

PDE 2034

Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2034

Oferta de Biocombustíveis

Agosto 2024



MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA



Ficha técnica

(composição dos cargos em 09 de julho de 2024)



Ministro de Estado

Alexandre Silveira de Oliveira

Secretário Executivo

Arthur Cerqueira Valerio

Secretário de Energia Elétrica

Gentil Nogueira de Sá Junior

Secretário de Geologia, Mineração e Transformação Mineral

Vitor Eduardo de Almeida Saback

Secretário de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

Pietro Adamo Sampaio Mendes

Secretário de Transição Energética e Planejamento

Thiago Vasconcellos Barral Ferreira

www.mme.gov.br



Presidente

Thiago Guilherme Ferreira Prado

Diretor de Estudos Econômico-Energéticos e Ambientais

Thiago Ivanoski Teixeira

Diretor de Estudos de Energia Elétrica

Reinaldo da Cruz Garcia

Diretora de Estudos do Petróleo, Gás e Biocombustíveis

Heloisa Borges Bastos Esteves

Diretor de Gestão Corporativa (interino)

Thiago Guilherme Ferreira Prado

www.epe.gov.br

PDE 2034

Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2034

Oferta de Biocombustíveis

Coordenação Executiva

Angela Oliveira da Costa

Coordenação Técnica

Angela Oliveira da Costa

Rachel Martins Henriques

Rafael Barros Araujo

Equipe Técnica

Superintendência de Derivados de Petróleo e Biocombustíveis

Ana Paula O. Castro

Anderson L. S. Pelluso (estagiário)

Arthur C. P. de Campos

Bruna S. L. Graça

Dan A. Gandelman

Danielle B. de Andrade

Daniilo Percin

Ederaldo G. Junior

Euler J. G. da Silva

Guilherme C. Naresse

Kriseida C. P. G. Alekseev

Leonidas B. O. do Santos

Leticia G. Lorentz

Marina D. B. Ribeiro

Paula Isabel da C. Barbosa

Vitor Manuel do E. S. Silva

Apoio Administrativo

Raquel Lopes Couto

Rio de Janeiro, 2024

Foto da capa: Freepik.

Valor público

A EPE realiza estudos e pesquisas para subsidiar a formulação, implementação e avaliação da política e do planejamento energético brasileiro.

Com este estudo, a EPE traz transparência e reduz a assimetria de informação por meio da apresentação de dados e fatos que podem auxiliar os debates acerca dos esforços de transição energética no Brasil.

Neste caderno a EPE analisa os condicionantes de mercado, políticas públicas e acordos internacionais relacionados aos biocombustíveis, realizando projeções para a evolução da oferta de etanol, biodiesel, combustíveis sustentáveis de aviação, diesel verde e bioeletricidade da cana, além de apontar o potencial de produção do biometano do setor sucroenergético, além de inovações tecnológicas como a captura e armazenagem de dióxido de carbono (Bio-CCS), o hidrogênio de baixa emissão de carbono e os combustíveis sintéticos.



Avisos

Esta publicação contém projeções acerca de eventos futuros que refletem a visão da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) no âmbito do Plano Decenal de Expansão de Energia – PDE 2034, com estudos finalizados em junho de 2024. Tais projeções envolvem uma ampla gama de riscos e incertezas conhecidos e desconhecidos e, portanto, os dados, as análises e quaisquer informações contidas neste documento não são garantia de realizações e acontecimentos futuros.

Este documento possui caráter informativo, sendo destinado a subsidiar o planejamento do setor energético nacional. Logo, quaisquer decisões de encaminhamento (como formulação de políticas públicas, definição de diretrizes estratégicas, decisões de investimento ou de estratégias de negócio) dependem de outras instituições públicas e privadas.

A EPE se exime de qualquer responsabilidade por quaisquer ações e tomadas de decisão que possam ser realizadas por pessoas física ou jurídica com base nas informações contidas neste documento.

PDE 2034

Introdução



MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA

GOVERNO FEDERAL
BRASIL
UNIÃO E RECONSTRUÇÃO

Contexto dos biocombustíveis na transição energética



A migração para uma economia sustentável e de baixa emissão de carbono é um dos meios para mitigar os efeitos adversos da ação do homem no clima e proteger a qualidade de vida no planeta.



A mudança das fontes não renováveis para energias renováveis, com produção em escala e economicamente viável, assim como o aumento da eficiência energética, é o desafio a ser enfrentado.



O uso de biocombustíveis, com destaque para o etanol e o biodiesel FAME¹, é um dos grandes *drivers* para suplantiar tal desafio. Mais recentemente despontam o diesel verde, o biogás e os combustíveis sustentáveis de aviação (*Sustainable Aviation Fuels - SAF*), que serão apresentados ao longo deste caderno.



Para que haja avanços substanciais na obtenção destes produtos em larga escala mundialmente, é necessário que as biorrefinarias ampliem o leque de produtos gerados (bioenergia, materiais, químicos e alimentos/ração), de forma a garantir a sustentabilidade econômica e ambiental, se caracterizando como uma nova frente de investimentos para a transição energética.

Nota 1: Fatty acid methyl ester; em português, éster metílico de ácido graxo.

Brasil é referência em políticas públicas relacionadas aos biocombustíveis



Adição obrigatória de etanol anidro na gasolina C
Diferenciação tributária entre os combustíveis
Veículos flex fuel



Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB)
Adição obrigatória de biodiesel no diesel B
Linhas de financiamento específicas



Contribuir para o atendimento aos compromissos climáticos
Contribuir com a relação de eficiência energética e de redução da emissão de gases de efeito estufa (GEE) dos biocombustíveis
Expansão dos biocombustíveis na matriz energética
Previsibilidade para a participação competitiva dos biocombustíveis



Integração entre políticas públicas relacionadas ao Programa
Redução da intensidade de carbono da matriz de combustíveis
Avaliação da eficiência energético-ambiental por meio de ACV¹ completo
Estímulo ao desenvolvimento tecnológico e à inovação



Programa Mobilidade Verde e Inovação (MOVER)
Estímulo para P&D, Descarbonização e eficiência energética



Mecanismo de mercado concebido para reduzir e compensar emissões de GEE da aviação internacional



Estabelece limites de emissão de poluentes e GEE na navegação internacional
Biocombustíveis são opção de descarbonização



Desenvolver uma indústria e mercado de hidrogênio de baixa emissão de carbono
Biomassa pode ser insumo

Nota1: Avaliação de Ciclo de Vida

PDE 2034

Etanol



MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA

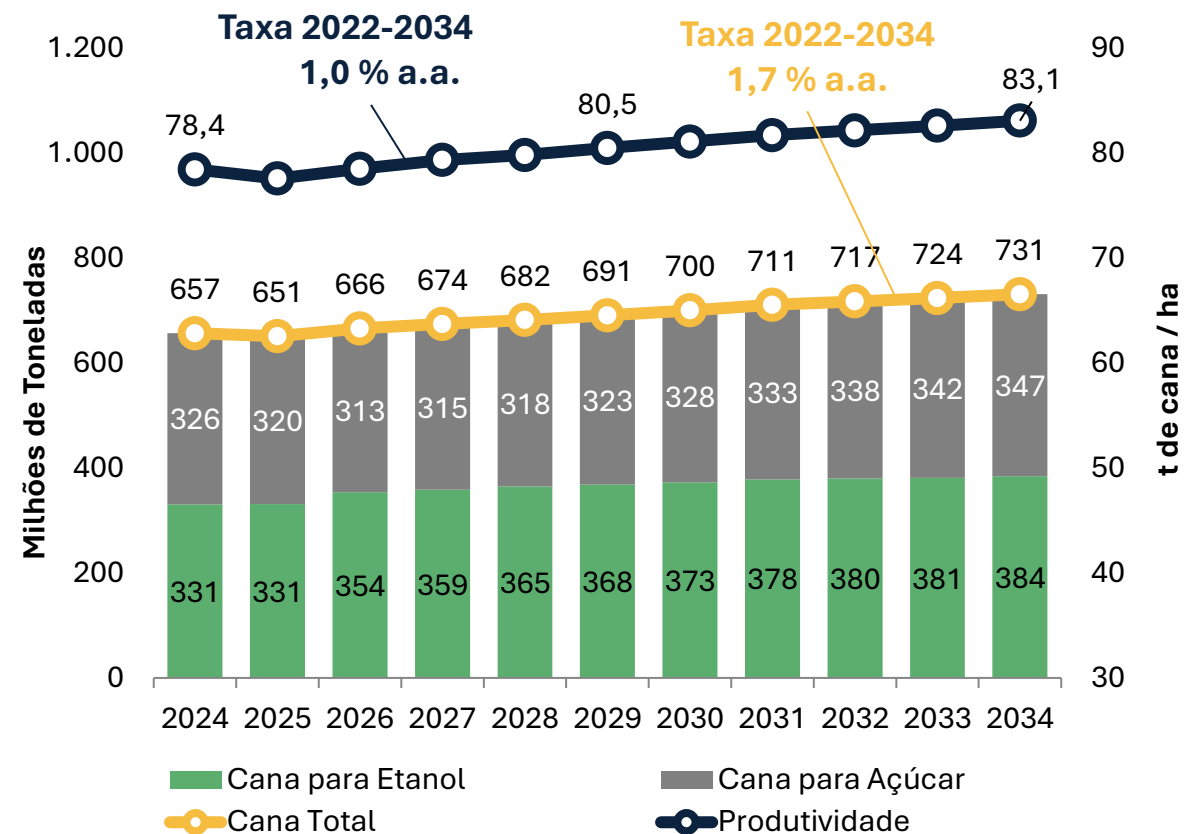
GOVERNO FEDERAL
BRASIL
UNIÃO E RECONSTRUÇÃO

Evolução e destinação da cana-de-açúcar

Cana-de-açúcar	2024	2034
Área (Mha)	8,4	8,8
Rendimento (kg ATR/ tc)	140,6	142,0
Cana para Etanol (%)	50	53

- As usinas de cana estão ajustando as suas condições financeiras e, nos últimos anos, vêm sendo impulsionadas pela atratividade do açúcar no mercado internacional;
- Os investimentos a serem realizados visam a ampliação da capacidade de cristalização, melhorias nos canaviais, cogeração, biogás, produção de SAF, entre outros, de forma a aproveitar suas potencialidades;
- A produtividade e o rendimento da cana apresentam um avanço como consequência dessas ações.

