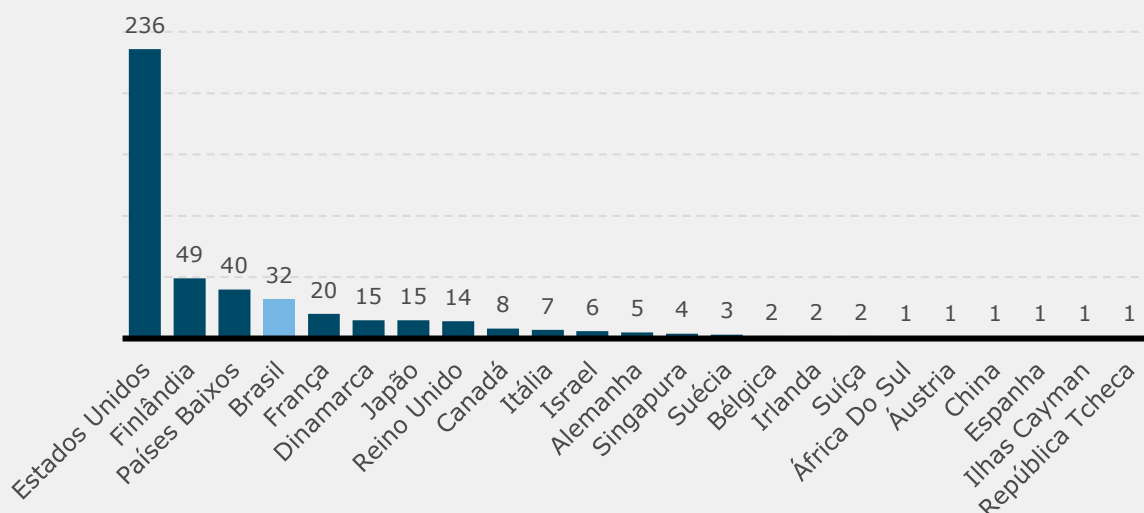


FIGURA 15. PAÍS DE ORIGEM DOS DEPOSITANTES DOS PEDIDOS DE PATENTE RELACIONADOS AOS SAF DEPOSITADOS NO BRASIL.

4.2.3 Perfil dos depositantes

Embora mais da metade das invenções depositadas no Brasil seja oriunda de depositantes dos EUA, as duas empresas com maior número de pedidos de patente depositados no Brasil são a *Neste* (da Finlândia) e a *Shell* (dos Países Baixos), conforme ilustrado na Figura 16. Observa-se que os principais depositantes no Brasil são, em sua maioria, empresas globais atuantes nos setores de óleo, gás, energia e petroquímica. Suas invenções refletem investimentos consistentes em pesquisa, desenvolvimento e inovação voltados à produção de SAF. O elevado envolvimento dessas empresas indica um nível significativo de maturidade tecnológica das rotas de produção de SAF e sugere maior probabilidade de entrada destes combustíveis no mercado em horizontes de curto e médio prazo, evidenciando confiança na viabilidade técnica e comercial dessas tecnologias.



Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

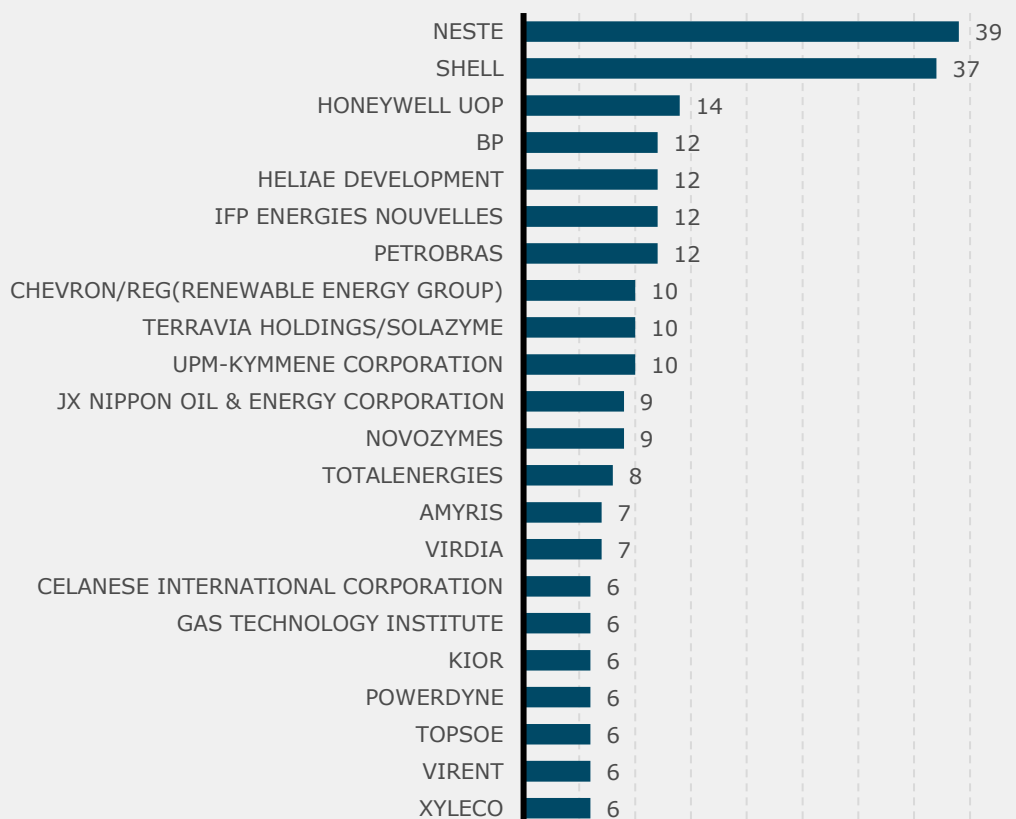


FIGURA 16. NÚMERO DE PEDIDOS DE PATENTE RELACIONADOS AOS SAF DOS PRINCIPAIS DEPOSITANTES NO BRASIL.

