

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 **biorrefino**, 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%

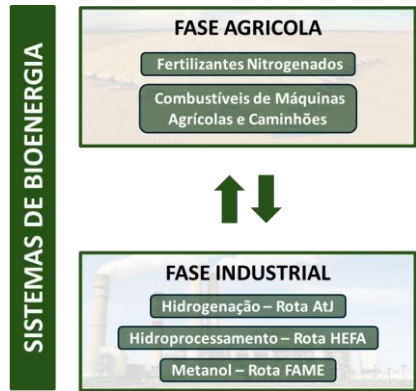
A síntese de metanol se dá essencialmente pela reação de hidrogênio com gases como CO ou CO₂. O **metanol é reagente da transesterificação de óleos vegetais para produção de biodiesel**, além de ser um potencial novo biocombustível;

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.

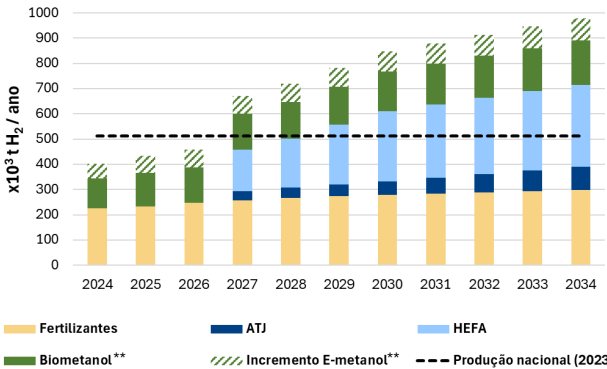


O H₂ aparece em diversos elos das **cadeias de bioenergéticas**



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

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)

... E A BIOMASSA POTENCIALIZA O HIDROGÊNIO

O hidrogênio de baixo carbono pode ser **produzido a partir da biomassa**. As **rotas termoquímicas** têm maior maturidade tecnológica e comercial e podem contribuir de imediato e de forma competitiva com a expansão da oferta de hidrogênio. A separação dos gases resultantes dessas rotas pode produzir H₂ em pureza elevada. São elas:

- A **gaseificação**, que converte biomassas diversas em gás de síntese (H₂ + CO);
- A **reforma**, que converte recursos como biometano, bioetanol e glicerina em gás de síntese (H₂ + CO);
- A **pirólise**, que converte biomassas diversas em gás de pirólise (H₂ + CO + CO₂ + CH₄).



Biomassa é o termo utilizado para se referir a qualquer recurso renovável oriundo de matéria orgânica vegetal ou animal.



A **biomassa lignocelulósica**, como as palhas, bagaços e cavacos, é adequada para as rotas de **gaseificação e pirólise**, com a vantagem de não competir no mercado de biocombustíveis líquidos.

Resíduos urbanos ou agroindustriais são utilizados para a produção de biometano, recurso capaz de produzir H₂ via rotas de **reforma**.



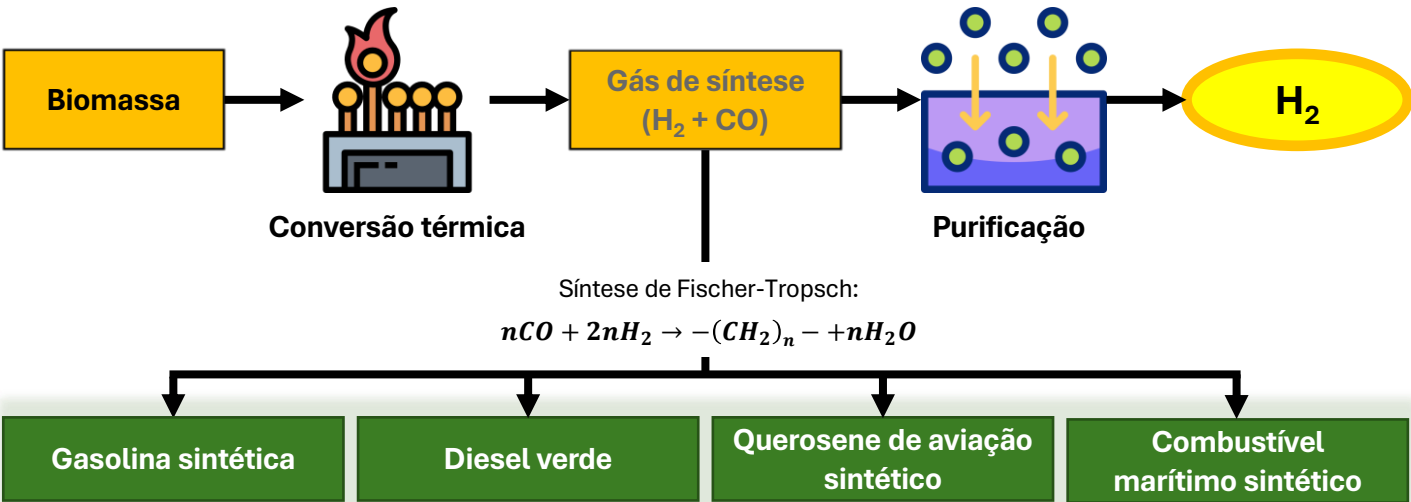
As rotas de produção de H₂ da biomassa apresentam **baixa intensidade de carbono (IC)***, alinhando-se às demandas de **descarbonização industrial**.

