



Routes for the production of renewable low-carbon hydrogen

Rotas para a produção de hidrogênio renovável de baixo carbono



CloroSur

2022

COSTA DO SAUÍPE

Prof. Dr. Helton José Alves

Universidade Federal do Paraná – UFPR/Setor Palotina
Laboratório de Materiais e Energias Renováveis - LABMATER

23/11/2022



www.labmater.ufpr.br



LABMATER - UFPR



2011



www.labmater.ufpr.br



- Tecnologia do Hidrogênio
- Biocombustíveis gasosos
 - Catálise



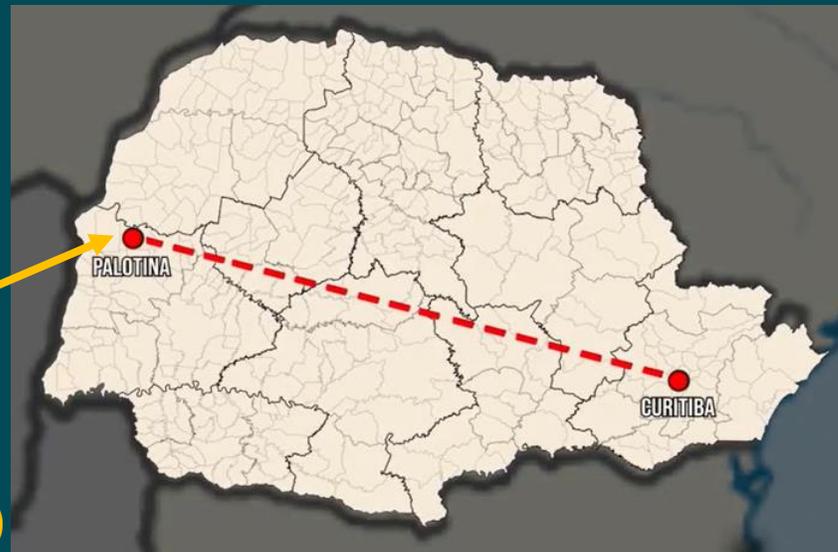
- Materiais para Energia e Meio Ambiente



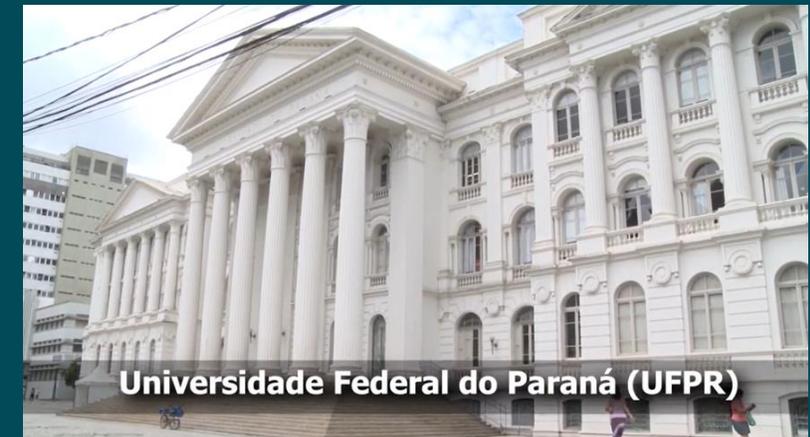
- Combustíveis e Biocombustíveis



Palotina



35.000 habitantes
(Agricultura / Pecuária)



Universidade Federal do Paraná (UFPR)

Eventos no Brasil na área do H₂

2019

2017



Diretoria Técnico-
Científica



2021



> 50% dos trabalhos envolvendo **biomassa**
para a produção de H₂

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO HIDROGÊNIO



ASSOCIAÇÃO
BRASILEIRA DO
HIDROGÊNIO

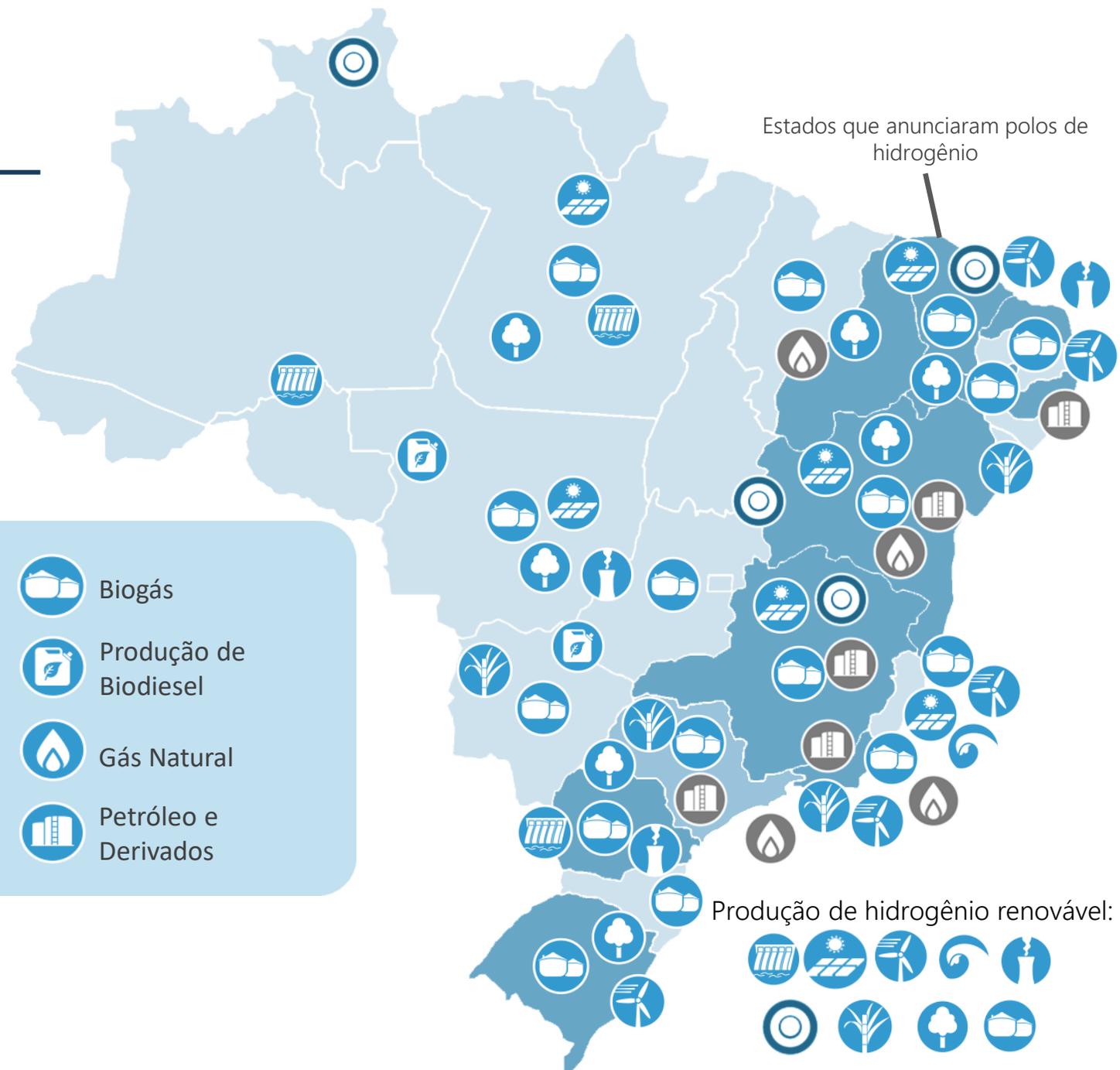
POR TODAS AS OPÇÕES DE PRODUÇÃO E USO

A ABH2

POTENCIAL PARA PRODUÇÃO DE H₂ NO BRASIL

- | | |
|---|---|
|  Energia Hidráulica |  Energia Geotérmica |
|  Energia Solar |  Hidrogênio Natural |
|  Energia Eólica |  Produção de Etanol |
|  Energia dos Oceanos |  Biomassa de Rejeito |

- | |
|--|
|  Biogás |
|  Produção de Biodiesel |
|  Gás Natural |
|  Petróleo e Derivados |



A ABH2



Conselho do Hidrogênio



EMPRESAS



ACADEMIA



GOVERNO

Local de amplo debate em temas relacionados à abertura de mercado para o hidrogênio e suas tecnologias.

AB H2

A ABH2

ASSOCIADAS INSTITUCIONAIS

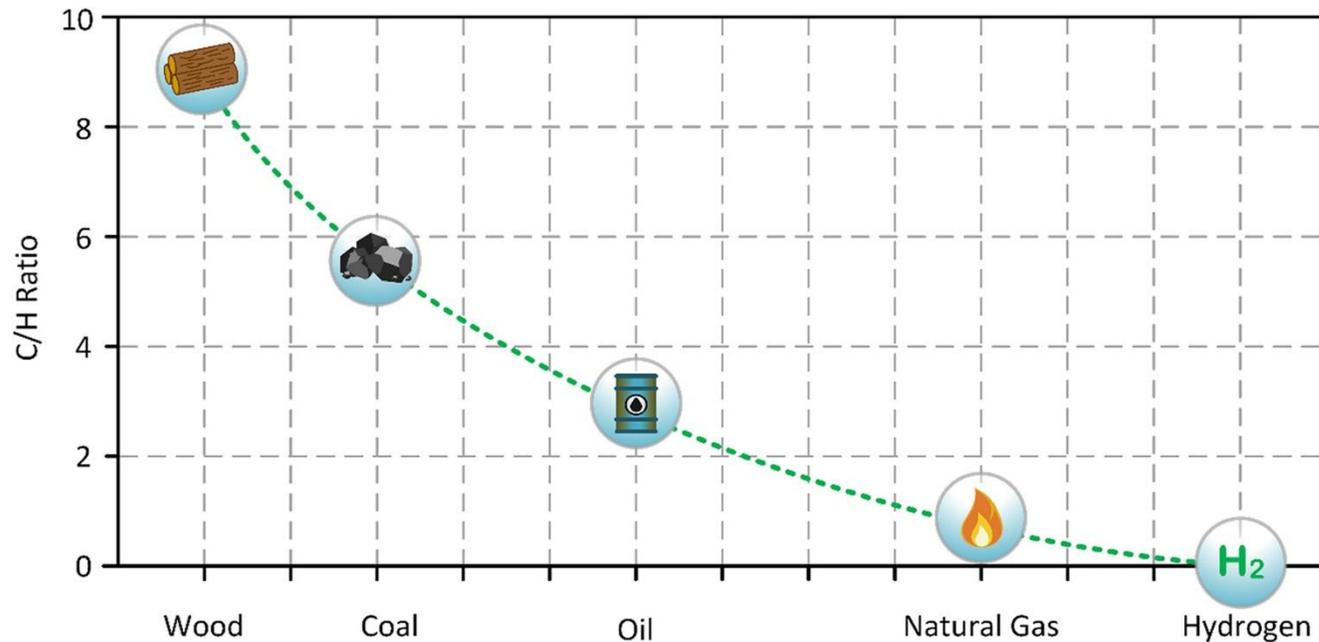


ABH2

ENERGIA DO HIDROGÊNIO - MUNDO

ECONOMIA DO HIDROGÊNIO

- Transformação de moléculas diversas em um vetor energético-industrial



Dincer, I.; Covid-19: closing carbon age, but opening hydrogen age; available at <http://thehydrogencenter.com/covid-19-closing-carbon-age-but-opening-hydrogen-age/>, accessed on 21/08/22.

