# Hidrogênio Verde

## O setor de Hidrogênio Verde e o desenvolvimento da tecnologia.

Alexandre Alonso Alves
Chefe-geral
Embrapa Agroenergia

**Audiência Pública - CEHV**
**Brasília**
Maio de 2023

Embrapa 50 ANOS

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA

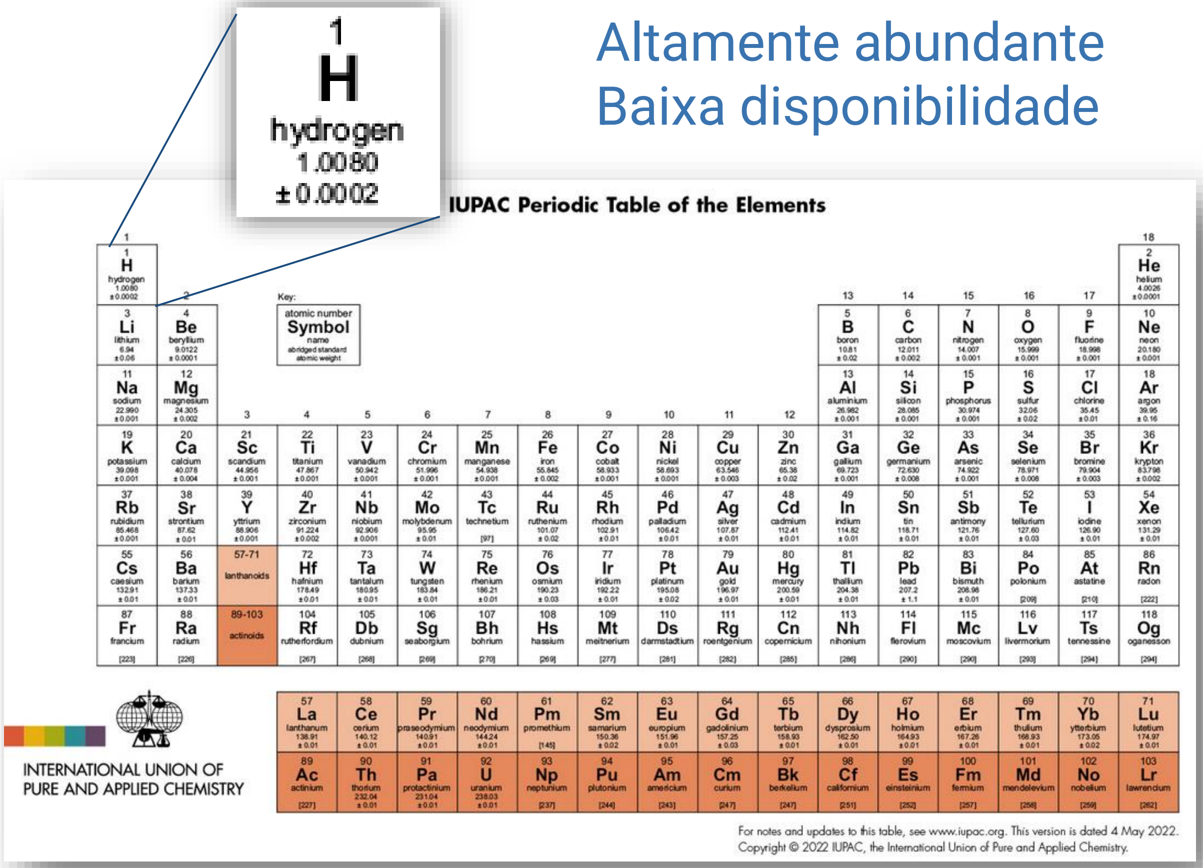
GOVERNO FEDERAL
BRASIL
UNIÃO E RECONSTRUÇÃO

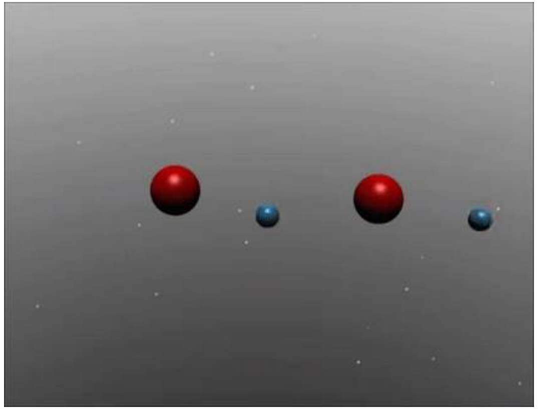
# Hidrogênio

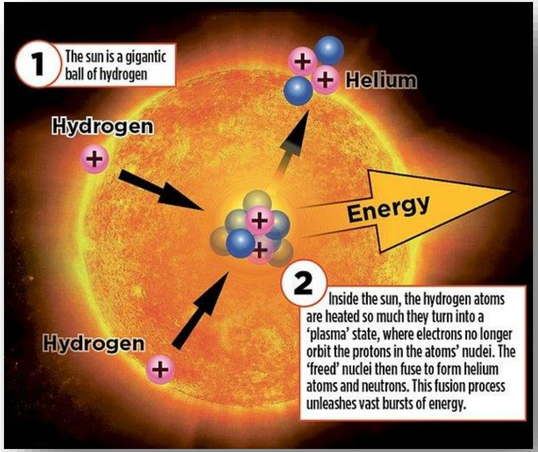
## O que é?
## Quais os tipos?
## Quais os usos?

# Hidrogênio

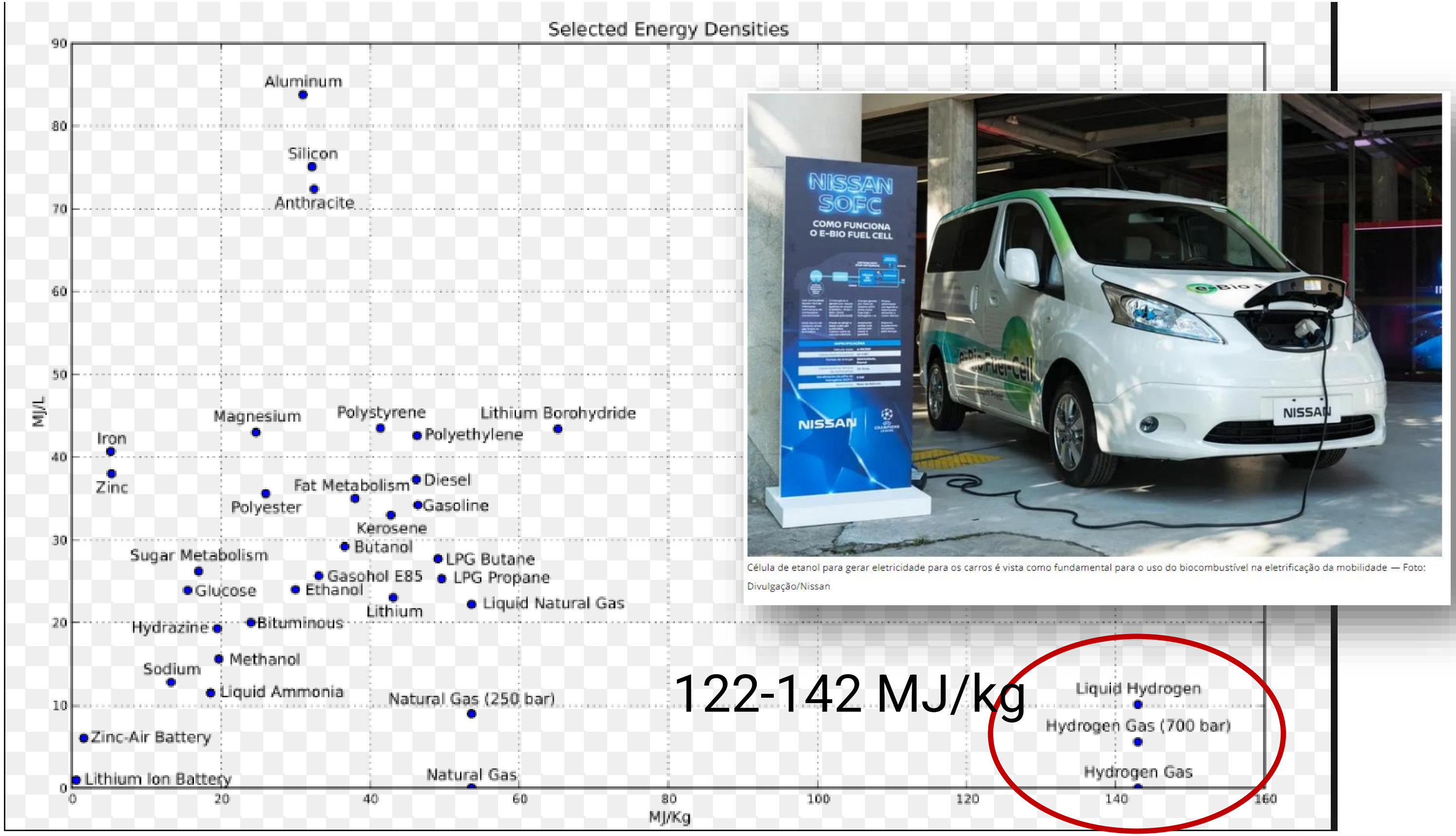
Altamente abundante
Baixa disponibilidade





# Por que tanto interesse no Hidrogênio?




122-142 MJ/kg

Célula de etanol para gerar eletricidade para os carros é vista como fundamental para o uso do biocombustível na eletrificação da mobilidade — Foto: Divulgação/Nissan

# Tipos de Hidrogênio

*Quem já ouviu falar sobre isso?*
*Assunto em discussão, envolve reserva de mercado...*

| | Terminology | Technology | Feedstock/ Electricity source |
|---|---|---|---|
| PRODUCTION VIA ELECTRICITY | Green Hydrogen | Electrolysis | Wind \| Solar \| Hydro Geothermal \| Tidal |
| | Purple/Pink Hydrogen | | Nuclear |
| | Yellow Hydrogen | | Mixed-origin grid energy |
| PRODUCTION VIA FOSSIL FUELS | Blue Hydrogen | Natural gas reforming + CCUS Gasification + CCUS | Natural gas \| coal |
| | Turquoise Hydrogen | Pyrolysis | Natural gas |
| | Grey Hydrogen | Natural gas reforming | |
| | Brown Hydrogen | Gasification | Brown coal (lignite) |
| | Black Hydrogen | | Black coal |

*GHG footprint given as a general guide but it is accepted that each category can be higher in some cases.