Produtividade, cana processada e destinação para etanol e açúcar

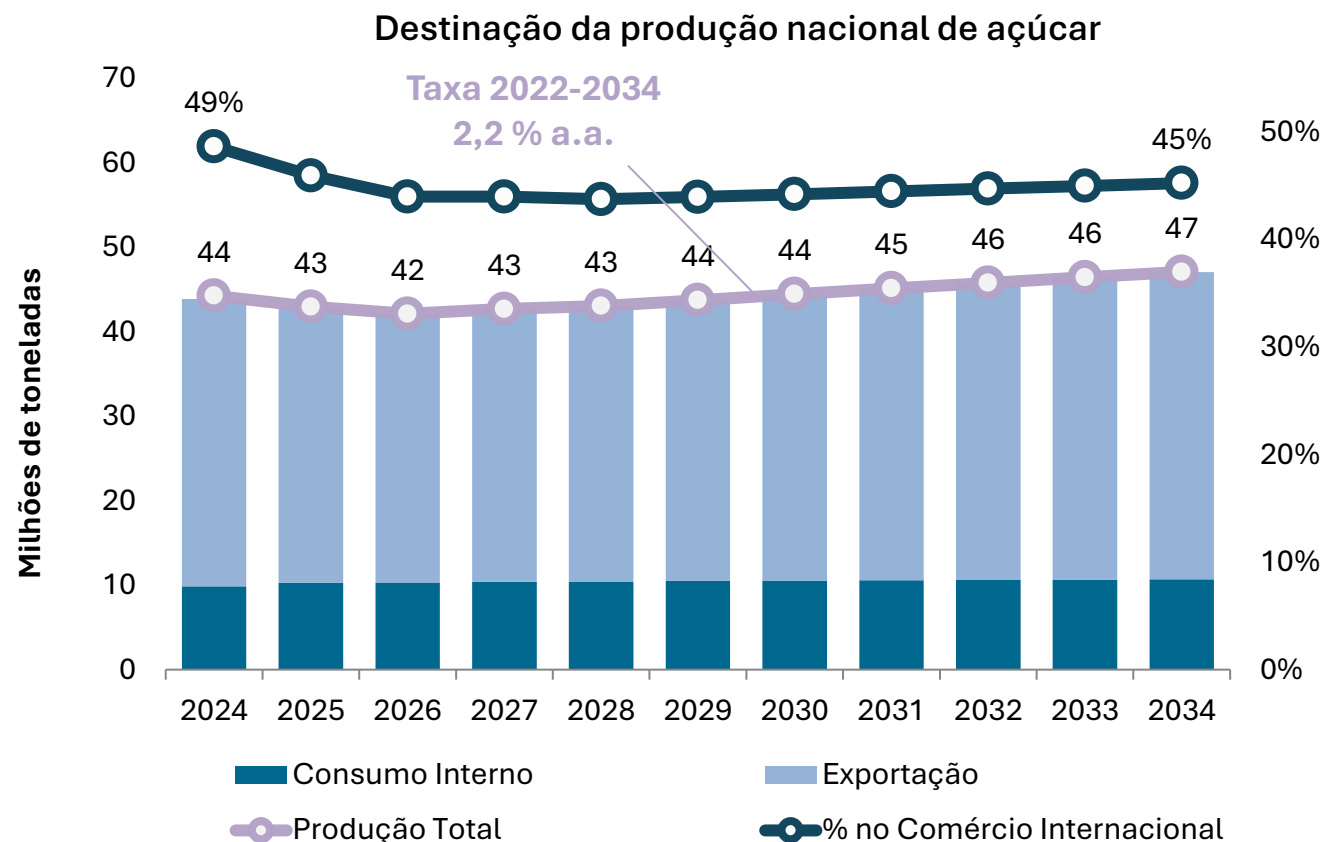


Fonte: Elaboração EPE

Produção de açúcar e destinação

Projeção da produção brasileira de açúcar

- O consumo *per capita* brasileiro (kg/hab./ano) considera renda, envelhecimento da população e mudanças de hábitos alimentares.
- O Brasil mantém a sua posição de destaque no mercado externo, sendo responsável por mais de 40% do fluxo da *commodity* do comércio internacional:
 - Fatores impulsionadores: crescimento da demanda dos países importadores (da África e Ásia);
 - Fatores limitantes: produção da Índia, Tailândia e EU.

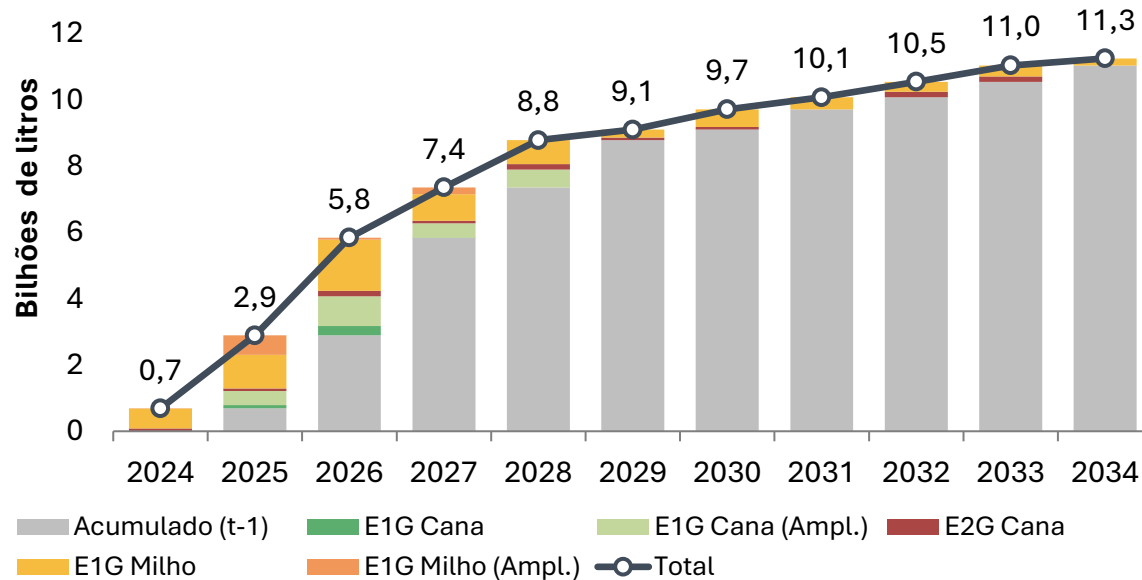


Nota: O Brasil é o maior supridor do comércio internacional de açúcar, tendo papel fundamental em momentos de reduções da oferta de outros produtores.

Fonte: Elaboração EPE

Oferta de etanol e capacidade produtiva por tipo de insumo

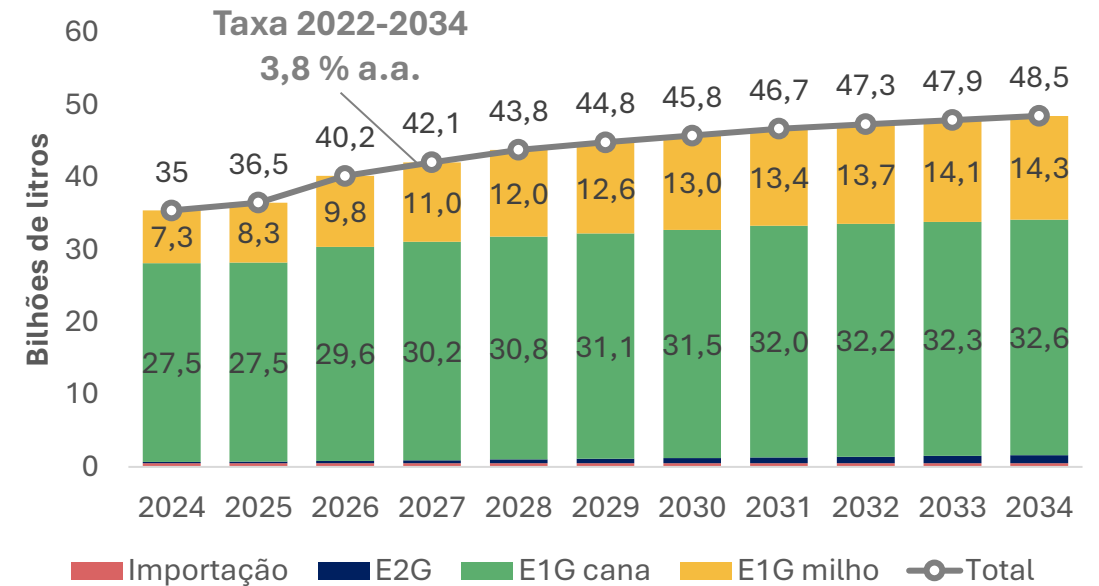
Capacidade de produção de etanol adicionada



- Cana: ampliação de produção de etanol (2,3 bilhões de litros) e construção de novas unidades (0,4 bilhão de litros), autorizadas pela ANP. Para o 2G considera os projetos anunciados e indicativos (1,1 bilhão de litros);
- Milho¹: ampliações e implantações autorizadas pela ANP (4,5 bilhões de litros) e indicativas (3,0 bilhões de litros).

Nota 1: A indicação milho contempla também soja, trigo e outros cereais.
Fonte: Elaboração EPE

Projeção da oferta total de etanol

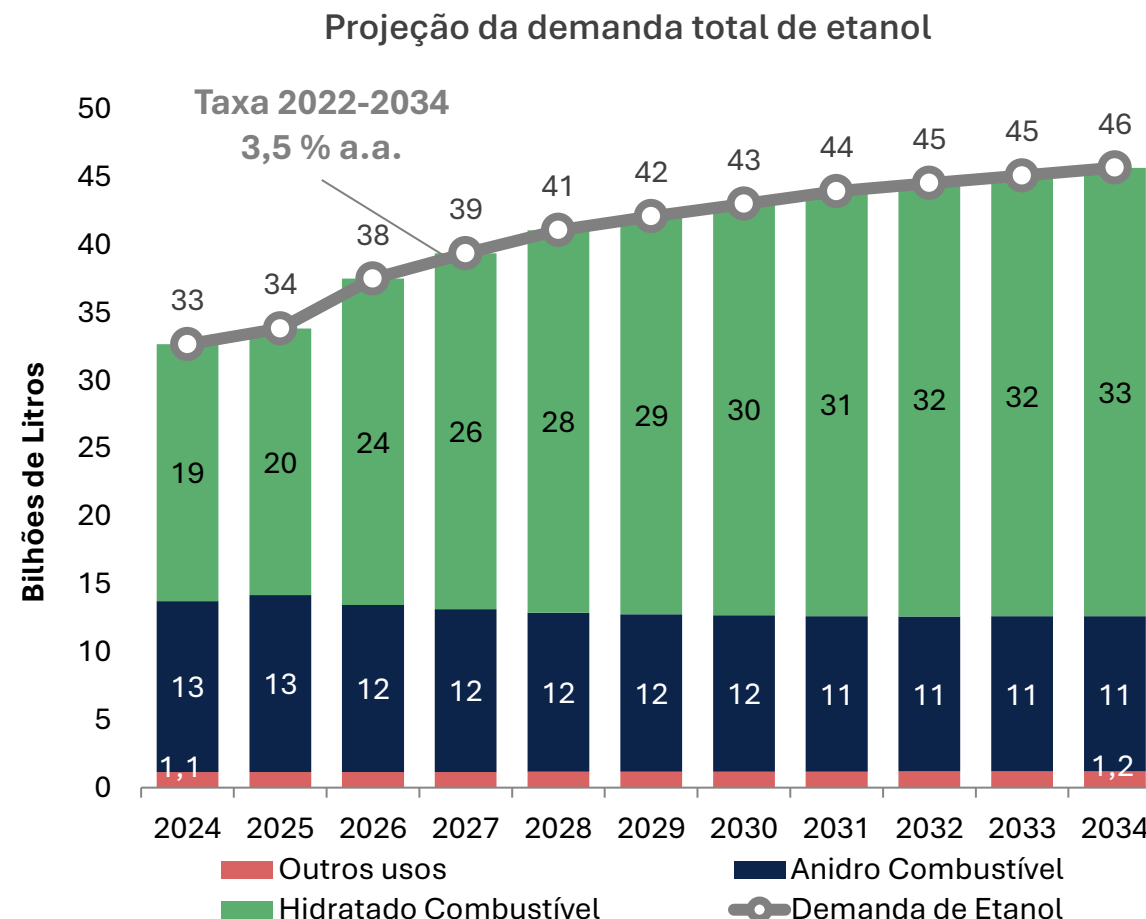


- O etanol de cana-de-açúcar mantém sua participação relevante na oferta total;
- O etanol de milho representará 30% da oferta total em 2034;
- A produção de E2G² alcançará 1,1 bilhão de litros no final do período.

Nota 2: Há a possibilidade de construção de outros projetos, seja pela detentora do pacote tecnológico, seja por outras empresas que o adquira, mediante pagamento de royalties.

Demanda de etanol (energética e outros fins)

- Maior competitividade do hidratado frente à gasolina:
 - Sinais positivos provenientes do RenovaBio;
 - Melhorias dos fatores de produção, realizadas pelo setor;
- *Market share* do etanol hidratado nos veículos *flex fuel* será de **44% em 2034** (30% em 2024);
- Participação do etanol combustível no ciclo Otto de **53% em 2034** (43% em 2024);
- Outros usos para o etanol (bebidas, cosméticos, produtos farmacêuticos, compostos oxigenados e alcoolquímicos): **1,2 bilhão de litros em 2032**;
- Para o futuro, há uma potencial demanda de etanol para a produção nacional de **SAF** ou como insumo para produção em outros mercados, o que pode alterar a demanda ou incentivar a produção de etanol.