AB H2

ENERGIA DO HIDROGÊNIO - MUNDO

ORGANIZAÇÕES E INICIATIVAS

Organizações que orquestram
ativamente a economia do
hidrogênio globalmente



H2 Global
Inflation Reduction Act
RED II

IPHE

IAHE

Hydrogen Council

Clean Hydrogen Joint Undertaking

DoE Hydrogen Program

African Hydrogen Partnership

Hydrogen Europe

IEA

IRENA

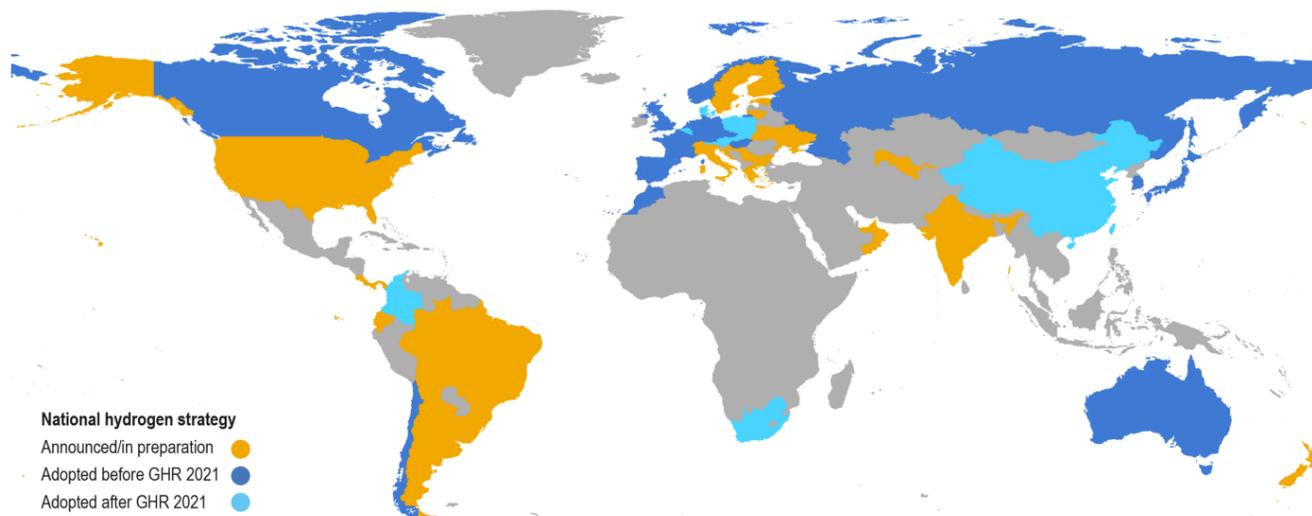
ISO

AB H2

ENERGIA DO HIDROGÊNIO - MUNDO

ESTRATÉGIAS NACIONAIS PARA O HIDROGÊNIO

- Comprometimento de longo prazo com o desenvolvimento da economia do H₂
- Estratégias para alavancar economias
- Desenvolvimento local de cadeias de valor
- Descarbonização



IEA. All rights reserved.

International Energy Agency; Global Hydrogen Review 2021; 2021

International Energy Agency; Global Hydrogen Review 2022; 2022 (Julho)

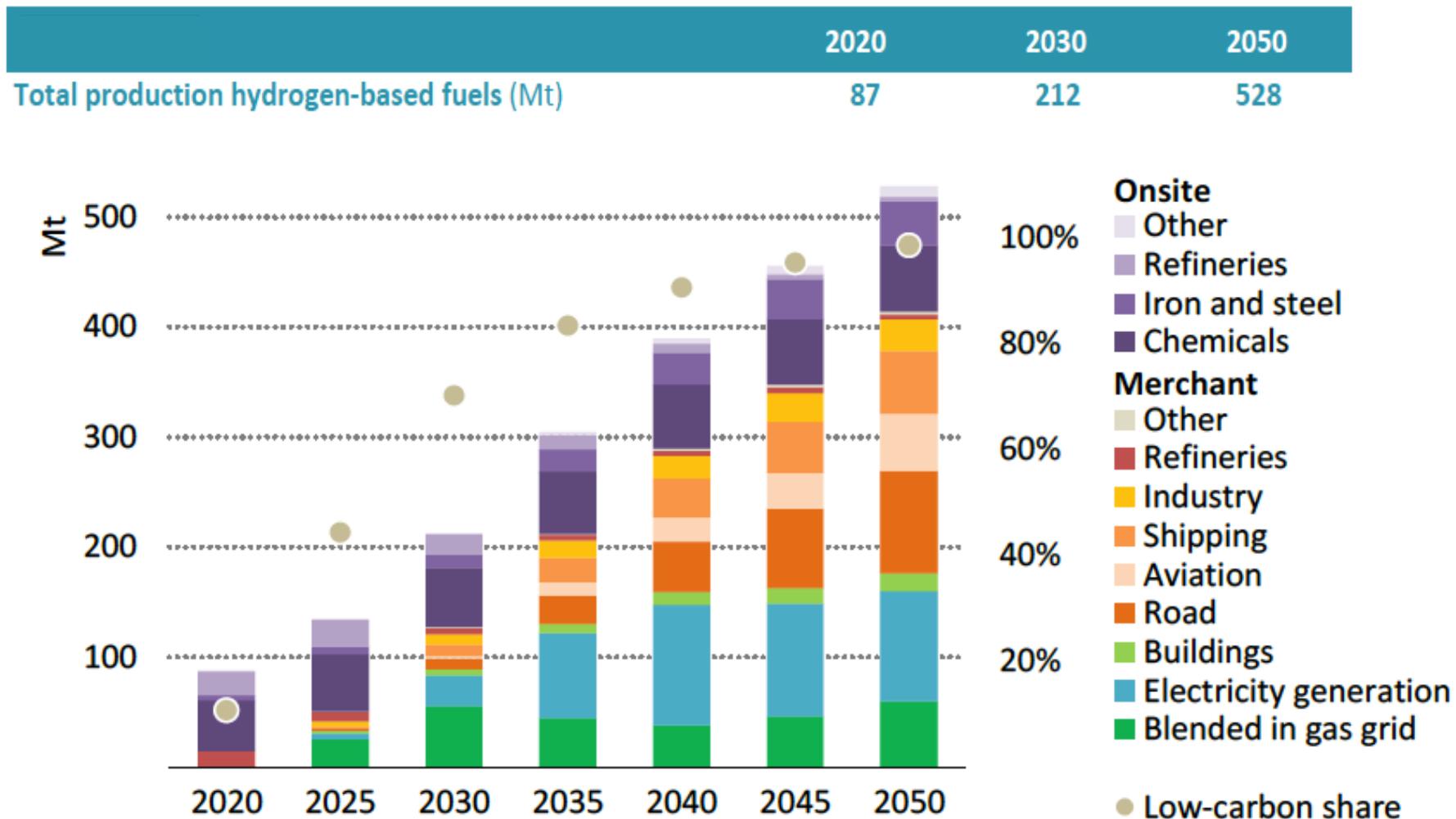
Brasil lançou a sua primeira estratégia para o hidrogênio em **2005!**

MME - Ministério de Minas e Energia (2005). Roteiro para Estruturação da Economia do Hidrogênio no Brasil. (Coordenação geral: MME - Ministério de Minas e Energia; Integração Técnica: MCT - Ministério de Ciência e Tecnologia; Operação: LACTEC/UFPR; Sub-coordenações: UNICAMP, CENPES, COPPE/UFRJ e INMETRO). Versão Beta.

Estratégias Disponíveis



THE HYDROGEN MOMENTUM: WHY HYDROGEN AND WHY NOW?



International Energy Agency Special Report on: "Net Zero by 2050 – A Roadmap for the Global Energy Sector". 2021.

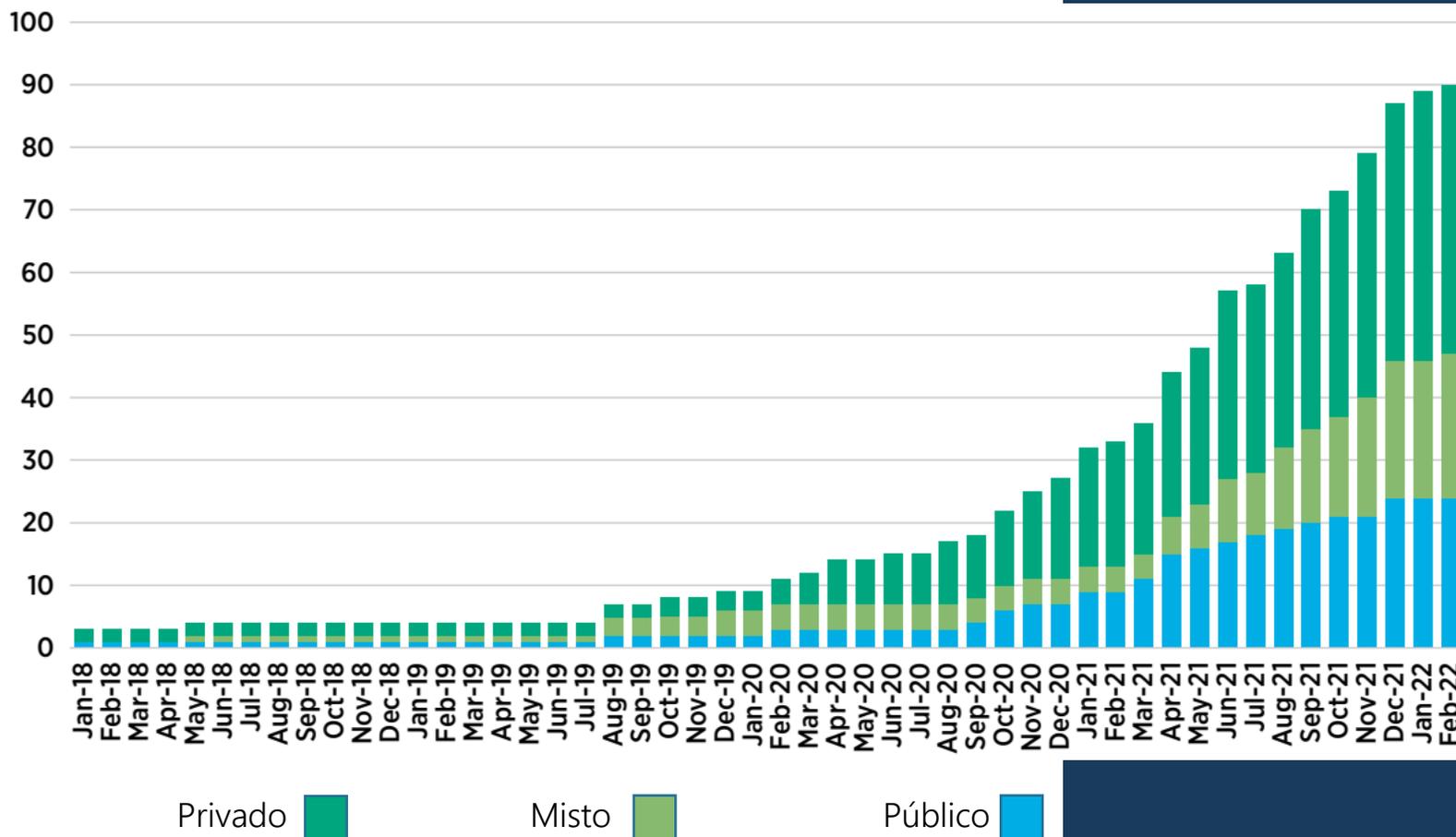
IEA. All rights reserved.

