



Hidrogênio e Biomassa

Oportunidades para produção e uso de hidrogênio em sistemas de bioenergia

**Superintendência de Derivados de
Petróleo e Biocombustíveis -SDB**

Diretoria de Petróleo, Gás & Biocombustíveis
Empresa de Pesquisa Energética

Junho de 2025



APRESENTAÇÃO DO PRODUTO



NOTA TÉCNICA

HIDROGÊNIO E BIOMASSA

Oportunidades para produção e uso de hidrogênio em sistemas de bioenergia

JUNHO DE 2025

MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA

GOVERNO FEDERAL
BRASIL
UNIÃO E RECONSTRUÇÃO

epe
anos

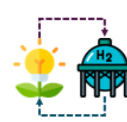
NOTA TÉCNICA

HIDROGÊNIO E BIOMASSA

RESUMO ILUSTRATIVO

MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA
GOVERNO FEDERAL
BRASIL
UNIÃO E RECONSTRUÇÃO

Empresa de Pesquisa Energética
Diretoria de Estudos do Petróleo, Gás e Biocombustíveis
Superintendência de Derivados do Petróleo e Biocombustíveis
Junho de 2025



O hidrogênio de baixo carbono e os sistemas de bioenergia são opções de descarbonização aderentes às potencialidades brasileiras. Este resumo ilustra os resultados da publicação "Hidrogênio e Biomassa: Oportunidades para produção e uso de hidrogênio em sistemas de bioenergia", que evidencia uma **relação de fortalecimento mútuo entre os segmentos**. A modernização e o desenvolvimento de cadeias de bioenergia diversificam as **aplicações do hidrogênio**, ao mesmo tempo que permitem **rotas de produção de H₂ com características únicas**. Modelos de negócio que explorem tal sinergia podem acelerar uma transição energética que fomente a competitividade do país.

O HIDROGÊNIO POTENCIALIZA A BIOENERGIA...

As aplicações tradicionais do hidrogênio já são fundamentais ou podem ser direcionadas para a bioenergia em um futuro de baixo carbono. Essas aplicações estão entre os setores prioritários para o H₂, para os quais não há substituto direto. Hoje [1], o mercado global de hidrogênio se divide entre:

Uso para Refino: 45%
Empregado no refino de petróleo, o hidrogênio é essencial também para o **biorefining**, atividade capaz de gerar novos biocombustíveis como o Combustível Sustentável de Aviação (SAF), o Diesel Verde (ex. HVO) e outros;

Produção de Amônia: 33%
O hidrogênio é um dos reagentes da reação de Haber-Bosch, principal processo empregado na produção de amônia. A amônia é a base dos fertilizantes nitrogenados utilizados na fase agrícola dos sistemas de bioenergia;

Produção de Metanol: 17%
A síntese de metanol se dá essencialmente pela reação de hidrogênio com gases como CO ou CO₂. O metanol é reagente da transesterificação de óleos vegetais para produção de biodiesel, além de ser um potencial novo biocombustível;

Outros usos: 5%
Aplicações adicionais associadas aos sistemas de bioenergia incluem o uso direto como **combustível** de caminhões e máquinas agrícolas e como **insumo**, por exemplo, na **metanação** do biogás.

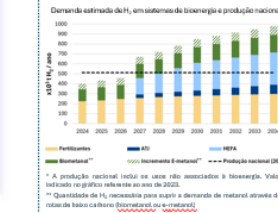
[1]: IEA, Global Hydrogen Review 2024.



O H₂ aparece em diversos elos das cadeias de bioenergéticas



A demanda por hidrogênio associada aos sistemas de bioenergia pode superar a produção* nacional



* A produção nacional inclui os setores relacionados à bioenergia. Valor estimado no gráfico refere-se ao ano de 2023.
** Quantidade de H₂ necessária para suprir a demanda de metanol através de rotas de baixo carbono (biometanol ou e-metanol).

HYDROGEN AND BIOMASS

ILLUSTRATIVE SUMMARY

MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA
GOVERNO FEDERAL
BRASIL
UNIÃO E RECONSTRUÇÃO

Energy Research Office
Division of Oil, Gas & Biofuels Studies
Oil Products and Biofuels Studies Department
June 2025



Low-carbon hydrogen and bioenergy systems represent decarbonization pathways that align with Brazil's potential. This summary outlines the main findings of the publication "Hydrogen and Biomass: Opportunities for Hydrogen Production and Use in Bioenergy Systems", which highlights the **mutually reinforcing relationship between the two sectors**. The modernization and development of bioenergy chains diversify hydrogen applications while enabling H₂ production routes with unique advantages. Business models that leverage this synergy can accelerate an energy transition that enhances Brazil's competitiveness.

HYDROGEN ENHANCES BIOENERGY...

Traditional hydrogen applications are already essential to bioenergy and could be further redirected toward it in a low-carbon future. These applications are among the key sectors for hydrogen (H₂), for which no direct substitutes exist. Currently [1], the global hydrogen market is divided into:

Use in Refining: 45%
Used in oil refining, hydrogen is also essential for biorefining, a process capable of producing new biofuels such as Sustainable Aviation Fuels (SAF), Renewable Diesel (e.g., HVO), among others;

Ammonia Production: 33%
Hydrogen is one of the inputs of the Haber-Bosch process, the primary method used for ammonia production. Ammonia is the basis of nitrogen fertilizers used in the agricultural phase of bioenergy systems;

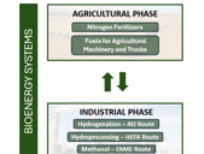
Methanol production: 17%
Methanol synthesis essentially involves reacting hydrogen with gases such as CO or CO₂. Methanol is a primary input for the transesterification of vegetable oils used in biodiesel production, and it is also a potential new biofuel;

Other uses: 5%
Additional hydrogen applications associated with bioenergy systems include its direct use as **fuel** for trucks and agricultural machinery, as well as its role as a **feedstock** in other processes such as the methanation of biogas.