Fonte: Elaboração EPE

Exportações de etanol

Mercado Internacional

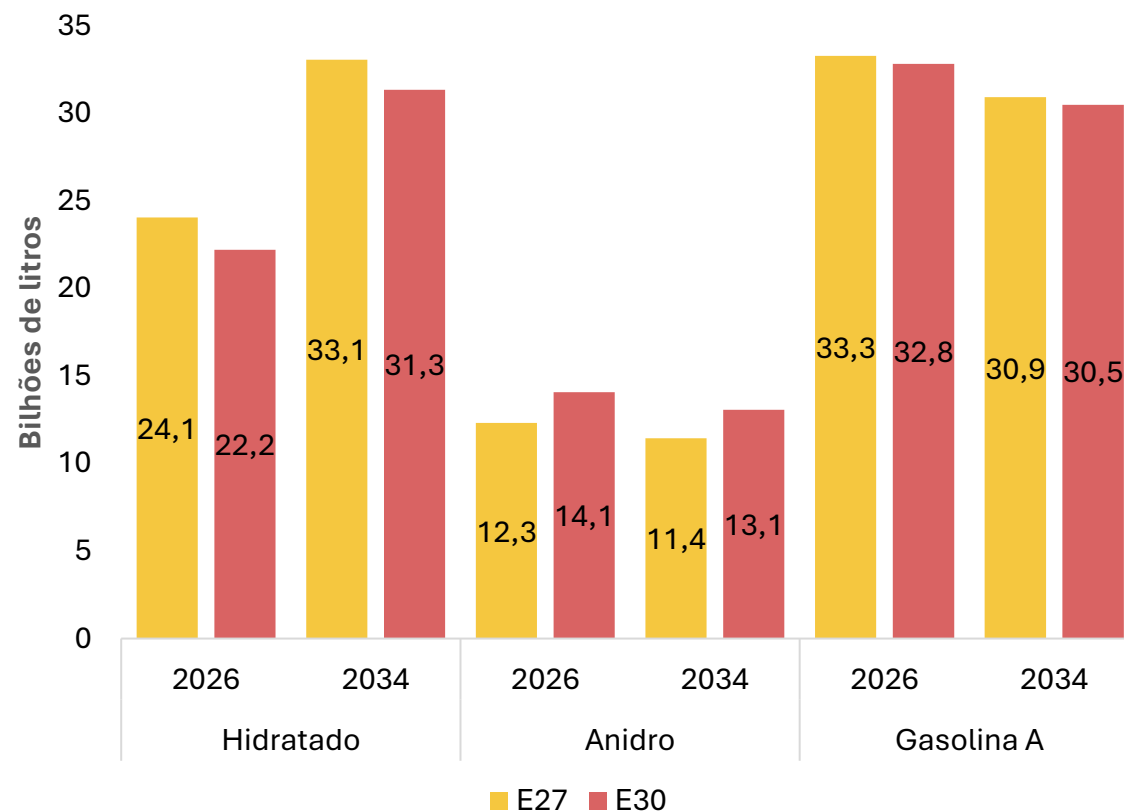
- Exportações líquidas em todo o período;
- Tendências mundiais:
 - Políticas de incentivo à eficiência energética e/ou promoção de fontes energéticas mais avançadas;
 - Modestos volumes comercializados, em comparação aos combustíveis fósseis;
 - Importância dos biocombustíveis para a segurança do abastecimento, diversificação da matriz energética e redução da emissão de GEE.
- Uso do etanol para produção de SAF em outros países.
- Principais destinos e políticas:
 - EUA: *Renewable Fuel Standard*, volumes definidos pela EPA (*Environment Protection Agency*);
 - União Europeia: *Renewable Energy Directive*;
 - Ásia: China e Japão (mandatórios) e Coreia do Sul (indústria e setor alimentício);



Análise de sensibilidade para o teor de etanol na gasolina C

- Foi realizada uma análise de sensibilidade para a verificação do impacto da alteração do teor de etanol anidro na gasolina C:
- **TRAJETÓRIA E27:** manutenção do percentual de mistura em 27% por todo o período;
- **TRAJETÓRIA E30:** alteração do percentual de 27% para 30% a partir de 2026;
- A produção de açúcar não se altera nas trajetórias consideradas;
- Com a diminuição da demanda da gasolina A, haverá redução de emissões de GEE.

Demanda de combustíveis do ciclo Otto



Fonte: Elaboração EPE

PDE 2034

Bioeletricidade da cana-de-açúcar



MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA

GOVERNO FEDERAL
BRASIL
UNIÃO E RECONSTRUÇÃO

Bioeletricidade de cana-de-açúcar

Contextualização

- O aproveitamento energético da biomassa residual da cana-de-açúcar destina-se ao autoconsumo e à exportação ao SIN;
- A capacidade de geração da biomassa de cana atingiu 12,5 GW em julho de 2024, um aumento superior a 30%, em relação a 2016;
- Cerca de 249 unidades comercializam energia (aproximadamente 40%, através dos leilões);
- Até julho de 2024, foram realizados 64 certames, com venda de energia das usinas sucroenergéticas em 32, sendo o último ocorrido em outubro de 2022.

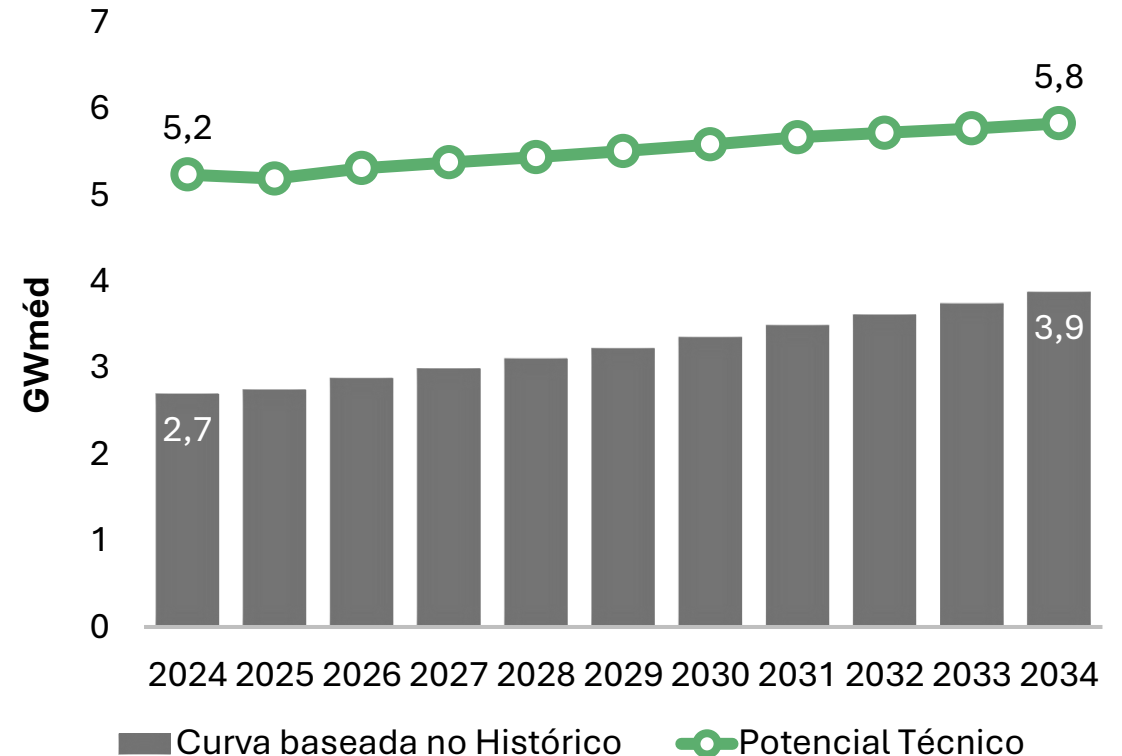


Fonte: Freepik

Bioeletricidade de cana-de-açúcar

- Incremento da geração de energia na matriz elétrica;
- Manutenção da eficiência energética das usinas no horizonte;
- Comercialização no ambiente regulado (ACR) se reduz ao longo do período;
- O ambiente de contratação livre (ACL) e a liquidação de energia no mercado *spot* (PLD) se configuram como mercados majoritários;
- O bagaço também é destinado à produção de E2G e para cogeração em usinas de etanol de outras fontes como, por exemplo, o milho.
- Adicionalmente ao bagaço, o potencial técnico de exportação de energia a partir das palhas e pontas da cana pode variar entre 6,5 GWmédios e 10,2 GWmédios ao fim do período decenal;

Potencial de exportação de eletricidade gerada por bagaço



Fonte: Elaboração EPE

PDE 2034

Biogás e biometano



MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA

GOVERNO FEDERAL
BRASIL
UNIÃO E RECONSTRUÇÃO

Papel das políticas públicas para biogás e biometano

A partir da maturidade tecnológica do biometano, a combinação entre as **políticas públicas** em vigor e o **interesse de consumidores** (slide seguinte) propicia os fundamentos para sua expansão no horizonte decenal. No setor sucroenergético, espera-se uma rápida disseminação para mais usinas em diferentes modelos de negócio.

Redução do CAPEX: desde 2022 os projetos de produção de biometano podem se candidatar aos benefícios do **REIDI**¹, que suspende a incidência de impostos federais² sobre bens e serviços destinados às obras.

- Diversos projetos aprovados com desconto estimado nos investimentos da ordem de 6% a 10%;

¹ REIDI: Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura

² PIS/Pasep e Cofins.

Receita adicional: o RenovaBio certifica projetos de biometano para a geração de créditos de descarbonização (CBIO);


- O biometano detém a maior NEEA³ média e 100% de volume elegível;
- A venda de CBIO pode representar 15% do valor da molécula;
- Pode-se gerar CBIO indiretamente ao se substituir fósseis por biometano na cadeia de produção de biocombustíveis certificados.

³ NEEA: Nota de eficiência energético ambiental, em gCO₂eq/MJ

Mais avanços esperados

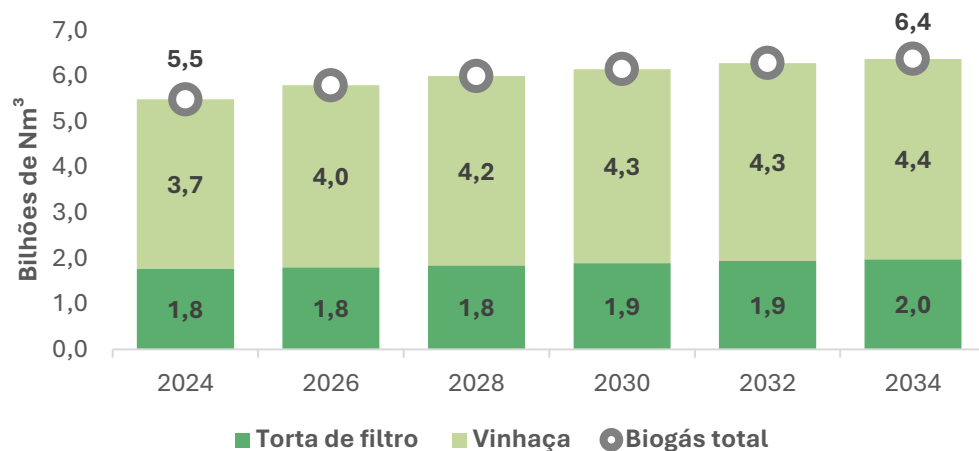
- O Programa **Gás para Empregar** propõe que o desenvolvimento do gás natural esteja alinhado à transição energética, o que passa por contemplar sinergias com o biogás/biometano.
- **Certificados de origem:** mecanismo de rastreamento e contabilidade de atributos não-energéticos do biometano. Pode comprovar o uso de energia renovável em inventários corporativos e/ou o cumprimento de metas reguladas.