ENERGIA DO HIDROGÊNIO - MUNDO

CONSOLIDAÇÃO DO H₂

Anúncios de parcerias para comércio de hidrogênio desde 2018

- Pelo menos 10% das reduções de GEE (até 2050)
- Setores de difícil abatimento serão demanda expressiva
- (Transporte pesado e longa-distancia, fertilizantes, aço, cimento)
- Demandas locais impulsionarão comércio internacional
- Produção e demanda irão variar em diferentes regiões (Exportadores, Importadores e Autossuficientes)



IRENA (2022): Global hydrogen trade to meet the 1.5°C climate goal

<https://abh2.org>

FOCOS DA ABH2

MOTIVAÇÕES

Incentivo ao acesso à energia descarbonizada, à viabilização da reindustrialização do país induzida pelo hidrogênio e aos desenvolvimentos social e científico-tecnológico nacionais.

- Descarbonização com uso do hidrogênio;
- Aproveitamento da Infraestrutura Energética Nacional;
- Instruir sobre o Potencial do Hidrogênio produzido a partir da **Biomassa de Rejeito** e de outras Energias **Renováveis**, além do **Hidrogênio Natural**;
- Realce das possibilidades para geração de **Hidrogênio Renovável** e de **Baixo Carbono**;
- Ênfase da possibilidade de **mesclas de Hidrogênio** para atingir **limites pré-estabelecidos de emissões de CO₂**;
- Formação profissional de recursos humanos em níveis técnico, superior e de pós-graduação.
- Incentivo à pesquisa e inovação sobre energia do hidrogênio e transição energética.

The logo for ABH2, consisting of the letters 'AB' stacked above 'H2' in a large, bold, white sans-serif font on a dark blue background.

Fontes e usos do H₂ - Mundo

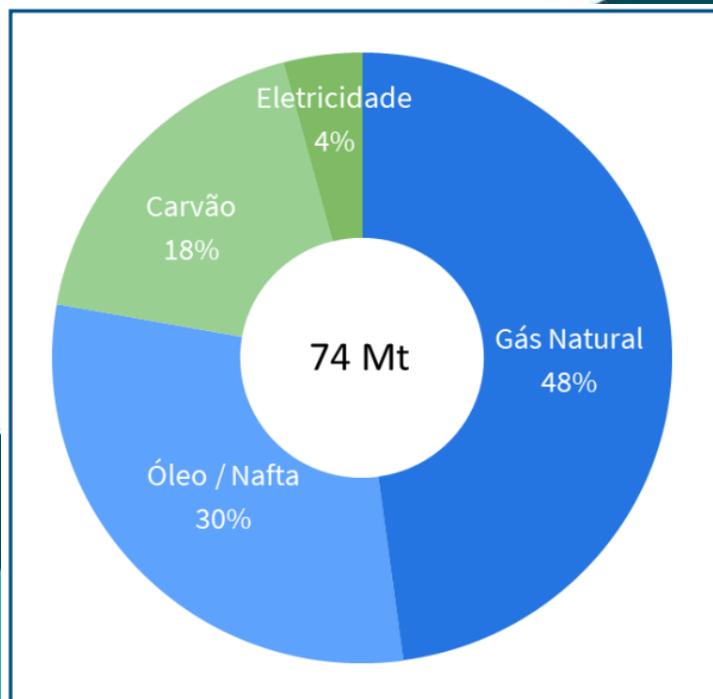
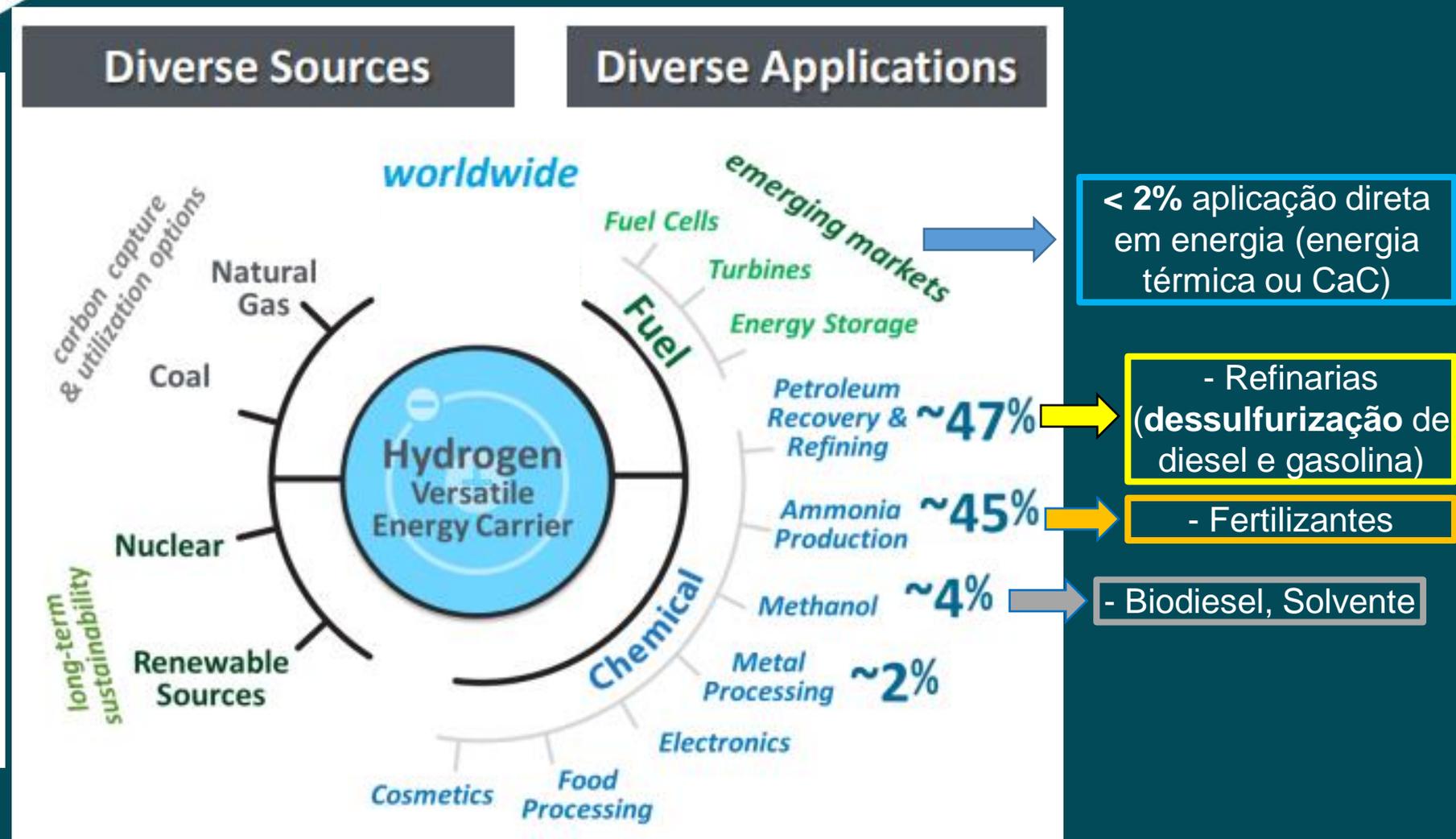


Figura 1 - Fontes de geração de hidrogênio no mundo. Fonte: IEA (2019a).





Sedã 'Mirai', da Toyota, movido 100% a hidrogênio (Foto: Divulgação)

<https://epbr.com.br/hidrogenio-verde-mais-barato-que-gasolina/>

Hidrogênio verde mais barato que gasolina?

Com custo estimado entre US\$ 1,20 e US\$ 1,40/kg até 2030, o H₂V produzido no Brasil pode ser mais barato que a gasolina no futuro próximo, avalia CEO da Comerc Eficiência

Nayara Machado — 26 de outubro de 2022

Em Combustíveis. Diálogos da Transição. Hidrogênio

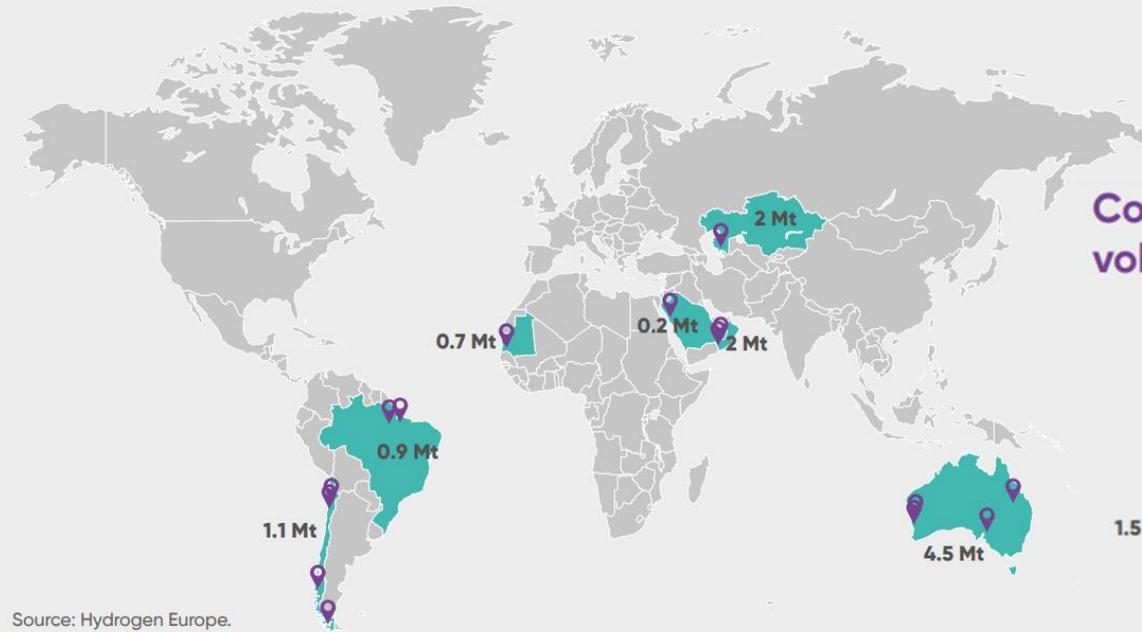
Com custo estimado entre US\$ 1,20 e US\$ 1,40/kg até 2030, o hidrogênio verde (H₂V) produzido no Brasil pode ser mais barato que a gasolina no futuro próximo, disse nesta quarta (26/10) o CEO da Comerc Eficiência, **Marcel Haratz**, durante evento sobre frotas verdes.