Padrão estabelecido pela Europa

Metano do biogás x metano do gás natural

HIDROGÊNIO MUSGO: oriundo da biomassa

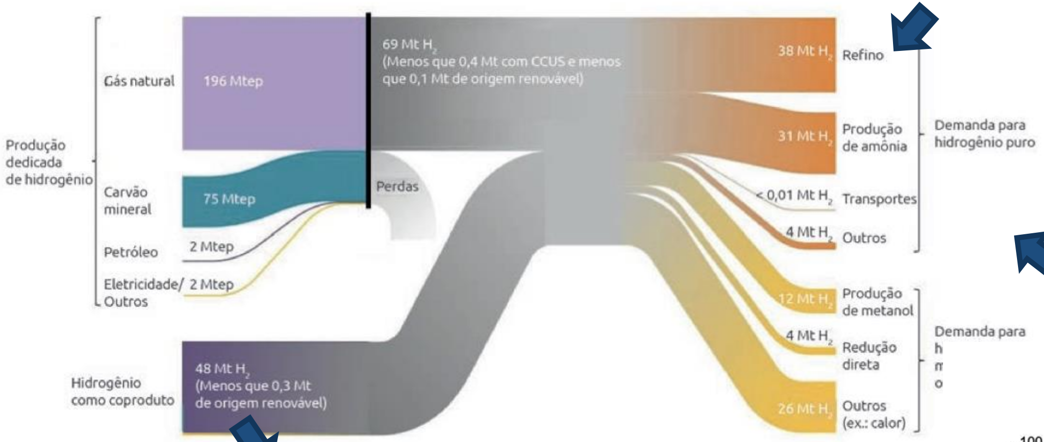
Biomassa residual lignocelulósica

CCSU = captura e aprisionamento do CO2

Fonte: https://globalenergyinfrastructure.com/articles/2021/03-march/hydrogen-data-telling-a-story/

# Oferta e demanda Hidrogênio?

Uso em refinarias



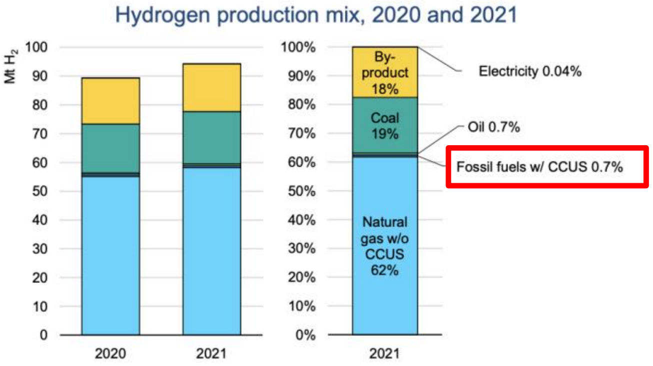


Fertilizantes

Obtido em refinarias

Fonte: EPE, 2021.

Fonte:




ote: CCUS = carbon capture, utilisation and storage.

94 Mt em 2021

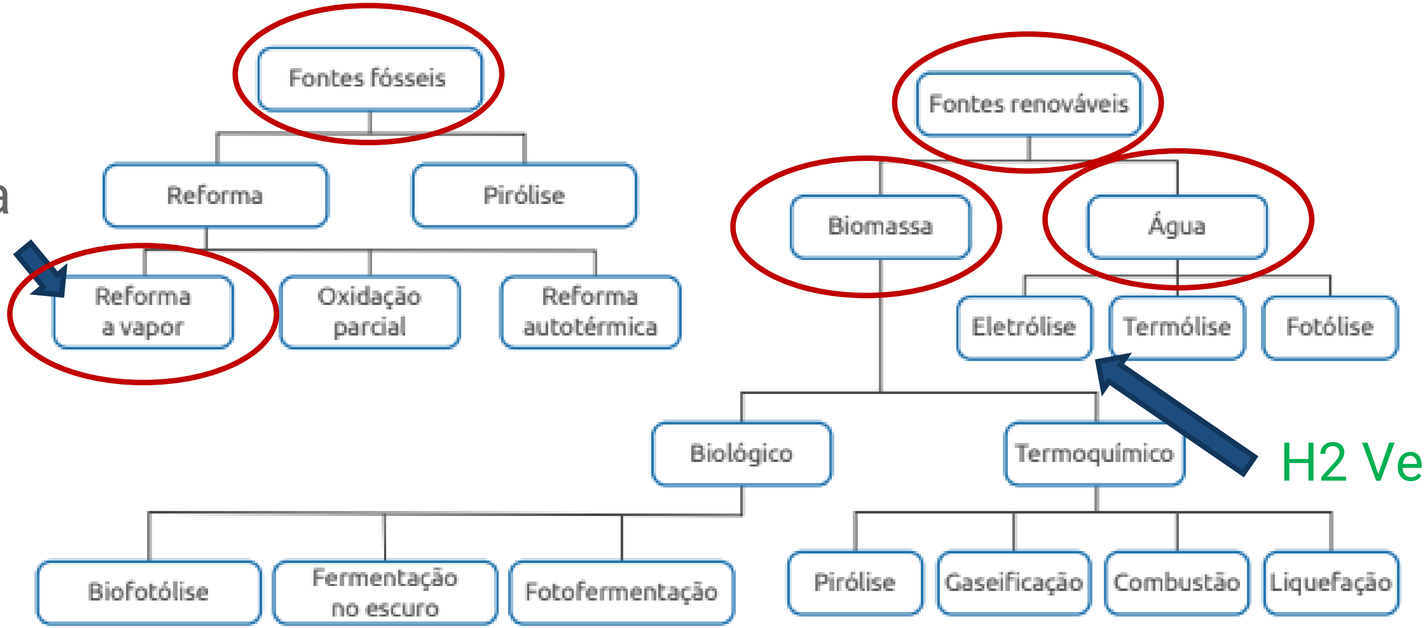

# Como o H2V é produzido?

# Principais tecnologias.

# Como o Hidrogênio é obtido?

H2 Cinza

H2 Azul (CCSU)




Fonte: (NIKOLAIDIS; POULLIKKA, 2017).

H2 Verde

H2 Verde Musgo

Fonte:

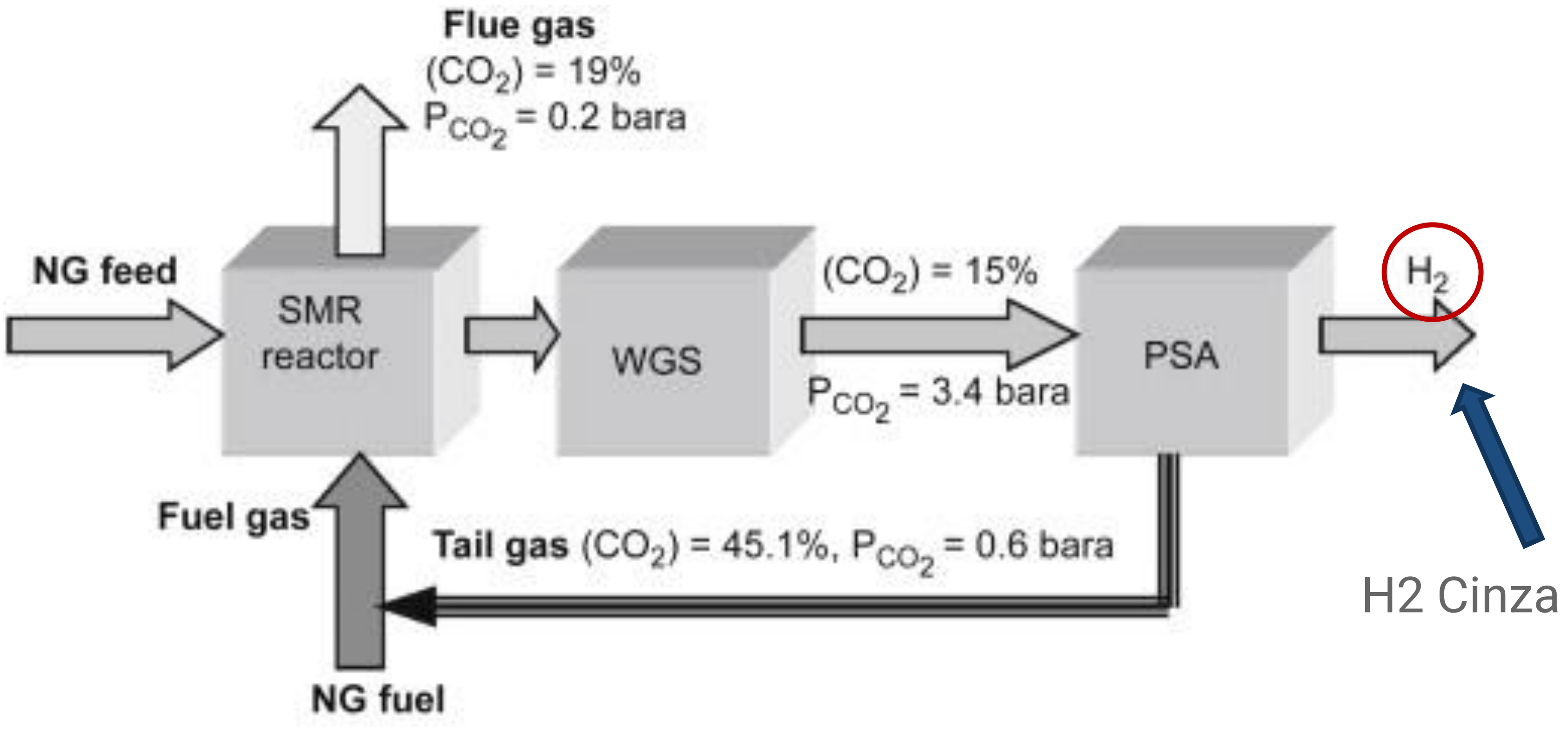

Fonte: https://www.hyundaimotorgroup.com/story/CONT0000000000002990

# Tecnologias de produção H2 sustentável

H2 Azul

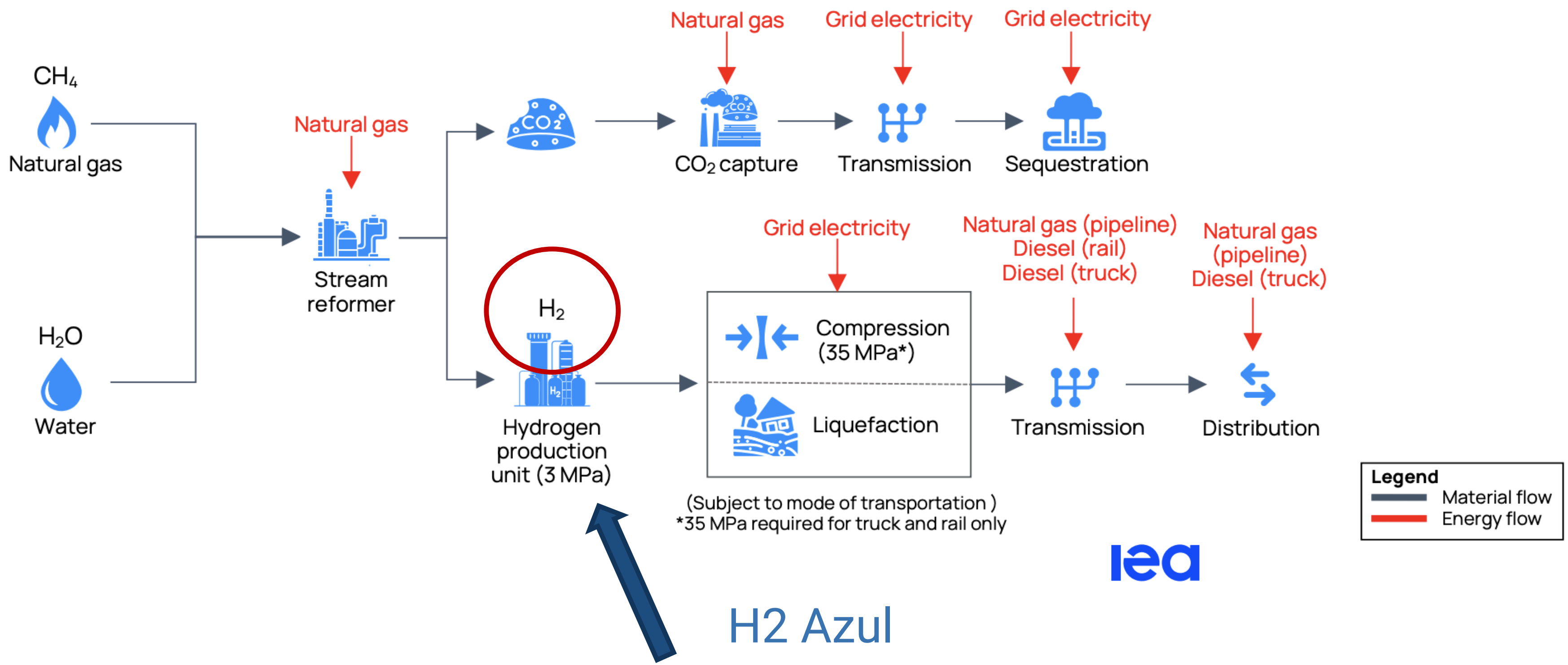
| | METHANE REFORMING WITH CCS "BLUE HYDROGEN" | PYROLYSIS "TURQUOISE HYDROGEN" | ELECTROLYSIS "GREEN HYDROGEN" |
|---|---|---|---|
| Overview | Reacts methane with water, resulting in the primary formation of hydrogen and gaseous $CO_2$ | Decomposition of methane in the absence of air/ oxygen, resulting in the primary formation of hydrogen and solid carbon | Splits water with electricity, resulting in the formation of hydrogen and oxygen |
| Handling of carbon/$CO_2$ | Requires $CO_2$ generated by the process to be captured | Produces "carbon black," a form of solid carbon | Does not produce any $CO_2$ or solid carbon |
| Variants | » Steam methane reforming (SMR): Methane combustion with air (TRL 9)[13]<br>» Auto-thermal reforming (ATR): Methane combustion with pure oxygen and a catalyst (TRL 8)[14]<br>» Electric steam methane reforming (ESMR): Methane heated with electricity (TRL 6)[15] | » Thermal decomposition: Methane decomposition at over 1000°C (TRL 5)<br>» Plasma decomposition: Plasma torch decomposition up to 2000°C (TRL 9)<br>» Catalytic decomposition: Catalyst decomposition under 1000°C (TRL 5) | » Alkaline electrolysis: Uses alkaline material for electrolysis (TRL 9)<br>» Proton exchange membrane (PEM): Uses polymer material for electrolysis (TRL 9)<br>» Solid oxide electrolyzer cell (SOEC): Uses solid oxide material for electrolysis (TRL 8) |

# Reforma a vapor do metano (SMR)



# Reforma a vapor do metano + CCSU

**FIGURE 14 - Steam methane reforming process**



# Reforma a vapor do metano (SMR)

FIGURE 13 - Methane reforming parameters summary

| | STEAM METHANE REFORMING (SMR) | AUTOTRHERMAL REFORMING (ATR) | ELECTRIC STEAM METHANE REFORMING (ESMR) |
|---|---|---|---|
| Hydrogen produced (GJ) | 1 | 1 | 1 |
| Electrical energy (kWh) | -7.75 | 19.0 | 61.2 |
| Natural gas (MJ) | 1,235 | 1,207 | 1,008 |
| $CO_2$ capture rate (%) | 60 | 94 | 98.6 |
| CCS electrical energy (kWh) | 5.3 | 3.2 | 7.8 |
| CCS natural gas (MJ) | 104 | 0 | 0 |

Baixo consumo de eletricidade

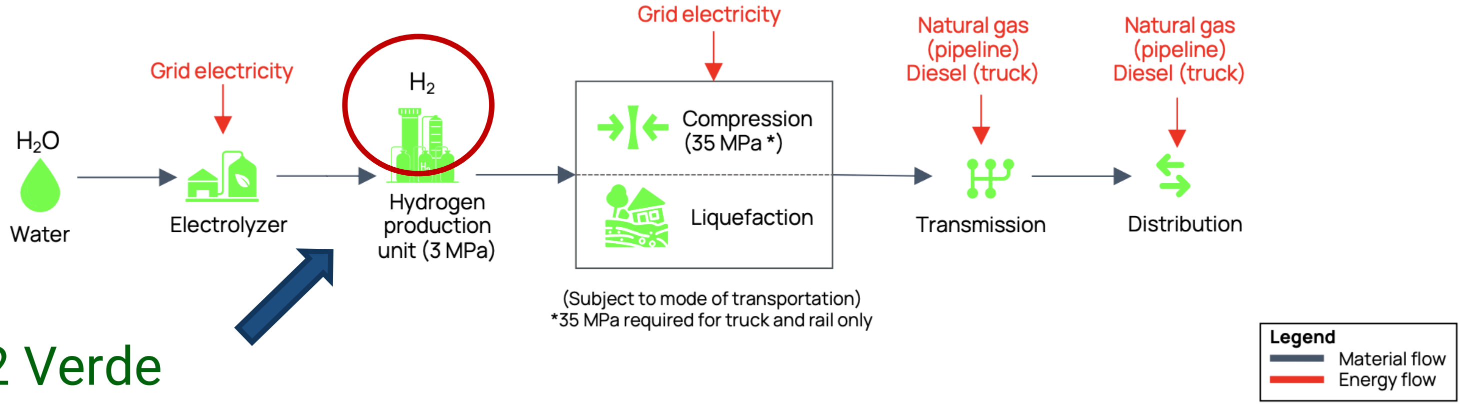
# Tecnologias de produção H2 sustentável

H2 Verde

| | METHANE REFORMING WITH CCS "BLUE HYDROGEN" | PYROLYSIS "TURQUOISE HYDROGEN" | ELECTROLYSIS "GREEN HYDROGEN" |
|---|---|---|---|
| Overview | Reacts methane with water, resulting in the primary formation of hydrogen and gaseous $CO_2$ | Decomposition of methane in the absence of air/ oxygen, resulting in the primary formation of hydrogen and solid carbon | Splits water with electricity, resulting in the formation of hydrogen and oxygen |
| Handling of carbon/$CO_2$ | Requires $CO_2$ generated by the process to be captured | Produces "carbon black," a form of solid carbon | Does not produce any $CO_2$ or solid carbon |
| Variants | » Steam methane reforming (SMR): Methane combustion with air (TRL 9)[13]<br>» Auto-thermal reforming (ATR): Methane combustion with pure oxygen and a catalyst (TRL 8)[14]<br>» Electric steam methane reforming (ESMR): Methane heated with electricity (TRL 6)[15] | » Thermal decomposition: Methane decomposition at over 1000°C (TRL 5)<br>» Plasma decomposition: Plasma torch decomposition up to 2000°C (TRL 9)<br>» Catalytic decomposition: Catalyst decomposition under 1000°C (TRL 5) | » Alkaline electrolysis: Uses alkaline material for electrolysis (TRL 9)<br>» Proton exchange membrane (PEM): Uses polymer material for electrolysis (TRL 9)<br>» Solid oxide electrolyzer cell (SOEC): Uses solid oxide material for electrolysis (TRL 8) |

# Eletrólise alcalina

**FIGURE 17 - Electrolysis process material and energy flows**




H2 Verde

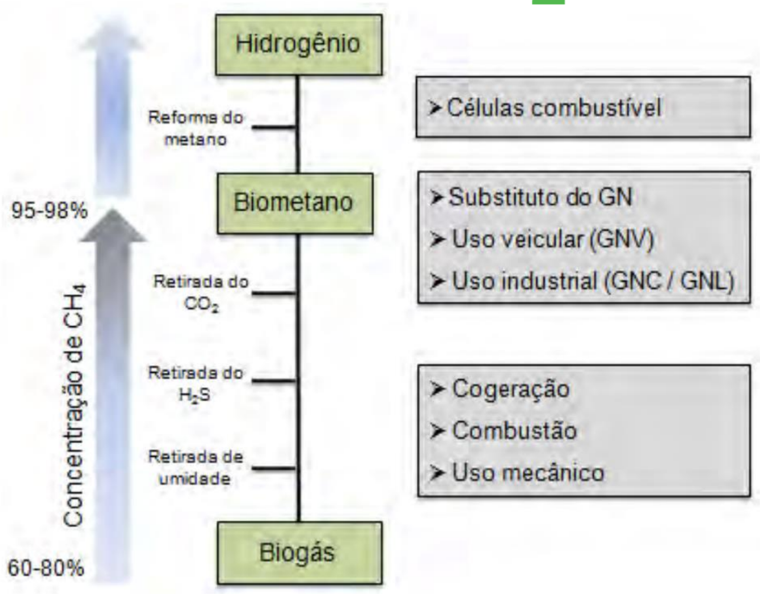
**FIGURE 18 - Electrolysis parameters summary**

Alto consumo de eletricidade

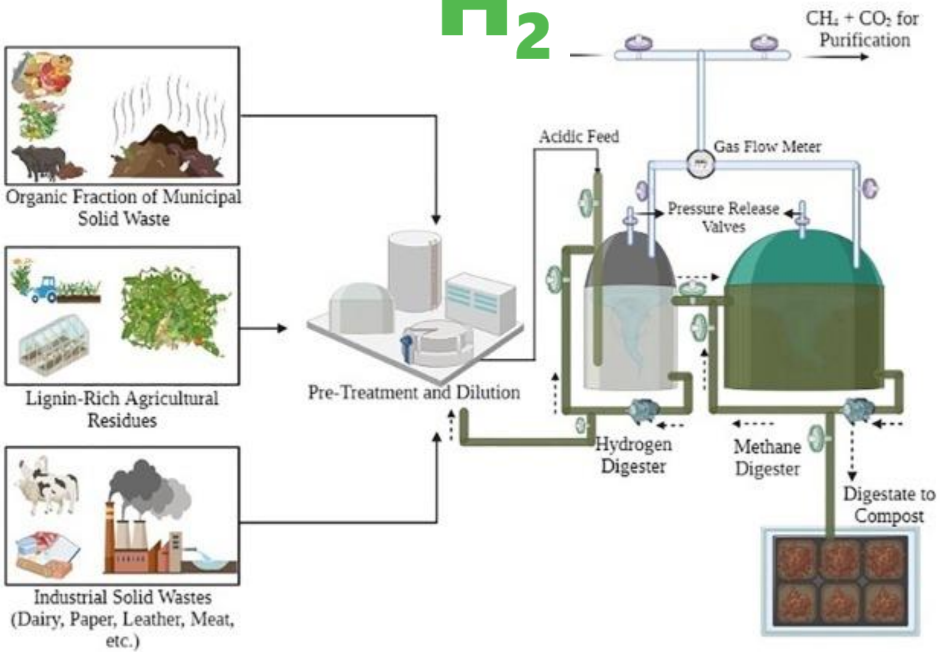
| | ALKALINE ELECTROLYSIS | PEM ELECTROLYSIS | SOEC ELECTROLYSIS |
|---|---|---|---|
| Hydrogen produced (GJ) | 1 | 1 | 1 |
| Electricity (kWh) | 381 | 360 | 282 |