Entre os principais depositantes, algumas organizações destacam-se por protegerem no Brasil uma parcela expressiva de seus portfólios globais de invenções. As empresas *Neste*, *Shell*, *Upm-Kymmene Corporation*, *Terravia Holdings/Solazyme*, *Amyris*, *Novozymes* e *Virent Energy Systems* depositaram no Brasil mais de 40% de suas invenções identificadas no levantamento mundial, enquanto *BP*, *Petrobras*, *JX Nippon Oil & Energy* e *Powerdyne* apresentaram percentuais ainda mais elevados, superiores a 80%. O Brasil mostra-se especialmente relevante como território de proteção para empresas como *Shell*, a *BP* e a *Terravia Holdings/Solazyme*, figurando entre os principais destinos para a proteção por patente de suas invenções, atrás apenas dos Estados Unidos e do Escritório Europeu de Patentes (EPO).





Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

A *Petrobras* é o único depositante brasileiro entre os principais titulares de pedidos de patente relacionados aos SAF no Brasil (Figura 16), com atuação no desenvolvimento tecnológico concentrada, sobretudo, nas rotas HEFA e ATJ. Dos 32 pedidos de patente depositados por brasileiros no país, 12 pertencem à *Petrobras*, evidenciando o papel central da empresa no desenvolvimento tecnológico nacional. Como maior produtora de querosene de aviação (QAV) do país, a *Petrobras* reforça, por meio desses depósitos, sua estratégia de modernização das linhas de produção e incorporação do SAF em seu portfólio energético.

Considerando o conjunto dos 448 pedidos de patente depositados no Brasil, 82% já tiveram decisão administrativa proferida pelo INPI, dos quais 29% correspondem a patentes vigentes e 53% a patentes não válidas ou extintas. Os 18% restantes encontram-se pendentes de decisão.

Nesse conjunto de documentos foi realizada a análise de litígios administrativos e judiciais. Observou-se que 29 pedidos de patente (6,5%) depositados no INPI, principalmente da *Neste* (6), *Virdia* (6) e *Upm-Kymmene* (4), apresentaram alguma espécie de litígio judicial ou recurso administrativo contrário à decisão do INPI, denotando áreas tecnológicas com maior valor econômico e maior risco concorrencial.

Com o objetivo de avaliar o grau de maturidade tecnológica das invenções depositadas no Brasil, realizou-se uma busca nos relatórios descritivos dos pedidos de patente por menções a testes ou produção de combustíveis de aviação em conformidade com os critérios de certificação da ASTM, conforme as normas D7566 e D1655. A presença dessas referências indica um nível mais elevado de maturidade tecnológica e comercial, uma vez que sinaliza que a invenção já percorreu, ou possui um caminho claramente definido para percorrer, quanto aos processos de qualificação técnica e aceitação pelo mercado aéreo global.

A análise revelou que apenas 14,5% dos pedidos de patente relacionados à SAF depositados no Brasil (65 documentos) mencionam explicitamente essas normas. Os depositantes com maior número de pedidos contendo referências à certificação ASTM foram a *Shell* (11), a *Neste* (10), a *Amyris Biotechnologies* (7) e a *Petrobras* (7).

Entre as patentes concedidas e vigentes no Brasil que apresentam indicação de certificação ASTM, e que também são objeto de litígios administrativos,





Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

destacam-se duas patentes da empresa *Neste*⁶⁹ relacionadas a processos de produção de SAF a partir de biomassa lipídica.

4.2.4 Áreas tecnológicas das invenções associadas aos SAF

Entre as áreas tecnológicas das invenções associadas aos SAF (Figura 17), o processamento químico e bioquímico de biomassa para a produção de combustíveis destaca-se como a área predominante, estando presente em 88% das invenções analisadas.

Além disso, observa-se a presença de invenções associadas ao uso de outros insumos como matéria-prima, com destaque para resíduos de plástico ou borracha, mencionados em 17% das invenções, e para o hidrogênio, citado em 9% dos documentos. Cerca de 4% das invenções relacionam-se a elementos mecânicos e sistemas de controle aplicados à aviação (Figura 17).

Entre as áreas tecnológicas analisadas, a categoria “resíduos de plástico ou borracha” é aquela que apresentou maior interesse para proteção patentária no Brasil, uma vez que aproximadamente 25% das invenções identificadas no panorama mundial resultaram em pedidos de patente depositados no país. Em contraste, na área de “mecânica de aviação”, apenas 8% das invenções identificadas em nível internacional foram objeto de depósito no Brasil.

⁶⁹ BR112022002166A2 e BR112023005706A2



Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)



FIGURA 17. ÁREAS TECNOLÓGICAS DAS INVENÇÕES ASSOCIADAS AOS SAF COM DEPÓSITO NO BRASIL.⁷⁰

Os principais depositantes na área de processamento de biomassa para a produção de combustíveis são grandes empresas globais dos setores de óleo, gás e energia, com destaque para *Neste* e *Shell*. Esta última também lidera o número de invenções relacionadas a equipamentos de produção de combustíveis, especialmente reatores especializados empregados em etapas do processo de produção de SAF a partir de biomassa de carboidratos (Tabela 9).

No período mais recente, as áreas associadas ao uso de resíduos de plástico ou borracha ganharam relevância entre as invenções relacionadas aos SAF depositadas no Brasil, alcançando cerca de 40% das invenções identificadas no intervalo entre 2020 e 2025. O aproveitamento desses resíduos é particularmente expressivo nas invenções das empresas *Neste* e *Chevron / REG (Renewable Energy Group)* (Tabela 9). Os pedidos de patente dessas empresas envolvem o reaproveitamento de resíduos poliméricos, como polietileno e polipropileno, por meio de processos de pirólise para a produção de óleo, o qual pode ser utilizado como matéria-prima em refinarias para a produção de querosene de aviação e outros combustíveis.

As áreas relacionadas ao hidrogênio e à mecânica de aviação apresentam menor número de depósitos no Brasil. Destaca-se, nesse contexto, a empresa

⁷⁰ Um mesmo pedido de patente pode pertencer a mais de uma área tecnológica de acordo com a natureza da invenção descrita.





Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

Powerdyne, que figura como líder em depósitos em ambas as áreas tecnológicas. Seus pedidos de patente abordam equipamentos que envolvem campos elétricos, produção de gás de síntese e síntese de combustíveis de aviação por meio do processo *Fischer-Tropsch*.

TABELA 9. PRINCIPAIS DEPOSITANTES DE PEDIDOS DE PATENTE RELACIONADOS À SAF NO BRASIL, POR ÁREA TECNOLÓGICA.

ÁREA TECNOLÓGICA	DEPOSITANTES	Nº DE INVENÇÕES/PEDIDOS DE PATENTE
Biomassa [396, 88%]	1.NESTE	37
	2.SHELL	34
	3.HELIAE DEVELOPMENT	12
	4.IFP ENERGIES NOUVELLES	12
	5.PETROBRAS	12
	6.HONEYWELL UOP	11
	7.BP	10
	8.TERRAVIA HOLDINGS/SOLAZYME CHINESE ACADEMY OF SCIENCES	10
	9.UPM-KYMMENE CORPORATION	10
Equipamento produção de combustível [108, 24%]	1.SHELL	11
	2.POWERDYNE	6
	3.BP	5
	4.TERRAVIA HOLDINGS/SOLAZYME	5
Resíduos de plásticos ou borracha [77, 17%]	1.NESTE	14
	2.CHEVRON/REG (RENEWABLE ENERGY GROUP)	8
	3.SHELL	6
	4.HONEYWELL UOP	5
	5.IFP ENERGIES NOUVELLES	5
Hidrogênio [42, 9%]	1.POWERDYNE	6
Mecânica [19, 4%]	1.POWERDYNE	5
	2.GENERAL ELETTRIC COMPANY	3

4.2.4.1 Tipo de biomassa envolvida na produção de combustível

No grupo de pedidos associados à tecnologia de processamento químico e bioquímico de biomassa para a obtenção de SAF, identificado no item anterior (Item 4.2.4), foi realizada uma análise mais detalhada para evidenciar as distintas



Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

características da biomassa utilizada como matéria-prima. Vale notar que, em razão das características da invenção, é comum que um mesmo pedido de patente seja classificado em mais de uma entre as categorias elencadas na análise: biomassa vegetal, biomassa animal, biomassa de microrganismo, resíduos, lipídios e carboidratos. Por exemplo, uma invenção que utiliza óleo vegetal será categorizada como biomassa vegetal e também como lipídio.

Dentre as invenções depositadas no Brasil, observa-se que a biomassa vegetal está associada à maioria dos pedidos de patente (83%), seguida pela biomassa de origem animal (21%) e pela biomassa derivada de microrganismos (12%) (Figura 18).

A utilização de biomassa proveniente de resíduos também se mostra relevante, sendo mencionada em aproximadamente metade das invenções analisadas. *Shell* e *Neste* destacam-se novamente como líderes em depósitos no Brasil relacionados ao uso de resíduos, com 26 e 20 pedidos de patente, respectivamente.

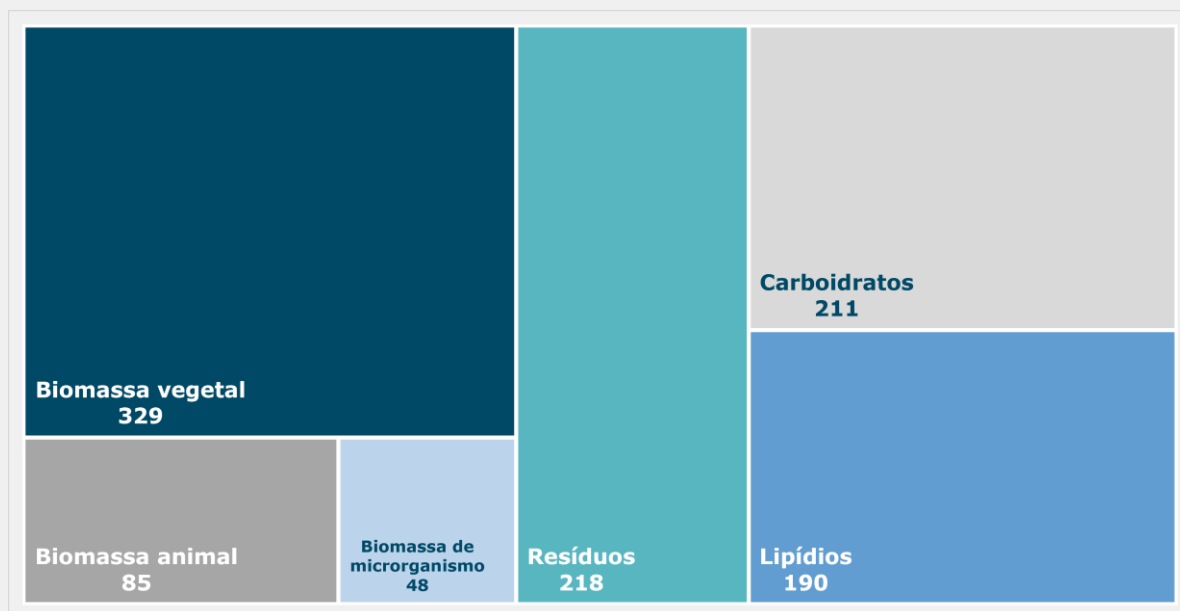


FIGURA 18. TIPO DE BIOMASSA RELACIONADA ÀS INVENÇÕES DE SAF NA ÁREA TECNOLÓGICA DE BIOMASSA DOS PEDIDOS DE PATENTE DEPOSITADOS NO BRASIL.⁷¹

⁷¹ Um mesmo pedido de patente pode pertencer a mais de uma categoria referente ao tipo de biomassa de acordo com a natureza da invenção descrita.





Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

Sob o ponto de vista bioquímico, a biomassa empregada como matéria-prima na síntese de SAF pode ser classificada em dois grandes grupos: carboidratos e lipídios. Ambos apresentam quantitativos semelhantes de pedidos de patente depositados no Brasil.