Demandas que podem impulsionar o biometano no curto prazo

					
	Setores	Demanda a ser atendida	Motivações do interesse no biometano	Modelos de negócio	Resultados potenciais
	Agropecuário e agroindustrial	Demanda energética significativa em máquinas agrícolas e caminhões, que atualmente é atendida pelo diesel.	Potencial de produção de biogás/biometano a partir de resíduos das próprias atividades . Exemplos: sucroenergético, produção animal.	Autoprodução e postos de abastecimento de biometano, distante de gasodutos. Parcerias com detentores de tecnologias.	Reduzir importações e o transporte de diesel pelo território nacional, garantindo benefícios ambientais. Potencial de redução de custos.
	Indústria e setor logístico	Substituição do gás natural e de outros combustíveis fósseis em usos energéticos ou como insumo para outros produtos.	Companhias buscando a redução de emissões : respondendo à precificação de carbono, metas ou visando ao ganho de competitividade do produto final.	O suprimento pode ser direto, via GNC/GNL ou gasodutos dedicados, ou indireto, via rede de gás e contratos no mercado livre	Acordos de fornecimento podem garantir receitas, reduzir riscos e melhorar as condições de financiamento dos investimentos, tornando-os mais viáveis.
	Distribuidoras de gás e empresas de energia	Distribuidoras: mercados cativos de gás natural das concessionárias. Empresas: mercado livre e novos mercados.	Diversificação do portfólio de suprimento e oferta de combustível renovável aos clientes. Antecipação a eventuais regulações. Busca por pioneirismo e liderança no setor.	Chamadas públicas para contratação de biometano; parcerias e desenvolvimento da infraestrutura de gasodutos, sob regulação. Domínio da cadeia de suprimento de biometano.	Perspectiva de longo prazo para o gás face à transição energética. Implementação de infraestrutura alinhada à oferta de biometano. Melhoria da viabilidade dos projetos.

Potencial de produção de biogás e biometano do setor sucroenergético

Potencial de **produção de biogás** com biomassa residual de cana-de-açúcar



Fonte: Elaboração EPE

O potencial a partir da vinhaça e da torta de filtro, que soma **6,4 bilhões de Nm³ de biogás em 2034**, é considerado **mais tangível**: esses resíduos estão disponíveis e concentrados nas usinas, diferentemente da palha, atualmente disposta na área de cultivo.

Caso viabilizada de forma sustentável, a coleta de 20% das palhas e pontas acrescentaria 5,4 bilhões de Nm³/ano de biogás em 2034 ao potencial do setor.

- Produtos energéticos dos 6,4 bilhões de Nm³ de biogás (2034):
 - 1,9 GWmédio de eletricidade exportada; **ou**
 - 3,5 bilhões de Nm³ de biometano (equivalente cerca de 15% da demanda de Gás Natural em 2023).

Análise de sensibilidade: usinas mais saudáveis financeiramente

Adotando-se apenas a produção referente a essas usinas, e considerando exclusivamente 100% da vinhaça e da torta de filtro, a produção de **biometano** seria de **1,7 bilhão de Nm³** (cerca de 3,0 bilhões de Nm³ de biogás) em 2034, que poderia gerar 1,0 GWmédio.

- Esse volume seria suficiente para suprir cerca de **20% da demanda de diesel A do setor agropecuário**.

Somando-se o potencial de 20% das palhas e pontas das usinas selecionadas, o potencial de biometano atingiria **3,3 bilhões de Nm³** em 2034 (6,0 bilhões de Nm³ de biogás), ou 39% da demanda agropecuária de diesel A.

PDE 2034

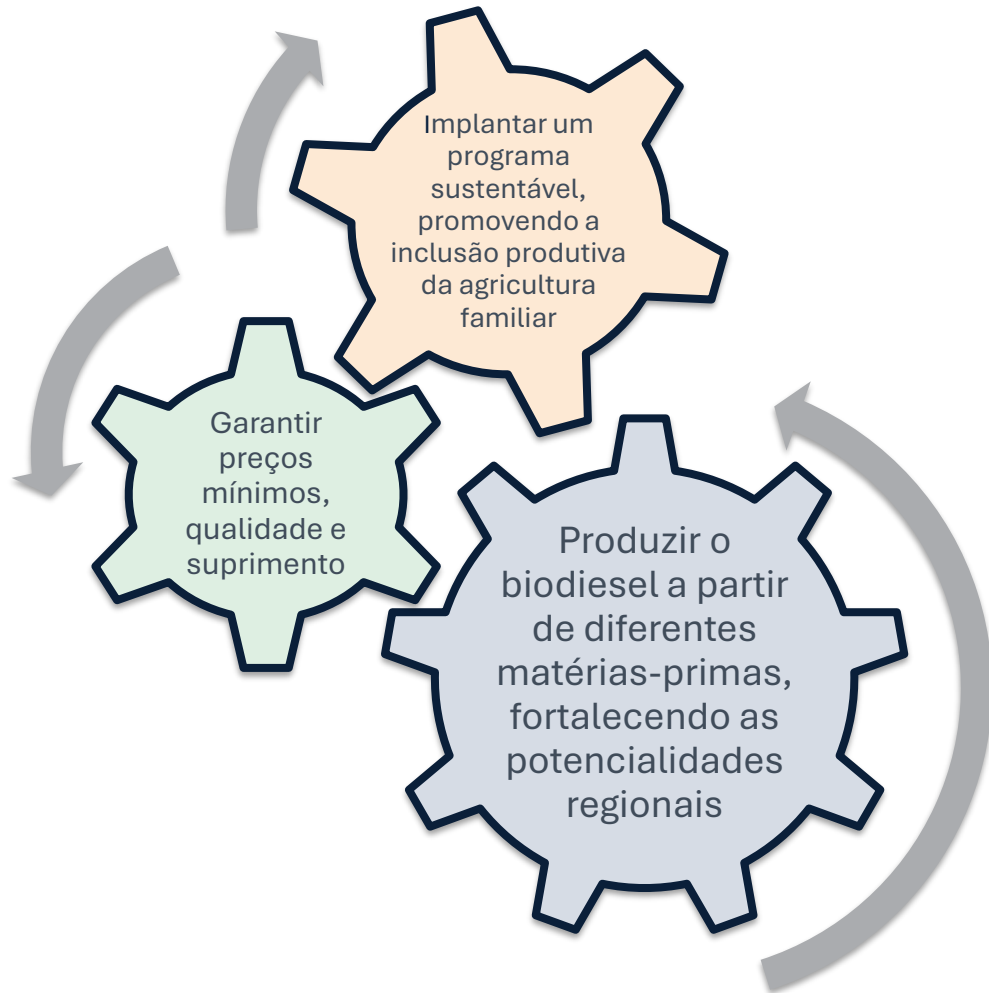
Biodiesel



MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA

GOVERNO FEDERAL
BRASIL
UNIÃO E RECONSTRUÇÃO

Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB)



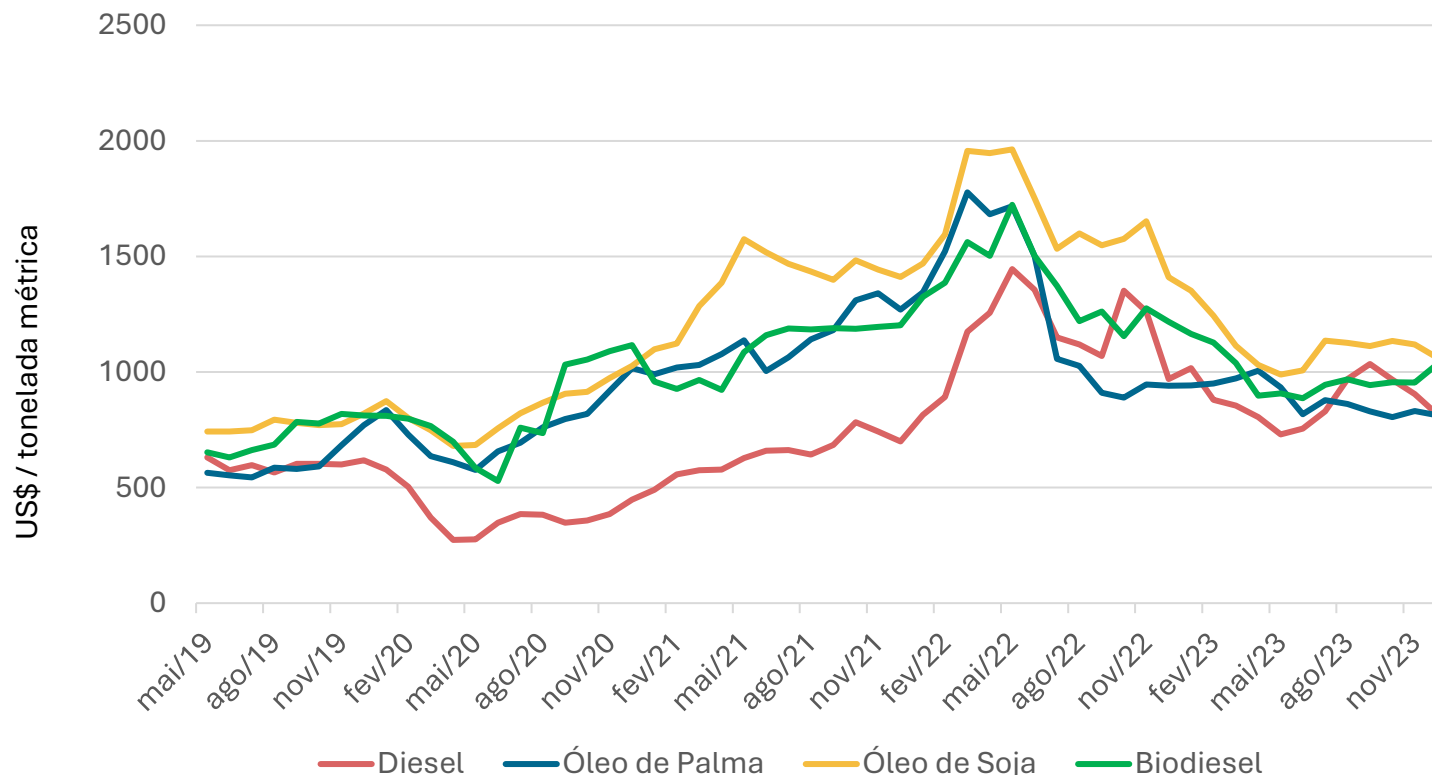
- Uso obrigatório do biodiesel na mistura com o diesel fóssil, de 15% a partir de março de 2025;
- Estímulo à agricultura familiar, garantindo renda e apoiando a inclusão social das famílias produtoras;
- Possibilidade do uso voluntário em percentual superior ao obrigatório (frotas cativas e usos ferroviário, agrícola, industrial e experimental);
- Sistemática de comercialização do biodiesel diretamente entre produtores e distribuidores (**Resolução CNPE nº 14/2020**);
- **Selo Biocombustível Social (SBS)**;
 - No mínimo 80% do volume total comercializado deve ser oriundo de unidades detentoras do SBS;
 - A **Portaria MDA nº 28/2024** define que a concessão do Selo Biocombustível Social será mantida para cada produtor de biodiesel que comprovar, anualmente, percentual mínimo ponderado de dispêndios para a agricultura familiar equivalente a, pelo menos, 32% do valor total bruto do biodiesel comercializado, exceto para consumo próprio ou exportação, com fatores de ponderação (multiplicadores) e 22% sem esses fatores. Essa portaria abre possibilidades de maior diversificação de matéria-prima e novos arranjos de inclusão social.

Matérias-primas para produção do biodiesel

Matérias-primas

- Atualmente, destacam-se o óleo de soja, outros materiais graxos e sebo bovino;
- O óleo de soja deverá manter sua posição histórica de liderança até o final do período analisado;
- Outros materiais graxos ocupam o segundo lugar, ultrapassando o sebo bovino. Outras matérias-primas, como o óleo de fritura e o de palma, vêm apresentando um leve crescimento;
- A matéria-prima corresponde a cerca de 80% do custo total do biodiesel. Estima-se que seu preço acompanhará os valores das *commodities*, em geral.