# Reforma a vapor do biogás/biometano

$H_2$




$H_2$

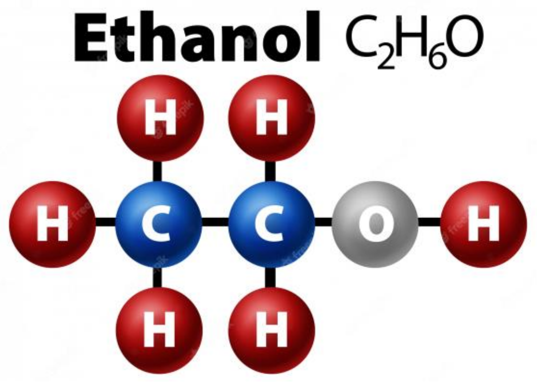



H2 Verde Musgo

Reforma biogás/biometano

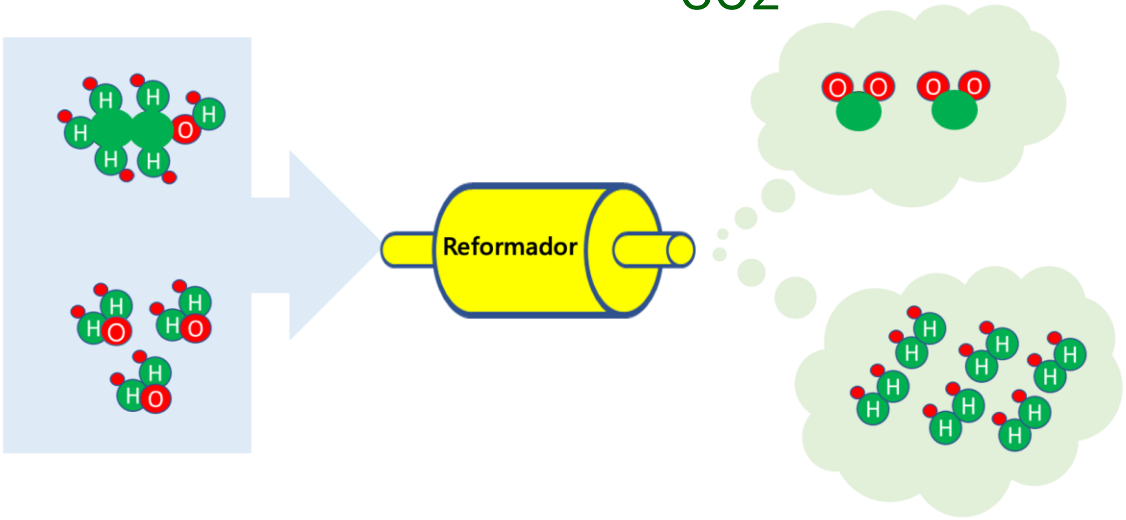
https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.123449

# Reforma do etanol




Possibilidade de captura

$CO_2$




Reforma do etanol

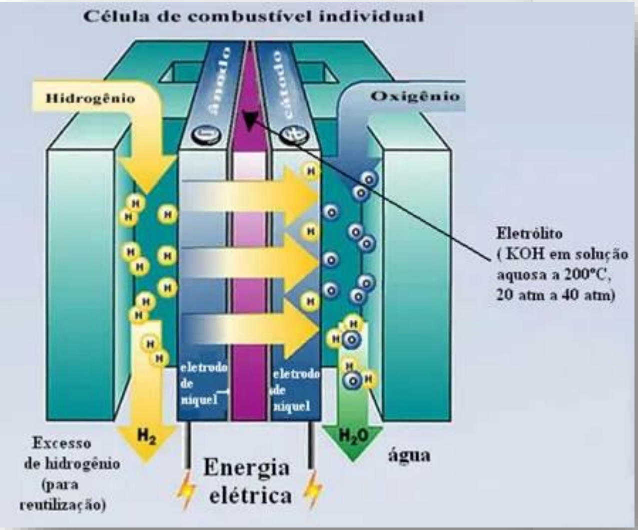
$H_2$

H2 Verde Musgo

Fonte: https://agencia.fapesp.br/shell-raizen-hytron-usp-e-senai-firmam-parceria-para-a-conversao-de-etanol-em-hidrogenio/39548/

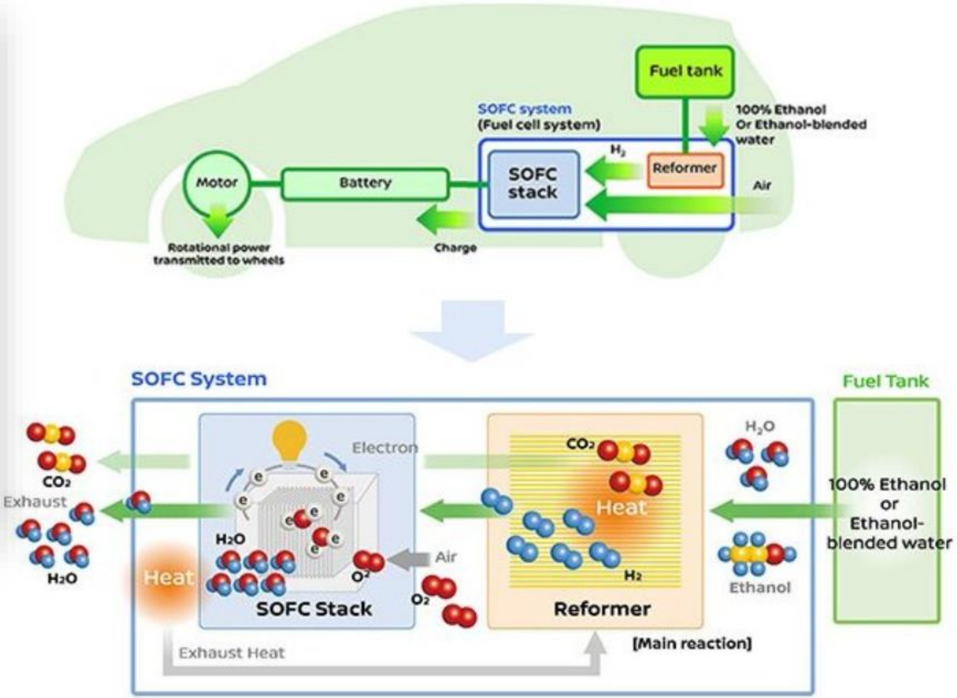
# Células combustível: tradicional e a etanol