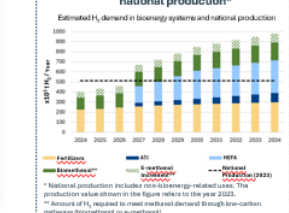
[1]: IEA, Global Hydrogen Review 2024.



H₂ is present in several steps of bioenergy chains



Hydrogen demand associated with bioenergy systems may exceed national production*



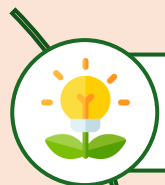
* A produção nacional inclui os setores relacionados à bioenergia. Valor estimado no gráfico refere-se ao ano de 2023.
** Quantidade de H₂ necessária para suprir a demanda de metanol através de rotas de baixo carbono (biometanol ou e-metanol).

RESUMO ILUSTRATIVO – PORTUGUÊS E INGLÊS

O **Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono** tem se destacado em um contexto de aceleração da transição energética por sua **versatilidade**, característica baseada na diversidade de rotas de produção e de setores em que pode ser utilizado.

A **Bioenergia** é fundamentada pela potência e experiência da agropecuária brasileira e a grande disponibilidade de **recursos agrícolas**.

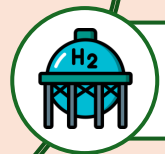
O **Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono** e a **Bioenergia** são opções de descarbonização aderentes às **potencialidades brasileiras**, tendo ganhado destaque no marco regulatório e de políticas públicas recentes:



Lei 13.576/2017 - Renovabio



Lei 14.993/2024 - Combustíveis do Futuro



Lei 14.948/2024 - Política Nacional do Hidrogênio de Baixo Carbono

A Nota Técnica “Hidrogênio e Biomassa: Oportunidades para a produção e uso de hidrogênio em sistemas de bioenergia” visa identificar, descrever e promover a **relação de fortalecimento mútuo** que existe entre as cadeias da bioenergia e do hidrogênio de baixa emissão.



Ao mesmo tempo que a **produção de hidrogênio a partir da biomassa** se apresenta como alternativa de baixo carbono, competitiva e que oferece **vantagens únicas**, a expansão e diversificação da bioenergia **cria uma demanda interna firme e significativa para o hidrogênio de baixa emissão**, gerando benefícios concomitantes para ambos os segmentos.

Com esta Nota Técnica, a EPE divulga arranjos e modelos de negócio sinérgicos, iluminando o debate e promovendo uma transição energética mais alinhada às **vantagens competitivas brasileiras**.

Esta Nota Técnica se estrutura em 7 capítulos:

- 1 Introdução**
Contextualização do tema.
- 2 Rotas tecnológicas e matérias-primas para a produção de H₂ da biomassa**
Descrição dos principais processos para de produção de biohidrogênio.
- 3 Uso do hidrogênio nos sistemas de bioenergia**
Mapeamento e consolidação das demandas de hidrogênio diretas e indiretas dentro das cadeias de produção de bioenergia.
- 4 Combustíveis sintéticos**
Descrição e análise da produção de combustíveis sintéticos, caso particularmente relevante na sinergia entre o H₂ e a bioenergia.
- 5 Intensidade de carbono e certificações**
Quantificação da intensidade de carbono do hidrogênio da biomassa.
- 6 Oportunidades de desenvolvimento mútuo de H₂ e bioenergia no Brasil**
Avaliação integrada da sinergia, identificação de benefícios sistêmicos e exemplos de modelos de negócio promissores.
- 7 Considerações finais**
Conclusões e detalhamento das conexões do tema com os interesses nacionais.



Hidrogênio



97
milhões de
toneladas

Produção global

Menos de
1%

Hidrogênio de baixa
emissão

2,5%
do total de
emissões

Emissões de CO₂
associadas ao H₂

Biomassa

Carbono

Hidrogênio

Oxigênio

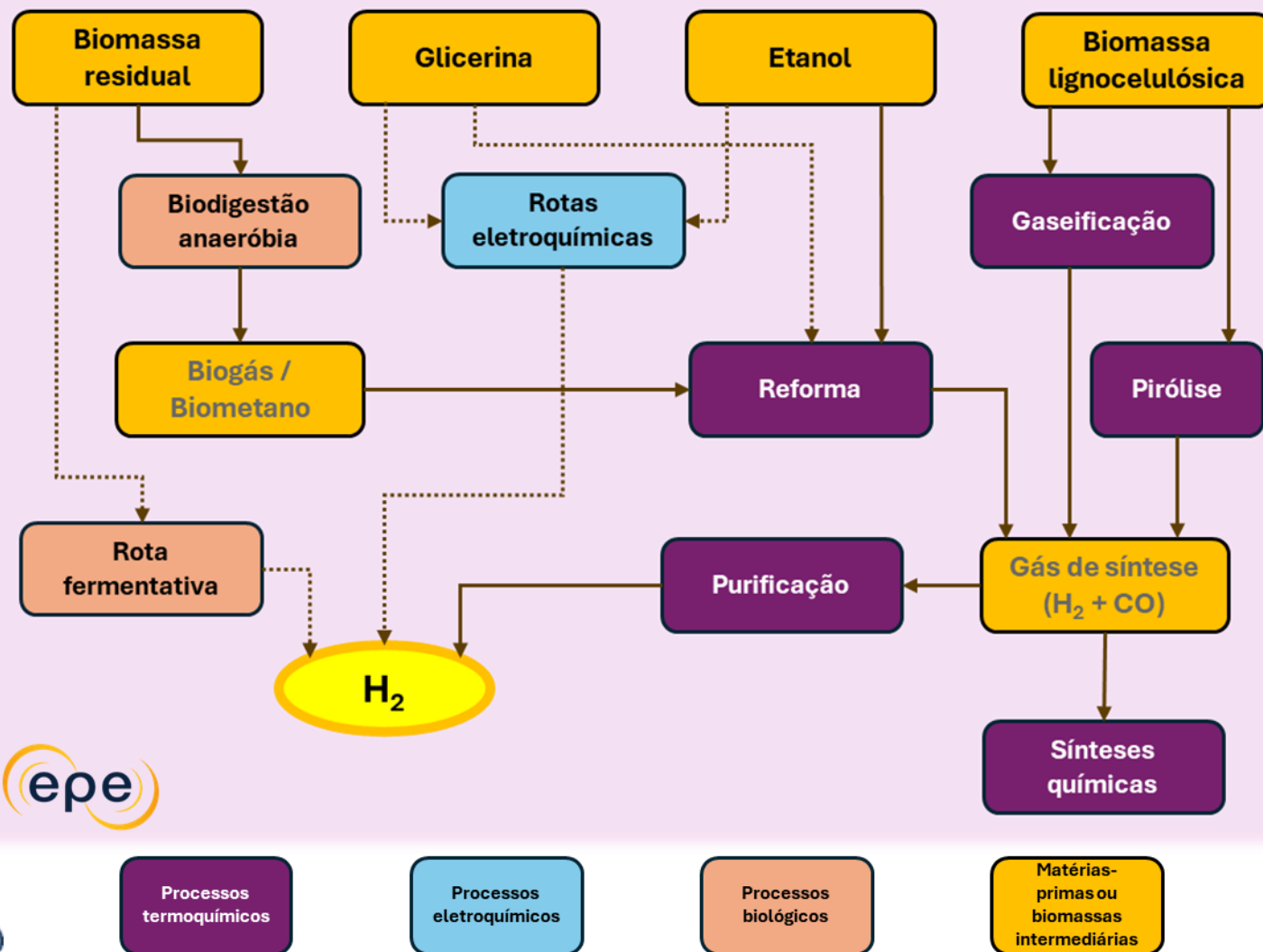
Consumo de carbono
atmosférico na fase agrícola



