

ROTAS TECNOLÓGICAS E POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE H₂ DE BAIXO CARBONO NO BRASIL

Rodrigo Vellardo

Analista de Pesquisa Energética

Rio de Janeiro, RJ

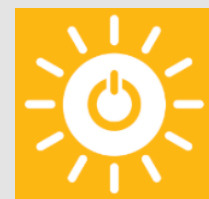
Agosto de 2023



www.epe.gov.br



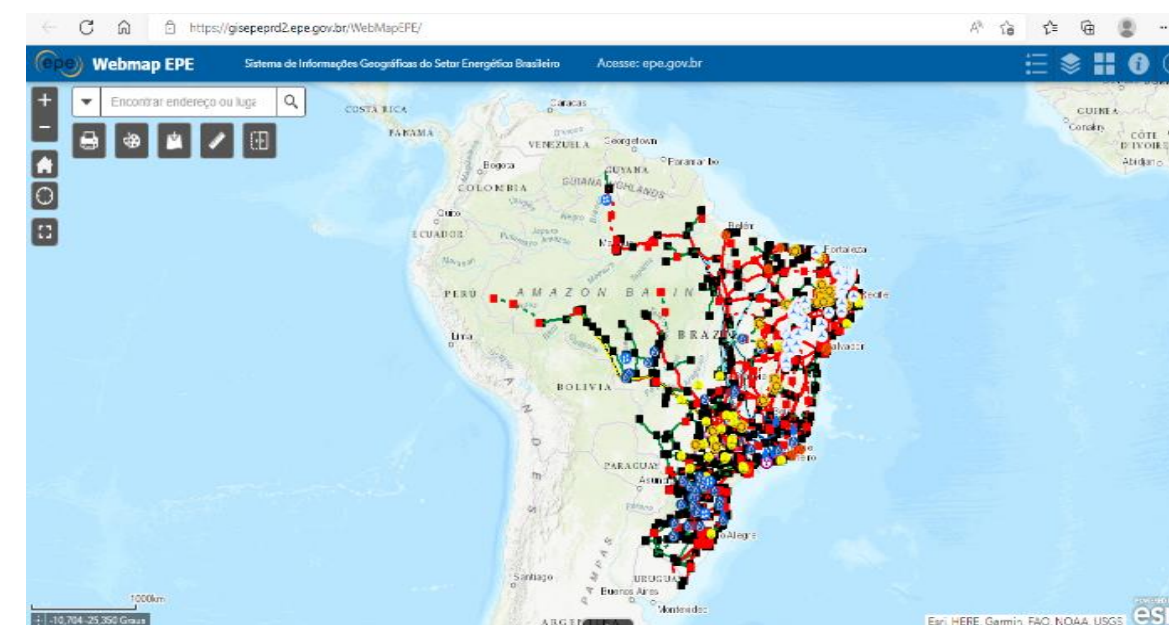
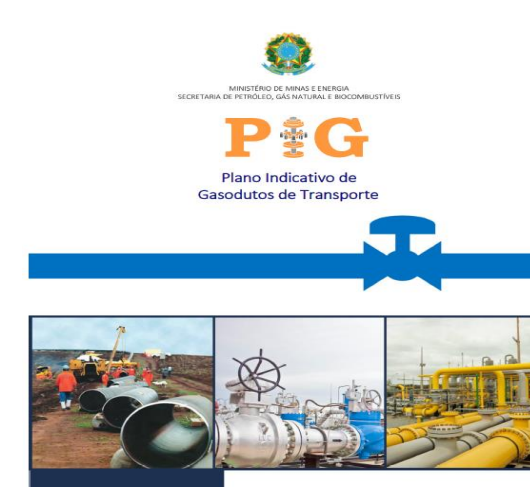
Empresa pública federal vinculada ao
Ministério de Minas e Energia



Desenvolvimento de estudos e estatísticas energéticas
para subsidiar a formulação, implementação e avaliação
da política energética nacional

**Integrante do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE)
com direito a voto**

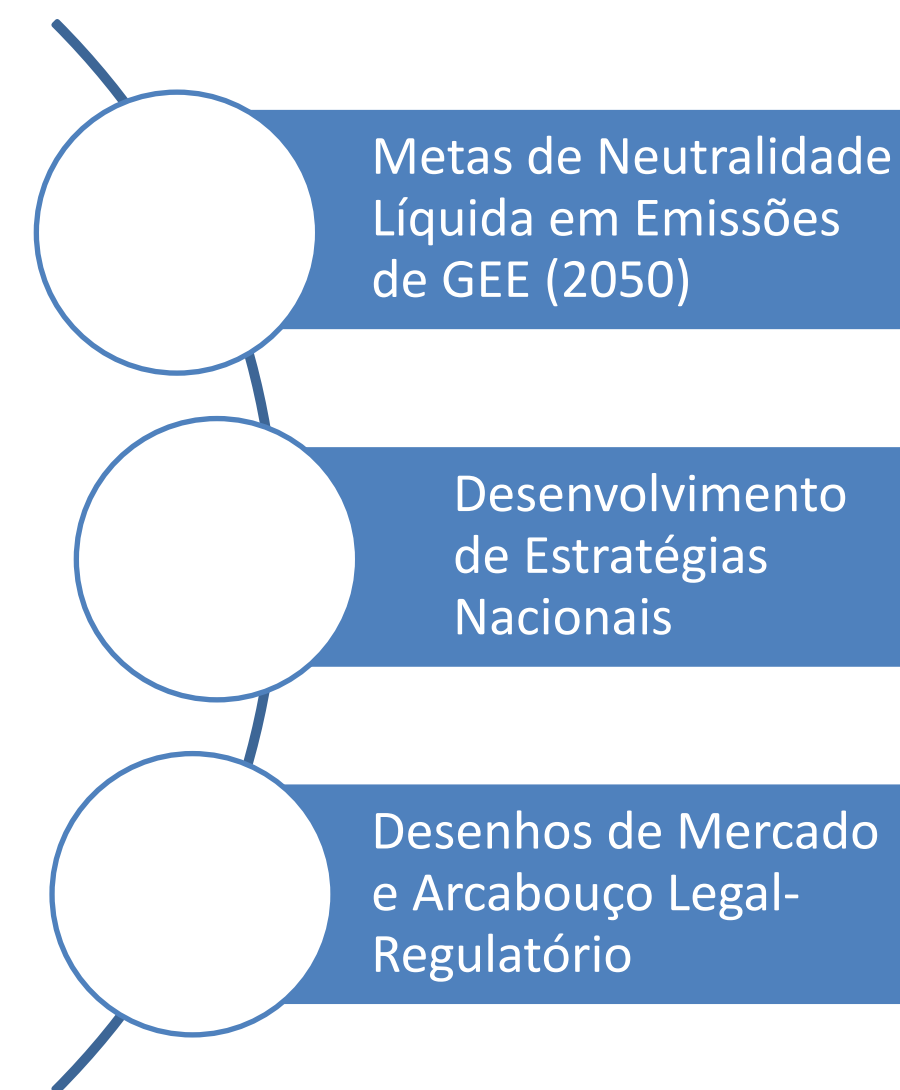
EPE - PRODUTOS & PUBLICAÇÕES (EXEMPLOS)



VISÃO GERAL DO HIDROGÊNIO NO CONTEXTO MUNDIAL DE DESCARBONIZAÇÃO



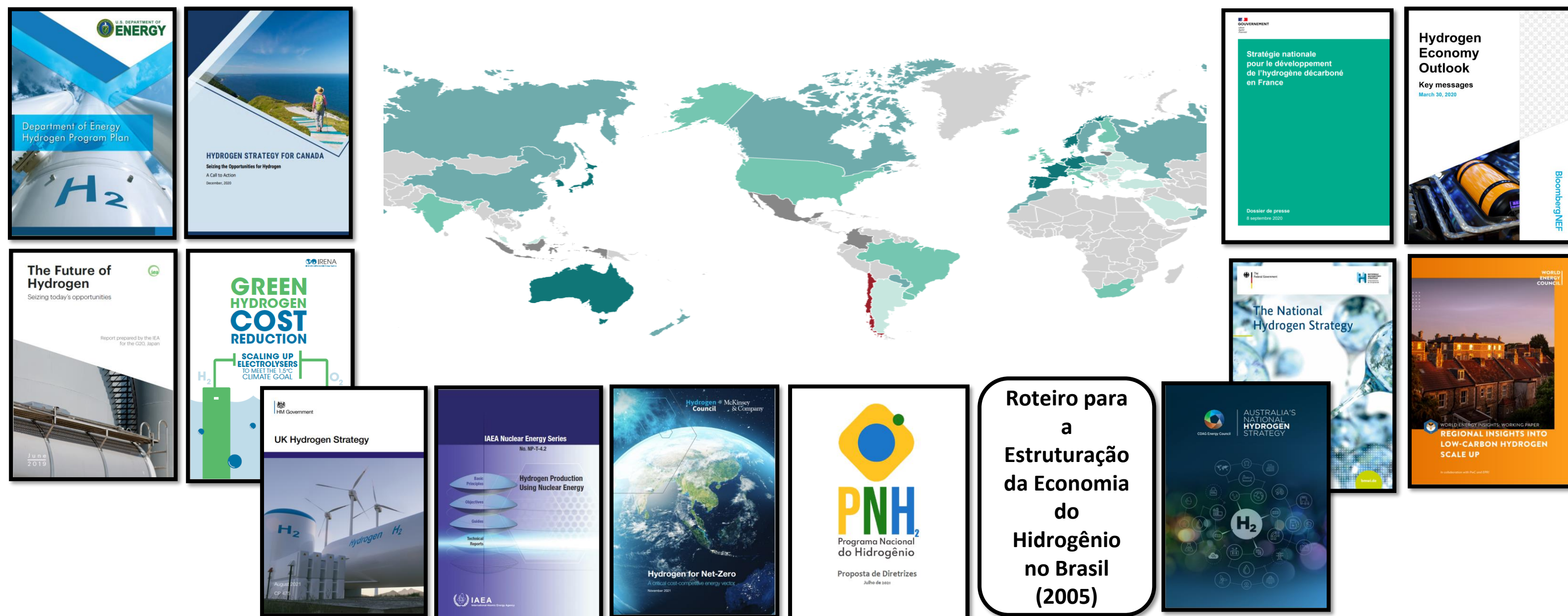
3Ds ⇔ Descarbonização, Decentralização e Digitalização



VISÃO GERAL DO HIDROGÊNIO NO CONTEXTO MUNDIAL DE DESCARBONIZAÇÃO



Grupo de países com iniciativas ou políticas de suporte ao desenvolvimento do mercado de hidrogênio responde por aproximadamente 90% do PIB global!



OBSERVAÇÃO: Exemplos acima exibidos não são exaustivos

NOTAS TÉCNICAS SOBRE HIDROGÊNIO DA EPE

Informação para embasar tomada de decisão por MME, CNPE, Estados e Investidores



Apresentações em eventos, reuniões, suporte ao MME, CNPE e MRE. Participação no PNH2 e em outras frentes como o Conselho do Hidrogênio (criado pela ABH2) e H2 Brasil (Cooperação Alemã).