Hidrogênio



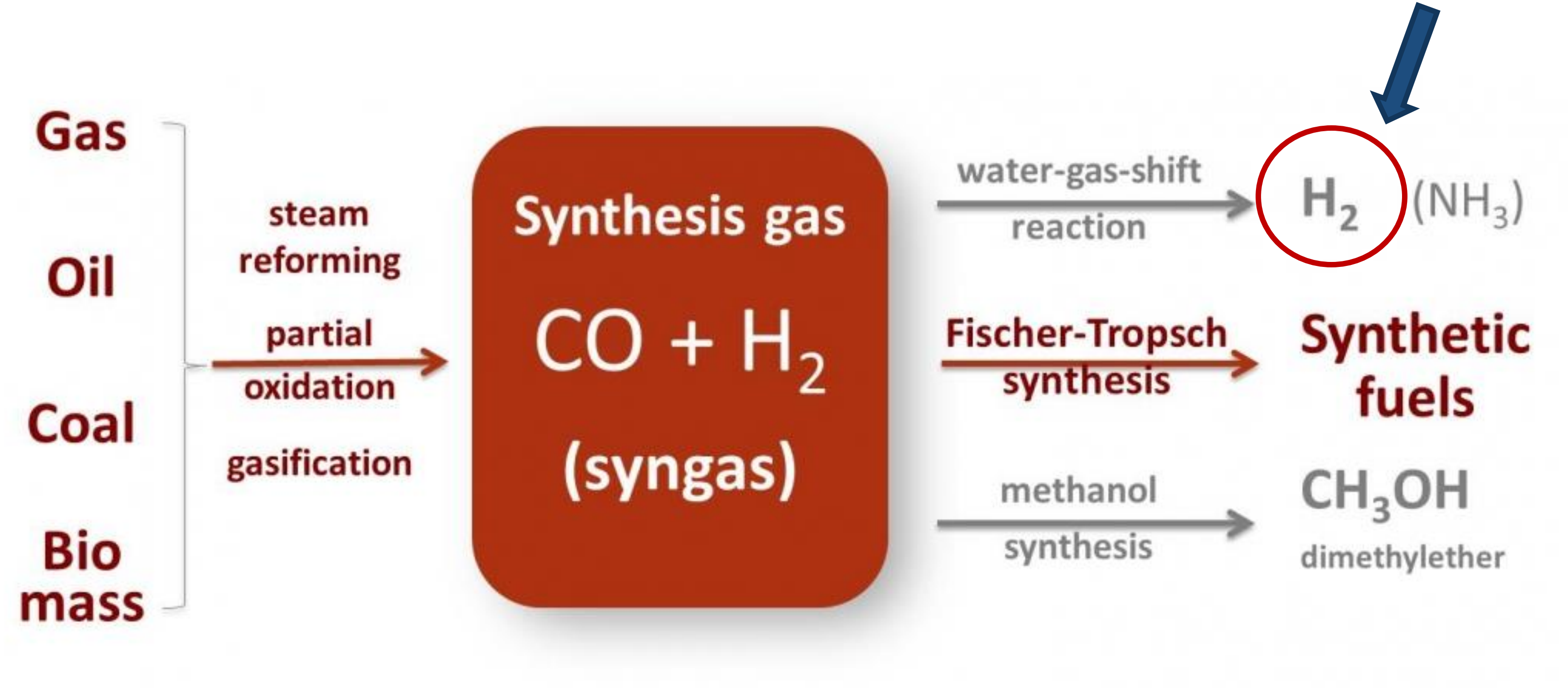

## Pesquisa: Hidrogênio e eletricidade a partir do etanol

Com informações da Agência Fapesp - 12/08/2022



# Gasificação/Pirólise de biomassa

H2 Verde Musgo

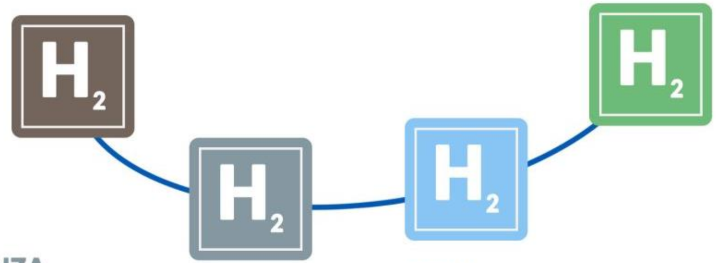


# Intensidade de carbono

# Sustentabilidade H2 – emissões de CO2

**MARROM**
- Produzido por meio da gaseificação do carvão
- Baixo custo, mas com muitos danos ao meio ambiente

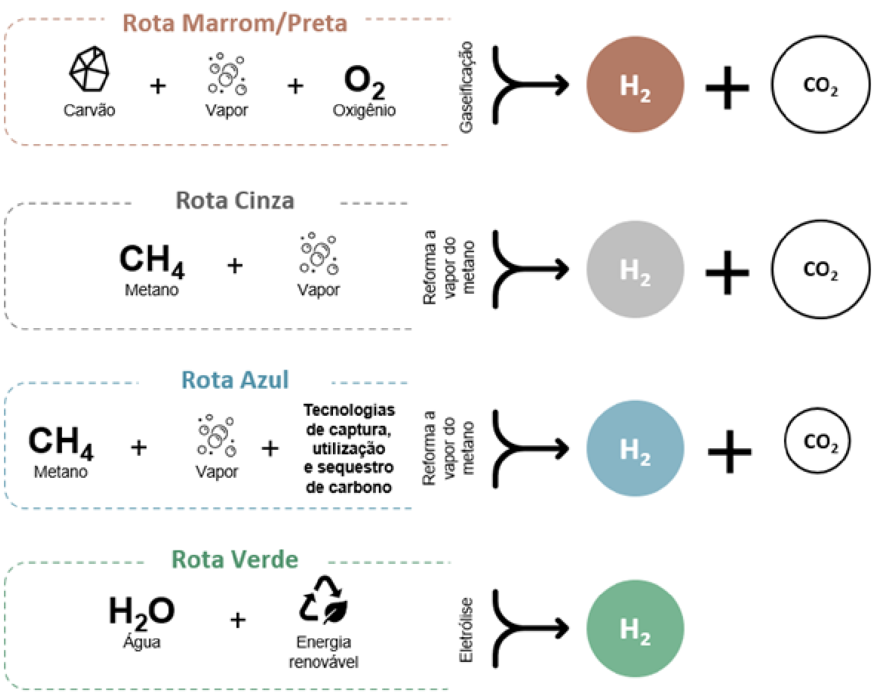
**VERDE**
- Produzido por processos como a reforma do etanol, gás de biomassa ou pela eletrólise da água, usando energia renovável (eólica ou solar)
- Alto custo de produção



**CINZA**
- Produzido por combustíveis fósseis, como o gás natural
- Emite CO2
- Amplamente utilizado no mundo
- Forma mais comum de produção
- Reforma a vapor do metano sem sequestro de emissões

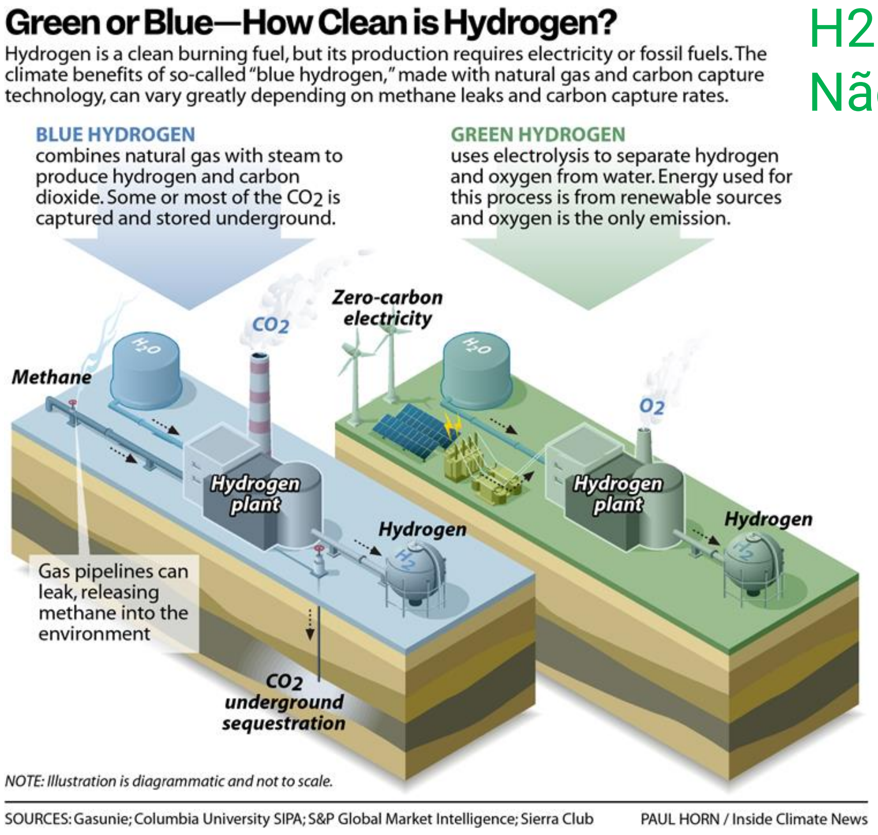
**AZUL**
- Produzido com o emprego de gás natural, mas com a captura e o sequestro das emissões de carbono ou com seu reuso
- O CO2 é capturado nas chaminés das indústrias e armazenado em local apropriado
- Baixa produção devido a falta de projetos de sequestro de carbono

Fonte: Governo Federal



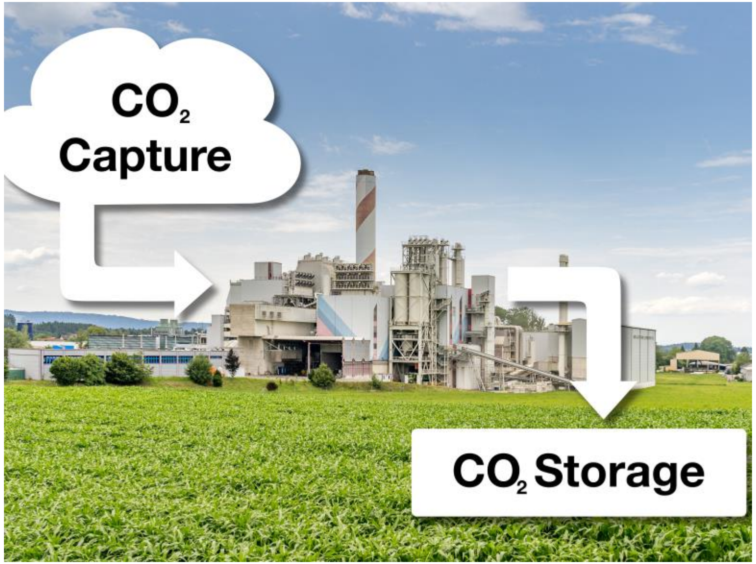

Quanto menor a emissão de CO2, mais sustentável é o H2

# Sustentabilidade H2 – emissões de CO2




H2 Verde

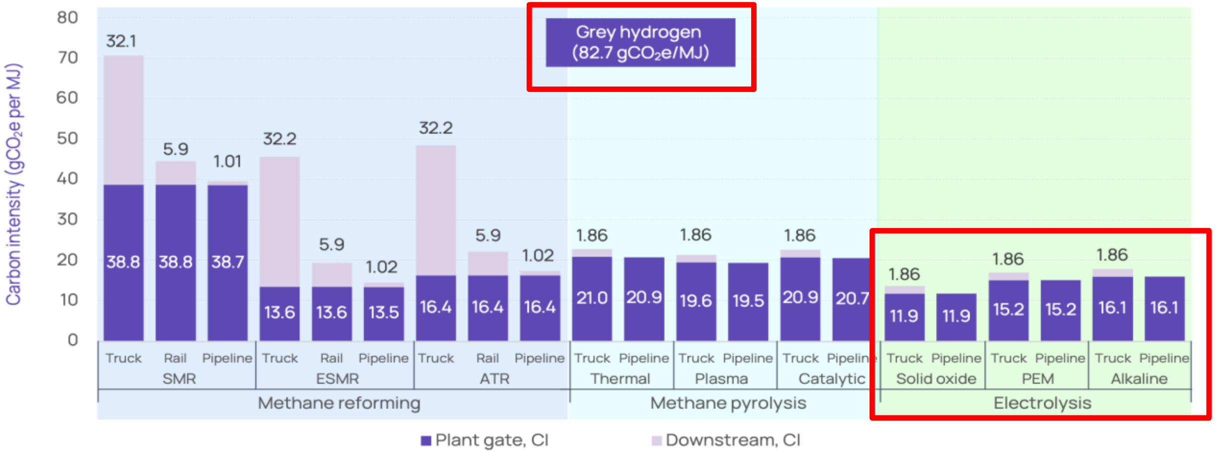
Não emite, mas também não captura




H2 Azul
(CCSU)

# Sustentabilidade H2 – emissões de CO2

**FIGURE 19** - CI for compressed hydrogen (plant gate and downstream CI separated)




INSTITUTO SENAI DE INOVAÇÃO BIOSSINTÉTICOS E FIBRAS

**1. PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO A PARTIR DA BIOMASSA**

- Demanda mundial de $H_2$ em 2021 → 94M ton

Gaseificação da biomassa
**0,31 a 8,63 kg $CO_2$/ kg $H_2$**

Fonte fóssil
**10,09 a 17,21 kg $CO_2$/ kg $H_2$**

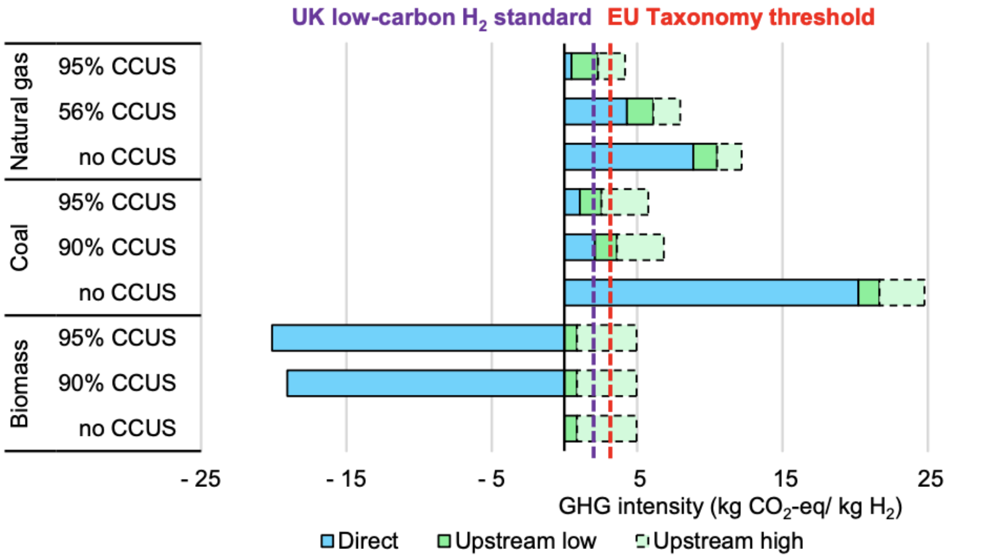
**FIGURE 35** - Achievable cradle-to-plant-gate CI ranges in BC today

| | LOW END CI: SOLID OXIDE ELECTROLYSIS | HIGH END CI: SMR + CCS ($60\%$ $CO_2$ Capture) |
|---|---|---|
| Compressed hydrogen | 11.9 $gCO_2e$/MJ | 38.8 $gCO_2e$/MJ |
| Liquefied hydrogen | 12.0 $gCO_2e$/MJ | 40.1 $gCO_2e$/MJ |