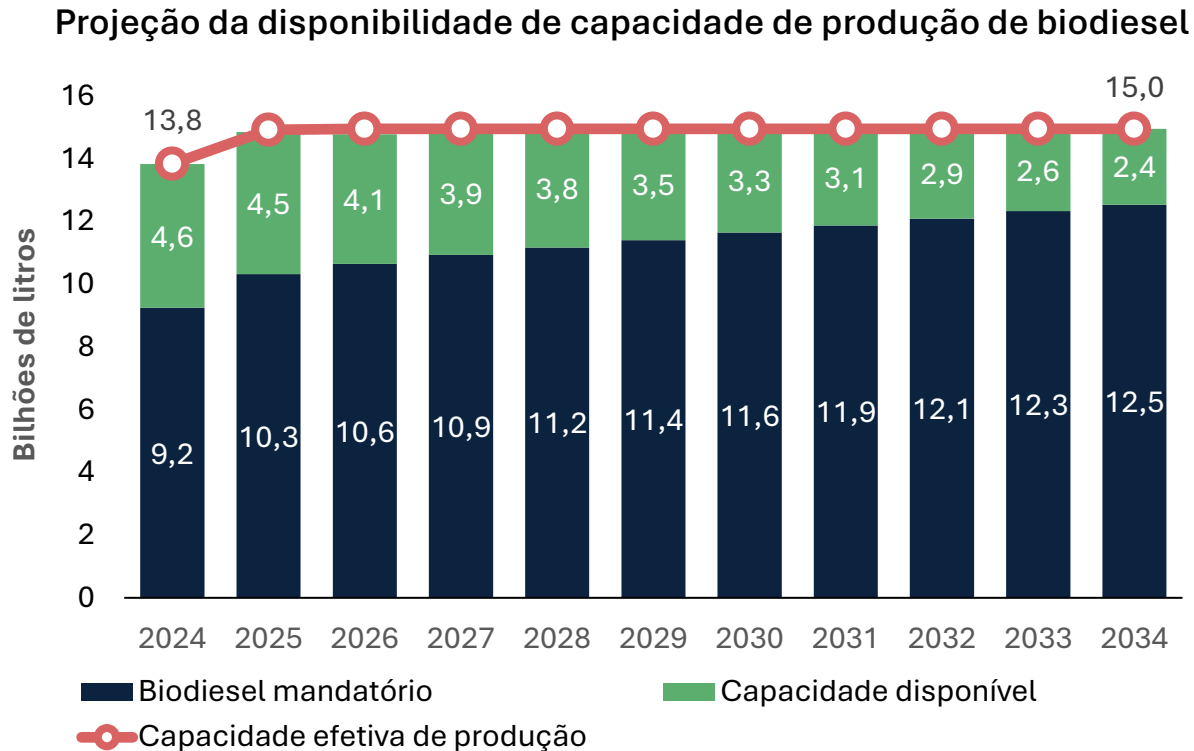
Comparação de preços entre diesel, biodiesel e óleo de soja e de palma



Nota: Os preços das commodities são com base em informações do EIA (New York Harbor) e do biodiesel da ANP convertido em US dólar

Fonte: Elaboração EPE, EIA, ANP

Capacidade de produção de biodiesel



Nota: A demanda de biodiesel é referente ao mandatório vigente atualmente.

Fonte: Elaboração EPE

- A capacidade instalada efetiva atual, somada às ampliações e construções previstas e aprovadas pela ANP, durante todo o horizonte decenal atende à mistura de 15% de biodiesel no diesel fóssil conforme estabelecido na legislação vigente e a previsão de consumo de bunker nacional e exportação;
- Essa capacidade gera excedente ao longo do período decenal, que poderá ser utilizada para atender demandas de outros setores, visando a redução de emissões de GEE, como um meio mais fácil de descarbonização a curto prazo:
 - Há iniciativas para o uso do biocombustível no transporte marítimo e fluvial (ver seção sobre combustíveis aquaviários);
 - Algumas empresas têm utilizado o biodiesel puro (B100) como substituto ao diesel fóssil, tanto em caminhões da frota própria como em embarcações fluviais.

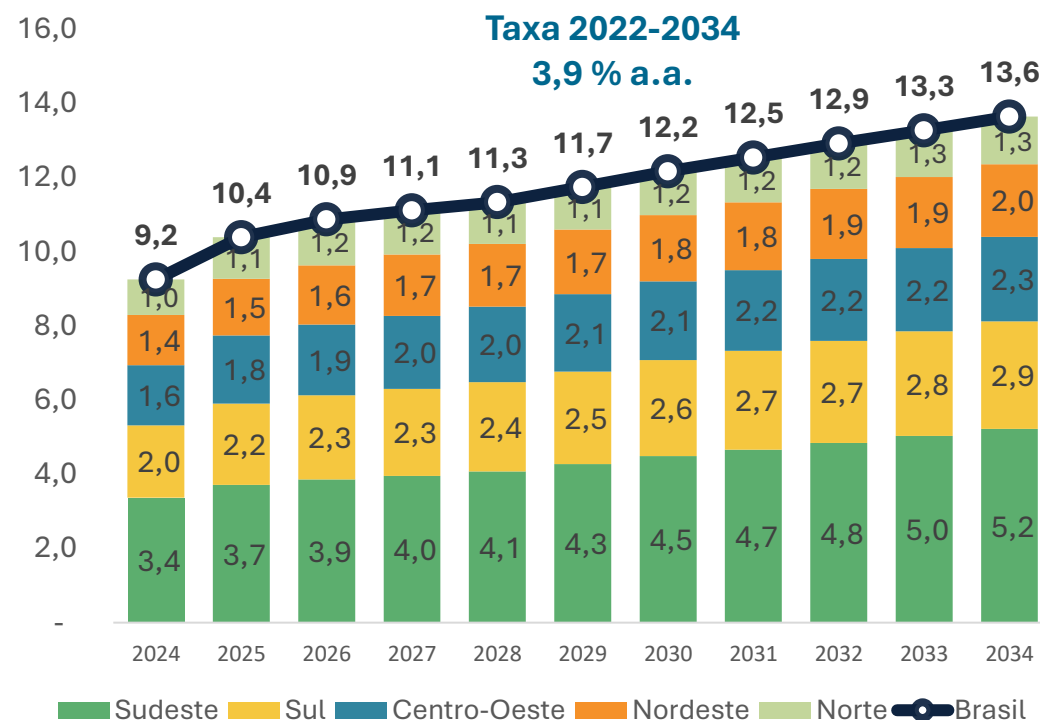
Oferta e demanda de biodiesel

- As regiões Sul e Centro-Oeste lideram a produção, embora a demanda esteja mais concentrada na Região Sudeste;
- Estímulos a culturas adaptadas às Regiões Norte e Nordeste podem aumentar suas produções, promovendo o desenvolvimento regional e a redução das desigualdades.

2034			
Milhões de litros			
Região	Capacidade Nominal Instalada	Consumo Obrigatório	Balço
Norte	1.004	1.280	-276
Nordeste	1.239	1.961	-722
Centro-Oeste	7.036	2.273	4.763
Sul	5.811	2.897	2.914
Sudeste	1.202	5.225	-4.023
Brasil	16.292	13.636	3.809

- Os percentuais **mandatários** de biodiesel acarretam em uma demanda projetada de **12,5 bilhões de litros** em 2034. Com a **adição no transporte aquaviário**, a **demand**a do biocombustível **totaliza 13,6 bilhões de litros** em 2034.

Demanda de biodiesel por região



Nota: Inclui biodiesel para o setor aquaviário (hidroviário e Bunker doméstico e internacional)
Fonte: Elaboração EPE

Análise de sensibilidade da mistura BX

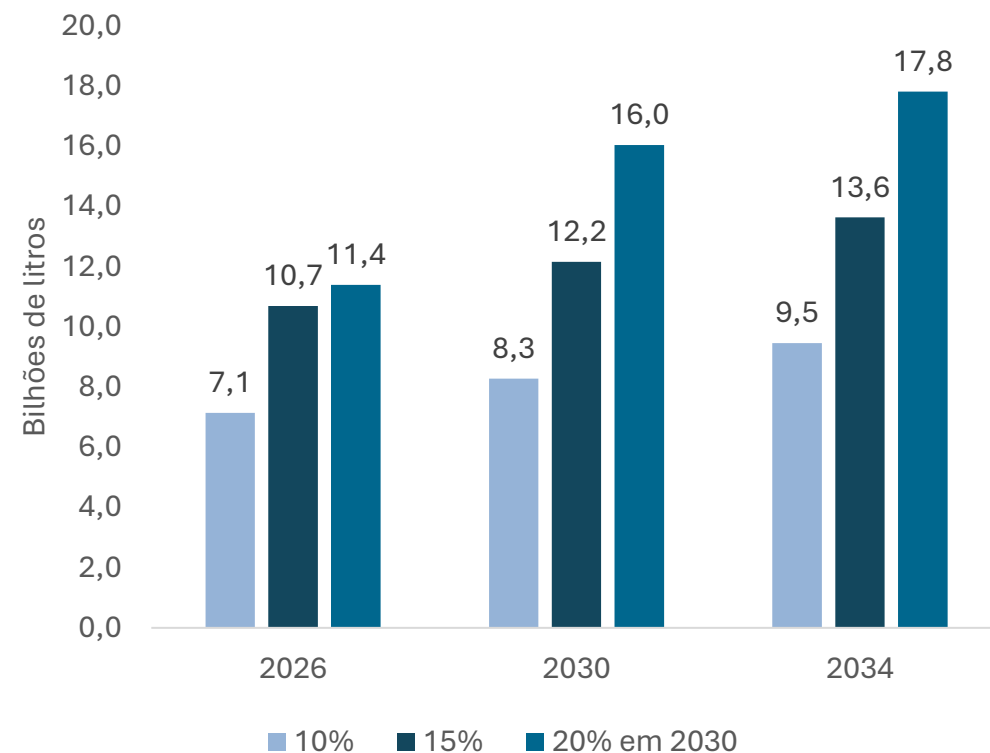
Conselho Nacional de Política Energética (CNPE)

- Lei nº 13.263/2016: possibilidade de alteração do teor de biodiesel (até uso de B6), a qualquer tempo, por motivo justificado de interesse público.

Análise de Sensibilidade

- Foi realizada uma análise de sensibilidade para a demanda de biodiesel, através da construção de trajetórias alternativas de mandato do biocombustível no diesel B, tendo em vista a legislação atual e as propostas do projeto de lei do Combustível do Futuro:
 - TRAJETÓRIA 10%:** Alteração do percentual de mistura para 10% por todo o período
 - TRAJETÓRIA 15%:** Manutenção do percentual de mistura de 15%, vigente em 2025, por todo o período.
 - TRAJETÓRIA 20% em 2030:** A partir de 2026, aumento do percentual de mistura de 1% a.a., atingindo 20% em 2030 e permanecendo até 2034.

Trajетórias para a demanda de biodiesel



Fonte: Elaboração EPE

Biocombustíveis do ciclo Diesel

- **Diesel Verde** é um combustível renovável formado por uma mistura de hidrocarbonetos com composição química análoga à do combustível fóssil (*drop in*), podendo ser produzido a partir de diferentes rotas. O produto oriundo destes processos físico-químicos poderá compor a mistura do óleo diesel B.
- A Resolução ANP nº 842/2021 (ANP, 2021) apresentou as especificações necessárias e obrigações quanto ao controle de qualidade do diesel verde para a sua comercialização no país.
- Existem iniciativas para produção de SAF e HVO utilizando matérias-primas conhecidas, como o óleo de soja, e, ainda, com perspectiva para utilizar óleo de palma e óleo de macaúba.
- O projeto de lei do Combustível do Futuro propõe que o CNPE definirá a participação mínima obrigatória anual do diesel verde no diesel B até 2037, que não poderá ultrapassar 3%. Considera-se que os volumes produzidos a partir dessas iniciativas, serão destinados à exportação.
- O **diesel coprocessado** é um combustível resultante do coprocessamento de percentual de óleo vegetal com o diesel mineral na etapa de hidrotreatamento (hidrogenação catalítica) em refinaria, obtendo-se um combustível com parcela renovável e, portanto, menor pegada de carbono. A Petrobras, através do Programa BioRefino, pretende produzir o diesel coprocessado em algumas de suas refinarias.