O cálculo considera um veículo com tecnologia célula a combustível capaz de fazer 150 quilômetros com um quilo do hidrogênio, o que daria cerca de R\$ 0,08 por quilômetro rodado.

“Se considerarmos o preço do hidrogênio verde produzido hoje em pequena escala, chegamos a R\$ 0,39/km. Se esse mesmo estudo fosse feito hoje com um carro a gasolina que faz uma média de 10 km/litro, são R\$ 0,55/km. Ou seja, o hidrogênio verde produzido hoje já é mais barato do que a gasolina no Brasil”, explica.

Hidrogênio x amônia - Exportação

Graphical distribution of hydrogen equivalent (in Mt/year) produced in selected export-oriented projects with over 1 GW of electrolysis capacity



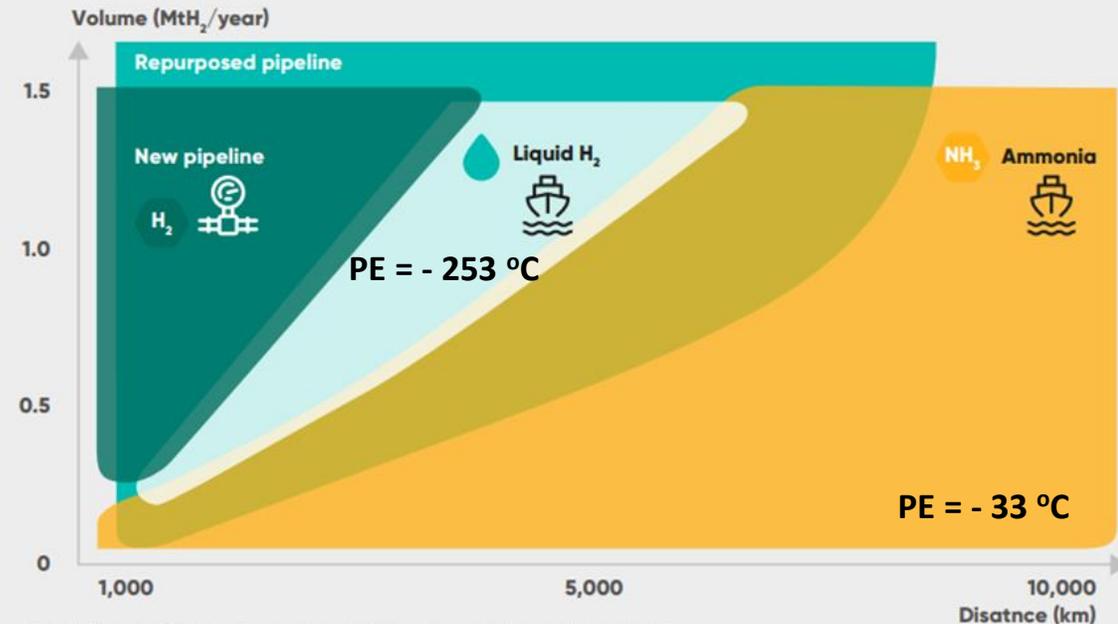
Brasil:

Matriz: 83% renovável

- sistema elétrico integrado e de baixo carbono;
- posição geográfica vantajosa para comercializar H₂ para a Europa e a costa leste norte-americana.

Cost efficiency of transport options when considering volume and distance

Emissões de carbono no transporte??? **Barreira na UE!!!**



Source: IRENA (2022) Geopolitics of Energy Transformation: The Hydrogen Factor.

Mercado doméstico de fertilizantes brasileiro:

- importa aproximadamente 85%;
- em 2020, representou o segundo lugar nas importações totais.

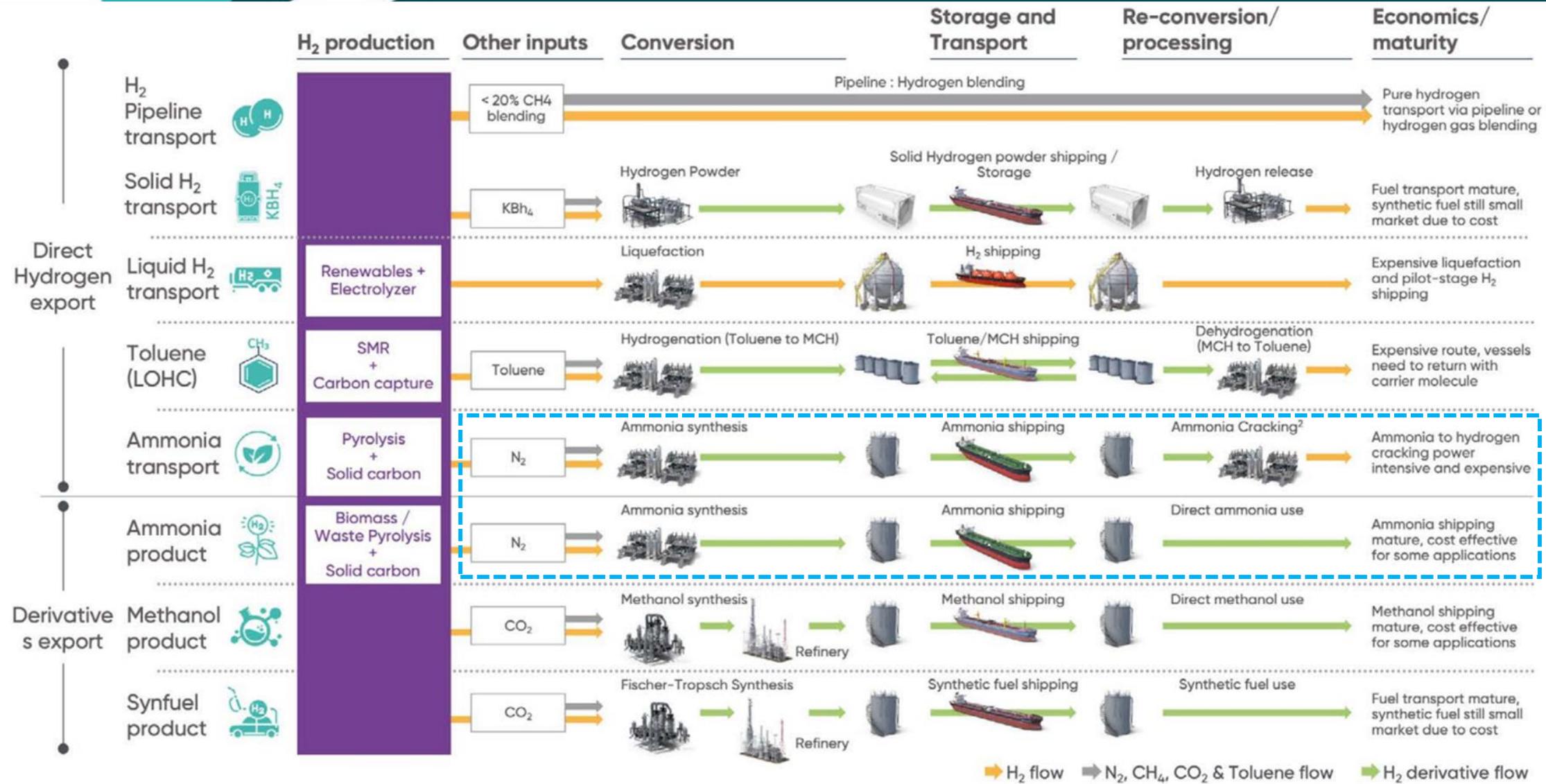
2008 – 2018: dobrou a quantidade de fertilizantes nitrogenados importada pelo Brasil, atingindo cerca de 9 milhões de ton (GIZ, 2021).

Conversão e reconversão de H₂

Summary of key hydrogen conditioning pathways (conversion and reconversion)

	Hydrogen conditioning	Process description	Process maturity	Energy requirement		Density	Pros	Cons	
				kWh/kg h ₂	% LHV	kg H ₂ /M ³			
Physical		Gas at 150 bar	Compression of H ₂ gas to desired pressure increasing density		c. 1	>90%	11	Relatively efficient, mature technology occurring at ambient temperature. PEM technologies already produce high pressure hydrogen	Hydrogen gas is flammable and more challenging to handle at high pressures
		Gas at 350 bar			c. 4	>85%	23		
		Gas at 700 bar			c. 6	80%	38		
		<u>Liquefied H₂</u>	Cooling at -253 through cryo-compression		c. 9	65-75%	71	Could unlock global trade potential and could be economically viable in regions of high demand with limited space	Higher energy intensity, cost and energy losses compared to LNG conversion
Chemical		Ammonia, NH ₃	Reaction with nitrogen for conversion and then reconversion back to H ₂		c. 3 for conversion and c. 8 for reconversion	82-93% for conversion and c. 80% for reconversion	121	Could unlock global trade potential with a mature industry that has the potential to leverage existing infrastructure	High energy requirement (and therefore lower efficiency) for reconversion, toxicity and air pollution
		Methanol, MeOH	Hydrogen with carbon monoxide (syngas) react to form methanol		NA, GS assumption for similar to ammonia		99	Could unlock global trade potential with a mature industry that has the potential to leverage existing infrastructure	Relatively lower toxicity compared to ammonia
		Liquid organic hydrogen carriers (LOHC)	Mixing with a LOHC such as MCH and convert back to H ₂		Conversion exothermic, c. 12 for reconversion	c. 65% for reconversion	110	Conversion is exothermic	Low efficiency at reconversion, toxicity, flammability and availability of toluene
		Metal hydrides	Chemical bonding with metals and then reheating back to H ₂		c. 4	88%	80-100	Higher efficiency than most alternatives	Storage unit can be heavy with long response times and lifetime

Hidrogênio x amônia - Exportação



H₂ de baixo carbono

O limite **CertifHy** para hidrogênio de baixo carbono, é fixado em **36,4 gCO₂/MJ (4,4 kgCO₂ /kgH₂)**.