A captura e armazenamento de carbono (CCS) associada à produção pode gerar produtos com **emissões negativas**.

Rota	IC média estimada**
Reforma a vapor do biometano	1,0 – 1,8 kg CO _{2eq} /kg H ₂
Reforma a vapor do etanol	3,0 – 5,1 kg CO _{2eq} /kg H ₂

* A Lei nº 14.948/2024 define o “Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono” como aquele com emissões máximas de 7 kg CO_{2eq}/kg H₂.

** Estimada a partir das emissões médias da matéria-prima nas certificações do **RenovaBio** e considerando uma faixa de rendimentos para a conversão.



Biocombustíveis sintéticos

O gás de síntese originado de rotas termoquímicas é uma **mistura rica em H₂ e CO**, insumos da síntese de Fischer-Tropsch. Assim, pode ser diretamente usado para a **produção de hidrocarbonetos in situ em biorrefinarias**, garantindo a produção de um combustível de origem 100% renovável, chamado de **biocombustível sintético**. Isso elimina a necessidade de purificação do H₂, evita entraves logísticos associados ao seu transporte e amplifica o portfólio de produtos e o valor agregado ao processamento da biomassa.

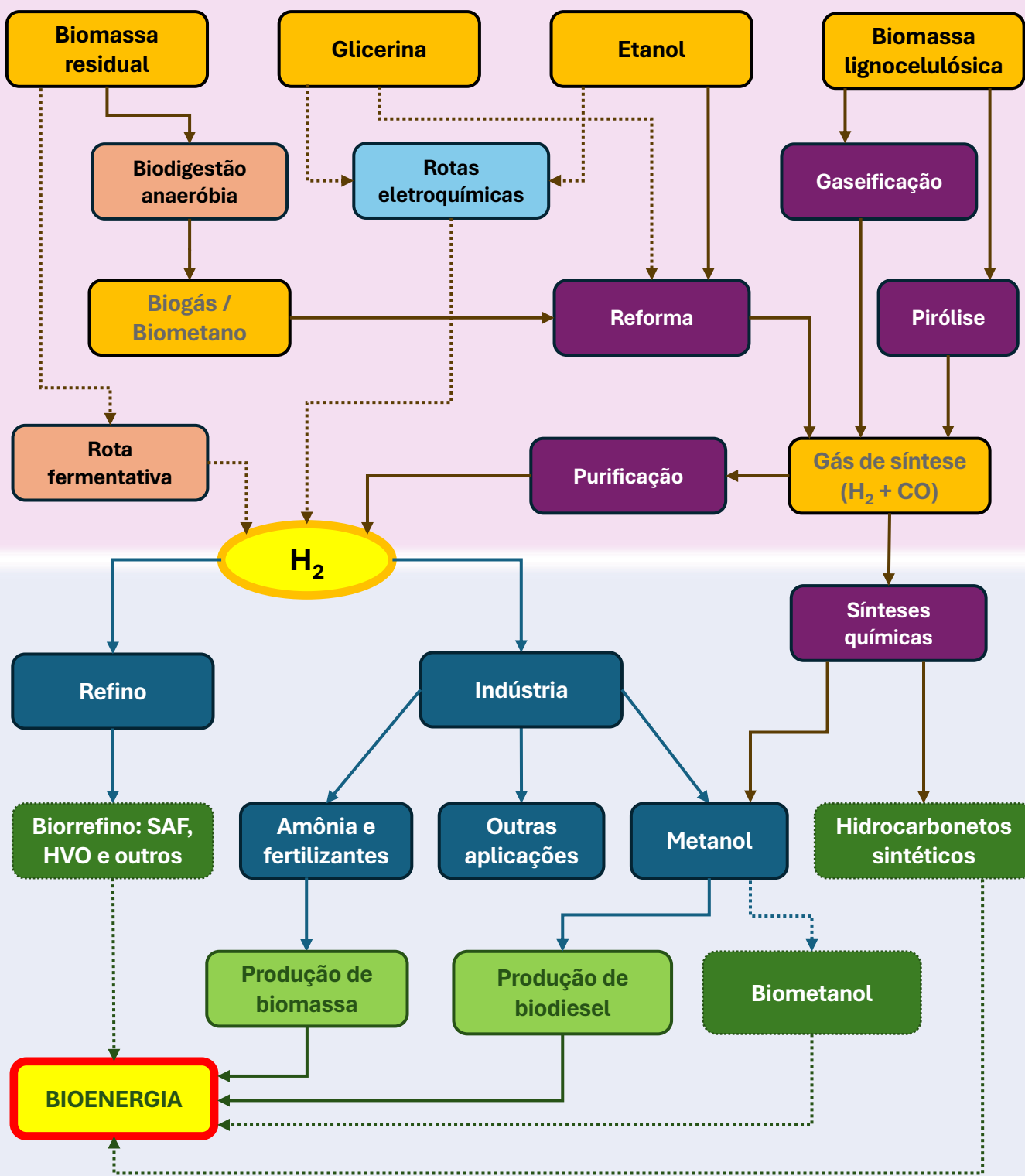


As rotas da biomassa são únicas em oferecer o H₂ e o carbono de origem renovável centralizados em um **mesmo processo integrado**.



Os biocombustíveis sintéticos podem ser **drop-in** e aproveitar a **infraestrutura existente**.

Produção de H₂ a partir de biomassa



Uso de H₂ em sistemas de bioenergia

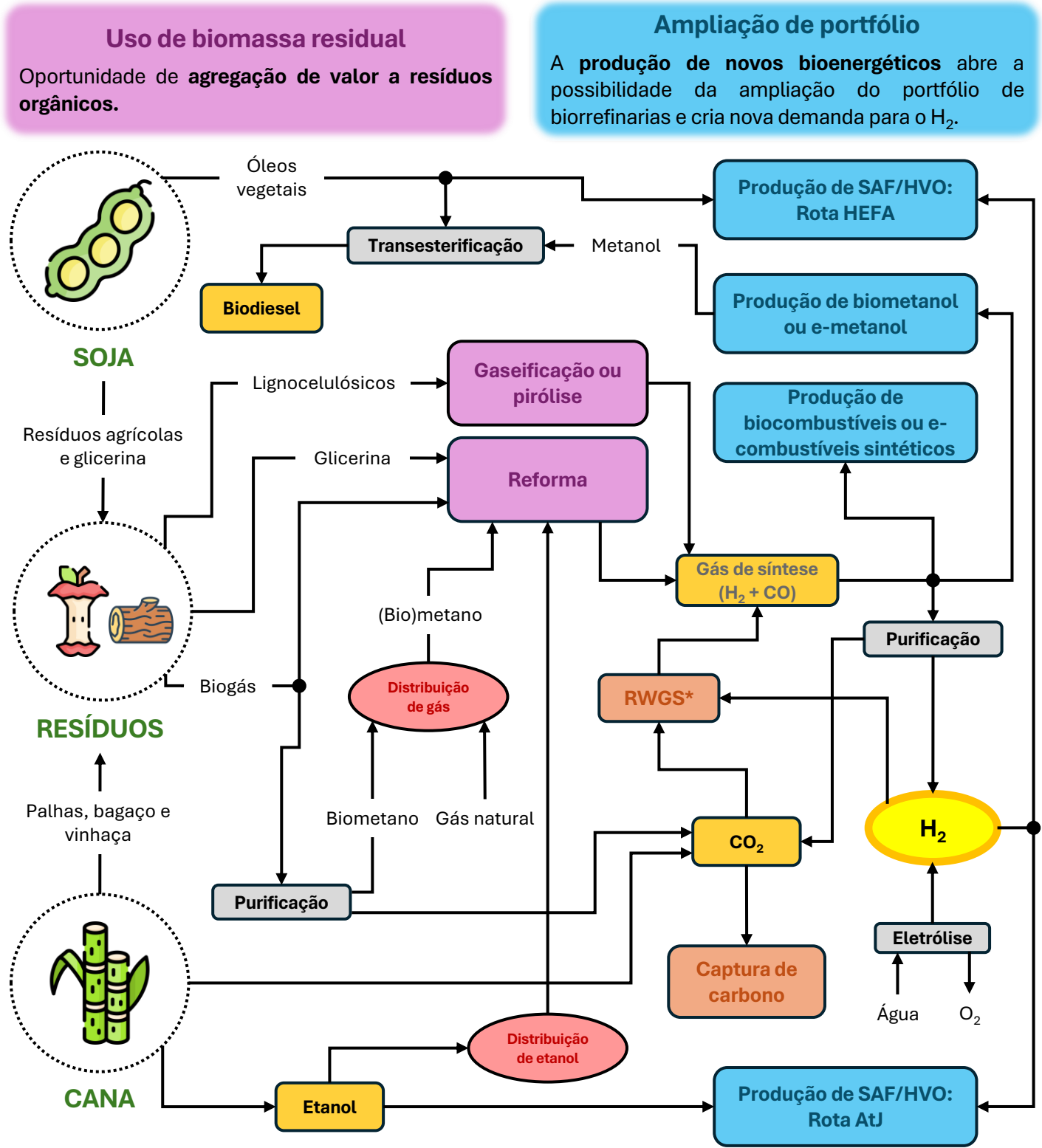
Legenda:

- Processos termoquímicos
- Processos eletroquímicos
- Processos biológicos
- Usos tradicionais do H₂
- Usos do H₂ em sistemas tradicionais de bioenergia
- Usos do H₂ para síntese de novos bioenergéticos
- Matérias-primas ou biomassas intermediárias

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

POTENCIAIS MODELOS DE NEGÓCIO

As sinergias entre os sistemas de bioenergia e o hidrogênio de baixo carbono abrem margem para o **desenvolvimento de uma série de modelos de negócio potenciais**. Algumas abordagens possíveis são exemplificadas abaixo para três grandes sistemas de bioenergia brasileiros, de forma não exaustiva.



Aproveitamento do CO₂ biogênico

Busca por **emissões reduzidas ou negativas** e uso produtivo do CO_2 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 H_2** . Já a infraestrutura fabril e de distribuição projetada para o **gás natural** pode usar biometano sem modificações.

* Reação reversa de deslocamento água-gás (do inglês *Reverse water-gas shift*)

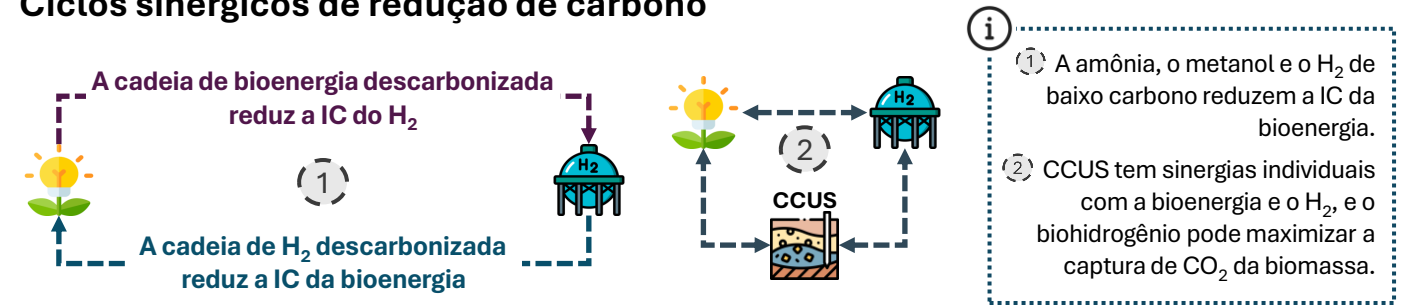
Oportunidades de benefício mútuo entre H₂ e bioenergia

	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 bionergia	✓ 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	✓ Insuno complementar ao H₂ em aplicações químicas (ex.: metanol, hidrocarbonetos)	✓ Demanda nacional consistente e abrangente no território

Complementaridades entre as principais rotas de H₂ de baixo carbono

	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)

Ciclos sinérgicos de redução de carbono



POLÍTICAS PÚBLICAS

	Bioenergia Lei nº 14.993/2024 (Combustível do Futuro) promove rotas de produção de biocombustíveis que demandam H₂. Lei nº 13.576/2017 (RenovaBio) permite que ganhos de IC sejam revertidos em receitas.
	Hidrogênio Lei nº 14.948/2024 reconhece rotas da biomassa como hidrogênio renovável e com potencial de baixa emissão de carbono, incentiva a produção e fomenta o desenvolvimento tecnológico por meio do Regime Especial de Incentivos para a Produção de Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono (Rehido), do Programa de Desenvolvimento do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono (PHBC) e reforça o Programa Nacional do Hidrogênio (PNH2).

A concretização das oportunidades destacadas exige a superação de desafios. Dentre eles, destaca-se o amadurecimento tecnológico de processos, a justa precificação do carbono (como no RenovaBio e previsto na [Lei nº 15.042/2024](#)) e o fomento à inovação industrial.