Produção de H₂ da biomassa

Rotas tecnológicas e matérias-primas

Produção de H₂ a partir de biomassa

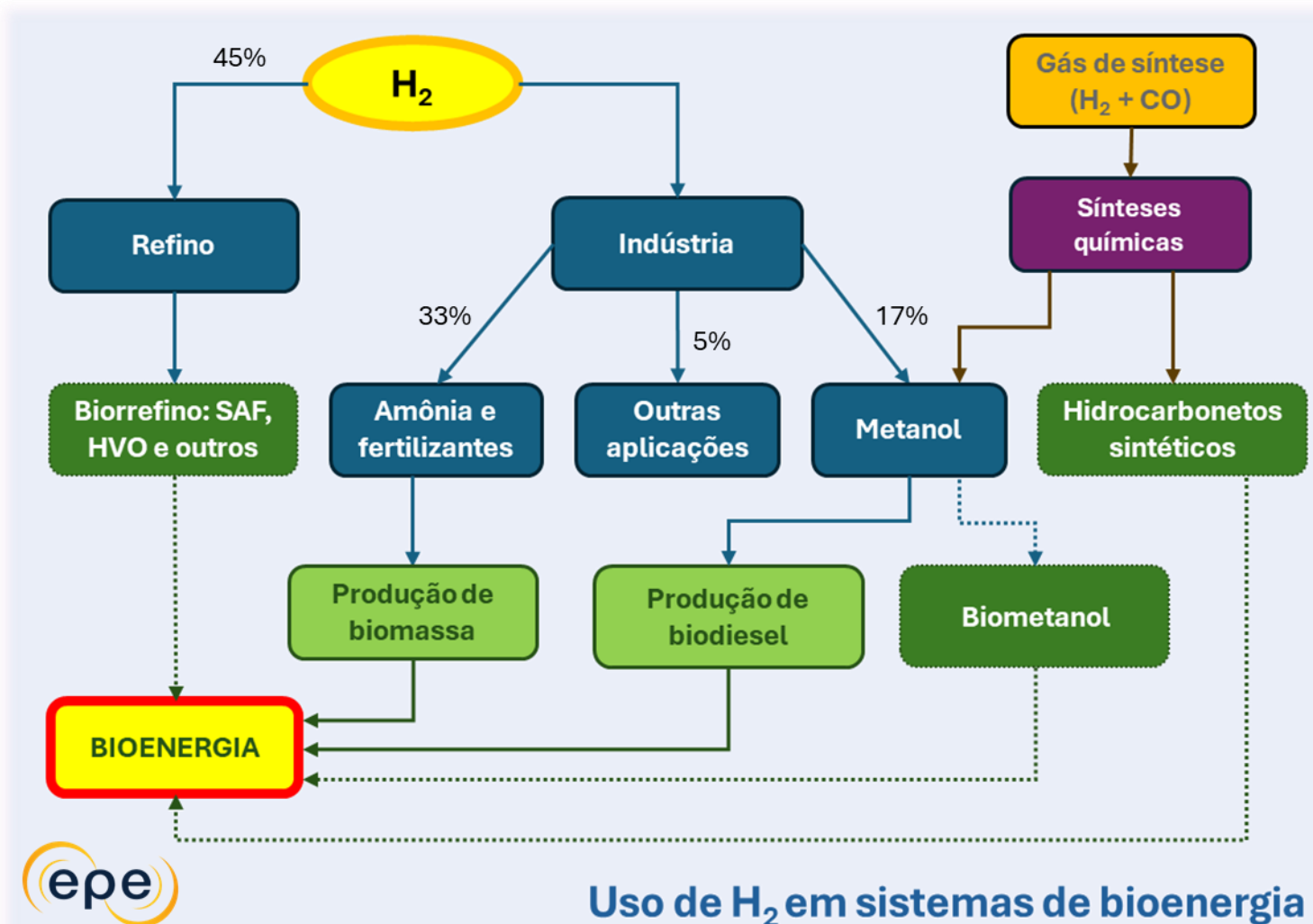


- O **etanol** permite uso de infraestrutura de distribuição existente, se destacando como potencial **carreador de hidrogênio**.
- A **glicerina** é um co-produto da produção do **biodiesel**. Seu uso para produção de hidrogênio permitiria sua aplicação **na própria cadeia de bioenergia**.
- O **biometano** gerado a partir de resíduos urbanos ou agroindustriais representa uma **fonte de hidrogênio abundante e acessível**.
- A **biomassa lignocelulósica** é um resíduo agroindustrial que **não compete no mercado de biocombustíveis líquidos**.