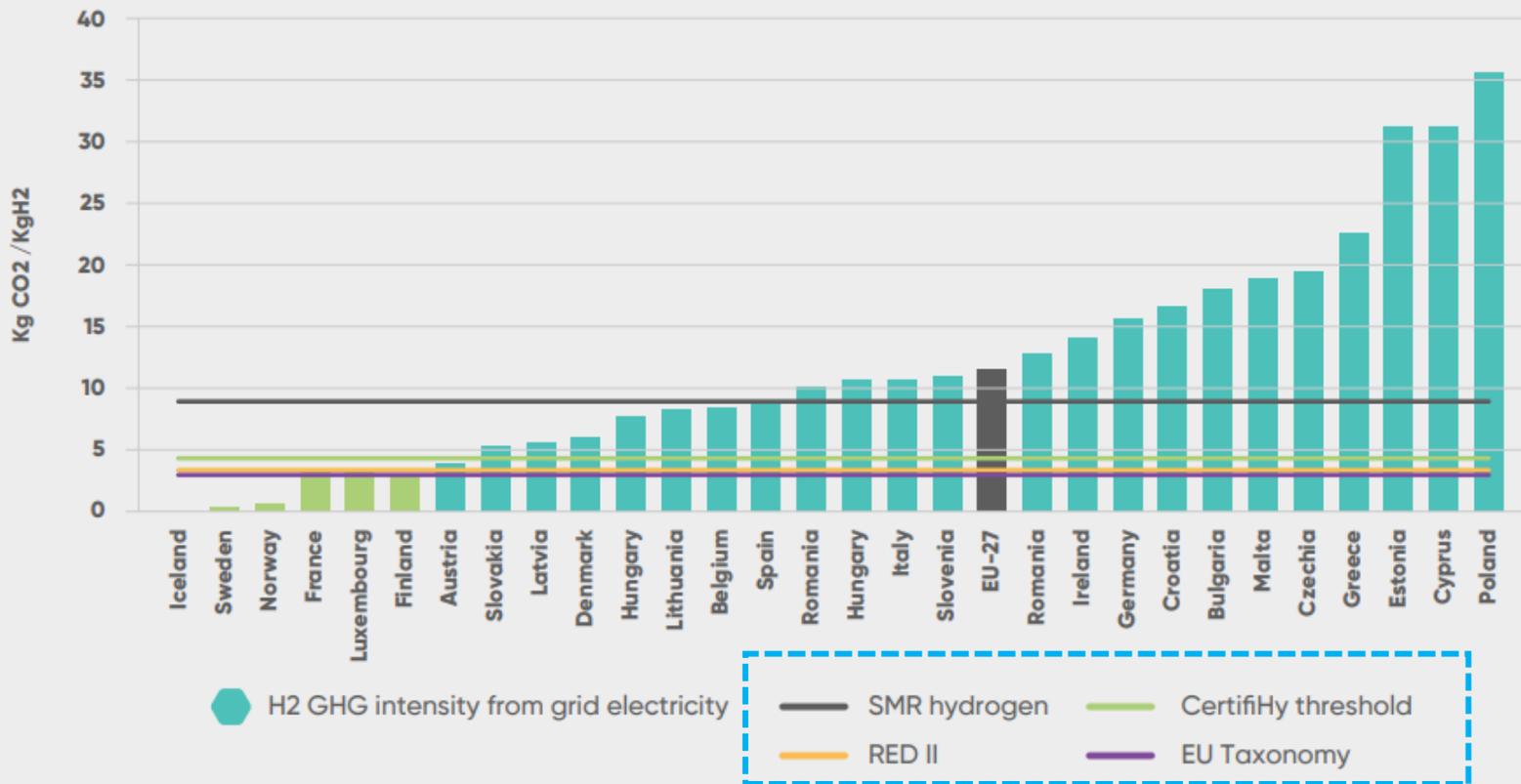
CERTIFICAÇÃO!!!

International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy (IPHE)



Em alguns países, a **intensidade de carbono** relacionado ao hidrogênio, obtido a partir da **energia da rede elétrica**, seria menor (menor pegada de carbono) do que o valor padrão alcançável por **SMR com CCS** (CertifHy, 2022) .

Carbon intensity of hydrogen produced from grid electricity, compared to selected benchmarks



Agências - Sistemas de classificação

Source: Hydrogen Europe, based on EEA data

Note: SMR Hydrogen: 9.0 kg CO₂ / kg H₂ (75.0 gCO₂/ MJLHV), EU Taxonomy threshold for sustainable hydrogen manufacturing: 3 kg CO₂ / kg H₂ (25 gCO₂/ MJLHV), CertifHy threshold for low carbon hydrogen: 4.4 kg CO₂ / kg H₂ (36.4 gCO₂/ MJLHV), RED II threshold for RFNBO: 3.384 kg CO₂ / kg H₂ (28.2 gCO₂/MJLHV).

Metas mundiais - Descarbonização

- Redução de GEE em 5,2% (2008 – 2012).
- Definição de metas de redução de emissões.



- Redução, adaptação e financiamento à mitigação das mudanças climáticas.



Meta do Brasil:

- Reduzir suas emissões em 37% até 2025, e 50% até 2030 (base: emissões de 2005).
- Emissões líquidas até 2050.

Acordo de Paris: manter o aumento da temperatura média global bem abaixo de 2,0 °C acima dos níveis pré-industriais.

Para ficar abaixo de 1,5 °C de aquecimento global, as emissões precisam ser reduzidas em cerca de 50% até 2030.



O objetivo é ajudar os países a se adaptarem aos efeitos das mudanças climáticas e mobilizar financiamento suficiente.

Acordo histórico:

- Países ricos concordam com a criação de um fundo após quase 30 anos;
- Funcionamento não definido;
- Sem conclusão sobre o fim do uso de combustíveis fósseis.

'Dia da Energia' na COP27 debate formas de manter aquecimento em 1,5°C



ONU News/Laura Quiñones | No Dia da Sociedade Civil e Energia na COP27, ativistas protestam contra a exploração de petróleo e gás na África.

Descarbonização

Emission Gap Report na COP27, em Sharm El-Sheikh, Egito.

Emissões de carbono seguem em alta

De acordo com a Agência Internacional de Renováveis, Irena, apenas 29% da geração global de eletricidade atualmente vem de fontes renováveis, enquanto as emissões de carbono continuam em tendência ascendente.

Andersen observou que o mundo já aqueceu 1,1°C desde a era pré-industrial e já estamos vendo um aumento de tempestades, secas, inundações e quebras de safra.

Ela destacou que as políticas atuais devem fazer a temperatura global subir a 2,8°C.

Meta de 1,5°C

O secretário-executivo de Mudanças Climáticas da ONU, Simon Stiell, também enfatizou a importância de reduzir o aquecimento global para 1,5°C, dizendo que é uma meta estabelecida pelo Acordo de Paris, mas também fundamentada firmemente na ciência e em dados concretos.

“Qualquer aumento acima de 1,5°C aumenta os riscos para a saúde, meios de subsistência, segurança alimentar, abastecimento de água, segurança humana e crescimento econômico”, destacou.



Pelo menos 25 países, além da UE, lançaram estratégias nacionais para o hidrogênio nos últimos anos (Foto: Erich Westendarp/Pixabay)

<https://epbr.com.br/consumo-de-hidrogenio-pelo-g7-pode-crescer-sete-vezes-ate-2050-diz-agencia/>

Descarbonização

Consumo de hidrogênio pelo G7 pode crescer sete vezes até 2050, diz agência

Irena recomenda aos membros do G7 que impulsionem um mercado global, alinhando formulação de políticas e certificação

epbr — 18 de novembro de 2022 - Atualizado em 20 de novembro de 2022

Em Agendas da COP, Hidrogênio, Internacional, Política energética

BRASÍLIA — Relatório da Agência Internacional de Energia Renovável (Irena, em inglês) publicado esta semana na COP27, no Egito, aponta que os membros do G7 podem ser os pioneiros na implantação de tecnologias de baixo carbono e hidrogênio verde.

Segundo a agência, o consumo de hidrogênio pelo grupo dos países mais industrializados do mundo pode crescer entre quatro e sete vezes até 2050.

O novo relatório recomenda uma estrutura do G7 para alinhar a formulação de políticas e assumir compromissos concretos para harmonizar os padrões e a certificação de hidrogênio.

Descarbonização

MERCADO DE CARBONO: Licenças de emissão / *cap and trade* (VÍDEO)

CARBONO EVITADO: CRÉDITOS DE DESCARBONIZAÇÃO (Ex.: produção de biocombustíveis / **RENOVABIO**)

Lastreado no Setor de Transportes

Produtores: emitem os títulos (receita)
/ **1 CBIO = 1 ton** emissões evitadas
Distribuidores de combustíveis não
renováveis: compradores (obrigados)

Este balanço garante a liquidez!

CARBONO CAPTURADO: CCS e CCU (reduz a intensidade de C na atmosfera) → Bio-CCS/Bio-CCU*CCUS (emissões negativas)

- Estratégico para atendimento das metas do Acordo de Paris (**efetivamente retira da atm o C emitido**)

Descarbonização – Exemplos CCS e CCU

Reforming with carbon capture

Air Liquide CRYOCAP installation in Port Jerome, France, capturing CO₂ from a steam methane reformer, which supplies hydrogen to an Exxon refinery. The CRYOCAP technology uses cryogenic purification to separate CO₂ from the PSA off-gas. The captured and liquefied CO₂ is delivered to the local beverage industry. The utilised capture is up to 100 000 tonnes of CO₂ per year (Pichot, et al., 2017).

Shell's Pernis refinery in Rotterdam, where various low-value refinery residues are gasified to produce hydrogen. CO₂ is captured as part of the gasification process, transported via pipeline, and sold mostly to the agriculture sector.



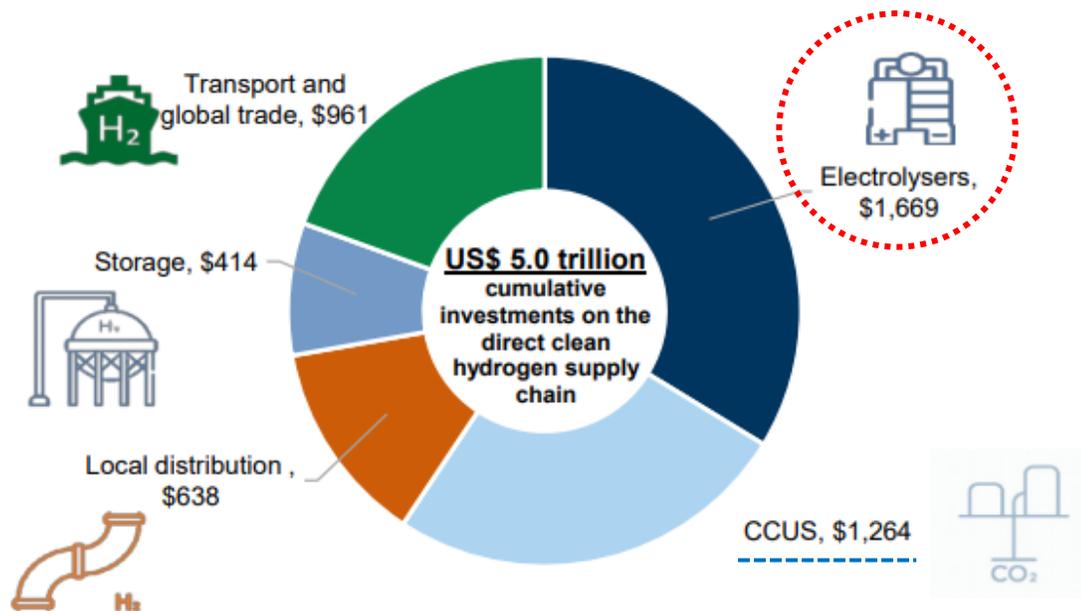
The total share of reforming with carbon capture (known also as "blue" hydrogen) in all hydrogen production capacity is **56 148 tonnes a year or 0.5% of the total.**