Nesse contexto, a empresa *Neste* concentra grande parte de suas patentes depositadas no país em biomassa derivada de lipídios, estando majoritariamente associada à rota HEFA para produção de SAF. Por sua vez, a *Shell*, segunda colocada no *ranking* de depósitos no Brasil, apresenta maior ênfase em biomassas derivadas de carboidratos, incluindo pedidos relacionados à rota ATJ e IH2.

A análise do conteúdo integral dos pedidos de patente depositados no Brasil, no que se refere às rotas de produção de SAF, identificou o predomínio das rotas HEFA e ATJ, mencionadas em 68 e 62 pedidos de patente, respectivamente. O número semelhante de invenções associadas a essas rotas reforça sua viabilidade técnica e evidencia a tendência de diversificação das rotas de produção, aspecto essencial para garantir a segurança do abastecimento, reduzir a dependência de fontes únicas, aumentar a resiliência do mercado de SAF e otimizar a sustentabilidade ambiental e econômica em escala global.

A rota HFS-SIP, já aprovada pela ASTM, aparece em sete pedidos de patente, todos de titularidade da empresa *Amyris Biotechnologies* nos quais o atendimento às especificações da ASTM é explicitamente mencionado nos relatórios descritivos. Já a rota CHJ, que também utiliza biomassa lipídica - incluindo a biomassa animal, foi identificada em seis pedidos de patente, sendo dois da empresa *Valero Services*, além de pedidos pertencentes à brasileira *Petrobras*, a *Neste* e a empresa sueca *Sunpine AB*. A utilização do processo *Fischer-Tropsch* na síntese de SAF foi identificada em 35 pedidos de patente, com destaque para as empresas *Neste* e *Gas Technology Institute*.

Outra rota relevante, ainda em fase de certificação, identificada nos pedidos de patente da *Shell* é denominada IH² (*Integrated Hydropyrolysis and Hydroconversion*). Desenvolvido pela *Shell* em parceria com a *GTI Energy*, o processo IH² consiste em uma rota termocatalítica avançada para a produção de combustíveis líquidos, como gasolina, diesel e SAF, a partir de biomassa lignocelulósica proveniente de resíduos florestais, agrícolas, plantas aquáticas e resíduos sólidos urbanos.





Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

As tecnologias relacionadas aos SAF compreendem um conjunto de invenções consideradas estratégicas para a sustentabilidade e a mitigação das mudanças climáticas. Nesse contexto, avaliou-se a utilização do trâmite prioritário oferecido pelo INPI na modalidade de tecnologias verdes. Foram identificados 11 pedidos de patente que utilizaram esse mecanismo, sendo seis de titularidade da Neste e três da Xyleco. Observou-se, ainda, que a Petrobras utilizou o trâmite prioritário para três pedidos de patente — todos já concedidos — por meio da modalidade “Prioridade BR”, destinada à priorização de processos relativos a famílias de patentes cuja proteção inicial foi requerida no Brasil⁷².

⁷² Além desses três pedidos de patente da Petrobras, foram concedidos também 1 prioritário de idoso e 1 prioritário na modalidade PPH (*Patent Prosecution Highway*).





Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

5 Considerações Finais

O Radar Tecnológico sobre combustíveis sustentáveis de aviação (SAF) tem como objetivo mapear a dinâmica global de desenvolvimento tecnológico e inovação nesse campo estratégico para a descarbonização do transporte aéreo utilizando informações de patentes. O estudo parte do reconhecimento de que o SAF representa, no curto e médio prazo, a principal alternativa tecnológica viável ao querosene fóssil, uma vez que pode ser utilizado na infraestrutura aeronáutica existente, contribuindo significativamente para a redução das emissões de CO₂.

O Radar fornece dados relevantes para a formulação de políticas públicas e estratégias de pesquisa, desenvolvimento e inovação, ao mapear tendências tecnológicas globais, capacidades nacionais e lacunas tecnológicas. O conjunto de pedidos de patente identificado no Radar estão disponíveis para acesso e visualização dos dados através do [painel de dados](#) interativo, permitindo análises segmentadas utilizando-se os parâmetros empregados neste estudo.

Cenário global de desenvolvimento tecnológico em SAF

Foram identificadas 2.505 invenções relacionadas aos SAF em nível mundial, evidenciando um campo tecnológico relativamente recente, porém em rápida expansão. A maior parte das invenções concentra-se nos últimos 15 anos, com aceleração expressiva a partir de 2018. Após um primeiro ciclo de crescimento entre 2006 e 2015, observa-se uma desaceleração temporária, seguida de forte retomada a partir de 2018, culminando em 282 novas invenções em 2023, o maior valor da série.

Do ponto de vista geográfico, os Estados Unidos lideram amplamente, respondendo por cerca de 46% das invenções, seguidos pela China, com aproximadamente 20%. Nos anos mais recentes, ambos passaram a concentrar volumes similares, cada um representando cerca de 30% dos depósitos, o que indica uma intensificação da competição tecnológica na área entre as duas maiores economias do mundo. Outros países, como Reino Unido, Dinamarca, Coreia do Sul, Índia e Brasil, também apresentam aceleração recente, ainda que partindo de bases menores, sinalizando o caráter emergente e altamente dinâmico do setor.

O perfil dos principais depositantes é dominado por grandes empresas globais de energia, petróleo e química, como *Honeywell UOP*, *Chevron/REG*, *Neste*,





Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

ExxonMobil, Shell, TotalEnergies e Sinopec. Paralelamente, instituições científicas, como o *Dalian Institute of Chemical Physics* (China) e o *IFP Energies Nouvelles* (França), figuram entre os principais titulares, evidenciando a coexistência de tecnologias já próximas da escala industrial com outras ainda em fases intermediárias de desenvolvimento. Essa combinação revela um ecossistema típico de tecnologias estratégicas: alta intensidade de capital, forte base científica e clara orientação ao mercado.