Rotas termoquímicas possuem **maturidade tecnológica elevada** e podem se aproveitar de **resíduos**, contribuindo de imediato e de forma competitiva com a **expansão da oferta de hidrogênio de baixo carbono**.

Uso do H₂

Em sistemas de bioenergia

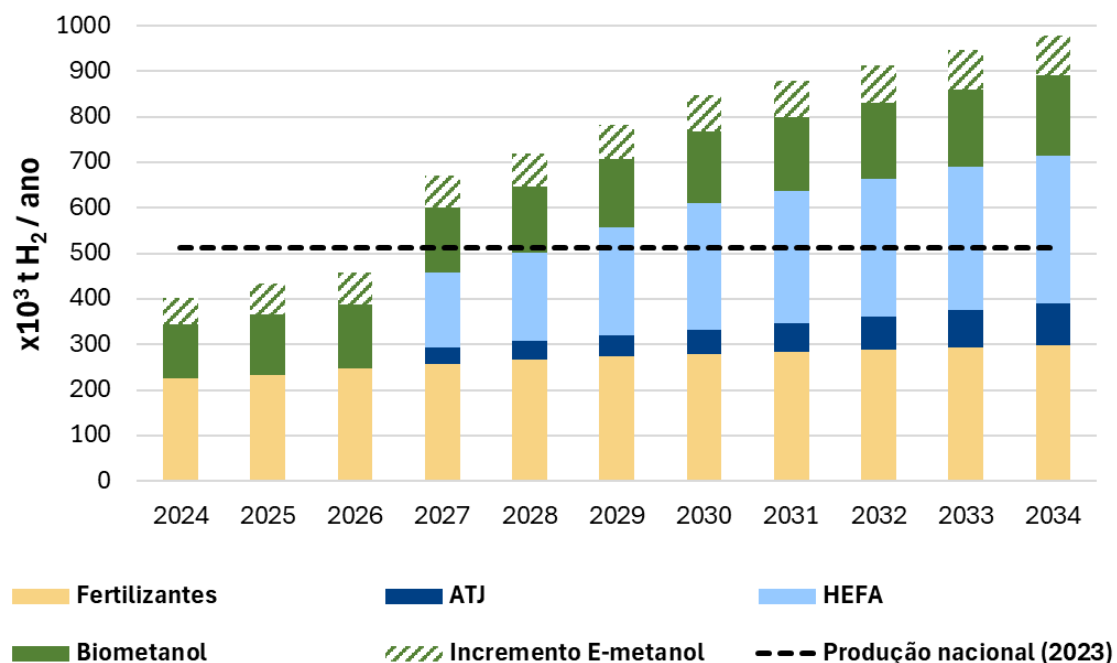


- As **aplicações tradicionais** do hidrogênio já são fundamentais para a **bioenergia** tradicional ou podem ser direcionadas para a síntese de novos **bioenergéticos**.
- Produção de **metanol** pode chegar a 5x o patamar de 2020, majoritariamente e-metanol e biometanol.
- Os **fertilizantes** são fundamentais para garantir a produtividade atingida atualmente nos principais cultivos do país.
- Rotas aprovadas pela ANP para **SAF e diesel verde** possuem etapas de consumo de hidrogênio.

Uso do H₂

Em sistemas de bioenergia

Demanda estimada de H₂ em sistemas de bioenergia e produção nacional



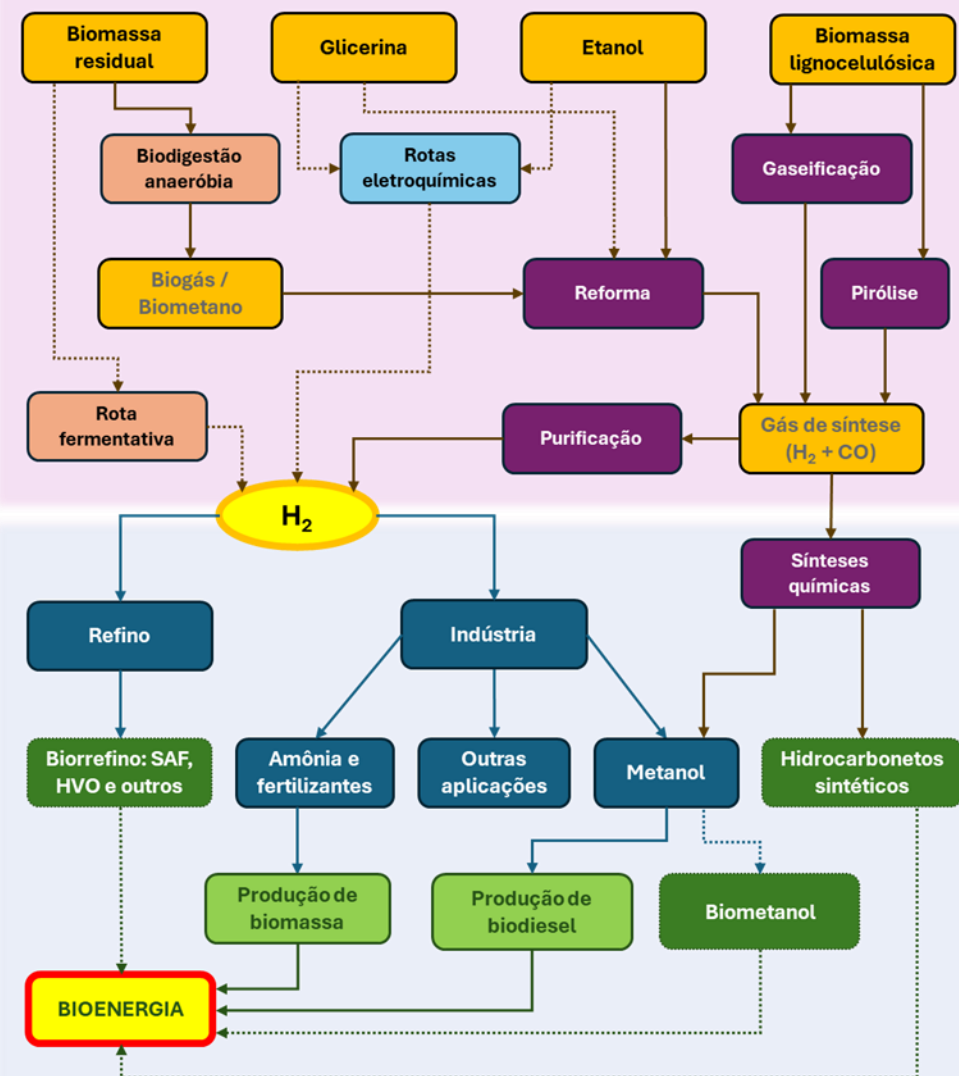
* A produção nacional inclui os usos não associados à bioenergia. Valor indicado no gráfico referente ao ano de 2023.