Descarbonização – Combustíveis fósseis e investimentos

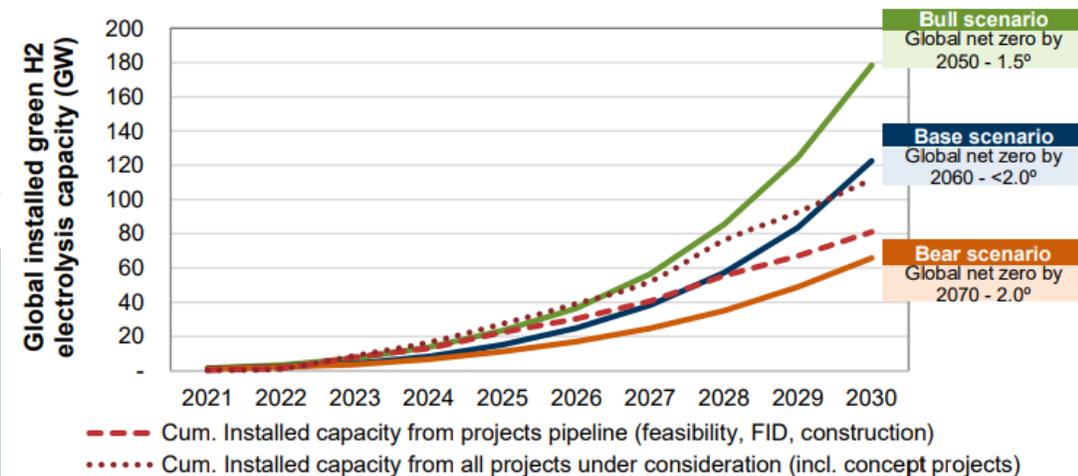
We estimate US\$5.0 tn of investments will be required in the global clean hydrogen supply chain to net zero..

Investments required in the clean hydrogen supply chain for net zero



Source: Goldman Sachs Global Investment Research

Global installed green H2 electrolysis capacity from projects announced compared to GS scenarios



TEMA RELATIVAMENTE
NOVO NO BRASIL!

Brasil: Decreto nº 11.075/2022 (Governo Federal)

Criação de um mercado regulado de carbono:

- A indústria brasileira defende um sistema no método *cap and trade*. Neste caso, a empresa que ultrapassar seu limite tem permissão para comprar de quem não utilizou todo seu montante e está disposto a vender seus créditos.
- Na avaliação da *Confederação Nacional da Indústria (CNI)*, esse método estimula a inovação e a competitividade, sem aumentar a carga tributária.

O MCTI apresentou na COP27 um novo módulo do Sistema de Registro Nacional de Emissões (SIRENE).

SIRENE ORGANIZACIONAIS:

primeiro passo para que organizações possam **relatar voluntariamente** as emissões de GEE.

Modelos que o BR pode seguir: Europa, EUA ou China.

- Mais chances de atuar no **incentivo** do que na taxaço (Ex.: Programa “Metano Zero”, biodiesel, etc)
- Porém, a taxaço é um tema em debate, que deve ser abordado na **reforma tributária**.

BRASIL TERÁ A MAIOR FÁBRICA DE HIDROGÊNIO VERDE DO MUNDO

2 de novembro de 2022



<https://www.comprerural.com/brasil-tera-a-maior-fabrica-de-hidrogenio-verde-do-mundo/>

A Unigel, líder nacional em produção de ureia, vai investir cerca de R\$ 650 milhões na construção da primeira fábrica brasileira de hidrogênio verde e, em princípio, a maior do mundo.

Uma das maiores indústrias químicas da América Latina e líder em segmentos como fertilizantes e amônia, a Unigel vai investir US\$ 120 milhões (cerca de R\$ 650 milhões) na construção da primeira fábrica brasileira de hidrogênio verde, produto que substitui combustíveis fósseis. O plano é que a planta seja, em princípio, a **maior do mundo**.

Dessa forma, a Unigel vai investir na fabricação de hidrogênio e de amônia verdes, produtos que estão ocupando espaço na corrida mundial no processo de descarbonização. O projeto, o primeiro em escala industrial, foi anunciado nesta semana em Camaçari (BA), onde a **fábrica será instalada ao lado de outras duas unidades que produzem amônia e estirênico**.

Início - Forbes ESG

Hidrogênio verde terá mercado de US\$ 10 trilhões, diz CEO da Plug Power

 Alan Ohnsman

19 de novembro de 2022



Divulgação
Andy Marsh, CEO da Plug Power, aposta que o mercado de hidrogênio verde será gigante

epbr Ceará prevê US\$ 10 bi de investimentos em hidrogênio verde no Pecém

Gabriel Chiappini — 11 de junho de 2021

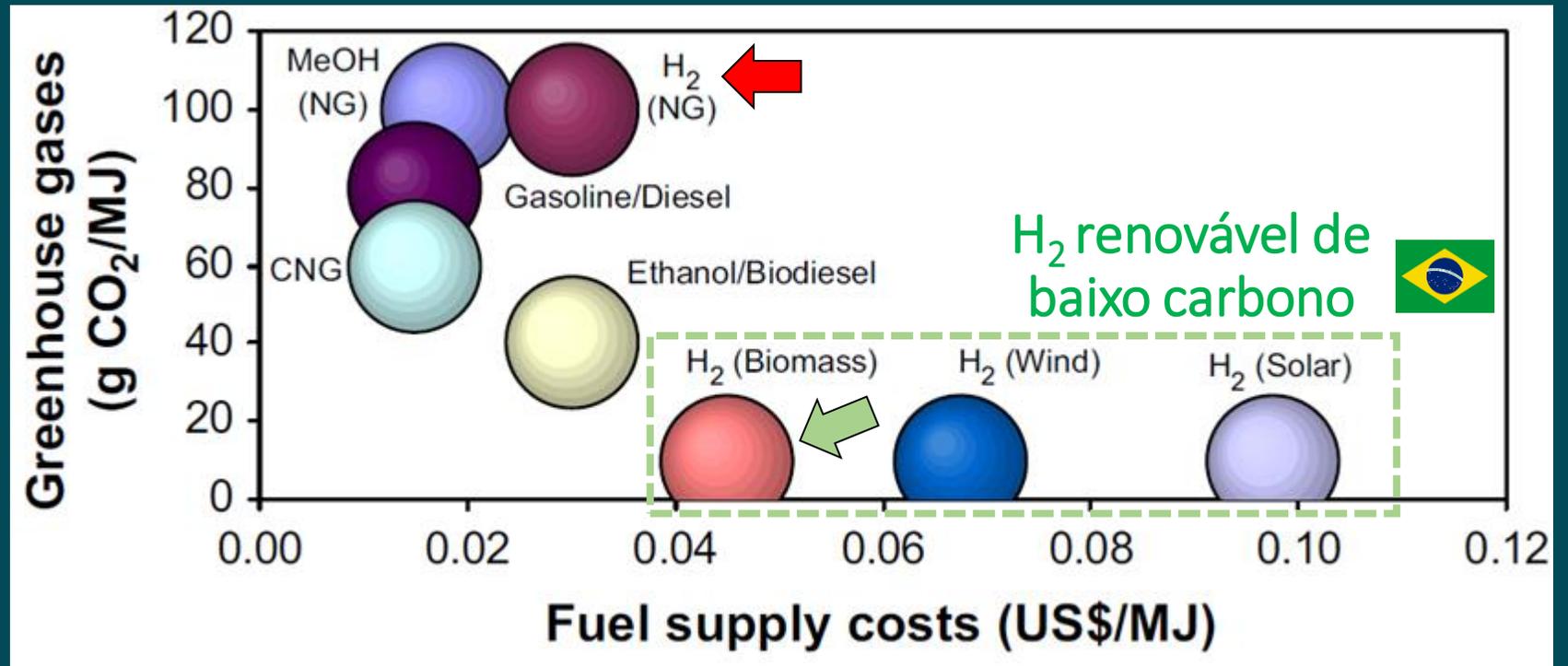
Em Combustíveis, Eólica, Hidrogênio, Transição energética

<https://epbr.com.br/ceara-preve-us-10-bi-de-investimentos-em-hidrogenio-verde-no-pecem/>



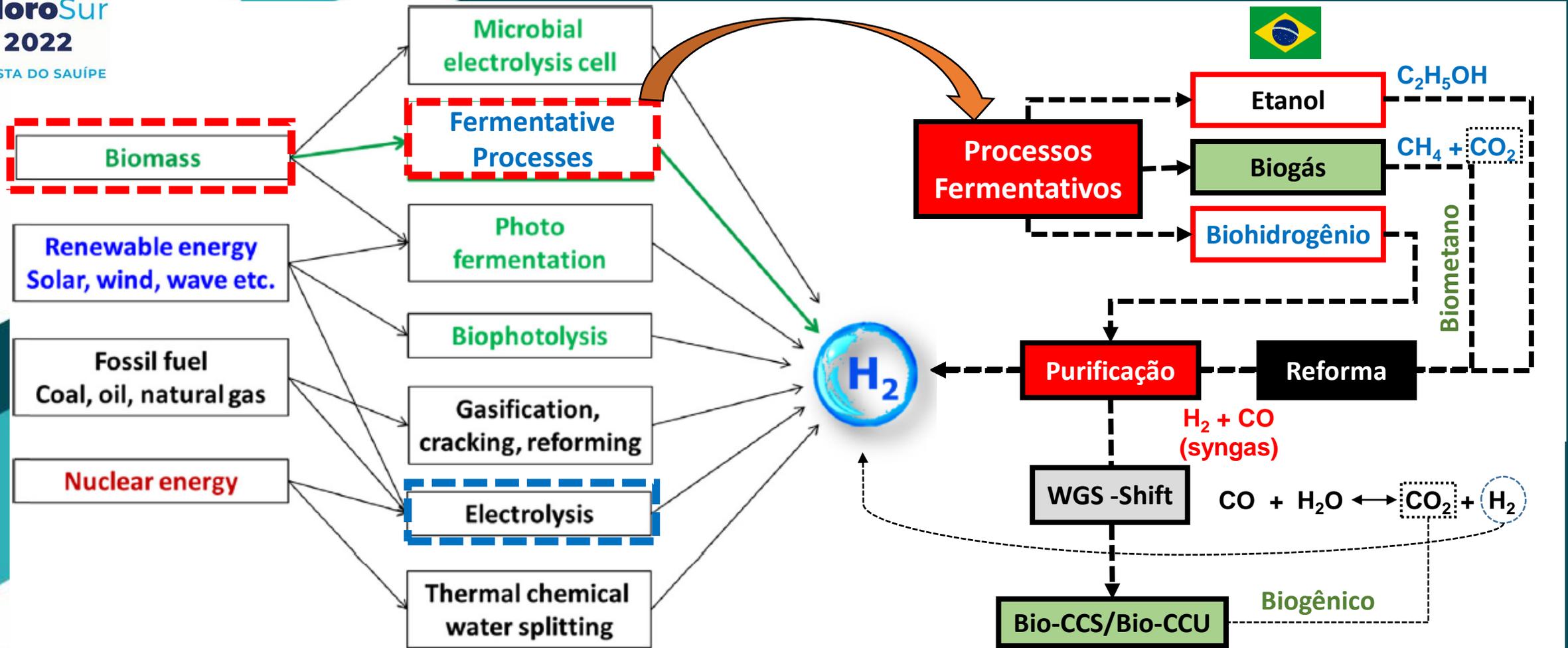
Custos e emissões na produção do H₂ renovável

Potencial da biomassa



Hotza D, Da Costa JCD. Fuel cells development and hydrogen production from renewable resources in Brazil. Int J Hydrogen Energy, 33:4915e35, 2011.