O desenvolvimento tecnológico concentra-se majoritariamente em invenções voltadas à utilização de biomassa. Áreas emergentes como as tecnologias de hidrogênio/e-fuels e o uso de resíduos de plástico ou borracha também foram identificadas.

As rotas tecnológicas de produção mais recorrentes entre as invenções de SAF envolvem biomassa vegetal, biomassa de resíduos e/ou biomassa de lipídios. Cabe destaque para o processo HEFA, atualmente o mais maduro comercialmente. A diversidade de abordagens encontrada no conjunto de invenções indica que ainda não há uma trajetória tecnológica única consolidada, o que mantém o setor como um espaço competitivo aberto e com a possibilidade de entrada de novos atores.

Outro aspecto relevante é a estratégia de proteção internacional: cerca de metade das invenções utilizou o sistema PCT em busca de expandir a proteção territorial, e aproximadamente 40% geraram depósitos adicionais em outros países, além do país de origem, demonstrando percepção de valor econômico global dessas tecnologias.

O Brasil no cenário de desenvolvimento tecnológico em SAF

O Brasil aparece como 11º país de origem das invenções, com cerca de 1,4% do total mundial de invenções relacionadas à SAF, participação ainda modesta frente ao seu potencial agrícola, energético e industrial. Em contrapartida, o país ocupa posição muito mais relevante como território de proteção, figurando em 6º lugar entre os principais escritórios de depósito, ao receber pedidos associados a 16% das invenções globais. Isso indica que, embora o Brasil ainda gere poucas tecnologias próprias protegidas por patente, é percebido por empresas estrangeiras como mercado estratégico e possível base produtiva futura.





Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

A geração doméstica de tecnologia permanece limitada e fortemente concentrada na *Petrobras*, responsável pela maior parte dos pedidos de patente nacionais, sobretudo nas rotas HEFA e ATJ. Universidades como a *Unicamp* aparecem de forma complementar, e a participação de outros atores industriais ainda é incipiente.

No âmbito nacional, 93% dos pedidos depositados no INPI têm origem estrangeira, com os EUA figurando como principal país de origem das invenções, seguido por Finlândia, Países Baixos e Brasil. Os principais depositantes no país são empresas globais como *Neste* e *Shell*, refletindo investimentos consistentes em P&D voltados à produção de SAF. A elevada presença desses atores sugere maturidade crescente das rotas tecnológicas e expectativa concreta de inserção comercial no curto e médio prazo.

Observa-se também que importantes geradores globais de tecnologia, como *Rolls-Royce*, *ExxonMobil*, *Sinopec* e outras instituições chinesas, praticamente não protegem suas invenções no Brasil, o que revela tanto estratégias diferenciadas de mercado quanto possíveis lacunas de atratividade regulatória ou econômica.

Implicações para o Brasil

Os resultados revelam que o Brasil é forte como mercado potencial, base produtiva e território estratégico para proteção de invenções estrangeiras, mas frágil como produtor de tecnologia. Essa condição traz riscos de dependência tecnológica e captura limitada de valor econômico, especialmente em um setor intensivo em propriedade intelectual.

O Brasil reúne vantagens estruturais relevantes: ampla disponibilidade de biomassa com uma base agrícola diversificada, experiência consolidada em biocombustíveis (etanol e biodiesel), parque industrial e presença de uma empresa integrada como a *Petrobras*. Características que poderiam sustentar uma estratégia mais ambiciosa de desenvolvimento tecnológico próprio e criar condições favoráveis para uma inserção proeminente nas cadeias globais de SAF. Para isso, será fundamental articular as políticas de ciência, tecnologia e inovação, desenvolvimento industrial e transição energética.

A forte concentração das patentes em grandes multinacionais sugere que o acesso às rotas mais maduras poderá envolver pagamento de *royalties* ou acordos





Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

de licenciamento, afetando a competitividade do SAF produzido no país. Nesse sentido, ampliar o esforço nacional de P&D torna-se essencial para desenvolver soluções adaptadas às biomassas brasileiras e reduzir dependências tecnológicas externas.

Do ponto de vista industrial, os projetos anunciados no Brasil, majoritariamente baseados na rota HEFA e em óleo de soja, indicam um caminho inicial pragmático em uma rota consolidada, mas levantam preocupações quanto à competição por matérias-primas com o setor alimentício e outros biocombustíveis. A diversificação de insumos e o avanço em novas rotas de produção são estratégicos para garantir sustentabilidade econômica e ambiental no longo prazo.

Por fim, o Radar evidencia que o SAF não é apenas uma agenda ambiental, mas um campo de competição tecnológica global. Para o Brasil, o desafio central é transformar seu potencial produtivo em protagonismo inovador, evitando um modelo baseado exclusivamente em tecnologias importadas e aproveitando a transição energética como oportunidade de reindustrialização verde e fortalecimento da soberania tecnológica.





Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

6 Referências Bibliográficas

- Gonçalves, F.R. (2023). Cenário das rotas tecnológicas de produção do SAFs, obtido em documentos patentários. Anais do II congresso da rede brasileira de bioquerosene e hidrocarbonetos sustentáveis de aviação em maio de 2022. Disponível em: <https://downloads.editoracientifica.com.br/books/978-65-5360-505-3.pdf>
- ICAO (2019). International Civil Aviation Organization. 2019 Environmental Report: Aviation and Environment – Destination Green: The Next Chapter. Disponível em: <https://www.icao.int/sites/default/files/sp-files/environmental-protection/Documents/EnvironmentReport-2010/ICAO-ENV-Report2019-F1-WEB-1.pdf>
- INPI (2022). Inteligência Artificial no Setor de Aeronáutica Radar Tecnológico. [Autores: Irene von der Weid, Monica R. Zimmerman e Alexandre G. Ciancio]. Rio de Janeiro. Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI)/DIREX/CGEI/DEPIN. Disponível em: <https://www.gov.br/inpi/ptbr/assuntos/informacao/radares-tecnologicos>.
- INPI (2025). Biocombustíveis. [Autores: Luís Henrique Romani de Campos, Sílvia Souza de Oliveira, Irene von der Weid, Rodrigo Vieira Ventura, Fernando Linhares de Assis e Claudia Ferreira Fernandes]. Rio de Janeiro: INPI/AECON-CEPIT, 2025. 127 p. Estudos de Inteligência Estratégica em Inovação, v. 2, mai. 2025. Disponível em: <<https://www.gov.br/inpi/ptbr/inpi-data>>.
- Ismail, R., Alherbawi, M., Mariyam, S., McKay, G., Al-Ansari, T (2025). Catalytic pathways towards sustainable aviation fuel production from waste biomass: A systematic review. Chemical Engineering Journal Advances, 24, p. 100927. doi:10.1016/j.cej.2025.100927.
- IPCC (2022). Transport. In: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, R. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. DOI:10.1017/9781009157926.012.
- MCTI (2022). Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. Análise econômica de diferentes rotas de produção de combustíveis sustentáveis de aviação. Brasília, DF: MCTI, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/programa-combustivel-do-futuro/analise-economica-diferentes-rotas-de-producao-de-saf.pdf>.
- Ng, K.S., Farooq, D. & Yang, A., 2021. Global biorenewable development strategies for sustainable aviation fuel production. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 150, p.111502. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111502>.
- Shahriar, M.F. & Khanal, A., 2022. The current techno-economic, environmental, policy status and perspectives of sustainable aviation fuel (SAF). Fuel, 325, p.124905. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.124905>.
- U.S. Department of Energy (2020). U.S. Department of Energy (DOE), Office of Energy Efficiency and Renewable Energy. Sustainable Aviation Fuel. Review of Technical Pathways. Disponível em: <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2020/09/f78/beto-sust-aviation-fuel-sep-2020.pdf>.





Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

- U.S. Department of Energy, U.S. Department of Transportation, & U.S. Department of Agriculture, in collaboration with the U.S. Environmental Protection Agency (2022). SAF Grand Challenge Roadmap: flight plan for sustainable aviation fuel. Washington, D.C.: US-DOE, US-DOT, USDA, US-EPA, 2022. Disponível em: <https://www.energy.gov/sites/default/files/2022-09/beto-saf-gc-roadmap-report-sept-2022.pdf>.
- WIPO (2025). WIPO Technology Trends Report 2025: The Future of Transportation. Geneva: World Intellectual Property Organization. DOI:10.34667/tind.57963





Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

7 Apêndice: Metodologia

7.1 Levantamento mundial das famílias de pedidos de patente relacionadas aos SAF

A estratégia de busca proposta neste estudo utilizou uma combinação de diversos parâmetros de busca dos pedidos de patente, incluindo códigos de classificação de tecnologias conforme a Classificação Cooperativa de Patente (CPC), a Classificação Internacional de Patente (CIP), o *DWPI Manual Codes*, além de palavras-chave relacionadas ao tema do estudo nos campos de título, resumo ou reivindicações.

As buscas foram estruturadas em 3 grupos baseados nos conceitos de (i) combustíveis sustentáveis de aviação; (ii) combustíveis de aviação associados à sustentabilidade; e (iii) combustíveis sustentáveis associados à aeronáutica. Para facilitar a estruturação da busca estes 3 grupos foram divididos em 6 blocos, associando classificações de patente e palavras-chave, conforme apresentado na Tabela 10.

As buscas foram conduzidas em março de 2025 utilizando a base de dados de patente *Derwent Innovation*. O levantamento dos pedidos de patente foi realizado em nível mundial, incluindo somente os pedidos depositados a partir do ano 2000. As famílias de patentes recuperadas nos diferentes blocos de busca foram unidas em um único conjunto de documentos, sendo removidas as duplicatas para compor a base de dados deste estudo. A validação da estratégia de busca foi realizada pela leitura dos títulos e/ou resumos dos documentos por amostragem para cada bloco.

O conjunto final de documentos foi agrupado em famílias de pedidos de patente, de acordo com os parâmetros da família *Derwent World Patent Index (DWPI)*, que utiliza uma definição de família estrita, na qual os membros de uma mesma família compartilham prioridades exatas. Os documentos recuperados na busca que não possuíam uma família *DWPI* associada foram analisados e agregados a famílias já existentes, caso compartilhassem alguma prioridade ou fossem membros da mesma família pelo critério família INPADOC. Para aqueles que não foram agregados a famílias existentes, foi atribuída uma identificação de família própria. Deste modo, a amostra analisada neste estudo foi composta de 2.505 famílias de pedidos de patente.



Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

TABELA 10. ESTRATÉGIAS DE BUSCA DE DOCUMENTOS DE PATENTE RELACIONADOS A COMBUSTÍVEIS SUSTENTÁVEIS DE AVIAÇÃO

COMBUSTÍVEL SUSTENTÁVEL DE AVIAÇÃO	
Bloco 1a	CTB=((sustainable or green or *renewable or biological* or biomass or bio-based or biofeedstock or bio*-feedstock or bio-oil or biocrude or bio-crude) NEAR5 (jet or aviation* or aeronautic* or airplane* or aircraft* or rocket*) NEAR5 (*fuel* or *keronese or *gasoline)) OR CTB=(bioqav) OR CTB=(synthetic ADJ paraffin* ADJ kerosene) OR CTB=((*ethanol or *alcohol) ADJ to-jet) OR CTB=((jet or aviation* or aeronautic* or airplane* or aircraft* or rocket*) NEAR3 (biogasoline or biokerosene or biofuel* or bio-gasoline or bio-kerosene or bio*-fuel*));
Bloco 1b	(AIC=(Y02T0050678) AND CTB=((jet or aviation* or aeronautic* or airplane* or aircraft* or rocket*) NEAR5 (*fuel* or *kerosene or *gasoline)));
COMBUSTÍVEL DE AVIAÇÃO + SUSTENTABILIDADE	
Bloco 2a	(AIC=(C10G240008 or C10L2200043) or MC=(H06-B03)) AND (AIC=(C12P0005* or C12P0007* or C12P0019* or C12P2201* or C12P2203* or C13K* or A01H* or C11B0001* or Y02P0020145 or Y02P003020) or TAB=(sustainable or green or *renewable or biological* or biomass or bio-based or biofeedstock or bio*-feedstock or bio-oil or biocrude or bio-crude));
Bloco 2b	(TAB=((jet or aviation* or aeronautic* or airplane* or aircraft* or rocket*) NEAR3 (*fuel* or *keronese or *gasoline))) AND (AIC=(C12P0005* or C12P0007* or C12P0019* or C12P2201* or C12P2203* or C13K* or A01H* or C11B0001* or Y02P0020145 or Y02P003020));
COMBUSTÍVEL SUSTENTÁVEL + AERONÁUTICA	
Bloco 3a	(AIC=(Y02E0050* or C10L22000469 or C10L22000476 or C10L2 2000484 or C10L22000492 or C10G23001003 or C10G23001007 or C10G23001011 or C10G23001014 or C10G23001018 or C10J23000913 or C10J23000916 or C10J2300092 or C10J23000923 or C10J23000926 or C10L00054*) or MC=(H06-B07*) or TAB=(biogasoline or biokerosene or biofuel* or bio-gasoline or bio-kerosene or bio*-fuel*)) AND (MC=(Q25* or W06-B* or X11-U04*) or AIC=(B64*));
Bloco 3b	(AIC=(Y02E0050* or C10L22000469 or C10L22000476 or C10L22000484 or C10L22000492 or C10G23001003 or C10G23001007 or C10G23001011 or C10G23001014 or C10G23001018 or C10J23000913 or C10J23000916 or C10J2300092 or C10J23000923 or C10J23000926 or C10L00054*) or MC=(H06-B07*)) AND (TAB=((jet ADJ2 *fuel*) or aeronautic* or aviation* or airplane* or aircraft* or rocket*));

Para determinação da origem das tecnologias foi utilizado o campo de identificação do país do depositante. Nos casos em que o registro do país do depositante estava em branco, foi utilizado, em substituição, o país de prioridade.

Os dados obtidos foram importados para o programa *Vantage Point*, utilizado como ferramenta de mineração de dados, no qual foi realizada limpeza e harmonização dos dados bibliográficos dos pedidos de patente e dos nomes dos depositantes, além da categorização dos documentos de patente. Empresas de um mesmo grupo foram agrupadas sob uma mesma designação de depositante.



Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

Todos os atributos de uma mesma invenção foram considerados na análise, incluindo todos os seus depositantes e categorizações.

Adicionalmente, os dados foram tratados, analisados e preparados para visualização na plataforma *Power BI*.

O esquema metodológico resumido do levantamento de pedidos realizado neste estudo está representado na Figura 19.

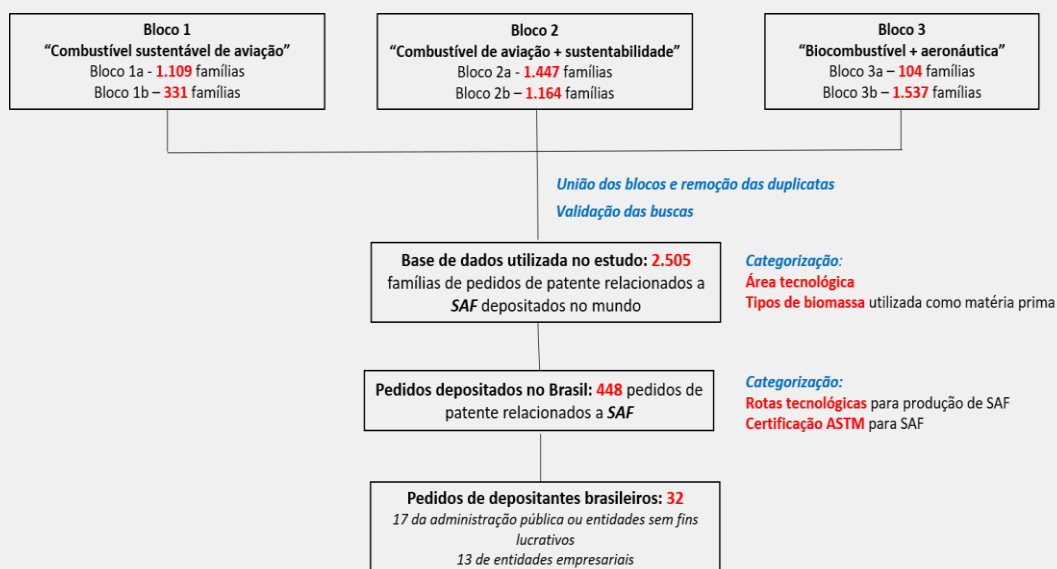


FIGURA 19. ESQUEMA METODOLÓGICO DA BUSCA E CATEGORIZAÇÃO DOS PEDIDOS DE PATENTE RELACIONADOS AOS SAF NO MUNDO E NO BRASIL.





Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

7.2 Levantamento dos pedidos de patente relacionados aos SAF depositados no Brasil

A partir da busca em nível mundial realizada na base de dados de patente *Derwent Innovation*, foram identificados os pedidos de patente depositados no Brasil. Com base nessa lista de pedidos de patente, os dados bibliográficos, os dados dos depositantes e o estado processual do pedido no INPI foram extraídos da Base de Informação Tecnológica do INPI (BINTEC) e utilizados nas análises.

7.3 Categorização dos pedidos de patente

Visando identificar áreas tecnológicas relevantes para as invenções relacionadas aos SAF, os pedidos de patente foram classificados conforme a área tecnológica e o tipo de biomassa utilizado, utilizando a classificação de patentes (CIP, CPC e *Derwent manual codes*) e as palavras-chave contidas no campo de título e resumo, conforme a correlação estabelecida na Tabela 11.

Vale ressaltar que o mesmo pedido de patente pode ser atribuído a mais de uma área tecnológica ou categoria, em razão das múltiplas classificações (CIP, CPC e *Derwent manual codes*) e palavras-chave associadas ao documento. Desse modo, o somatório da quantidade de documentos de patentes em cada categoria pode exceder o número total de documentos recuperados e analisados nesse estudo.

TABELA 11. CLASSIFICAÇÕES DE PATENTES (CIP, CPC E DWPI MANUAL CODES) E PALAVRAS-CHAVE UTILIZADAS NA CATEGORIZAÇÃO DOS PEDIDOS DE PATENTE RELACIONADOS AOS SAF.

CATEGORIA	CPC ou CIP	DWPI MANUAL CODES	PALAVRAS-CHAVE
Equipamento de produção de combustível	B01J19 C10G2/34 C10J3/20 C10J3/24 C10J3/26 C10J3/32 C10J3/42 C10J3/44 C10L2290/56 C12M F23G	D05-A03 E11-M E11-N E11-P E11-Q J04-B J04-D J04-X01 J04-X03 J04-X04 J04-E06 Q77	-
Resíduos de plástico ou borracha	C10B53/07 C10G1/10 C10G2300/4081 Y02P20/143 Y02P20/582 Y02W30/62	A10-E05A A11-C03 H06-B06 H09-F04	waste plastic plastic waste





Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

CATEGORIA		CPC ou CIP	DWPI MANUAL CODES	PALAVRAS-CHAVE
Hidrogênio		C01B3/02 C01B3/04 C07C1/12 C10G2/50 C25B1/04 Y02E60/3	E31-A02 E31-N05C J03-B	electrolysis electrolyzer carbon dioxide conversion CO2 conversion CO2 capture carbon dioxide capture efuel e-fuel synthetic fuel
Mecânica		B64 F02	W06-B01A Q25-C Q25-S Q25-X Q51 Q52	-
Biomassa	Biomassa geral	C10G2300/1011 C10G2300/1014 C10G2300/1018 C10J2300/0916 C10L2200/0476 C10L2200/0484 C10L5/44 C11B1/04 C11D3/382 C12P7/649 Y02E50/10 Y02P20/145 Y02P20/59 Y02P30/20 C07G1 C08L1 C08L97 C08H6 C08H8 C10B53/02 C10J2300/092 C12P2201 C12P2203 D21C D21H C12N1/22	C04-D03 D05-C13 H06-B04A H06-A04 D10	biomass bio-based biofeedstock bio-feedstock biological feedstock lignin ligno cellulos
	Biomassa Vegetal	A01G A01H C10B53/02 C10G2300/1014 C10L5/44 C11B1/04 C11D3/382	C04-A C04-B01C1 C04-C02D	corn sugarcane soy soybean carinata camelina cotton rapeseed jatropha karanja moringa palm castor linseed peanut sunflower tung babaçu babaçu canola colza shea butter macauba tall pongamia
	Biomassa Animal	A01K C02F2103/20 C02F2103/22 C10G2300/1018	C04-B01C2 C04-B04 C04-C02E C04-P	animal oil animal fat tallow lard poultry fat fish fat fish oil





Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

CATEGORIA		CPC ou CIP	DWPI MANUAL CODES	PALAVRAS-CHAVE
	Biomassa de microrganismo	C12P7/6463	C04-B02B C04-C02F	microbial oil oleaginous-microorganisms oleaginous microb microbial biomass algal oil algal biomass
	Resíduo	B09B C01B32/324 C02F C08J11 C10B53/07 C10G1/10 C10G2300/1003 C10G2300/1007 C10G2300/4081 C10J2300/0923 C10J2300/0946 C10L5/46 C10L5/48 C11B13 Y02E50/30 Y02P20/143 Y02P20/582 Y02W30	A10-E05A A11-C03 D04 D05-A04A H06-B06 H09-F02 H09-F03 H09-F04	waste bagasse straw sludge
	Lipídio	A23D C08L91 C10G2300/1007 C11B C11C1 C11C3 C12P7/64 Y02W30/74 C10L2200/0484	C04-B01 D03-C01 D10	fatty acid triacylglycer hefa hydroprocessed ester bio-oil bio oil biocrude cooking oil animal oil animal fat tallow lard poultry fat fish fat fish oil vegetable oil edible oil palm oil soybean oil rapeseed oil jatropha oil seed oil castor oil tall oil carinata oil camelina oil cotton oil jatropha oil karanja oil moringa oil linseed oil peanut oil sunflower oil tung oil babassu oil babaçu oil canola oil colza oil shea butter macauba oil microbial oil oleaginous-microorganisms oleaginous microb microbial biomass algal oil algal biomass





Combustíveis sustentáveis de aviação (SAF)

CATEGORIA		CPC ou CIP	DWPI MANUAL CODES	PALAVRAS-CHAVE
	Carboidratos	C07G3 C13B C13K C08L3 C08L5 C12P7/06 C12P7/08 C12P7/1 C12P7/20 C12P19/0 C12P19/1 C12P19/20 C12P19/22 C12P19/24 C12P19/26	A03-A C04-C02 C04-D01 D05-C08 D05-B E10-E04 D06	ethanol butanol sacchari sugar starch carbohydrat alcohol

7.3.1 Categorização dos pedidos de patente depositados no mundo por depositantes brasileiros ou suecos e dos pedidos de patente depositados no Brasil

Para a categorização dos pedidos de patente depositados no Brasil bem como para os pedidos de patente depositados no mundo por depositantes brasileiros ou suecos, foi realizada a leitura de cada um dos documentos de patente, nos campos de título, resumo, exemplos e reivindicações, por especialistas examinadores de patente do INPI. Os pedidos de patente foram categorizados conforme o tipo de tecnologia envolvido na invenção, a rota de síntese de SAF e a especificação ASTM citada.

7.3.2 Registro de litígio administrativo ou judicial

Para a categorização relacionada aos pedidos de patente depositados no Brasil que possuem litígio administrativo ou judicial foi realizada uma análise na base *Google Patents/Global patent litigation dataset*, em outubro de 2025. Nota-se que essa base possui os dados disponibilizados por outra base, a Darts-IP e que se procurou pela presença do texto "*First worldwide family litigation filed*" presente no primeiro quadro apresentado no *Google Patents* para a confirmação de cada pedido de patente nessa categoria.