** Quantidade de H₂ necessária para suprir a demanda de metanol através de rotas de baixo carbono (biometanol ou e-metanol)

- A **demanda por hidrogênio** associada ao sistemas de bioenergia pode **superar a produção** total nacional.
- Até **2027**, demanda puxada por fertilizantes e metanol.
- Em **2034**, rota HEFA é a principal consumidora.
- **Sistemas de bioenergia**, sejam eles consolidados ou emergentes, demandam hidrogênio em larga escala e podem criar um **mercado interno robusto para o H₂ de baixa emissão de carbono**.



Produção de H₂ a partir de biomassa



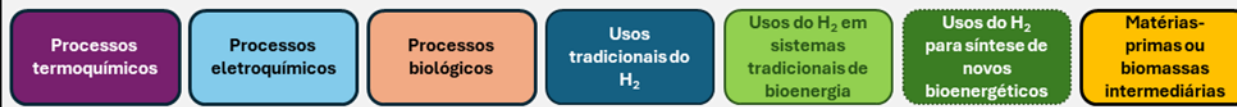
Uso de H₂ em sistemas de bioenergia



Portanto...

O hidrogênio tem papel central para conectar as oportunidades geradas pelas rotas de produção da biomassa e seu uso na bioenergia, criando **sistemas integrados de sinergia** que se aproveitam do relacionamento das cadeias.

Legenda:



—— Rotas consolidadas ou com maturidade tecnológica elevada Rotas com maturidade tecnológica incipiente

Biocombustíveis sintéticos



As rotas da biomassa são únicas em oferecer o H₂ e o carbono biogênico centralizados em um mesmo processo integrado.

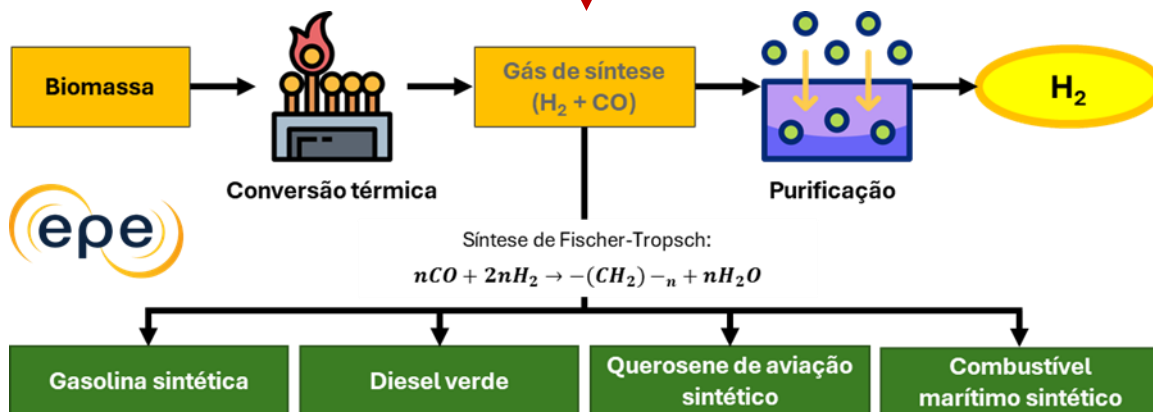
- A produção de hidrocarbonetos *in situ* em biorrefinarias a partir do gás de síntese garante a produção de um combustível de origem 100% renovável, chamado de **biocombustível sintético**. A rota:

- **Elimina a necessidade** de purificar o H₂ produzido;
- **Evita entraves logísticos** associados ao transporte do H₂;
- **Amplifica o portfólio de produtos** das biorrefinarias e o **valor agregado** ao processamento da biomassa;



Os combustíveis sintéticos podem ser *drop-in* e se aproveitar da **infraestrutura existente**.

- Outra rota para a produção de combustíveis sintéticos envolve a reação de CO₂ com H₂ **eletrolítico**, gerando os **e-combustíveis**. Nesse caso, a fácil disponibilização de **CO₂ biogênico** em sistemas de bioenergia constitui uma fonte segura, custo-efetiva e imediata de carbono, permitindo a produção de combustíveis com **emissões negativas**.





Tipicamente, a fase de **produção agrícola concentra as emissões de GEE** do ciclo de vida de energéticos derivados da biomassa, incluindo biocombustíveis e o biohidrogênio.



Produção dos Fertilizantes



Uso dos fertilizantes
(emissão de N_2O)



Uso de **combustíveis fósseis** nas máquinas agrícolas e no transporte da biomassa até seu processamento



Intensidade de Carbono

Ciclos sinérgicos de redução de carbono



Tipicamente, a fase de **produção agrícola concentra as emissões de GEE** do ciclo de vida de energéticos derivados da biomassa, incluindo biocombustíveis e o biohidrogênio.