Fonte: Freepik

PDE 2034

Combustíveis Sustentáveis de Aviação

Sustainable Aviation Fuel (SAF)



MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA

GOVERNO FEDERAL
BRASIL
UNIÃO E RECONSTRUÇÃO

Combustíveis sustentáveis de aviação



As mudanças climáticas demandam ações globais de mitigação de emissões de GEE. O desafio é ainda maior para os setores de difícil descarbonização, como a aviação, que representou 2% das emissões globais em 2022.



Estima-se que a demanda de querosene de aviação continuará crescendo e, conseqüentemente, as emissões de GEE, mesmo com melhorias na eficiência das aeronaves e ganhos sistêmicos.



Combustíveis Sustentáveis de Aviação (SAF) constituem uma das principais medidas para mitigar as emissões do setor, pois são produzidos a partir de recursos renováveis e considerados *drop-in*.



O Brasil, com sua experiência na produção de biocombustíveis e disponibilidade de matérias-primas renováveis, pode assumir um papel de liderança no mercado de combustíveis renováveis e acelerar a transição para uma economia sustentável.



A Organização da Aviação Civil Internacional definiu metas de redução de emissões para o setor e tem o objetivo de atingir emissões líquidas zero em 2050.

O Brasil também está elaborando um programa para o setor – o ProBioQAV.

Combustíveis sustentáveis de aviação

Iniciativas internacional e nacional



ICAO

CORSIA

- Para reduzir as emissões do setor, a Organização da Aviação Civil Internacional (ICAO) estabeleceu os objetivos de crescimento carbono neutro a partir de 2020 e de atingir o *net zero* até 2050.
- O CORSIA (*Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation*) é um mecanismo de mercado concebido para apoiar esse processo.
 - As emissões internacionais acima dos níveis observados na média de 2019-2020 deverão ser compensadas com créditos de carbono ou através do uso de combustíveis elegíveis ao CORSIA, em especial os SAF.
 - Estima-se que a substituição do QAV fóssil por SAF contribuirá para o atingimento de 65% da meta Net Zero 2050.¹
- O CORSIA entra em fase obrigatória para os países signatários a partir de 2027.

Fonte: 1 – [IATA, 2024](#)



- O Programa Combustível do Futuro (Resolução CNPE nº 7/2021) instituiu grupo técnico interministerial para avaliar a forma de inserção do SAF na matriz de transporte.
- Em 2023, o Programa deu origem ao Projeto de Lei² que visa, entre outros objetivos, instituir o Programa Nacional de Combustível Sustentável de Aviação – ProBioQAV.
- O ProBioQAV propõe metas de redução de emissões a serem atendidas com SAF e a análise de ciclo de vida (ACV) do poço-à-roda de cada rota de produção desse combustível.
- O percentual de redução de emissões proposto se inicia em 1% em 2027 e chega a 10% em 2037.

Nota: 2 – Ainda em tramitação no Congresso Nacional até a publicação deste documento.

Combustíveis sustentáveis de aviação

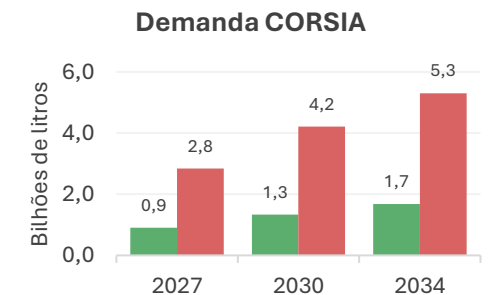
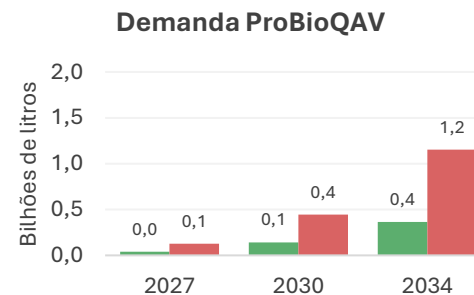
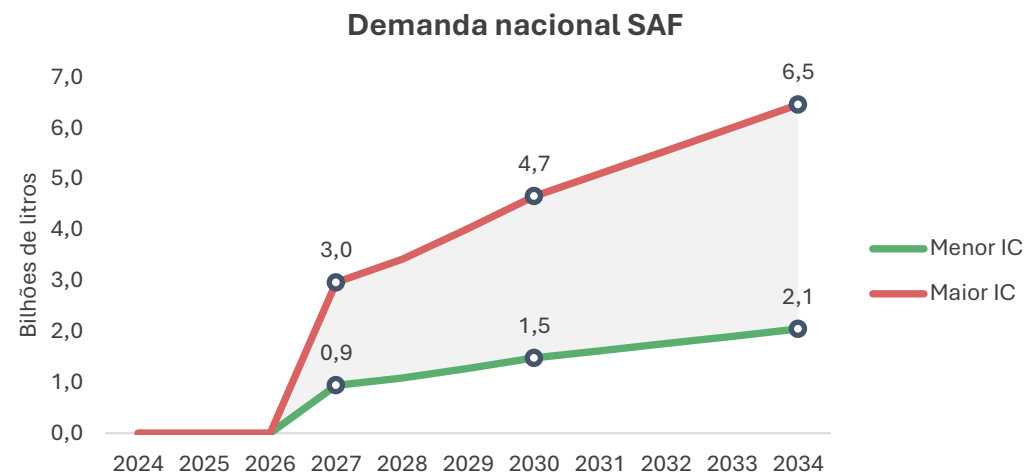
Oferta e demanda no Brasil

- Projetos anunciados¹ em escala comercial totalizam a oferta de 1,1 bilhão de litros de SAF por ano a partir de 2027.



Nota: 1 – Há projetos para a construção de plantas que utilizam as rotas AtJ e HEFA, com menor grau de certeza, que não foram incluídas neste estudo.

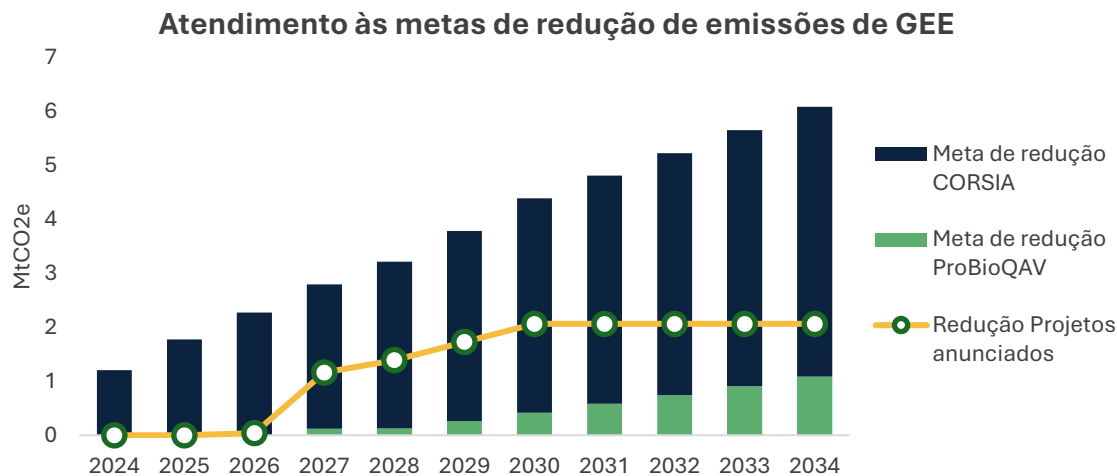
- A demanda volumétrica de SAF irá variar de acordo com a intensidade de carbono (IC) do combustível produzido, visto que CORSIA e ProBioQAV estabelecem metas de redução de emissões.



Fonte: Elaboração EPE

Combustíveis Sustentáveis de Aviação

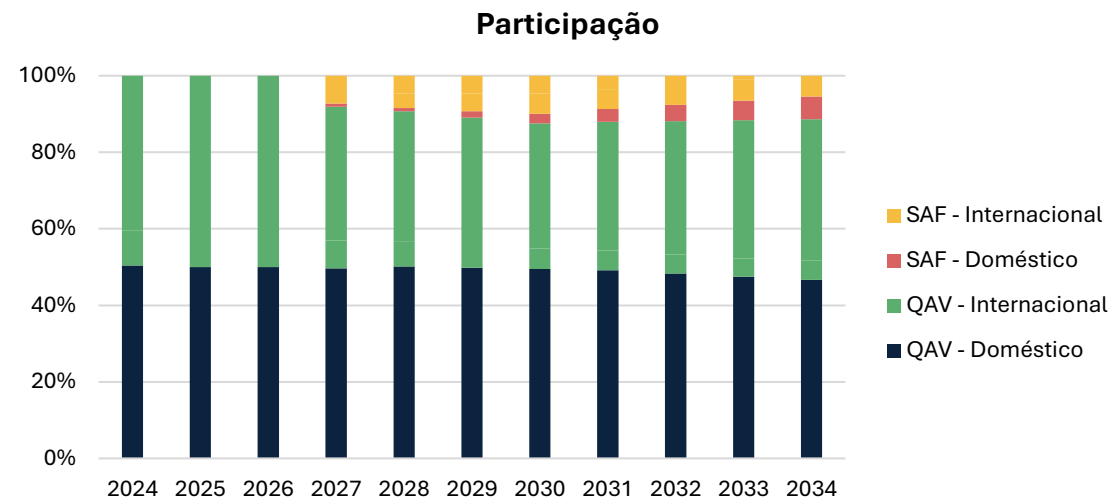
Projetos anunciados



Fonte: Elaboração EPE

- Entre 2027¹ e 2034, os projetos anunciados² atendem, em média, 41% das metas de redução de emissões de GEE definidas pelo CORSIA e ProBioQAV.
- Considerando apenas o ProBioQAV, os projetos anunciados são suficientes para atender as metas estabelecidas até 2037.

Nota: 1 – As metas do ProBioQAV e CORSIA se tornam obrigatórias a partir de 2027. 2 – Para mais informações, acesse o caderno de Combustíveis sustentáveis de aviação no Brasil - Perspectivas Futuras.



Nota: A demanda de combustíveis para o setor aéreo sai de 6,7 bilhões de litros em 2024 e atinge 9,7 bilhões em 2034.