Quanto menor a emissão de CO2, mais sustentável é o H2

# Sustentabilidade H2 – emissões de CO2

Direct and indirect GHG emissions from $H_2$ production



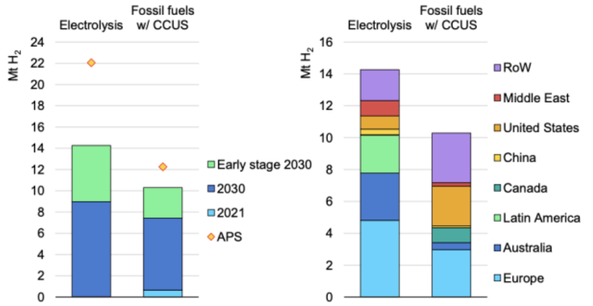



Notes: UK = United Kingdom; EU = European Union; CCUS = carbon capture, utilisation and storage; GHG = greenhouse gas.

Sources: 10-90% range for upstream coal and gas GHG emissions from IEA (2019) and IEA (2022), respectively. Biomass supply chain emissions from the world range in IEA (2021) based on the GREET model.

Quanto menor a emissão de CO2, mais sustentável é o H2

Low-emission hydrogen production, 2020 and 2030






Notes: RoW = rest of world; APS = Announced Pledges Scenario. In the left figure, the blue columns for 2020 and 2030 refer to projects at advanced planning stages. The right figure includes both projects at advanced planning and early planning stages. Only projects with a disclosed start year for operation are included.
Source: IEA, Hydrogen Projects Database (2022).

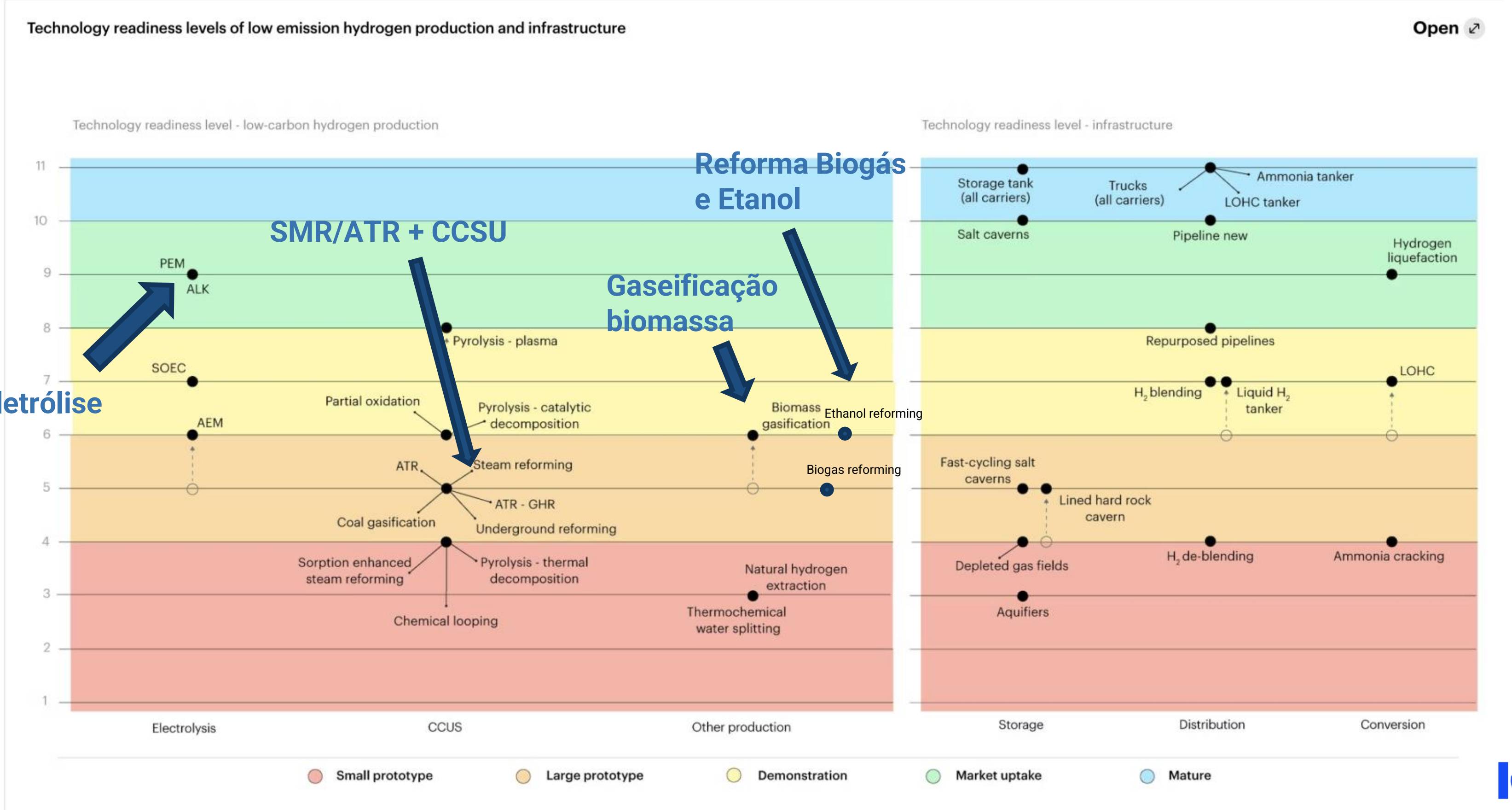
# Sustentabilidade H2 – emissões de CO2

| | Terminology | Technology | Feedstock/ Electricity source | GHG footprint* |
|---|---|---|---|---|
| PRODUCTION VIA ELECTRICITY | Green Hydrogen | Electrolysis | Wind \| Solar \| Hydro Geothermal \| Tidal | Minimal |
| | Purple/Pink Hydrogen | | Nuclear | |
| | Yellow Hydrogen | | Mixed-origin grid energy | Medium |
| PRODUCTION VIA FOSSIL FUELS | Blue Hydrogen | Natural gas reforming + CCUS Gasification + CCUS | Natural gas \| coal | Low |
| | Turquoise Hydrogen | Pyrolysis | Natural gas | Solid carbon (by-product) |
| | Grey Hydrogen | Natural gas reforming | | Medium |
| | Brown Hydrogen | Gasification | Brown coal (lignite) | High |
| | Black Hydrogen | | Black coal | |
| | Verde Musgo | Reforma biometano e/ou etanol | Biomassa Biocombustíveis | MINIMA NEUTRA NEGATIVA |

*GHG footprint given as a general guide but it is accepted that each category can be higher in some cases.

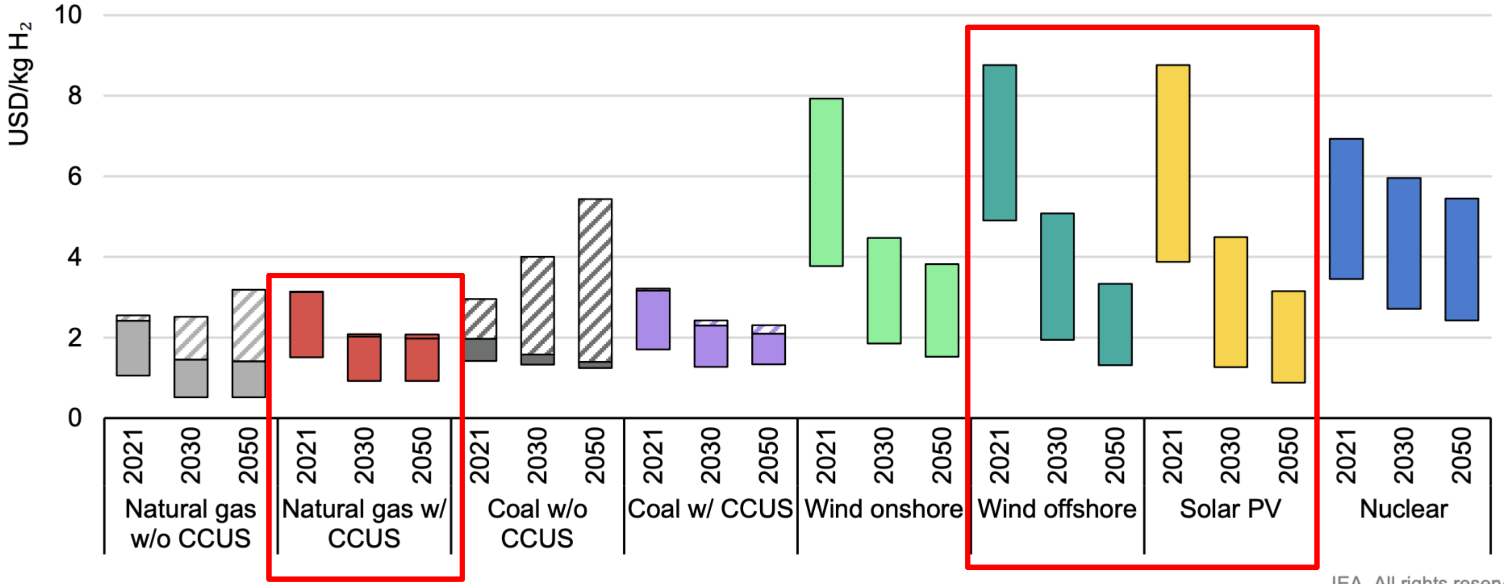
# Nível de prontidão e custo das tecnologias para produção de H2

# Nível de maturidade tecnológica



# Custos de produção do H2 com atuais tecnologias

Levelised cost of hydrogen production by technology in 2021 and in the Net Zero Emissions by 2050 Scenario, 2030 and 2050