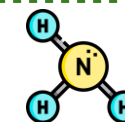


O hidrogênio de baixo carbono reduz as emissões da fase agrícola, criando ciclos sinérgicos de redução de IC



Produção dos Fertilizantes

A **amônia de baixo carbono** produzida a partir do H_2 de baixo carbono pode reduzir as emissões oriundas de fertilizantes

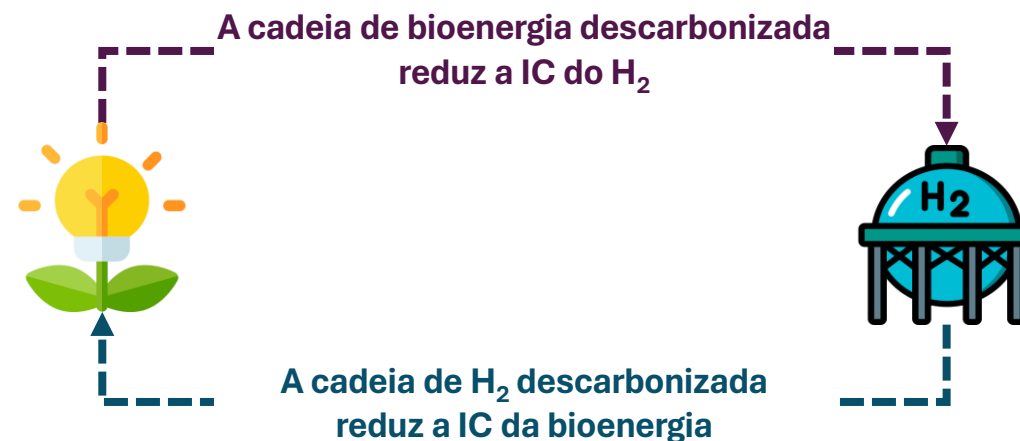


Uso dos fertilizantes (emissão de N_2O)



Uso de **combustíveis fósseis** nas máquinas agrícolas e no transporte da biomassa até seu processamento

Substitutos diretos do diesel, como o biodiesel ou os combustíveis sintéticos, **podem usar H_2 de baixo carbono** para reduzir suas IC



Intensidade de Carbono

IC como promotora de demanda e competitividade



Tipicamente, a fase de **produção agrícola concentra as emissões de GEE** do ciclo de vida de energéticos derivados da biomassa, incluindo biocombustíveis e o biohidrogênio.

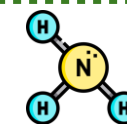


O hidrogênio de baixo carbono reduz as emissões da fase agrícola, criando ciclos sinérgicos de redução de IC



Produção dos Fertilizantes

A **amônia de baixo carbono** produzida a partir do H_2 de baixo carbono pode reduzir as emissões oriundas de fertilizantes



Uso dos fertilizantes (emissão de N_2O)



Uso de **combustíveis fósseis** nas máquinas agrícolas e no transporte da biomassa até seu processamento

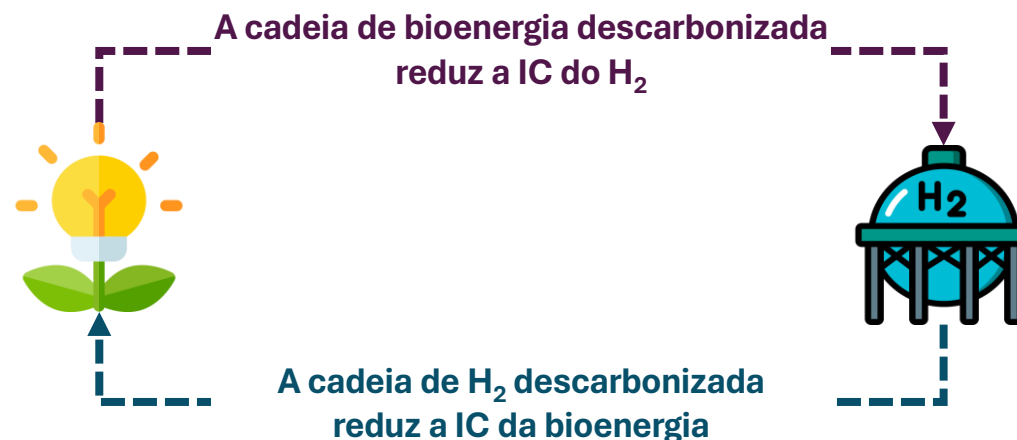
Substitutos diretos do diesel, como o biodiesel ou os combustíveis sintéticos, **podem usar H_2 de baixo carbono** para reduzir suas IC



RenovaBio

O setor de biocombustíveis se destaca por ser capaz de **converter diretamente ganhos de IC em receitas financeiras**, através da Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio: Lei 13.576/2017).

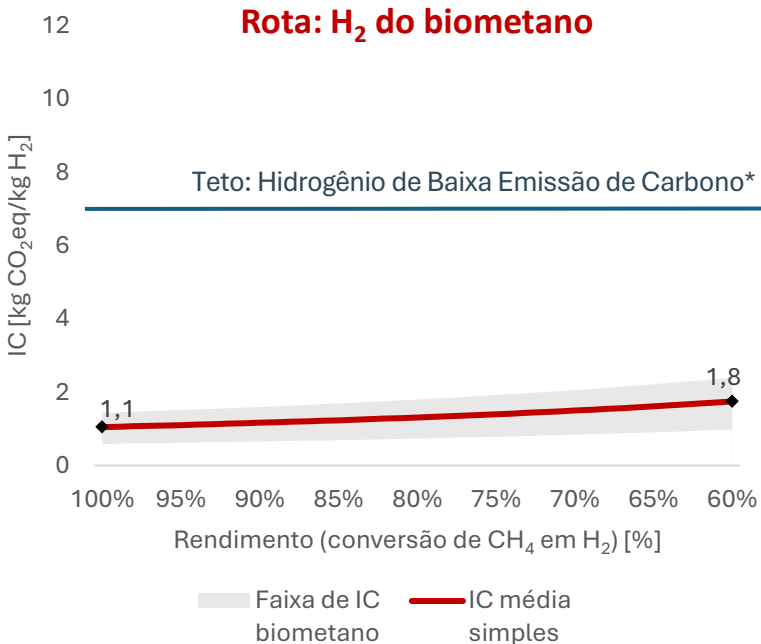
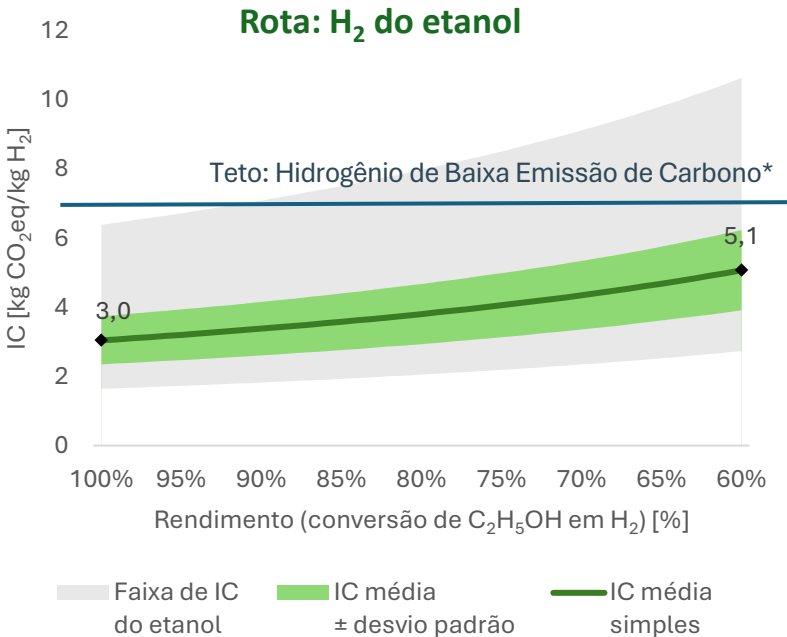
A IC da bioenergia é parâmetro fundamental da sua competitividade na transição energética, o que pode criar uma **demanda robusta e consistente pelo H_2 de baixo carbono**.