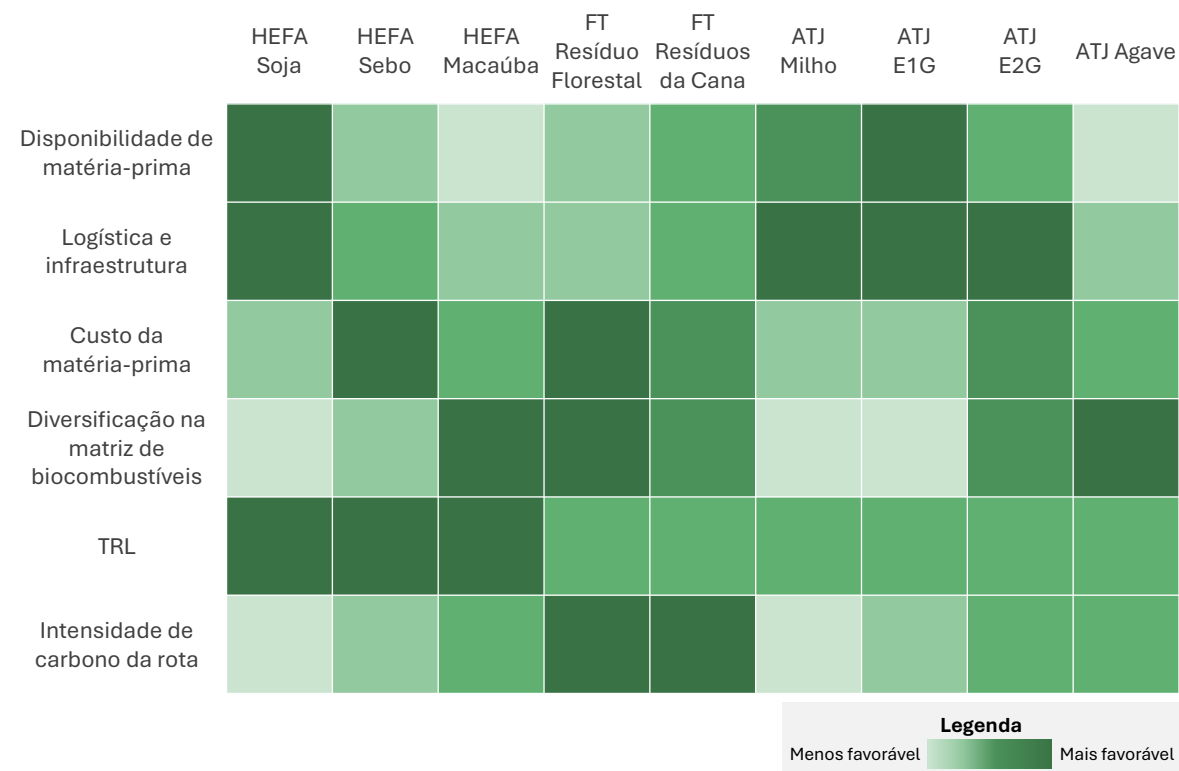
Fonte: Elaboração EPE

- Os projetos já anunciados representam 12% da demanda estimada de combustível de aviação entre 2030 e 2033, mas a participação decai à medida que a demanda cresce.
- No gráfico, priorizou-se a utilização do SAF para atender a meta do ProBioQAV, sendo o volume excedente direcionado para atender o CORSIA.
- Atualmente, a **Resolução ANP nº 856/2021** autoriza 7 rotas de produção que são detalhadas no **Fact Sheet sobre SAF**.

Combustíveis Sustentáveis de Aviação

Avaliação multicritério

- O mix de rotas e matérias-primas dependerá da avaliação de diversos fatores e restrições, tais como:



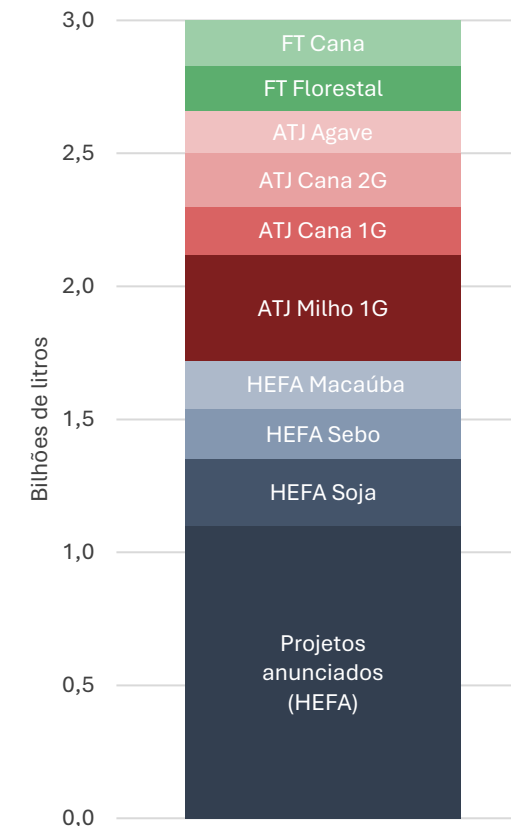
- Outros fatores também poderão influenciar a composição do mix, tais como financiamento, aspectos geopolíticos, estratégia nacional, etc.

- A ponderação de diferentes critérios indica uma **possível composição** de rotas de produção de SAF com foco em atingir as metas de redução de emissões do setor e diversificar matérias-primas.

- A diversificação de matérias-primas para produção de biocombustíveis ainda requer investimentos para alcançar escala.
- Contudo, este pode ser um importante vetor de desenvolvimento regional, recuperação de pastagens degradadas e geração de emprego e renda.

- Com essa composição, o SAF representaria cerca de 30% da demanda de combustível de aviação no Brasil.

Produção de SAF por rota em 2034



Nota: O gráfico não propõe uma hierarquia entre as rotas.

PDE 2034

Inovações e perspectivas emergentes



MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA

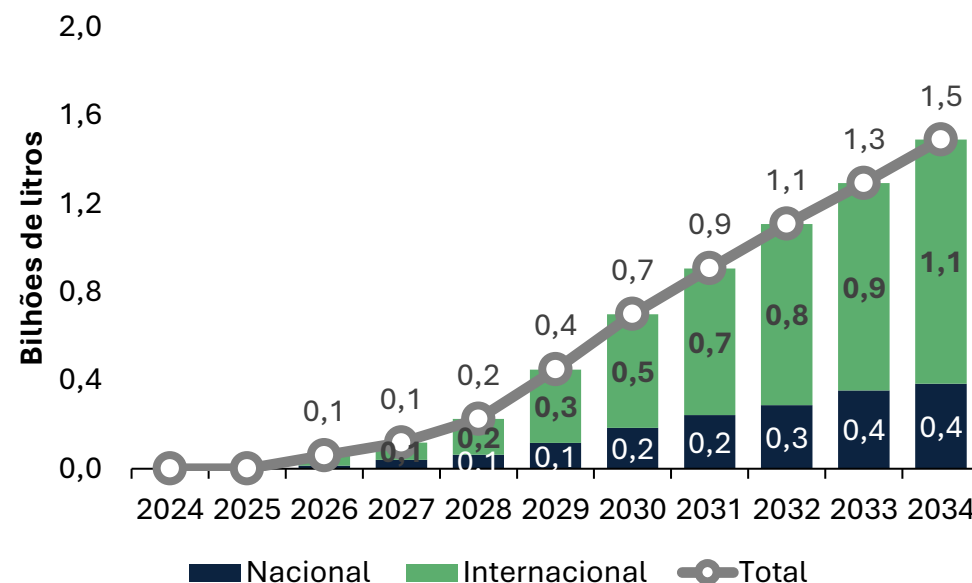
GOVERNO FEDERAL
BRASIL
UNIÃO E RECONSTRUÇÃO

Biocombustíveis para uso aquaviário



- IMO (Organização Marítima Internacional) é a agência da ONU, composta por 174 Estados Membros, responsável por garantir a regulamentação e cumprimento das regras internacionais, determinadas no ANEXO IV da Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição Causada por Navios (MARPOL). A estratégia definida em 2023 indica:
 - 2030: Redução das emissões totais de GEE em pelo menos 20%, almejando 30%, em comparação com 2008. Adotar tecnologias, combustíveis e/ou fontes de energia com emissão zero ou quase zero correspondendo a pelo menos 5%, buscando 10%, da energia utilizada;
 - 2040: meta de pelo menos 70%, visando 80%, em comparação com 2008;
 - 2050: Emissões líquidas zero, conforme circunstâncias nacionais;
- Os biocombustíveis configuram-se como uma das alternativas para atender as metas propostas, sendo o biodiesel um combustível já difundido no país, com capacidade instalada ociosa que pode ser utilizada para atingir esse objetivo de forma mais ágil no curto prazo.
 - A indústria do biodiesel possui maturidade e agilidade para responder a incrementos de demandas.

Projeção da demanda de biodiesel para uso aquaviário¹



Nota: Aquaviário corresponde às demandas: hidroviária e bunker (doméstico e internacional)
Fonte: Elaboração EPE

- Em 2034, a demanda de biodiesel para uso aquaviário poderá alcançar 1,5 bilhão de litros, sendo **1,1 bilhão de litros para navegação internacional**.

Captura e armazenamento geológico do dióxido de carbono biogênico (Bio-CCS)

Bio-CCS ou **BECCS**¹ efetua a estocagem permanente de um carbono fixado da atmosfera pela fotossíntese, podendo caracterizar “emissões negativas”.

A bioenergia brasileira pode capturar CO₂ a custos competitivos

- A elevada pureza do CO₂ da fermentação nas usinas de etanol facilita a captura, sendo uma das oportunidades mais imediatas de Bio-CCS;
- Esse potencial em 2024 é cerca de 26 milhões de toneladas de CO₂ / ano, podendo chegar a 35 milhões de toneladas de CO₂ / ano em 2034;
- O Bio-CCS pode reduzir significativamente a intensidade de carbono do etanol, tornando-o ainda mais competitivo na transição energética;
- Além do etanol, destacam-se a elevada concentração de CO₂ na produção de biometano e a grande escala na cogeração à biomassa, como na indústria de papel e celulose.

Destino do CO₂: armazenamento ou uso produtivo

- **Reservatórios geológicos:** A disponibilidade de sítios adequados próximos às fontes de CO₂ é essencial e vem sendo mapeada pela EPE;
- **Combustíveis sintéticos:** A reação com hidrogênio (H₂) pode combinar os potenciais de CO₂ biogênico e de eletricidade renovável do Brasil para produzir eletrocombustíveis (e-fuels) relativamente competitivos.

¹ Siglas da língua inglesa. CCS: carbon capture and storage; BECCS: bioenergy with carbon capture and storage;

O Bio-CCS está alinhado às políticas de biocombustíveis

	 Combustível do Futuro	 RenovaBio
Objetivo geral	Ampliar o uso de combustíveis sustentáveis e de baixa intensidade de carbono (IC).	Contribuir com a redução das emissões de GEE, a expansão e a previsibilidade dos biocombustíveis.
Como se aplica diretamente ao Bio-CCS?	Definição de arcabouço legal e regulatório para CCS.	Prevê bônus de até 20% sobre a NEEA de biocombustíveis com emissões negativas.
Resultados esperados	Segurança jurídica à cadeia do CCS e promoção de seu uso para reduzir a IC dos biocombustíveis.	Ter o C BIO como mecanismo de remuneração adequada ao investimento em Bio-CCS.

Hidrogênio de baixa emissão de carbono – Oportunidades para a biomassa!

As rotas de produção a partir da biomassa podem contribuir com o desenvolvimento da cadeia de hidrogênio (H₂) de baixa emissão de carbono do país, complementando e diversificando a oferta a partir de suas particularidades.