Rotas - H₂ renovável a partir da biomassa



Principais matérias primas e rotas de produção de Hidrogênio

Adaptado de: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 92 (2018) 284-306





Empresa de Pesquisa Energética (EPE)

Potencial energético das biomassas no Brasil:

2013: 210 milhões de TEP
2050: 460 milhões de TEP

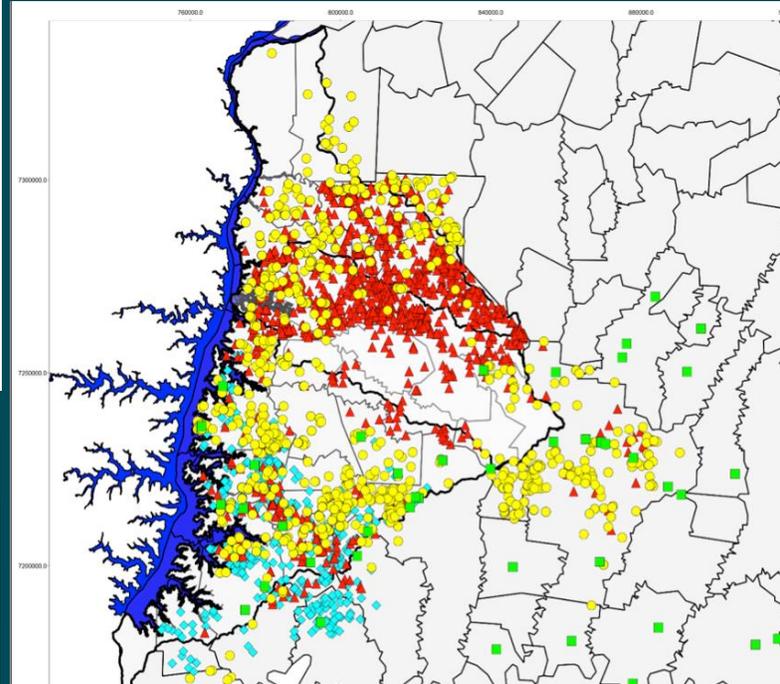
Associação Brasileira do Biogás (Abiogás)

Potencial nacional:
82,6 bilhões m³/ano (setores sucroenergético, produção agrícola, proteína animal e saneamento).



Potencial do biogás na região oeste do PR

“Pré-sal caipira”



Problema ambiental



Grande potencial de geração de energia

- Arranjos locais (condomínios de agroenergia)
- Grandes agroindústrias



Plantas de biogás em operação no Brasil: 755 em 2021 (2,3 bilhões de Nm³/ano... somente ≈ 2,7% do potencial explorado)

Amarelo: aves

Vermelho: suínos

Azul: bovinos

<https://mapbiogas.cibiogas.org/>

Composição do biogás

- 1) Biogás *in natura*: 55 – 70% CH₄ (metano)
30 – 45% CO₂
500-4000 ppm H₂S (depende da matéria prima)

Reforma
a seco →

- 2) Biogás parcialmente tratado: **remoção de H₂S**

Reforma
a vapor →

- 3) Biogás enriquecido em **biometano**: > 90% CH₄
< 3% CO₂

Resoluções ANP: nº. 8/2015 e nº. 685/2017

< 10 ppm H₂S

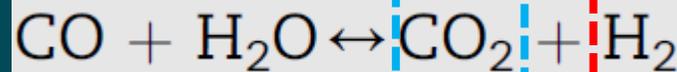
Composição e PCI semelhantes ao gás natural.

Reforma a seco do biogás

Processo termoquímico



Syngas - HCR



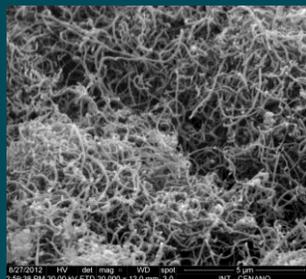
WGS (H₂)

Bio-CCS / Bio-CCU



encapsulado /
filamentoso

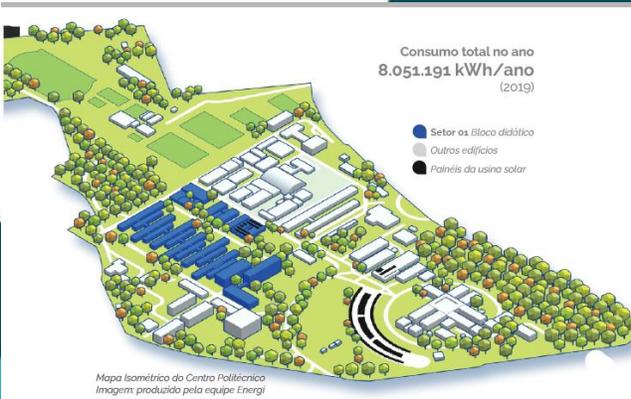
grafite / NTC



Condições reacionais:

- 700 - 800 °C
- pressão atmosférica
- catalisador / reator de leito fixo

- Envolve dois gases de efeito estufa (CH₄ e CO₂)
- Produção descentralizada do H₂ (fora das refinarias)
- Tendência à formação de coque (moléculas com C)



PEE + P&D / Maior usina fotovoltaica
em carport do BR (1,2 MW)



Projeto P&D – COPEL/ANEEL

Uso do biogás rural
pré-purificado
(< 10 ppm H_2S)

Construção de
unidade para a
conversão do biogás
em gás de síntese

Uso do H_2
purificado
em CaC-PEM

Geração de energia
elétrica para suprir
demanda
intermitente

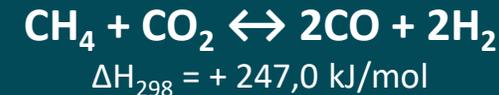
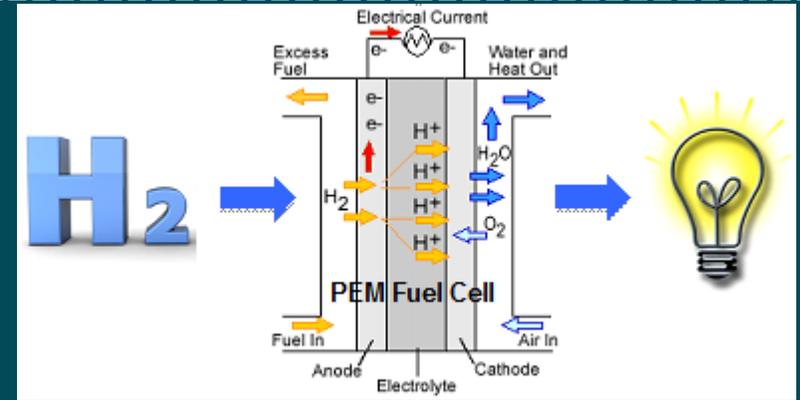
Biogás



PSA



H_2



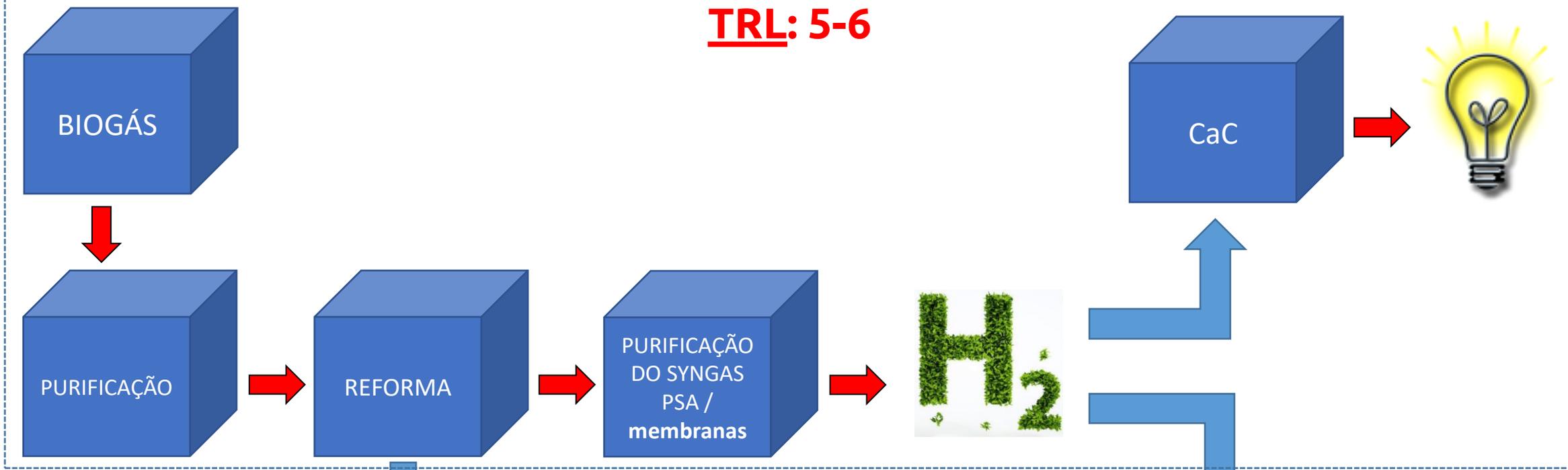
Desenvolvimento de
nanocatalisadores para o
processo de reforma do
biogás

Avaliação do
desempenho e
tempo de vida útil
da CaC

Avaliação da eficiência
na integração da CaC
com a mini-rede elétrica

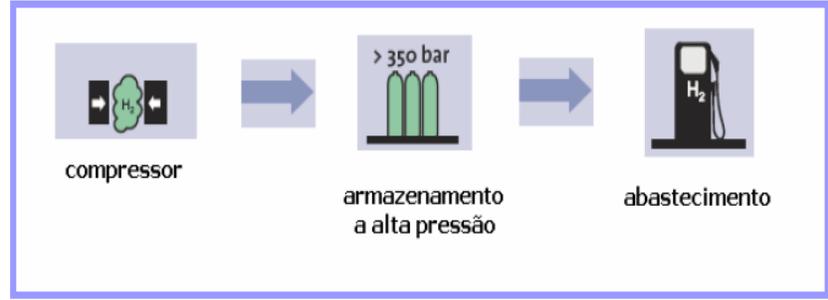
PROPOSTA: INTEGRAÇÃO DOS MÓDULOS (LABMATER)

TRL: 5-6



Syngas: H₂ + CO

**HCR, SAF,
Metanol, etc**



FASE 3

PROPOSTA: CONSTRUÇÃO E INSTALAÇÃO DE UNIDADE PILOTO

Piloto/Campo
(1-2 kg_{H2}/h)



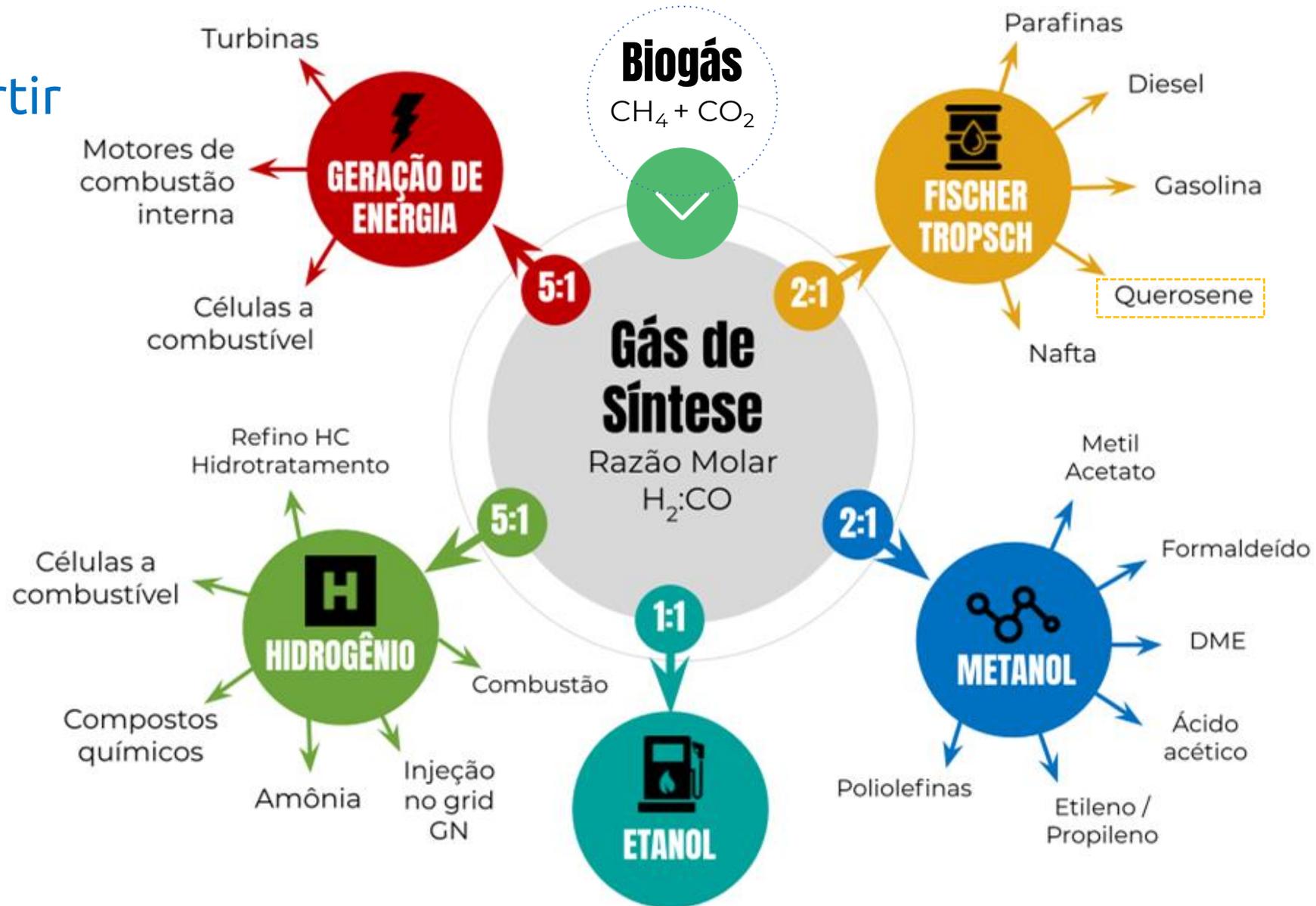
Equipamento Comercial
(15-30 kg_{H2}/h)

TRL: 7-9



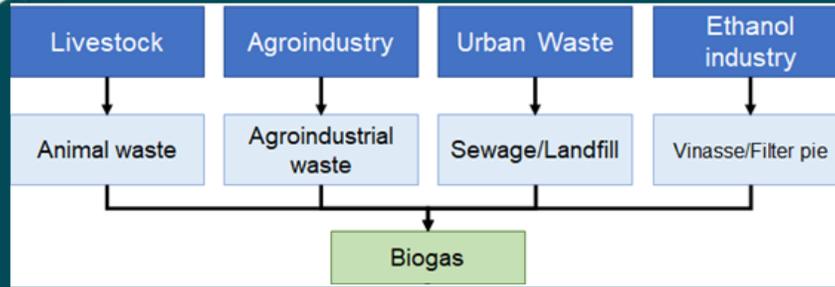
AVANÇOS: REFORMADORES ALIMENTADOS A BIOGÁS, CATALISADORES PARA A REFORMA A SECO E SISTEMAS DE PURIFICAÇÃO, NA ESCALA PROPOSTA.

Produtos obtidos a partir do gás de síntese



Projeto de PD&I em andamento: “Desenvolvimento de tecnologia para produção de combustível de aviação renovável a partir de biogás e hidrogênio verde em escala piloto”

H₂ a partir do biogás e Bio-CCS/Bio-CCU

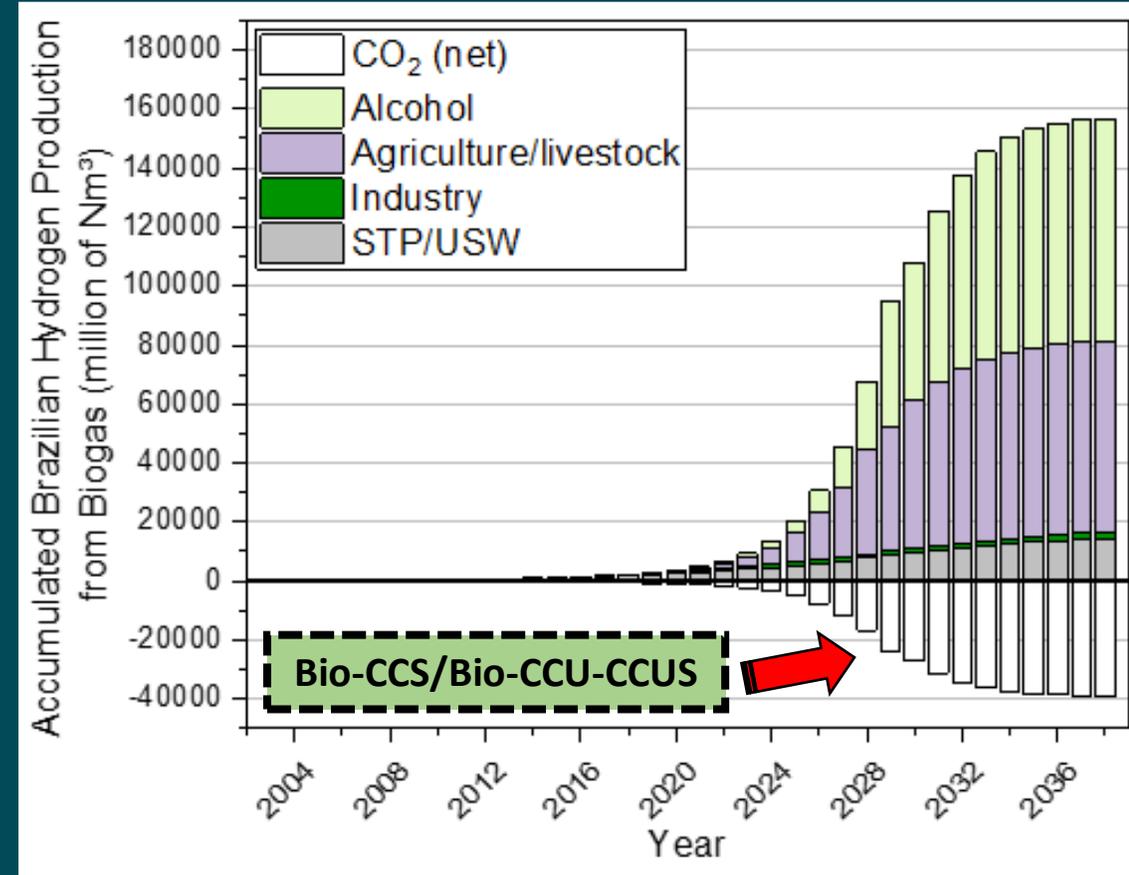


H₂ ≈ 160 bilhões de Nm³/ano
≈ 20% da produção mundial

14,5 milhões de ton/ano

CO₂ biogênico ≈ 40 bilhões de Nm³/ano
(emissões negativas de carbono)

78,4 milhões de ton/ano



Hydrogen production potential considering the conversion of biogas by dry reforming and the conversion of CO by the WGS reaction process after DMR and net sequestered emission of CO₂ for the process. Data on estimates (sigmoidal) of biogas production. Excluding emissions related to CO₂ and other GHG during permanent storage. (Source: the author).

Considerações Finais

Potencialidades:

O Brasil tem uma matriz elétrica renovável, e, portanto, possui um dos maiores potenciais para a produção de hidrogênio renovável de baixo carbono;

- Desenvolvimento do mercado interno (*redução de importações - Ex.: fertilizantes, metanol, etc*);
- Solução estratégica do ponto de vista energético e ambiental (*diversas rotas*);
- Contribuição para a descarbonização da economia mundial (*neutra em C - 2050*);
- Oportunidades de novos negócios / abertura para novos mercados (*H₂, C e derivados*).

Desafios:

- Aumentar o grau de maturidade tecnológica de algumas rotas estratégicas;
- Evoluir na produção descentralizada / geração *on site* (custo transporte);
- Subsídios para a indústria e o consumo / fontes de financiamento competitivas;
- Formação de RH na área;
- Empresas: identificar como reduzir a pegada de carbono frente às alternativas.



Obrigado pela atenção!

Prof. Dr. Helton José Alves

Universidade Federal do Paraná – UFPR

Fone: (44)98438-4664

e-mail: helton.alves@ufpr.br