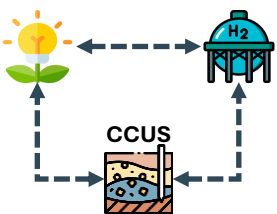
Intensidade de Carbono

Rotas de produção de H₂ da biomassa

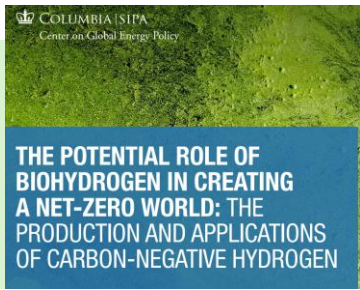
Intensidade de carbono estimada do hidrogênio produzido, em kg CO₂eq/kg H₂, em função do rendimento e das certificações no RenovaBio.



Na metodologia do RenovaBio, **resíduos não carregam emissões do cultivo**, tornando-os atrativos sob o ponto de vista da IC.



Hidrogênio com remoção de carbono da atmosfera:
A possibilidade de geração de um hidrogênio “carbono-negativo”, na combinação com CCUS, oferece às rotas de biomassa uma **característica única** dentre as diversas rotas de produção de H₂. Como energético livre de carbono, o H₂ é o vetor que maximiza o potencial de captura estacionária de CO₂ na conversão da biomassa.



* A Lei nº 14.948/2024 define o “Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono” como aquele com emissões máximas de 7 kg CO₂eq/kg H₂.

Oportunidades de benefício mútuo entre H₂ e bioenergia

	A oferta de H ₂ pela bioenergia gera:	O uso do CO ₂ biogênico gera:	A demanda de H ₂ pela bioenergia gera:
Para os sistemas de bioenergia	✓ Agregação de valor à biomassa ✓ Valorização de resíduos	✓ Biocombustíveis com emissões negativas ✓ Valorização do coproduto	✓ Redução da IC ✓ Ganho de competitividade ✓ Novos biocombustíveis
Para a cadeia de hidrogênio de baixo carbono	✓ Oferta diversificada e distribuída ✓ Complementaridade	✓ Insumo complementar ao H₂ em aplicações químicas (ex.: metanol, hidrocarbonetos)	✓ Demanda nacional consistente e abrangente no território



Oportunidades do desenvolvimento

Benefícios sistêmicos



Oportunidades de benefício mútuo entre H₂ e bioenergia

		A oferta de H ₂ pela bioenergia gera:	O uso do CO ₂ biogênico gera:	A demanda de H ₂ pela bioenergia gera:
Para os sistemas de bioenergia		✓ Agregação de valor à biomassa ✓ Valorização de resíduos	✓ Biocombustíveis com emissões negativas ✓ Valorização do coproduto	✓ Redução da IC ✓ Ganho de competitividade ✓ Novos biocombustíveis
Para a cadeia de hidrogênio de baixo carbono		✓ Oferta diversificada e distribuída ✓ Complementaridade	✓ Insumo complementar ao H₂ em aplicações químicas (ex.: metanol, hidrocarbonetos)	✓ Demanda nacional consistente e abrangente no território