Oportunidades para a produção de hidrogênio a partir da biomassa (Biohidrogênio) no Brasil :

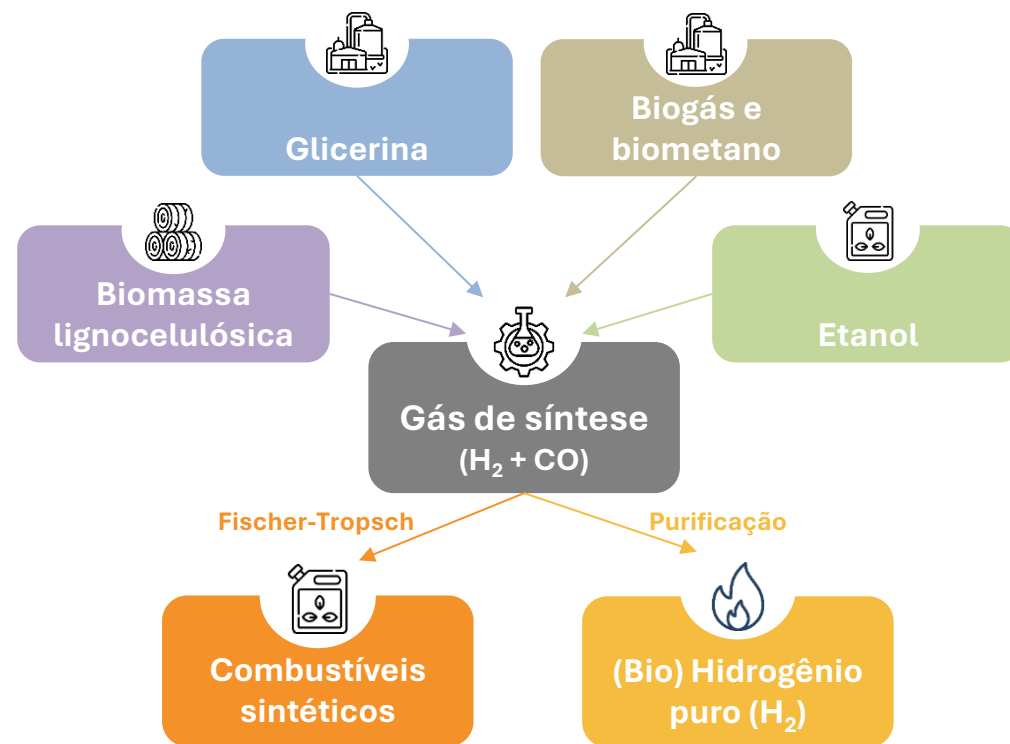
- O interesse nesse produto pode viabilizar a coleta e o aproveitamento de resíduos agrícolas e florestais inutilizados;
- Alternativa para agregar valor à glicerina e ao biogás com potenciais significativos para a indústria do biodiesel e sucroenergética, entre outras. Lógica similar se aplica ao licor preto, da indústria de papel e celulose;
- A rota do etanol se diferencia por colocá-lo como “vetor” de H₂, valendo-se da facilidade de distribuição do biocombustível para a conversão em H₂ próxima ao ponto de consumo.

A indústria da bioenergia também **demandará H₂** para os processos de hidrogenação (HEFA), para a produção de fertilizantes de baixo carbono e metanol, entre outros.



O Programa Nacional de Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono pode impulsionar o desenvolvimento da indústria nacional de H₂.

Rotas selecionadas de produção de biohidrogênio com potencial relevante no Brasil



Combustíveis sintéticos

São hidrocarbonetos produzidos por processos termoquímicos e catalíticos, que mimetizam combustíveis fósseis, e podem ser usados nos sistemas já existentes sem adaptação (*drop-in*).

Nesse item não serão abordados os combustíveis com rotas já consolidadas e/ou contempladas em itens anteriores deste caderno, como HEFA e ATJ. Desta forma, dois conjuntos principais de rotas para a produção de combustíveis sintéticos de baixa emissão de carbono:

- **Conversão da biomassa:** geração do gás de síntese e reação de Fischer-Tropsch;
- **Eletrocombustíveis (e-fuels):** combinação do hidrogênio eletrolítico a uma fonte de carbono, tipicamente o CO₂.

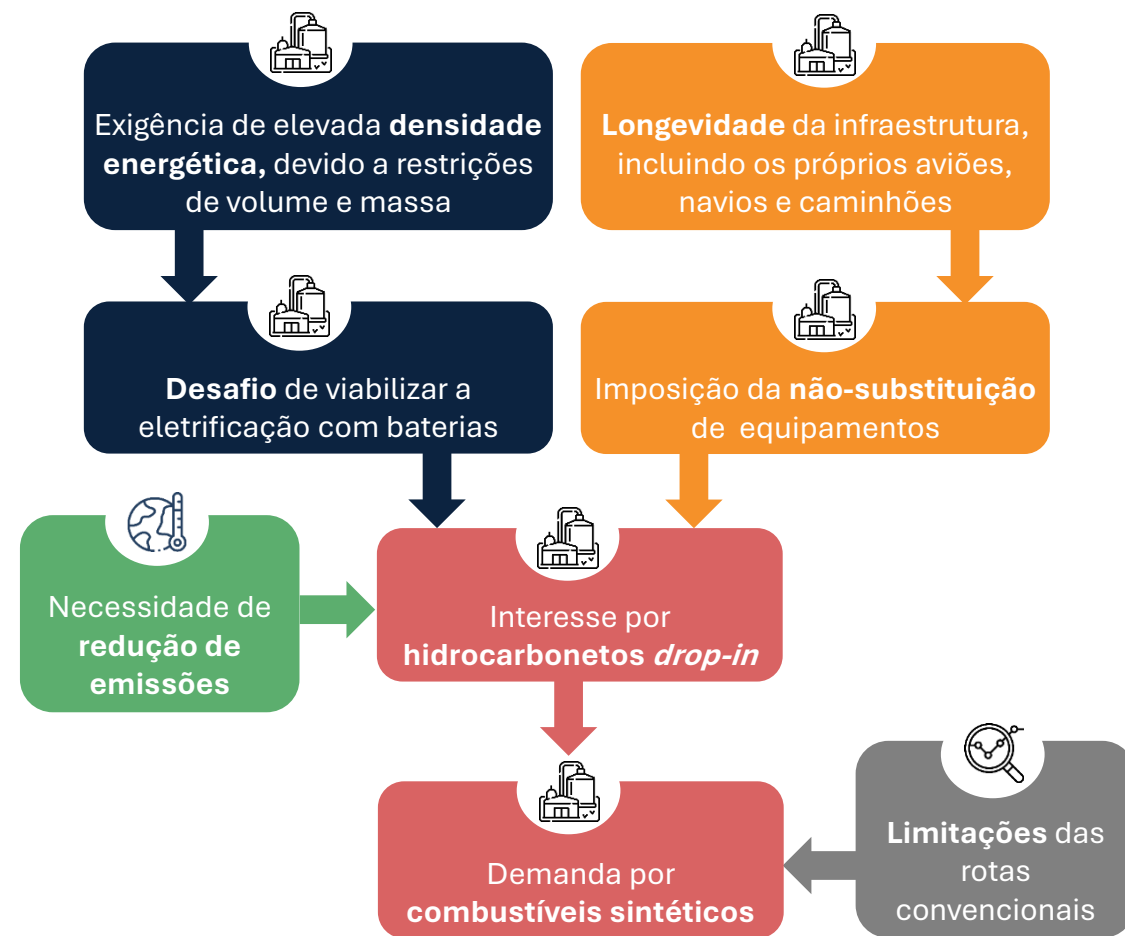
Regiões com menor disponibilidade de biomassa tendem a focar nos e-fuels para as trajetórias de descarbonização. Por sua vez, o Brasil tem recursos para desenvolver ambas as rotas, além dos biocombustíveis tradicionais e avançados.

A bioenergia brasileira é uma vantagem competitiva mesmo no caso dos e-fuels, pois gera CO₂ em condições favoráveis à captura e utilização.



Dispõe sobre a regulamentação e a fiscalização da atividade de produção e comercialização dos combustíveis sintéticos

Os combustíveis sintéticos na agenda dos transportes aéreo, marítimo e rodoviário de longa distância



Matérias-primas para biocombustíveis

O Brasil apresenta uma cesta de matérias-primas diversificada para a produção de biocombustíveis:



- Cana-de-açúcar, milho e outros cereais para a produção de **etanol**. Além do biocombustível, esses insumos dão origem a: açúcar, bioeletricidade, biogás, biomassa para etanol 2G, DDGS¹ (*Dried Distillers Grains with Solubles*) e óleo de milho;
- Óleo de soja, sebo bovino, óleo de algodão e outros para produção do biodiesel e seus coproduto: farelo, glicerina;
 - O óleo de palma apresenta o maior volume de produção no mercado internacional, além de preços mais competitivos.
 - Os óleos de macaúba e milho surgem como potenciais insumos.
- Biomassa residual de cana-de-açúcar, de outras agroindústrias e de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)² para biometano;
- Novos biocombustíveis:
 - Etanol, óleos vegetais e resíduos para SAF e diesel verde
 - Biomassa para hidrogênio



- O uso de biocombustíveis como uma das soluções para a descarbonização demandará maior disponibilidade de matérias-primas, podendo gerar competição pelo mesmo recurso.
- A diversificação de matérias-primas, aliada a políticas públicas, pode ser um vetor de desenvolvimento regional.
- A biomassa para a geração de energia de processos para a produção de etanol de milho e outros cereais é um ponto de monitoramento.

Nota 1: Grãos secos de destilaria com solúveis - coprodutos da produção do etanol do milho utilizados na nutrição animal (bovinos, aves e suínos).

Nota 2: Biogás para outras agroindústrias e RSU são abordados no capítulo que trata sobre micro e mini geração distribuída.

PDE 2034

Considerações finais



MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA

GOVERNO FEDERAL
BRASIL
UNIÃO E RECONSTRUÇÃO

Considerações finais

Os biocombustíveis continuarão a ter participação relevante na matriz energética brasileira no horizonte decenal. Somado ao RenovaBio, o estabelecimento do Programa Combustível do Futuro corrobora os desdobramentos positivos e o fortalecimento do setor.

A oferta de etanol será crescente no período decenal, com a cana-de-açúcar mantendo a sua relevância e acompanhada pelo crescimento expressivo do etanol de milho, que avançará para 30% no final do período. As usinas poderão ainda aproveitar suas potencialidades na produção de biogás, etanol de segunda geração, SAF, entre outros. Estima-se a ampliação de capacidade de produção de etanol e construção de novas unidades para cana 1G e 2G e para o milho. O etanol hidratado aumentará sua competitividade em relação à gasolina C no horizonte decenal.

A bioeletricidade a partir do bagaço da cana segue contribuindo para renovabilidade da matriz elétrica nacional e para a complementariedade da geração de energia no período de estiagem, podendo incorporar palhas e pontas. Uma significativa vantagem para as indústrias do setor sucroenergético associada à bioeletricidade é a garantia de aporte financeiro propiciado pela comercialização de energia.

O biogás do setor sucroenergético (vinhaça e torta de filtro) terá uma maior inserção na matriz energética, podendo ser destinado à geração elétrica e, com a purificação para biometano, à substituição ao diesel e em mistura com o gás natural fóssil, nas malhas de gasodutos. Também existe um potencial para o aproveitamento das palhas e pontas.

Considerações finais

A demanda de biodiesel manter-se-á nos limites definidos por lei, sendo o FAME o principal produto. Espera-se que o óleo de soja permaneça como a principal matéria-prima para a produção de biodiesel no decênio, sendo importante o desenvolvimento de culturas alternativas, visando impulsionar o desenvolvimento regional, o que poderá catalisar a geração de emprego e interiorização de renda.

O PNPB demonstrou ser uma importante política pública de inserção da agricultura familiar na economia formal, que é responsável pela produção de uma parcela considerável da cesta de alimentos consumida pela população brasileira. Esse modelo é passível de ser replicado tanto para novos biocombustíveis, como para outros setores. Em consonância com os objetivos do Selo Biocombustível Social, a produção de biocombustíveis poderá se constituir como um vigoroso vetor de incentivo ao fortalecimento da agricultura familiar e à promoção da segurança alimentar.

Existem perspectivas de produção de SAF e diesel verde, a partir de diversas rotas e matérias-primas, e da produção de hidrogênio de biomassa. O biodiesel poderá ser utilizado em combustíveis marítimos. Existe ainda a possibilidade de uso de diesel coprocessado na mistura do ciclo Diesel. O desenvolvimento e a disseminação dessas alternativas contribuem para que o Brasil mantenha sua relevância no uso de energias renováveis e na liderança de uma transição energética mundial justa e inclusiva, o que demandará investimentos em novas biorrefinarias.

O projeto de Lei Combustível do Futuro é uma política pública destinada para incentivar a produção e uso de combustíveis sustentáveis, de forma a tornar a matriz energética mais limpa, contribuindo para que o Brasil atinja as metas de redução de emissões, além da possibilidade de atração de investimentos no setor de energias renováveis,.

PDE 2034

Clique [aqui](#) e acesse todos os estudos do PDE 2034



Siga a EPE nas redes sociais e mídias digitais:



MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA