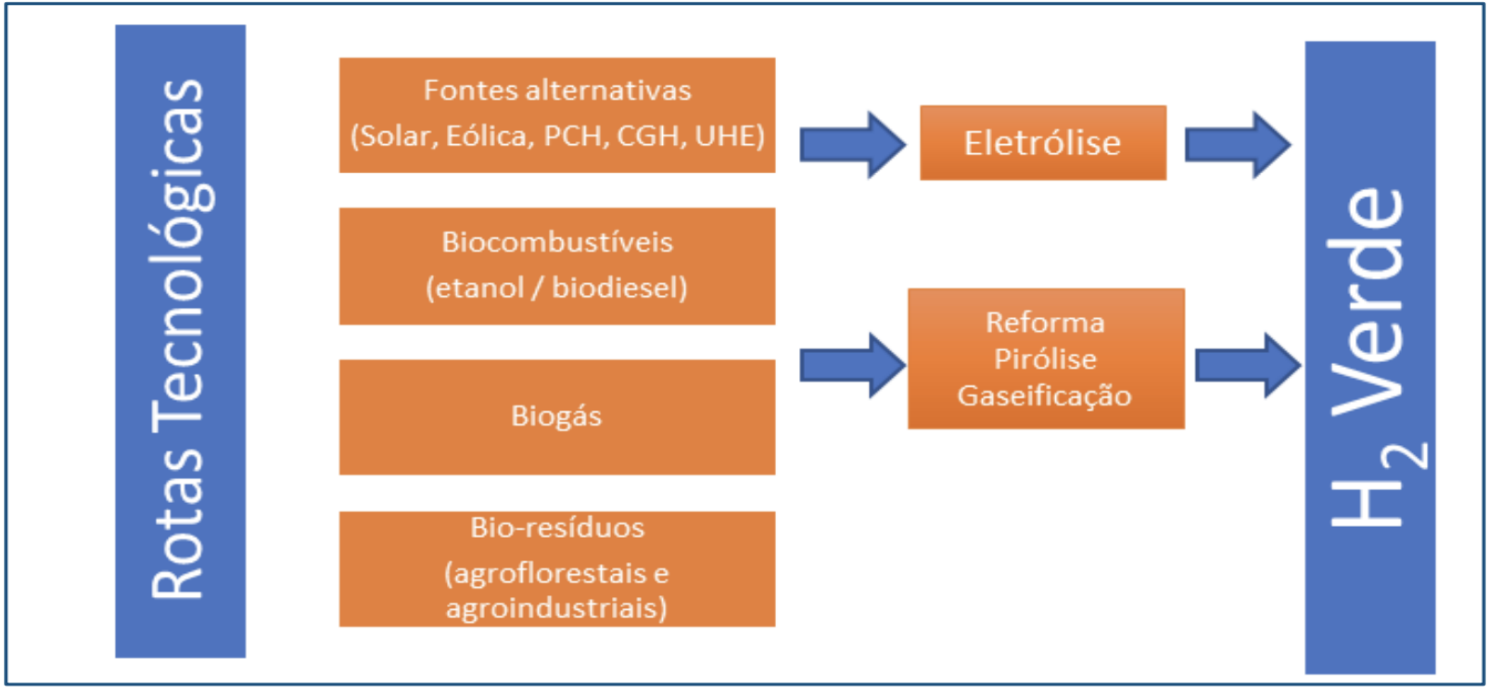



Notes: Ranges of production cost estimates reflect regional variations in costs and renewable resource conditions. The dashed areas reflect the $CO_2$ price impact, based on $CO_2$ prices ranging from USD 15/tonne $CO_2$ to USD 140/tonne $CO_2$ between regions in 2030 and USD 55/ tonne $CO_2$ to USD 250/ tonne $CO_2$ in 2050.

Sources: Based on data from McKinsey & Company and the Hydrogen Council; Council; IRENA (2020); IEA GHG (2014); IEA GHG (2017); E4Tech (2015); Kawasaki Heavy Industries; Element Energy (2018).

# Potencial do Brasil para produção de H2 por diferentes rotas tecnológicas

# Rotas mais promissoras para produção de H2 sustentável no Brasil

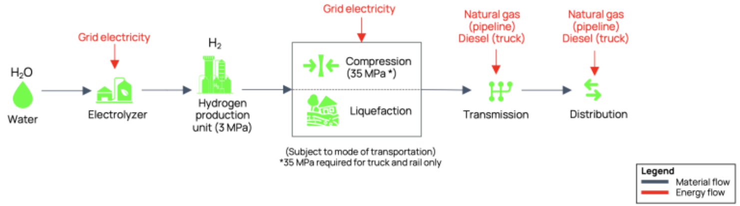



Várias alternativas tecnológicas são viáveis no país

# Eletrolise (eólico)


**Figura 20 – Distribuição geográfica: geração eólica.**
**Fonte: Sistema de Informações de Geração da ANEEL (SIGA).**

FIGURE 17 - Electrolysis process material and energy flows





Grande potencial no NE

# Biomassa/biogás

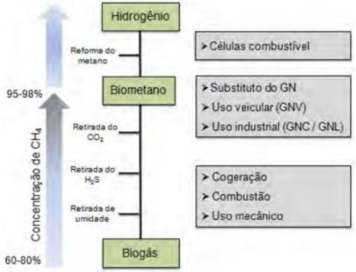




**Figura 25 – Produção de biogás.** **Fonte: CIBIOGAS (2019).**

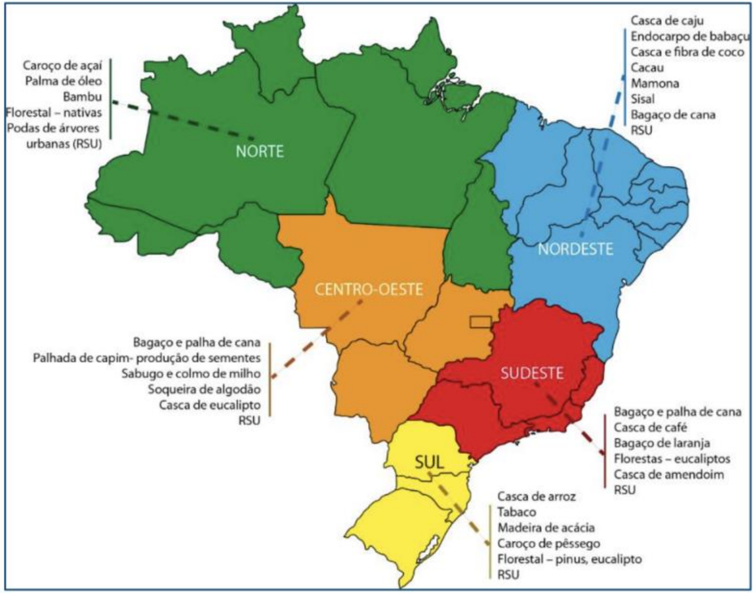



**Figura 27 – Disponibilidade de resíduos nas diferentes regiões.**
**Fonte: Jornal Brasileiro das Indústrias de Biomassa (2020).**

Grande volume de resíduos e capacidade instalada de produção de biogás

# Grande potencial de produção de biogás/biometano

## Raízen confirma inauguração da planta de produção de biometano em 2023

**Gazeta de Piracicaba (SP)** - Publicado: 24 Ago 2022 - 08:45

A Raízen apresentou ontem, 23, à imprensa a área onde está sendo construída a primeira planta de produção de biometano de Piracicaba (SP), com capacidade para 26 milhões de metros cúbicos por ano do gás natural renovável. Segundo a empresa, serão investidos R$ 300 milhões na obra, em uma área de 300 mil metros quadrados, cuja produção já está totalmente vendida antecipadamente para a Volkswagen (setor automobilístico) e a Yara (setor de fertilizantes).

De acordo com a diretora agroindustrial da Raízen, Thaís Fornícola, a unidade deve entrar em operação em 2023 e integra o projeto da

## A hora e a vez do Biogás e do Biometano

Por Redação Jornal Cana

*Novas plantas para exploração dos produtos mostram que eles são cada vez mais parte dos planos das usinas de cana-de-açúcar*

## Raízen quer produzir biogás em todas suas usinas de etanol em dez anos

Empresa vê potencial para produzir 3 milhões de m³/dia de biogás nas suas 35 usinas de açúcar e etanol

**Gabriel Chiappini** — 6 de maio de 2022 - Atualizado em 27 de maio de 2022

Em **Mercado de gás**, **Transição energética**

AA

# Produção de H2VM + fertilizantes nitrogenados (amônia)

**Processo Haber-Bosh**
O processo foi desenvolvido laboratorialmente por Fritz Haber em 1908 e desenvolvido industrialmente por Carl Bosch entre 1912 e 1913.
Prêmio Nobel de Química em 1918 e 1931.

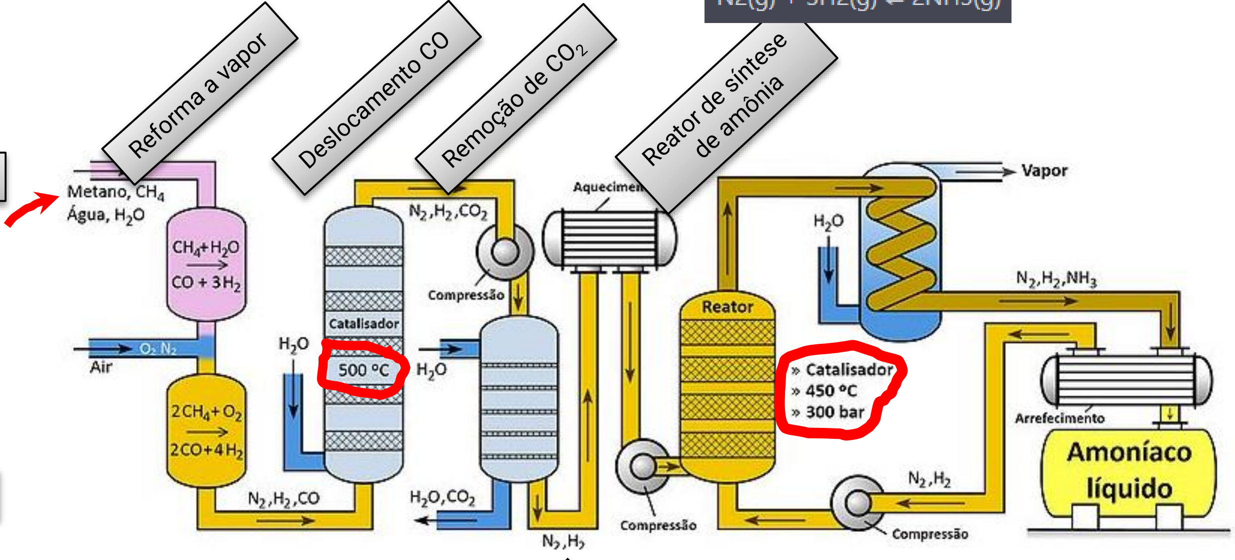
$N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$

Metano do gás natural

Metano do biogás

BIOGAS

Hidrogênio da reforma do biogás




$2H_2O(l) \rightarrow 2H_2(g) + O_2(g)$

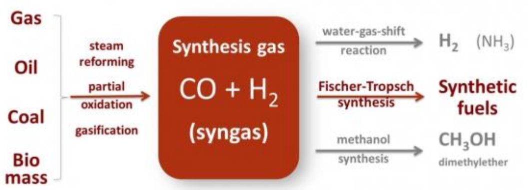
RenovaBio

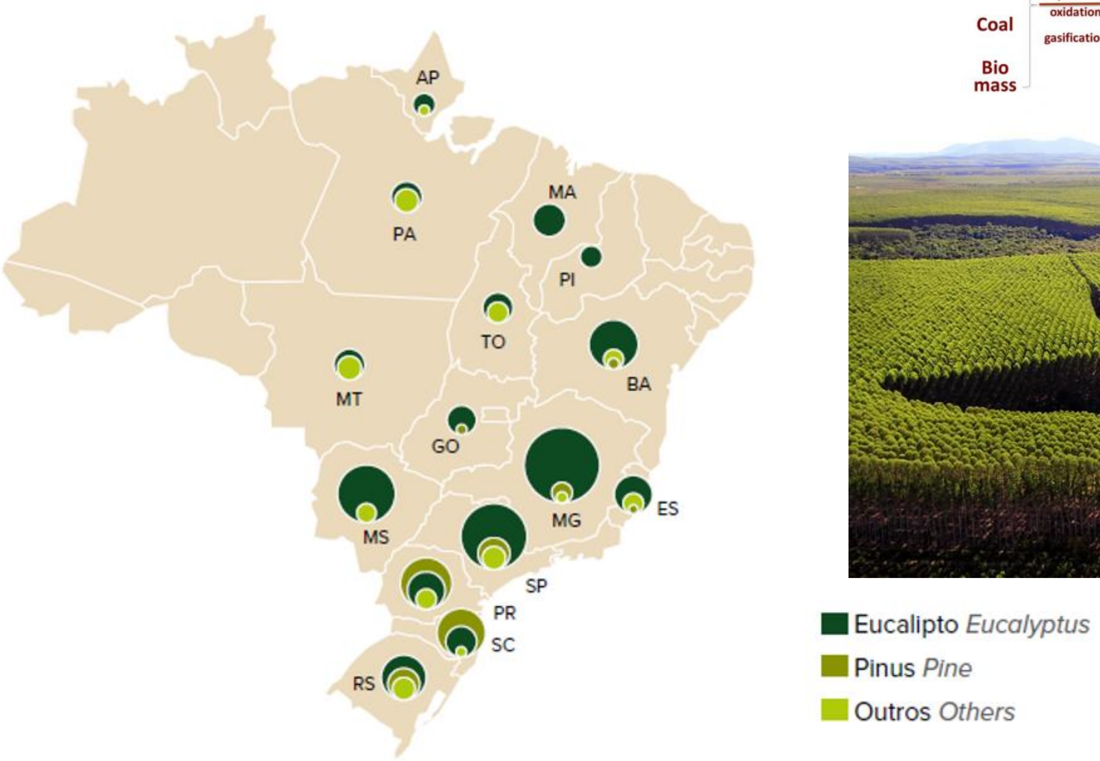
Amônia não renovável

Amônia verde

Brasil importa mais de 85% dos fertilizantes

# Biomassa




FONTE: IBÁ E PÖYRY (2018) *SOURCE: IBÁ AND PÖYRY (2018).*

Grande volume de biomassa florestal

# Etanol

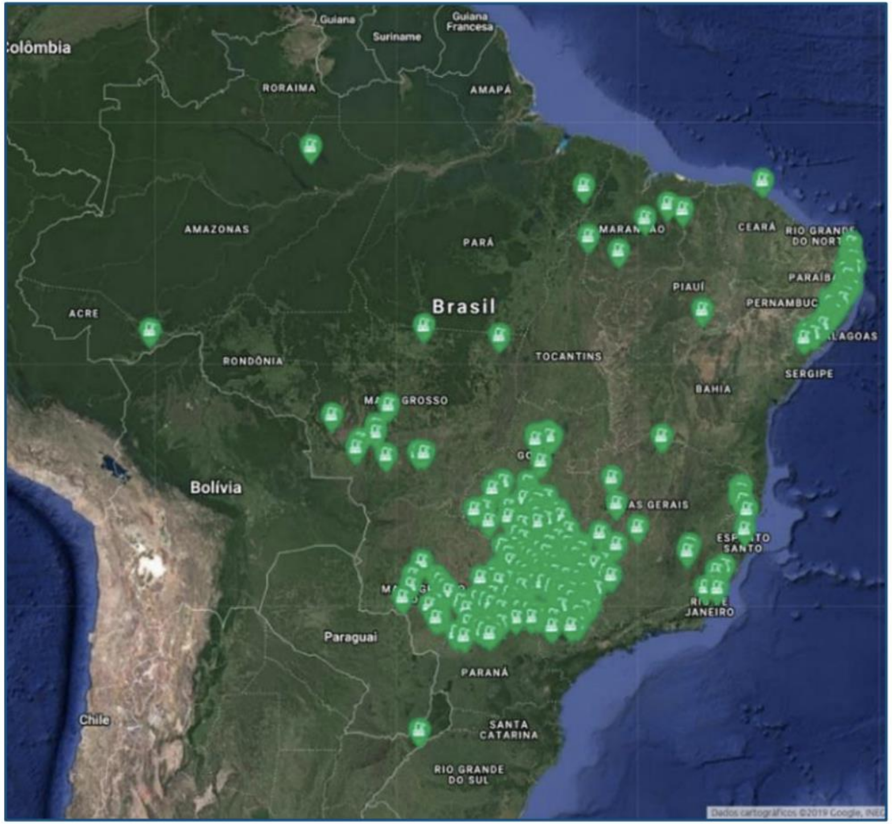
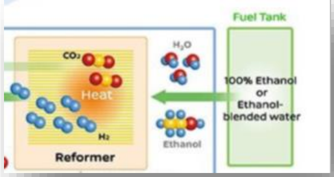
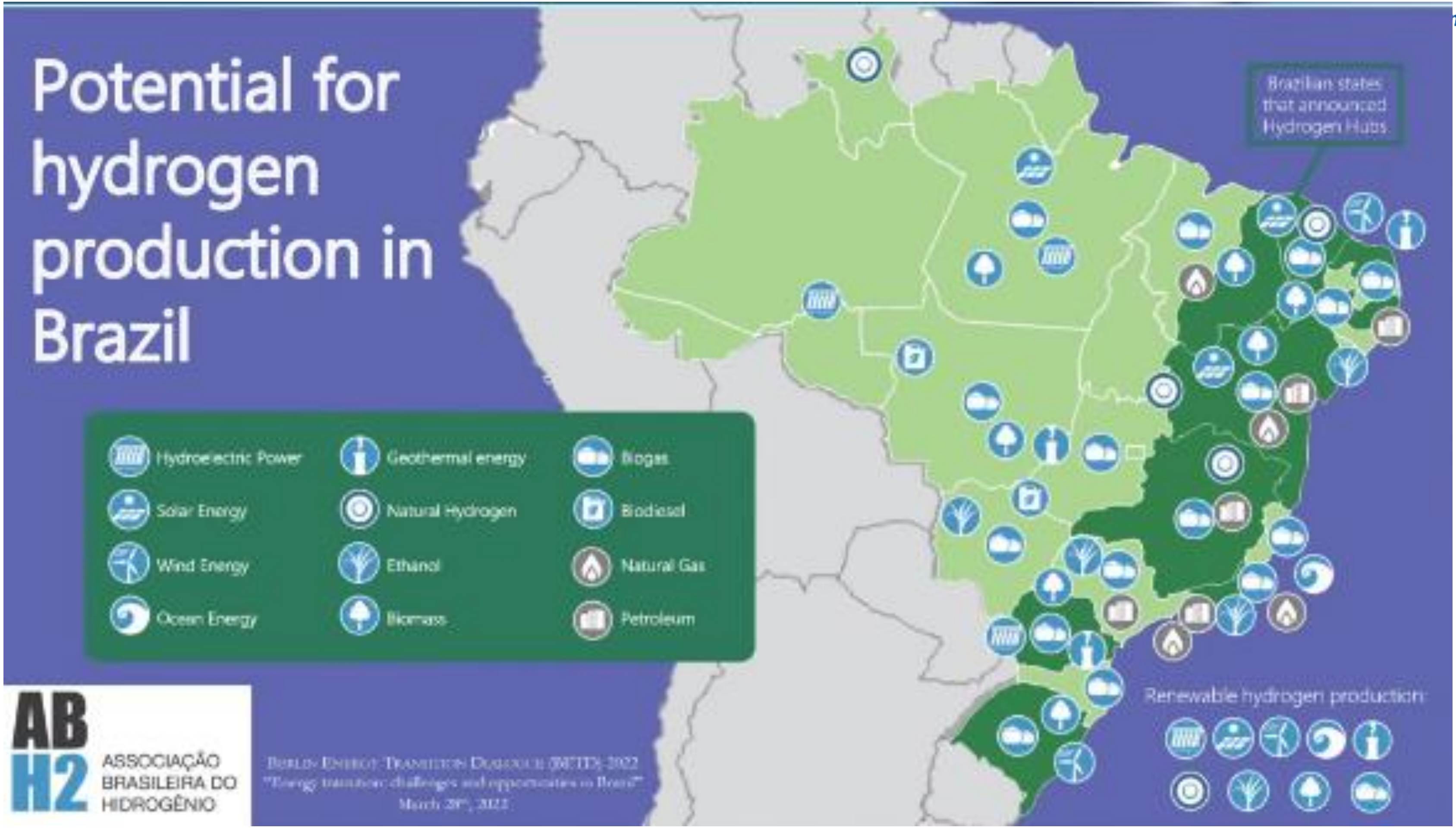



Figura 24 – Produção de etanol. Fonte: Infocana (2019).




País é dos líderes mundiais na produção de cana de açúcar com grande capacidade instalada de produção de etanol



Potential for hydrogen production in Brazil
Hydroelectric Power
Solar Energy
Wind Energy
Ocean Energy
Geothermal energy
Natural Hydrogen
Ethanol
Biomass
Biogas
Biodiesel
Natural Gas
Petroleum
Brazilian states that announced Hydrogen Hubs
Renewable hydrogen production:
AB H2
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO HIDROGÊNIO

# Obrigado!


## Alexandre Alonso Alves

*Chefe-geral da Embrapa Agroenergia*
*alexandre.alonso@embrapa.br*
*cnpae.chgeral@embrapa.br*
*+55 61 3448 4246*
*+55 61 98254 0920*
*www.embrapa.br/agroenergia*



Embrapa 50 anos

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA

GOVERNO FEDERAL BRASIL UNIÃO E RECONSTRUÇÃO