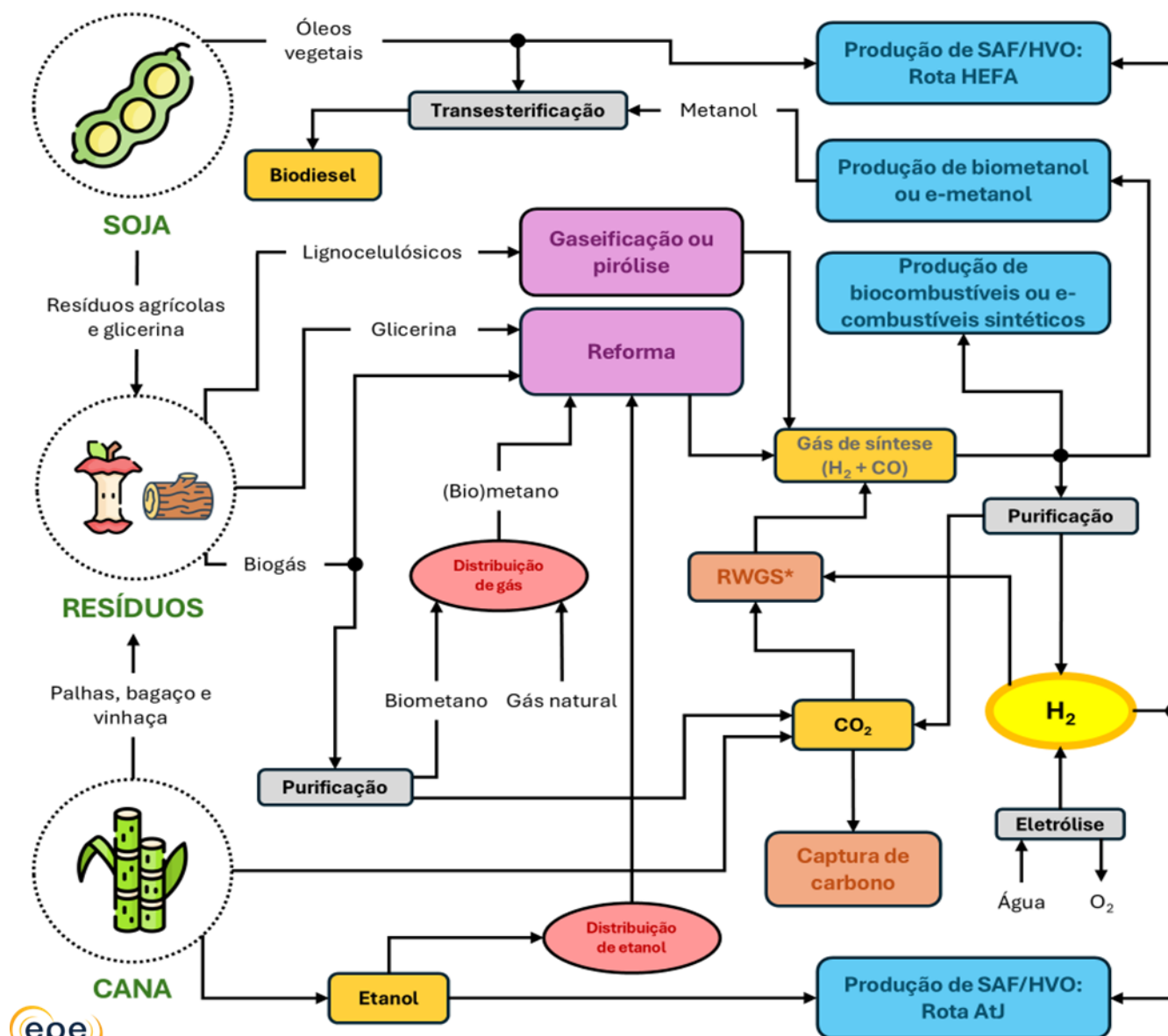


		H ₂ eletrolítico	H ₂ de reforma do gás natural com CCUS	H ₂ da biomassa
Localidades ideais no Brasil		Geração renovável abundante e competitiva. Ligação ao SIN. Ex: região Nordeste	Acesso a gás competitivo e à estocagem de CO ₂ . Ex: Nordeste e Sudeste	Elevada produtividade agrícola, cadeias estruturadas e resíduos disponíveis. Ex: Sul, Centro-Oeste, Sudeste.
Relação temporal		Intermitente se conectada a geração renovável ou se visa minimizar custos e emissões	Oferta firme ou flexível de acordo com características da demanda	Sazonalidade na produção de biomassa como condicionante. Etanol para oferta flexível.
Condição do H ₂		H ₂ de alta pureza (necessidade de suplemento de CO ₂ para usos químicos)	Gás de síntese com CO ₂ fóssil (CCUS mandatório para baixas emissões)	Gás de síntese com carbono biogênico (CCS opcional visando emissões negativas)



Oportunidades do desenvolvimento

Modelos de negócio



* Reverse Water-Gas Shift

Uso de biomassa residual como matéria-prima

Oportunidade de **agregação de valor a resíduos orgânicos** para produção de gás de síntese e combustíveis sintéticos.

Ampliação de portfólio

A **produção de novos bioenergéticos** abre a possibilidade da ampliação do portfólio de biorrefinarias e cria nova demanda para o H₂.

Aproveitamento do CO₂ biogênico

Busca por **emissões reduzidas ou negativas** e uso produtivo do CO₂ pode gerar novas receitas diretas ou indiretas, especialmente quando associado ao uso de hidrogênio eletrolítico.

Uso de infraestrutura existente

A cadeia de distribuição de combustíveis facilita o uso do **etanol como vetor de H₂**. Já a infraestrutura **fábrica e de distribuição projetada para o gás natural** pode usar biometano sem modificações.



A **bioenergia e as biorrefinarias** podem cumprir papéis centrais como promotoras da pluralidade e de competitividade na oferta e como âncoras de demanda de **hidrogênio de baixo carbono**.

As rotas de produção de **hidrogênio de baixo carbono a partir da biomassa** são opções custo-efetivas para descarbonização.



Há **desafios relacionados à necessidade de incentivo para inovação industrial**, de forma a amadurecer e tornar economicamente competitivos os processos produtivos relacionados a essas cadeias.

A convergência entre a bioenergia e o hidrogênio reforça o potencial brasileiro de promover soluções sustentáveis para a transição energética, primordialmente aquelas aderentes às **vantagens competitivas nacionais**.



Obrigado!



www.epe.gov.br

Diretora de Estudos do Petróleo, Gás e Biocombustíveis

Heloisa Borges Bastos Esteves

Coordenação Executiva

Angela Oliveira da Costa

Coordenação Técnica

Angela Oliveira da Costa

Rachel Martins Henriques

Rafael Barros Araujo

Suporte Administrativo

Raquel Lopes Couto

Equipe Técnica

Angela Oliveira da Costa

Danielle Borher de Andrade

Danilo Perecin

Rachel Martins Henriques

Rafael Barros Araujo

Rafael Belém Lavrador

Vitor Manuel do Espírito S. Silva

Estagiários

Miguel Angelo A. de Carvalho

Pedro Henrique M. Weingartner

João Pedro Rachid Braga



EPE.Brasil



Empresa de Pesquisa Energética



@EPE_Brasil



Empresa de Pesquisa Energética

EPE - Empresa de Pesquisa Energética

Praça Pio X, n. 54, 5º andar - Centro

20091-040

Rio de Janeiro - Brasil