SUPOORTE GOVERNAMENTAL AO P&DI DE HIDROGÊNIO VEM DO INÍCIO DO SÉCULO

Programas, Planos, Relatórios e Resoluções

MCTI 2002



MME 2005



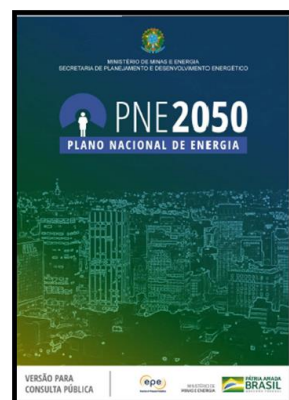
MCTI 2010



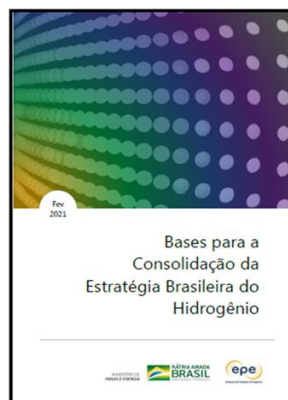
MCTI 2018



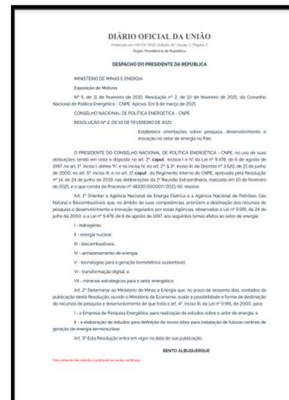
MME-EPE
2020



EPE 2021



CNPE nº 2
2021



CNPE nº 6
2021

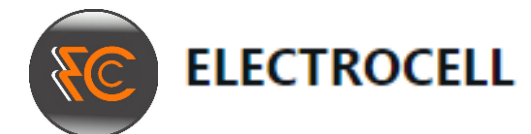


Resolução CNPE nº 2, 10/02/2021
Orientar ANEEL e ANP que, em suas competências, priorizem recursos de P&DI a temas estratégicos, entre os quais hidrogênio.

Capacitação e Desenvolvimento Tecnológico



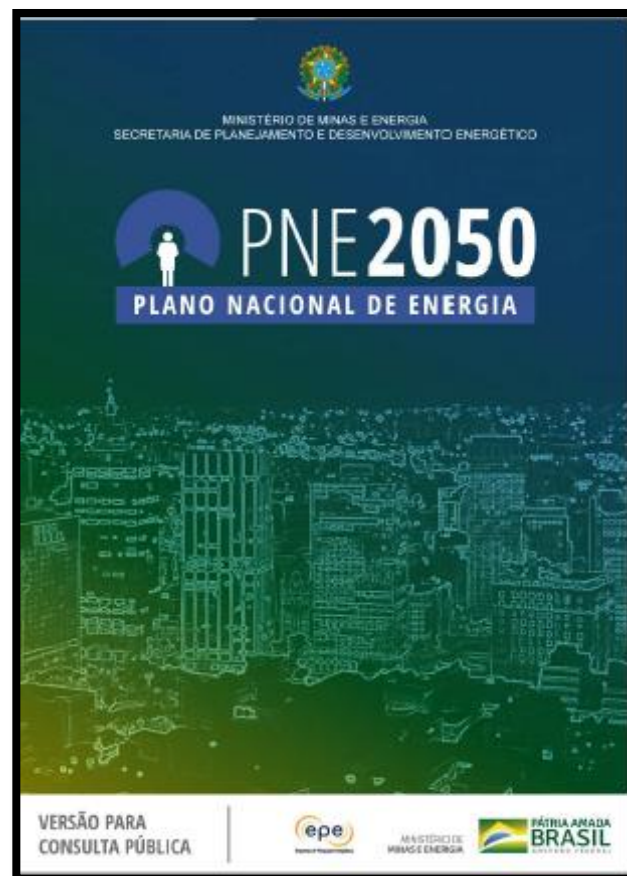
Investimentos públicos e publicamente orientados em P&DI alcançaram R\$ 200 milhões em 1999-2018 (1% do P&DI em Energia em 2018)



Compromisso de longo prazo com hidrogênio trouxe resultados!!!



INSERÇÃO DO HIDROGÊNIO NO PLANEJAMENTO ENERGÉTICO



PNE 2050 Tecnologias Disruptivas - Hidrogênio

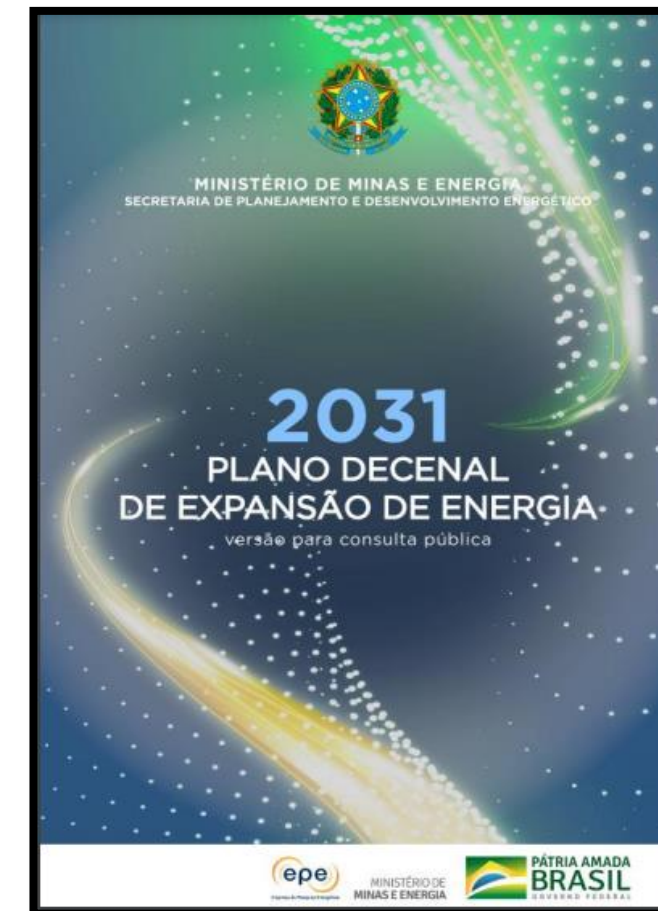
Principais desafios:

Elaboração de normatização para uso, transporte e armazenamento do hidrogênio

Recomendações:

Desenhar aprimoramentos regulatórios relacionados à qualidade, segurança, infraestrutura de transporte, armazenamento e abastecimento

Articular com outras instituições internacionais que tenham iniciativas na área de hidrogênio



PDE 2031 Capítulo 12 – Hidrogênio

Contexto:

Papel do hidrogênio na transição energética e na descarbonização (setores de difícil abatimento e armazenamento de energia)

Ações do Brasil:

P&DI, Programas, Documentos Governamentais, Resoluções CNPE, etc.

Destaques:

Potencial Técnico de Produção; Projetos Anunciados; etc.

Acompanhamento como tecnologia disruptiva no PNE 2030 (2007) e no PNE 2050 (2020). Inserção no PDE 2031 com ações governamentais e estimativa de potencial técnico.

PROGRAMA NACIONAL DO HIDROGÊNIO – PNH₂

Três pilares fundamentais e 6 eixos



Resolução CNPE nº 6, 20/04/2021

Determinar ao MME, em cooperação com o MCTI e MDR, e apoio técnico da EPE, apresente proposta de diretrizes para o PNH₂



PNH₂ (04/08/2021)

Desenhado para mobilizar os setores público e privado, bem como a academia, em conjunto com cooperações internacionais, para acelerar o desenvolvimento de um mercado de hidrogênio amplo e competitivo.

Em 23/06/2022, Resolução do CNPE sobre a governança do PNH₂ foi aprovada para encaminhamento para a deliberação do Presidente da República

MERCADO DOMÉSTICO DE HIDROGÊNIO E POTENCIAL DE MERCADO

Mercados existentes e novos!!!

Em 2031, ~ 2/3 das emissões de carbono do setor energético do Brasil (529 MtCO₂eq) será na indústria e nos transportes [EPE - PDE 2031]



Fertilizante



Refino



Metanol



Mineração & Metalurgia



Alim., biocomb. & Outros



Armazenamento de Energia

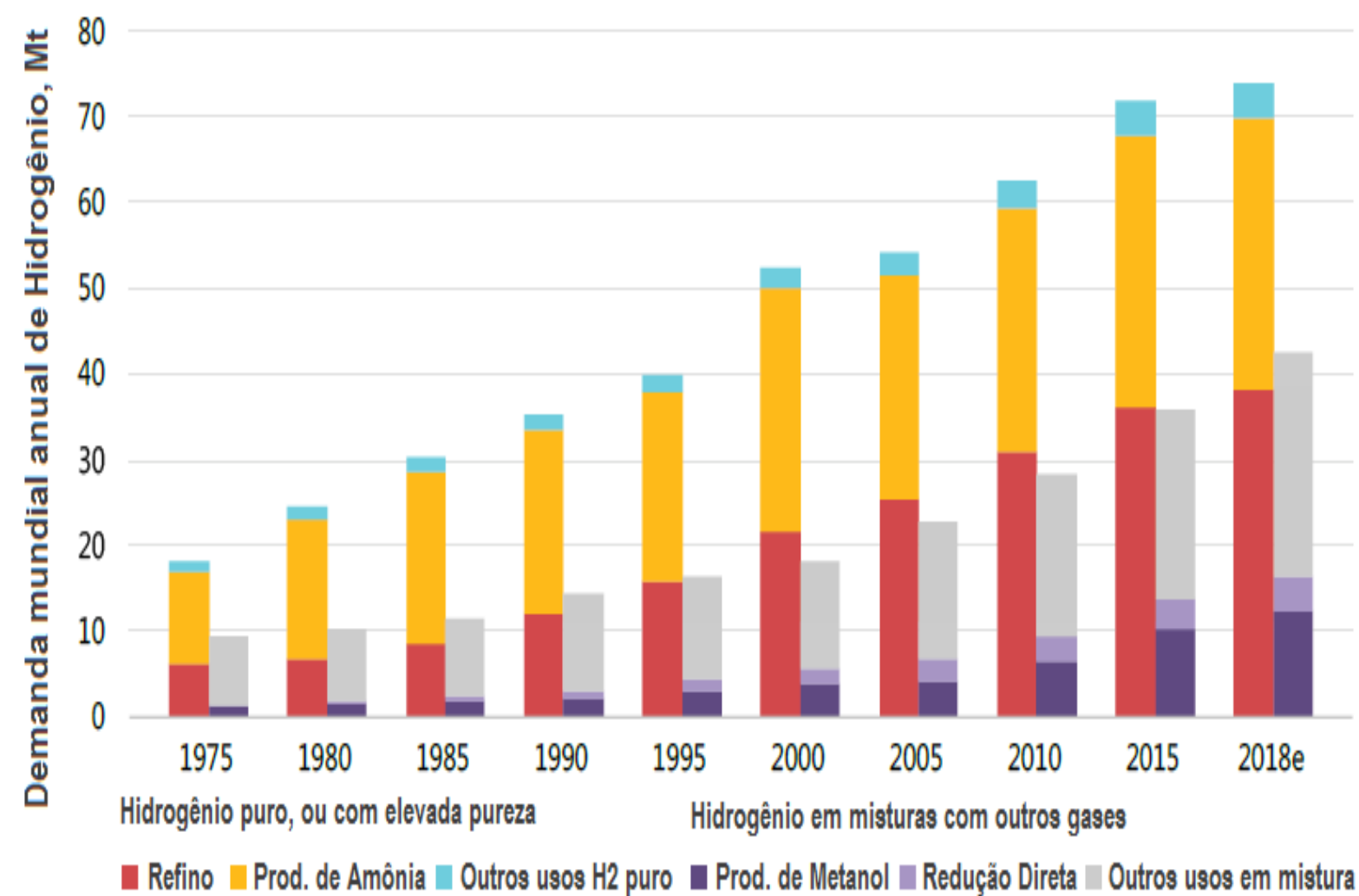


Empilhadeiras, etc.



Transportes

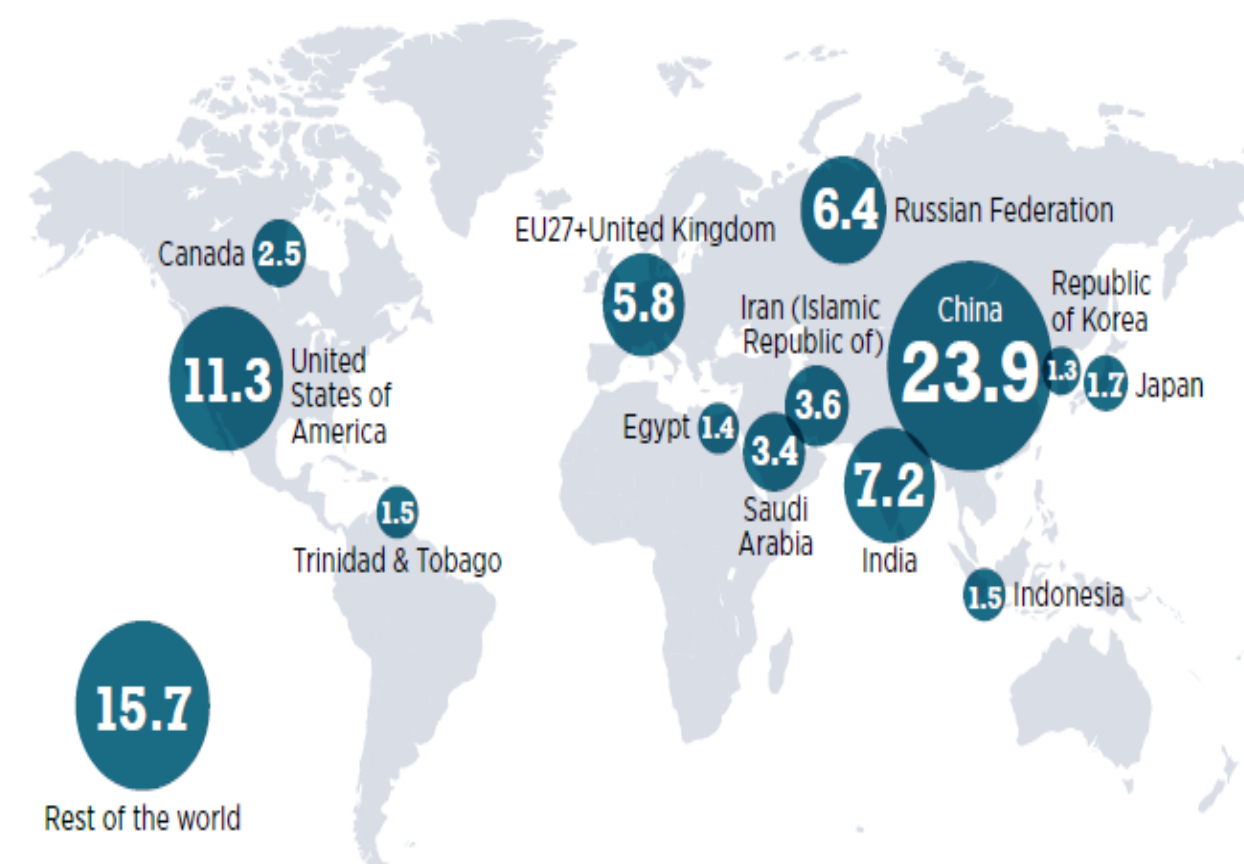
DEMANDA MUNDIAL



Evolução da demanda mundial por hidrogênio

Fonte: IEA (2019a)

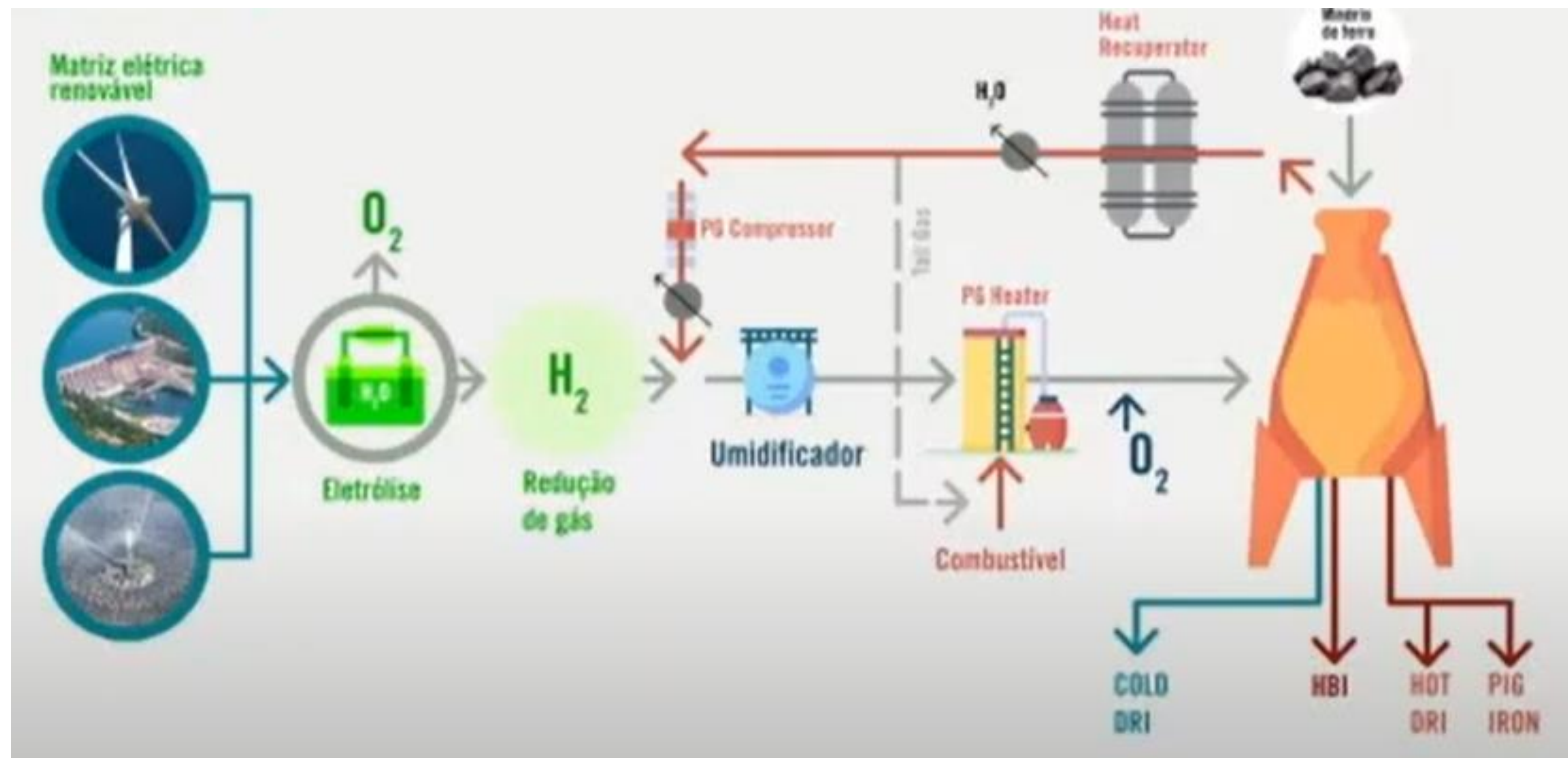
Figure 2.1 Hydrogen consumption in 2020 (million tonnes per year)



OPORTUNIDADES NA METALURGIA – BOF→DRI

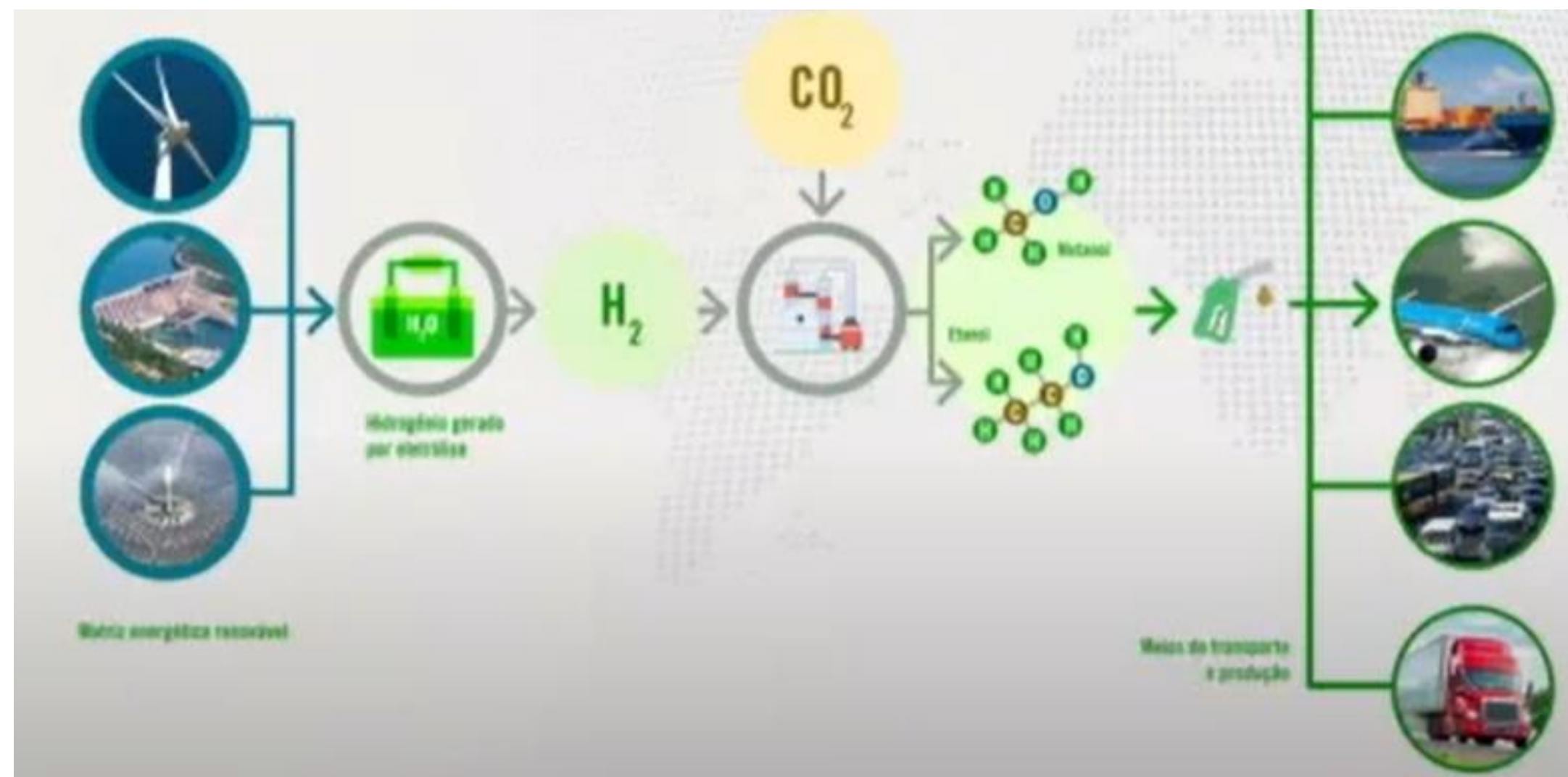


OPORTUNIDADES NA METALURGIA – BOF→DRI com H2 renovável



Fonte: AHK/Termium

OPORTUNIDADES NA METALURGIA –H₂ com combustíveis avançados



Fonte: AHK/Termium

ROTAS TECNOLÓGICAS PARA OBTENÇÃO DO HIDROGÊNIO



HIDROGÊNIO E INTEGRAÇÃO COM OUTRAS FONTES

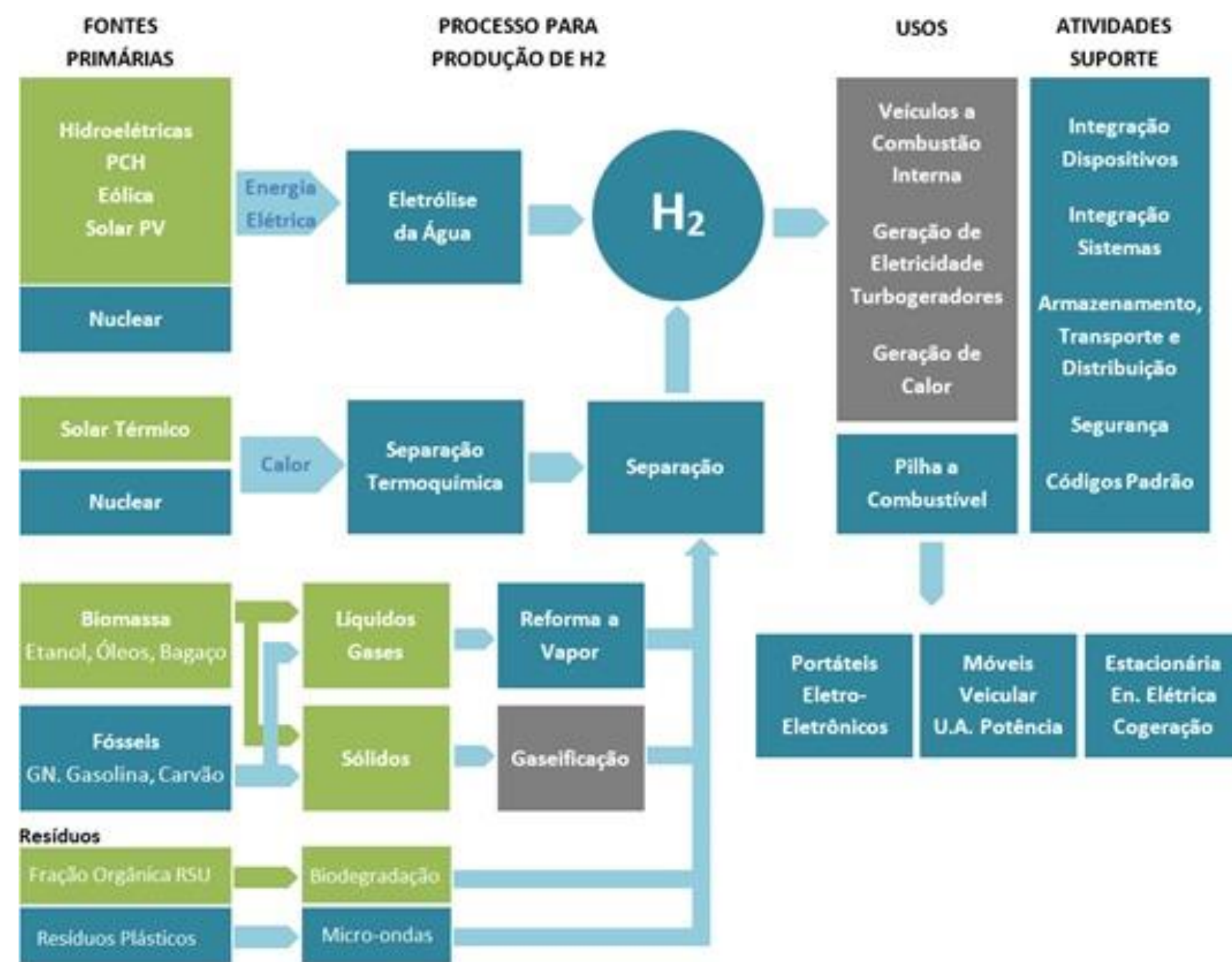


Tabela 1 – Classificação do hidrogênio em escala de cores

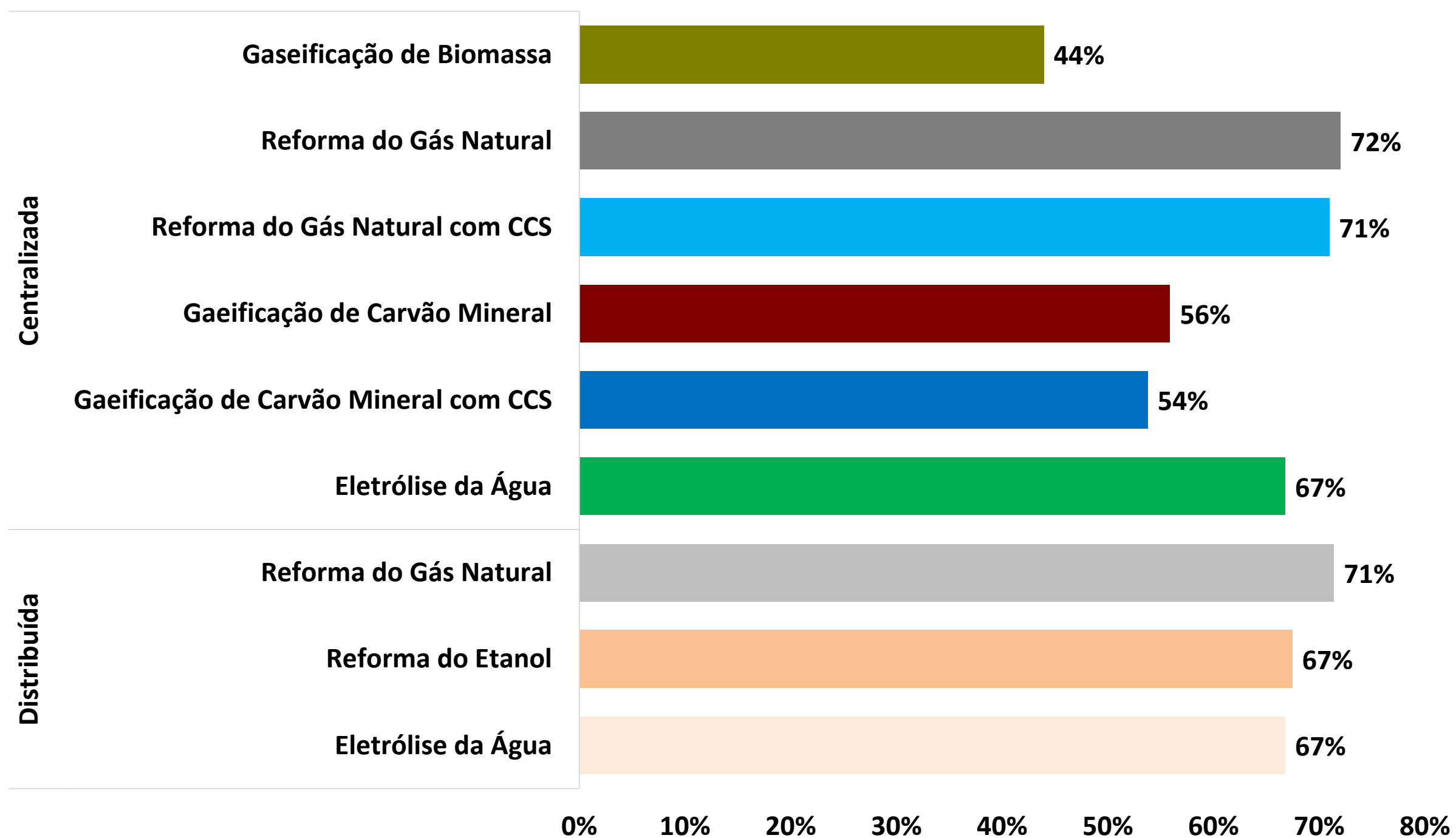
Cor	Classificação	Descrição
■	Hidrogênio Preto	Produzido por gaseificação do carvão mineral (antracito), sem CCUS
■	Hidrogênio Marrom	Produzido por gaseificação do carvão mineral (hulha), sem CCUS
■	Hidrogênio Cinza	Produzido por reforma a vapor do gás natural, sem CCUS
■	Hidrogênio Azul	Produzido por reforma a vapor do gás natural (eventualmente, também de outros combustíveis fósseis), com CCUS
■	Hidrogênio Verde	Produzido via eletrólise da água com energia de fontes renováveis (particularmente, energias eólica e solar).
■	Hidrogênio Branco	Produzido por extração de hidrogênio natural ou geológico
■	Hidrogênio Turquesa	Produzido por pirólise do metano, sem gerar CO ₂
■	Hidrogênio Musgo	Produzido por reformas catalíticas, gaseificação de plásticos residuais ou biodigestão anaeróbica de biomassa ou biocombustíveis, com ou sem CCUS
■	Hidrogênio Rosa	Produzido com fonte de energia nuclear

Fonte: Elaborado a partir de IEA (2019a), H₂-VIEW (2020), BAKER MCKENZIE (2020) e ZGONNIK (2020).

Jargão de mercado: impreciso e limitado.
Nova abordagem: Intensidade de Carbono

Fonte: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-569/NT_Hidroge%CC%82nio_rev01%20\(1\).pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-569/NT_Hidroge%CC%82nio_rev01%20(1).pdf)

EFICIÊNCIAS TÍPICAS DE CONVERSÃO NAS ROTAS DE PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO



Fonte: PNNL (2020)

EFICIÊNCIAS TÍPICAS DE CONVERSÃO NAS ROTAS DE PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO

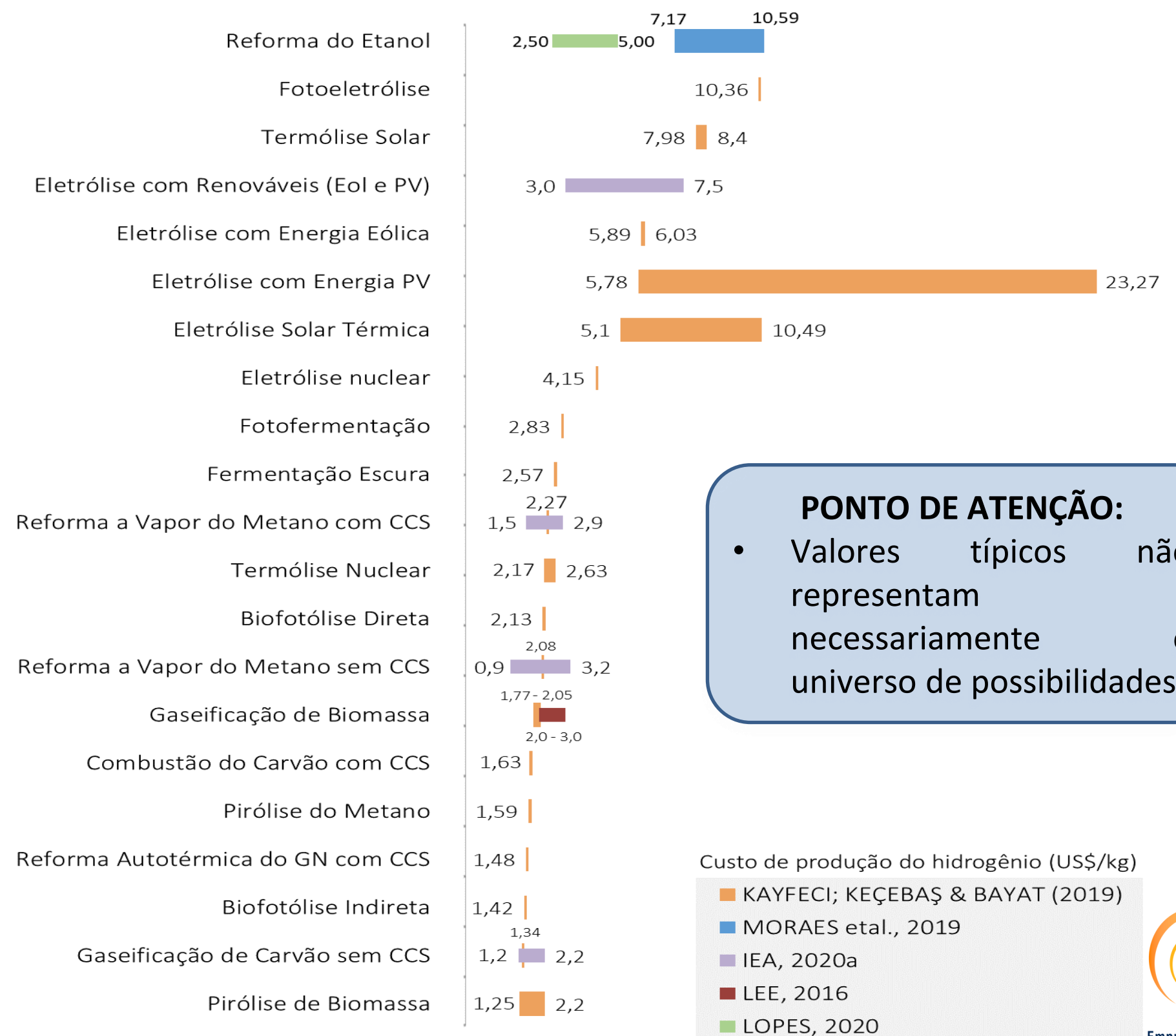
➤ Principal rota (**Mundo**)

- **Reforma a vapor de metano: 70%**
- processo mais econômico

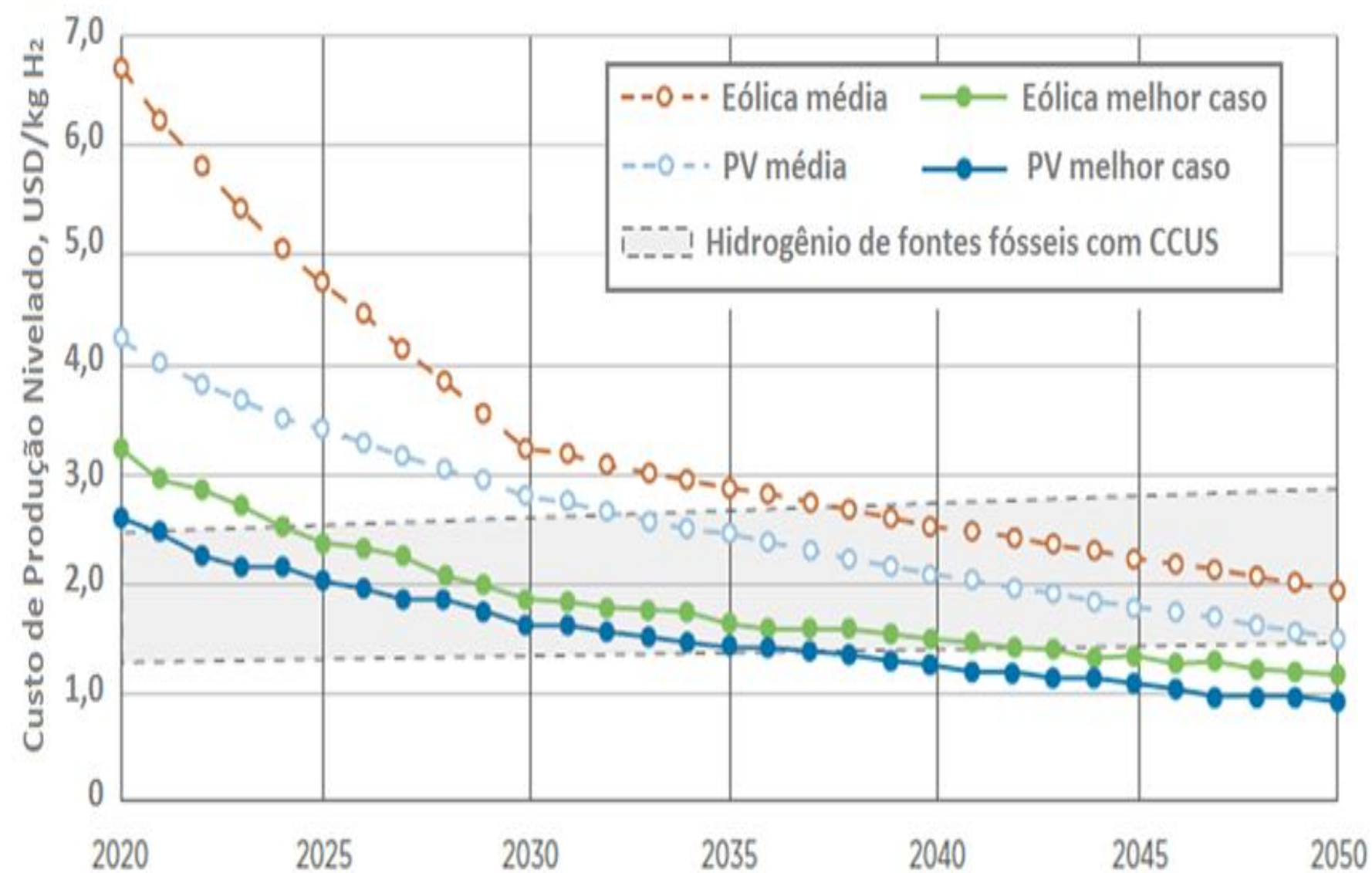
➤ Geração de Hidrogênio: **centralizada x descentralizada**

Brasil

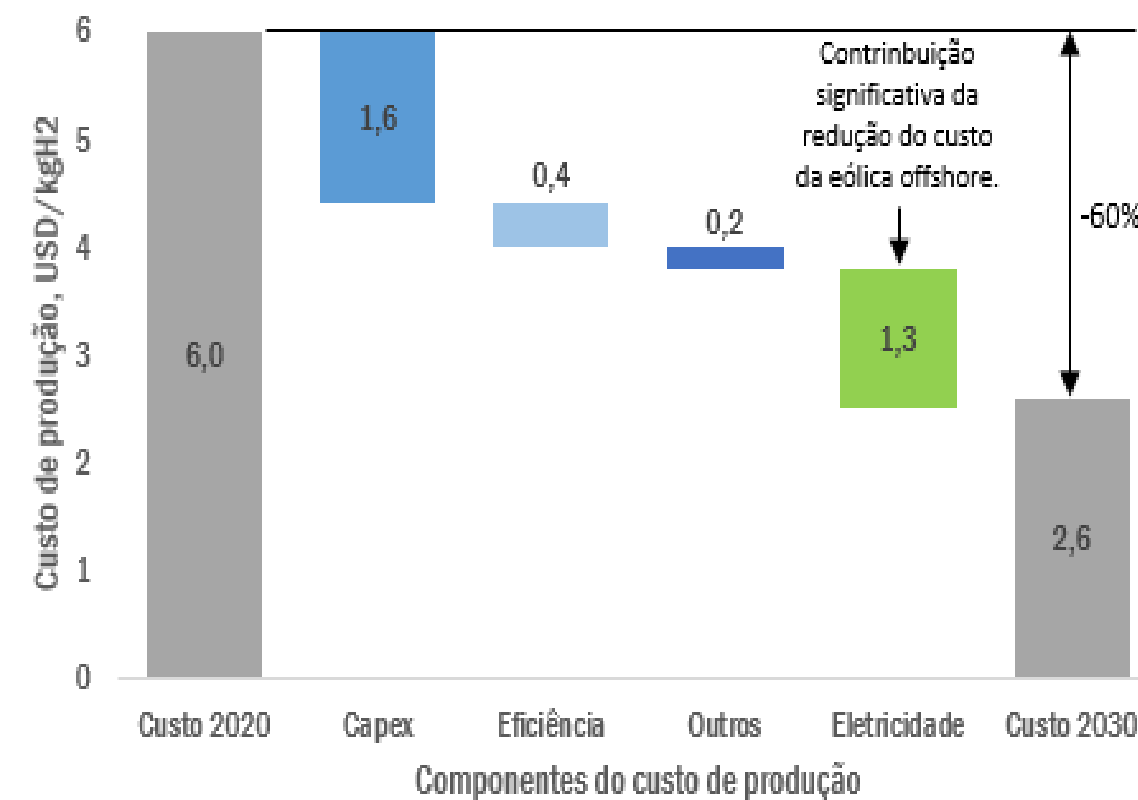
- Matéria-prima: **95% fóssil**
 - Processos do Refino
 - Unidade de geração de hidrogênio
- Usos: ~ **920 mil toneladas (2010)**
 - **Fertilizante (amônia): 50%**
 - **Refino: 37%**
 - **Químico (metanol): 8%**
 - **Metalurgia/Alimentos: 4%**



PROJEÇÃO DE CUSTOS DE PRODUÇÃO DE H2 VERDE



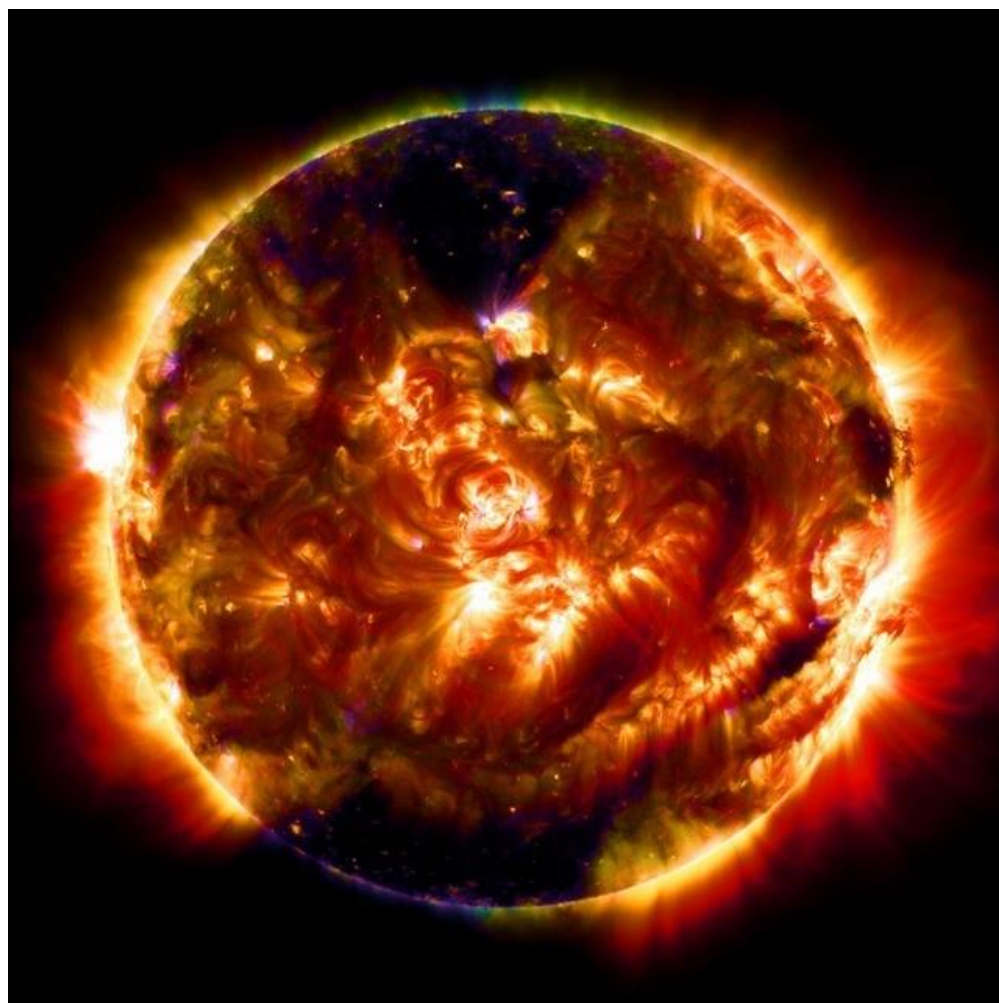
Fontes: IRENA (2019); HYDROGEN COUNCIL (2020).



PONTO DE ATENÇÃO:

- Taxonomia de hidrogênio “verde” vs “renovável”

POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO VERDE NO BRASIL



PLANO DECENAL DE EXPANSÃO DE ENERGIA – PDE 2031



Capítulo 12 – Hidrogênio

Papel do hidrogênio na transição energética e na descarbonização (setores de difícil abatimento e armazenamento de energia); Ações do Brasil: P&DI, Programas, Docs, Resoluções CNPE; Potencial Técnico de Produção; Projetos Anunciados; etc.

Acompanhamento como tecnologia disruptiva no PNE 2030 (2007) e no PNE 2050 (2020)

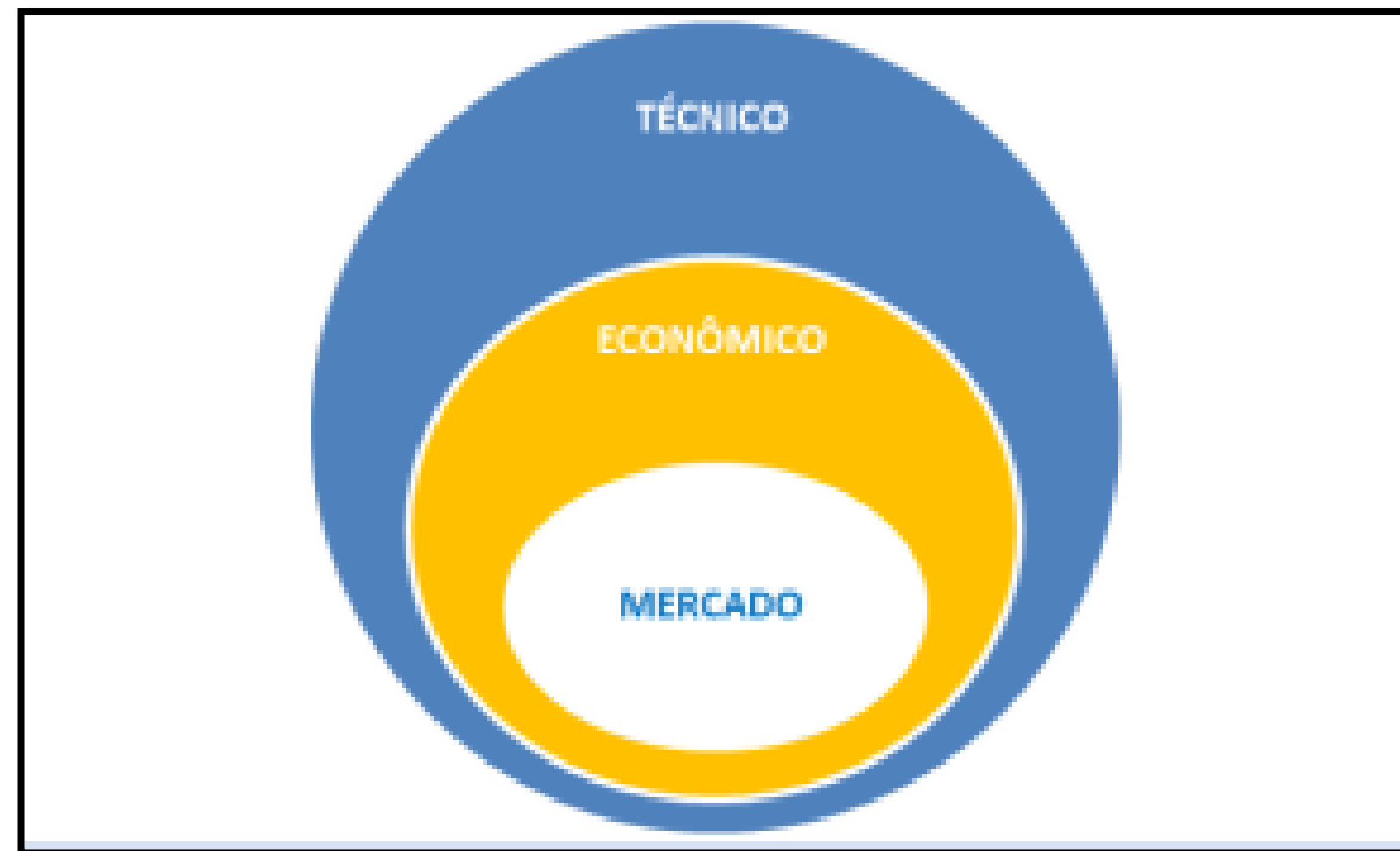


Figura 12 - 6: Potencial

A indicação de potenciais de disponibilidade de recursos é uma etapa fundamental de sinalização de oportunidades de avaliação de qualquer mercado.

Vide: *Box 12 - 2: O que os diferentes potenciais nos indicam?*

POTENCIAL TÉCNICO DE PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO NO BRASIL

Metodologia

Figura 12 - 10: Esquemático do cálculo de estimativa do potencial técnico de produção de hidrogênio no Brasil



Fonte: Elaboração própria.

Potencial técnico disponível é de 1,8 Gt H₂/ano (horizonte 2050 normalizado), sendo 96% renovável.

POTENCIAL TÉCNICO DE PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO NO BRASIL

Tabela 12 - 6: Estimativa do potencial técnico de produção de hidrogênio a partir do saldo de recursos energéticos até 2050

Recurso Energético	Potencial de Hidrogênio Mt/ano
Renovável – Offshore*	1.715,3
Renovável – Onshore*	18,1**
Biomassa	50,5
Nuclear	6,9
Fósseis	60,2
Total	1.851

*Notas:

(1) Os recursos renováveis onshore e offshore considerados são o hidráulico, o solar e o eólico.

(2)O potencial pode se revelar bastante superior ao apontado em caso de não ocorrência da suposição de atendimento à totalidade da demanda de energia por fontes dessa natureza, conforme premissa assumida neste trabalho

Fonte: Elaboração EPE.

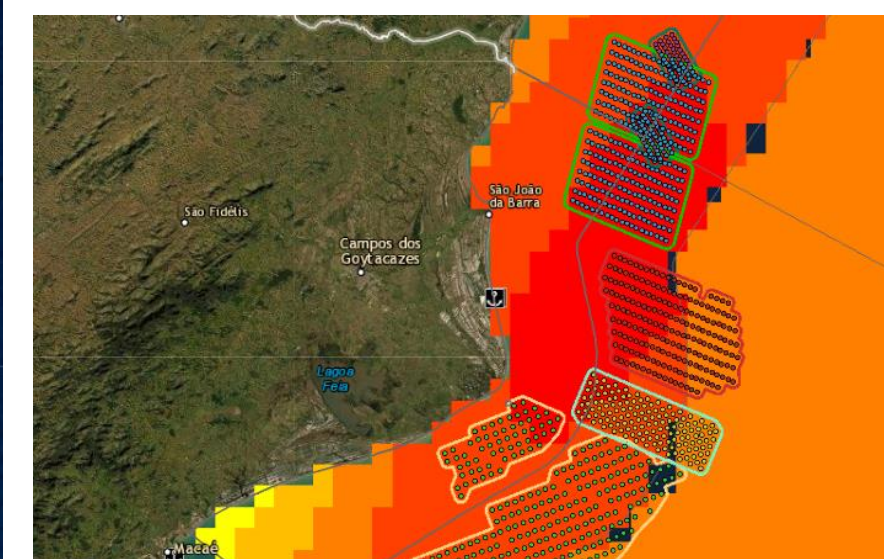
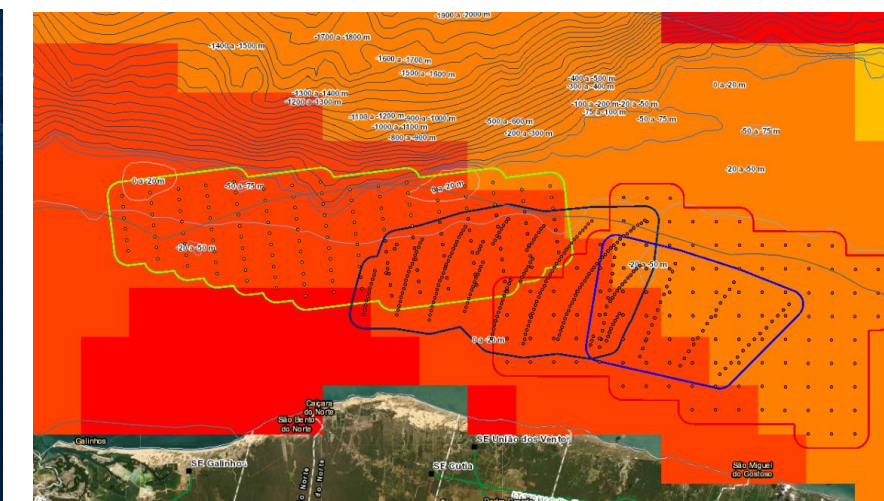
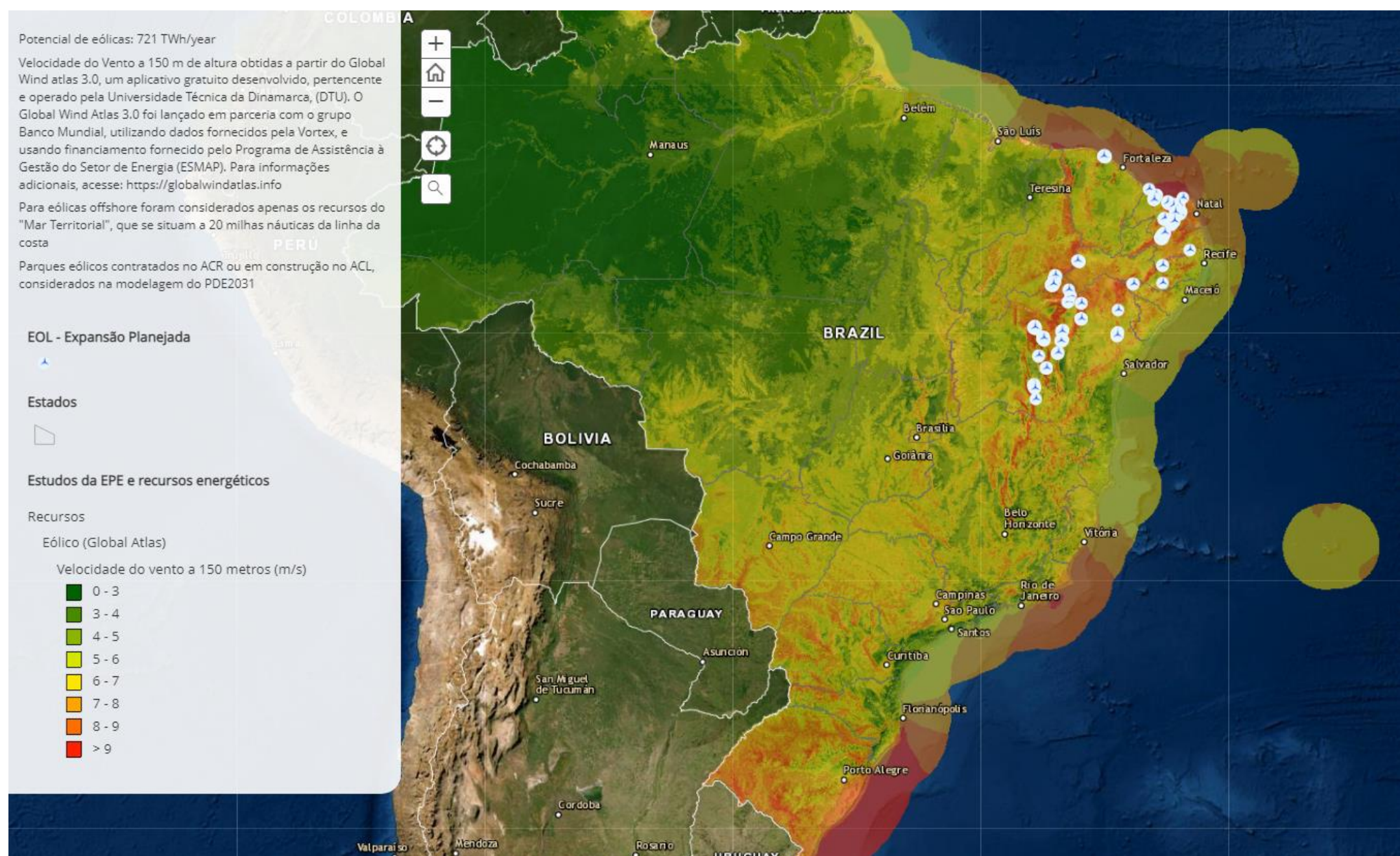
Tabela 12 - 7: Detalhamento do potencial técnico de produção de hidrogênio a partir dos recursos renováveis offshore

Recurso Energético Renovável Offshore	Potencial de Hidrogênio Mt/ano
Eólica offshore - 10 km dist.	11,2
Eólica offshore - 50 km (exc. 10 km dist)	39,8
Eólica offshore - 100 km (exc. 50 km dist)	50,2
Eólica offshore - ZEE (exc. 100 km dist)	249,2
Oceânica	8,8
PV Offshore	1.356,1
Total	1.715,3

Por que o maior potencial técnico é “offshore”? Porque a maior parte do potencial técnico “onshore” é utilizado para atender a demanda elétrica “convencional”.

POTENCIAL TÉCNICO DE PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO NO BRASIL

EÓLICAS potencial de 700GW – 189 GW em 78 projetos no IBAMA



POTENCIAL TÉCNICO DE PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO NO BRASIL

SOLAR

Global Direta Normal obtidas da base de dados do Atlas Brasileiro e Energia Solar- 2ª Edição, do LABREN (Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia) / CCST (Centro de Ciência do Sistema Terrestre) / INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) - Brasil Disponível em: <http://labren.ccst.inpe.br/>

UFV - Expansão Planejada

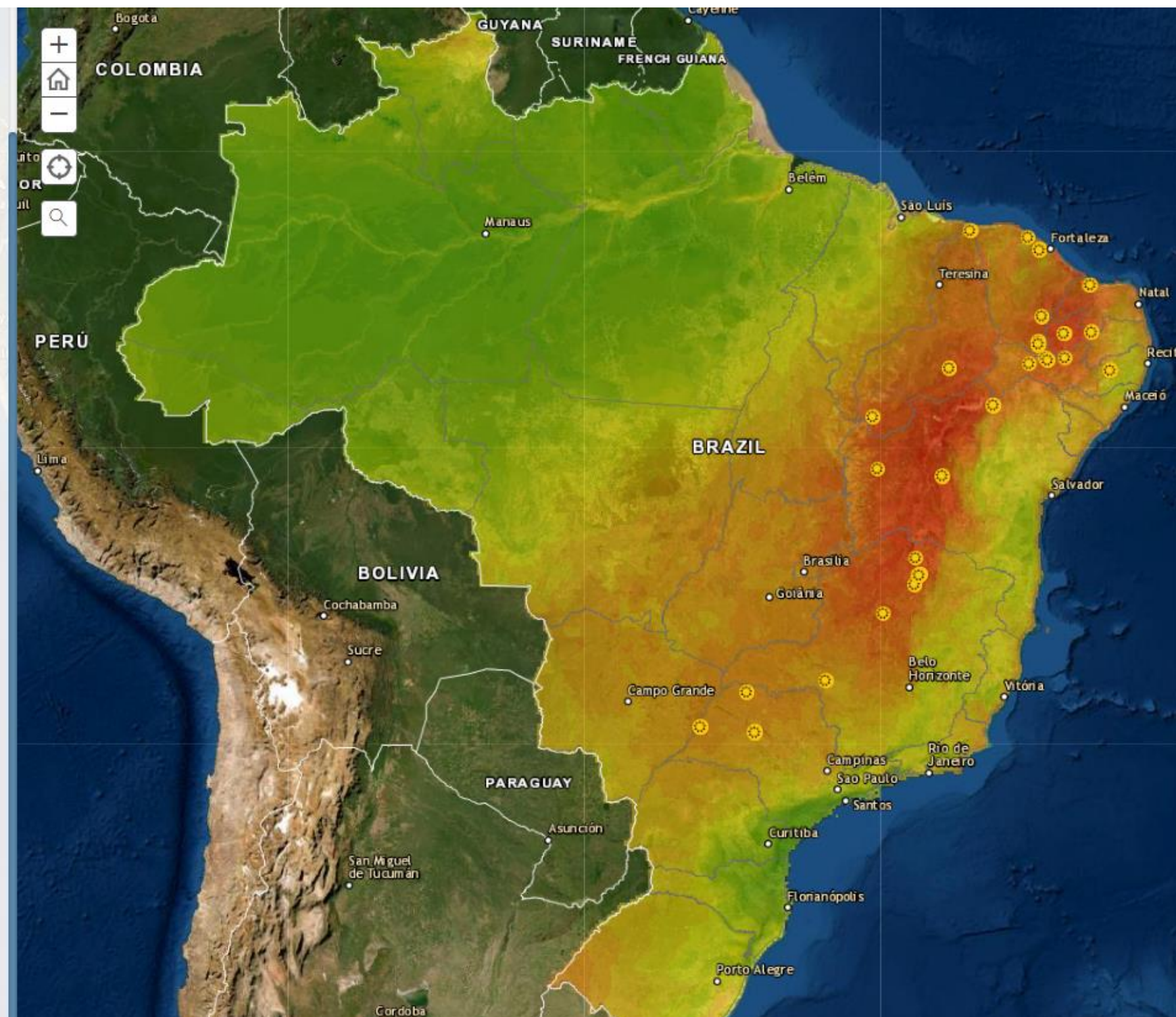
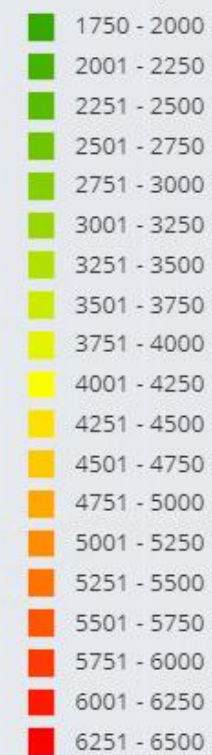
Estados

Estudos da EPE e recursos energéticos

Recursos

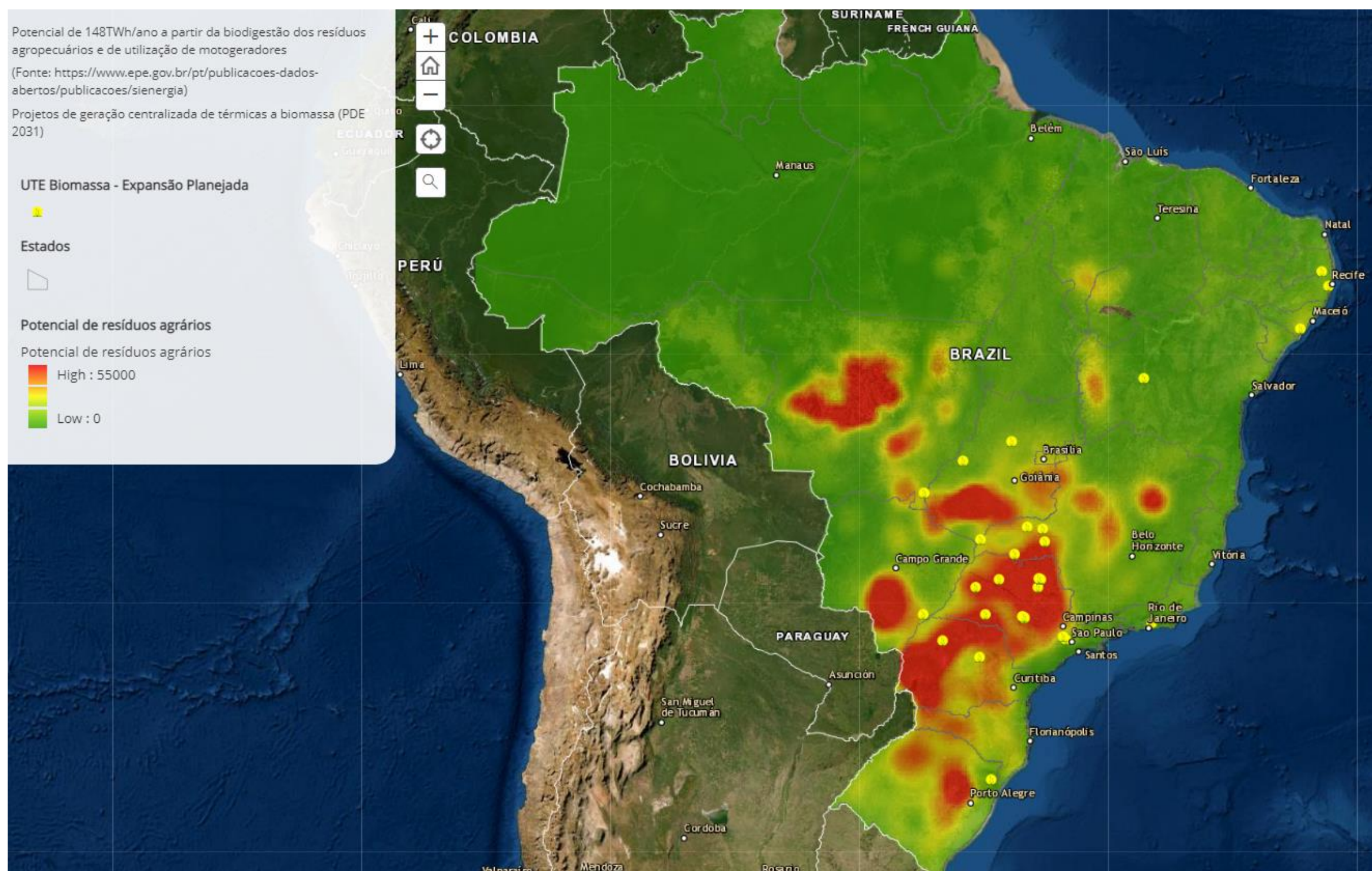
Solar (INPE)

Total diário da Irradiação Direta Normal - média anual (Wh/m².dia)



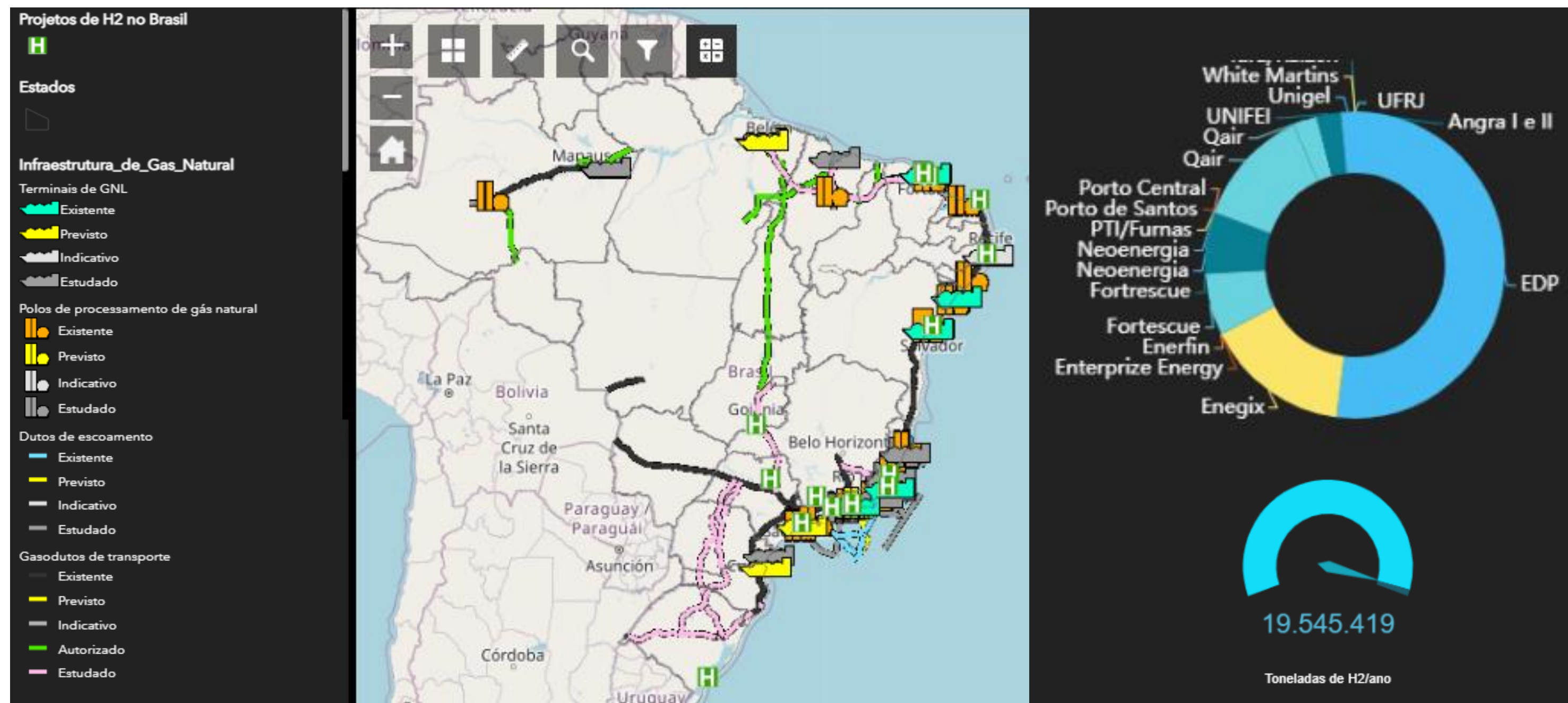
POTENCIAL TÉCNICO DE PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO NO BRASIL

BIOMASSA RESIDUAL



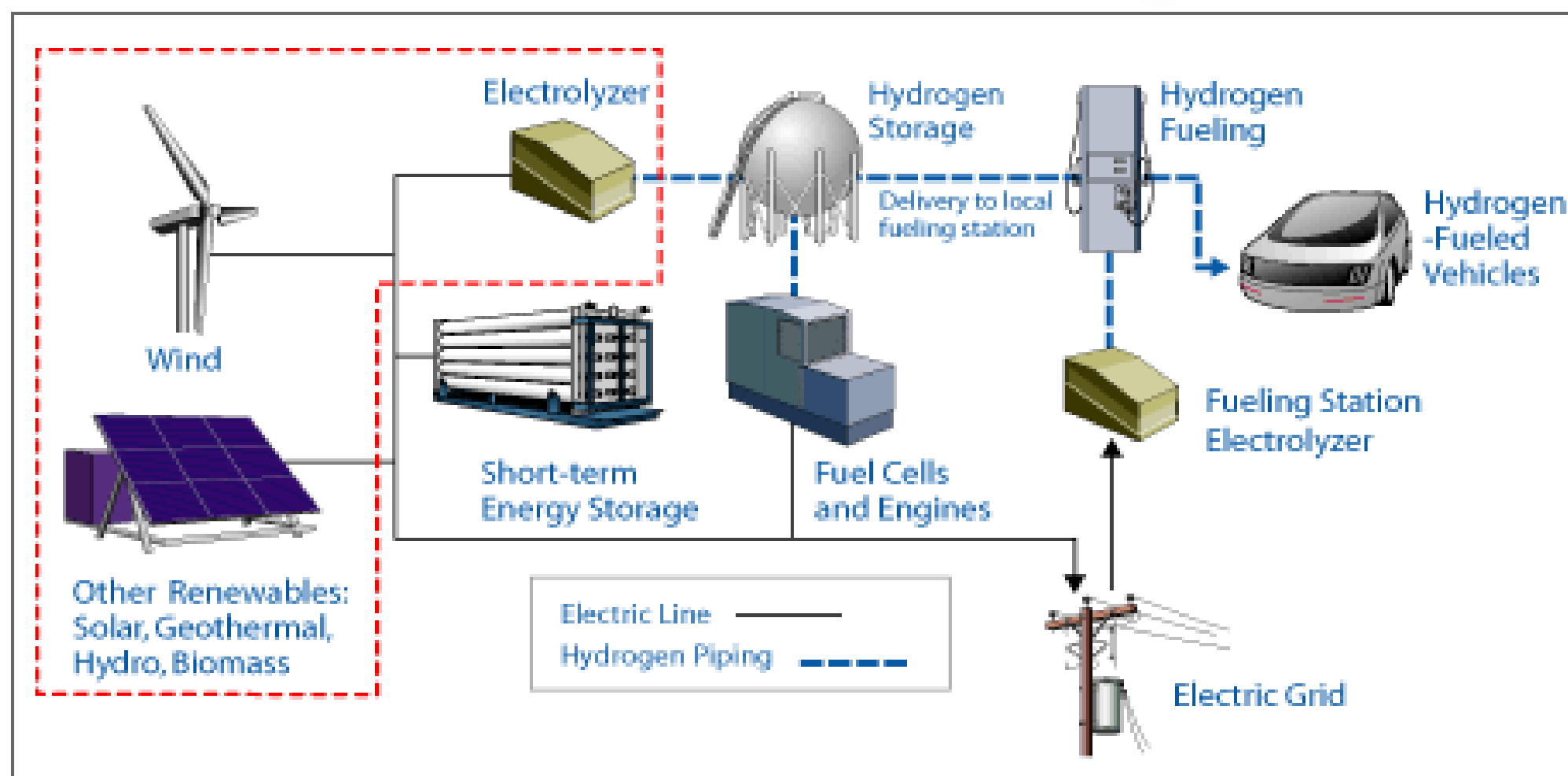
POTENCIAL TÉCNICO DE PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO NO BRASIL

INFRAESTRUTURA EXISTENTE



HIDROGÊNIO E INTEGRAÇÃO COM EÓLICA, SOLAR, BIOMASSA E OUTRAS

Hidrogênio com vetor energético e papel no armazenamento de energia

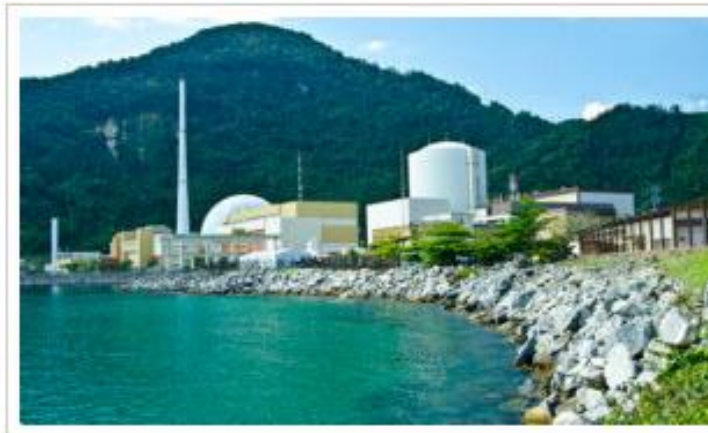


O hidrogênio produzido pode ser usado para veículos a célula de combustível, geração de eletricidade ou aplicações industriais. Além disso, durante períodos de baixa demanda elétrica, muitos geradores de energia renovável produzem excesso de eletricidade. A eletrólise permite o armazenamento desse excesso de energia como hidrogênio que pode ser posteriormente convertido em energia elétrica sob demanda.

Fonte:
https://www.nrcan.gc.ca/sites/nrcan/files/environment/hydrogen/NRCa_n_Hydrogen%20Strategy%20for%20Canada%20Dec%2015%202200%20clean_low_accessible.pdf

Fonte:
<https://www.energy.gov/eere/fuelcells/water-electrolysis-working-group>

ESTRATÉGIAS E PLANOS ANUNCIADOS EM HIDROGÊNIO



Eletronuclear planeja purificar hidrogênio (concentração atual 96%) produzido em Angra I & II (potencial 150-300 kg de H₂/dia cresce para 500 kg/dia com Angra III).



PTI/Itaipu Binacional P&DI em hidrogênio



Furnas começou a produzir hidrogênio nas Plantas da Hidrelétrica de Itumbiara-Solar FV em Projeto P&D ANEEL



Mai, 19, 2022 – Shell anunciou planta-piloto de hidrogênio verde no Porto do Açu (10-100MW). US\$ 60-120 milhões em PD&I (ANP) em 2022.



Set, 20, 2021 – Raizen (JV Cosan-Shell) anunciou contrato de 5 anos com a **Yara** para venda de biometano (20 mil m³/d) para produção de H₂ e amônia verde.



Ago, 12, 2021 – Unigel construirá uma unidade de amônia verde em sua planta em Camaçari/Bahia, em final de 2023



Ago, 10, 2021 - Enterprize Energy e Estado do Rio Grande do Norte assinaram um MOU para produzir hidrogênio e amônia verde a partir de parque eólico.

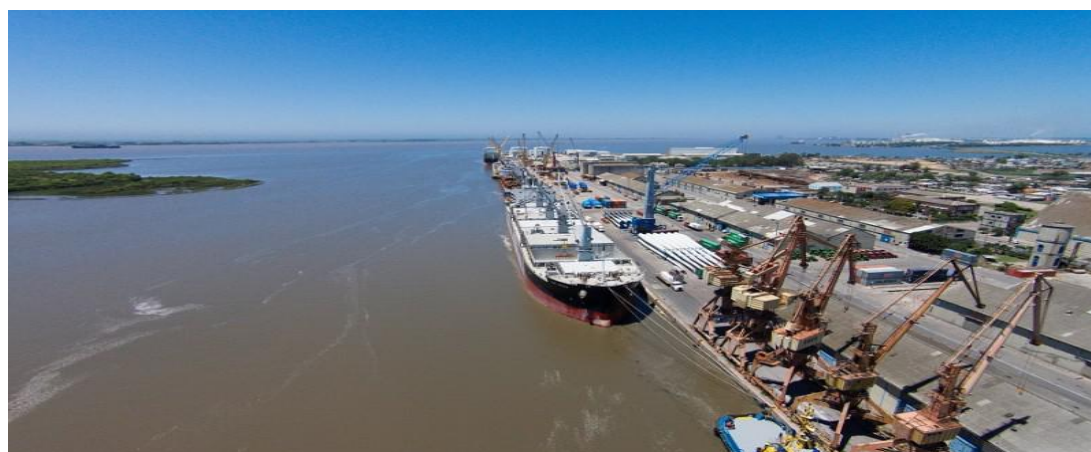


Set, 20, 2021 - Neoenergia e Estado Ceará assinaram MOU para implementar projeto de transporte público a hidrogênio verde.



Empresa de Pesquisa Energética

ESTRATÉGIAS E PLANOS ANUNCIADOS EM HIDROGÊNIO



Fortescue e Açu Port, no Rio de Janeiro, assinaram um MOU para projetos de hidrogênio verde
(300 MW => 250 kt de amônia verde)

Qair, Porto de Pecém e Estado do Ceará assinaram um MOU para projeto de H₂ Verde
(540 MW - US\$ 3,8 bilhões).



Enegix, Porto de Pecém e Estado do Ceará assinaram um MOU para projeto de H₂ Verde
(600 kt H₂ - US\$ 5,4 bilhões)

White Martins (Linde / Praxair) e Estado do **Ceará** assinaram um MOU para instalações de hidrogênio verde no Hub do Porto de Pecém

EDP anunciou planta de **H2V** no **CIPP/Ceará** (250 Nm³/h - R\$ 41,9 milhões)



Qair e Porto de Suape/Pernambuco, assinaram um MOU para desenvolver projetos de H₂ azul e verde
(540 MW - US\$ 3,8 bilhões).

Neoenergia e Estado de **Pernambuco** assinaram um MOU para desenvolver uma planta-piloto de hidrogênio verde.

ESTRATÉGIAS E PLANOS ANUNCIADOS EM HIDROGÊNIO

Shell/Raízen/Hytron/Toyota (São Paulo)

Um acordo inédito, Shell, Raízen, Hytron, Universidade de São Paulo (USP) e Senai CETIQT, e mais recentemente a Toyota, pretende investir em plantas dedicadas à produção de hidrogênio a partir do etanol e um posto de abastecimento para ônibus que circula na Cidade Universitária, em São Paulo.

O biocombustível será fornecido pela Raízen e a tecnologia desenvolvida e fabricada pela Hytron, do grupo alemão Neuman & Esser. A Toyota deverá disponibilizar o seu modelo Mirai, movido a célula a combustível, para realização dos testes.

O projeto será financiado pela Shell Brasil, por meio da cláusula de Pesquisa e Desenvolvimento da ANP, com investimento de aproximadamente R\$ 50 milhões.

Investimento: R\$ 50 milhões

Produção de hidrogênio verde: 390 toneladas/ano

Início previsto: 2023

CONSIDERAÇÕES FINAIS



BRASIL PODERÁ SER AGENTE RELEVANTE NO MERCADO DE HIDROGÊNIO DE BAIXO CARBONO

- ✓ Significativa dotação de recursos naturais para produção de hidrogênio;
- ✓ Comprometimento do governo com hidrogênio;
- ✓ Oportunidades para setores de difícil abatimento nas reduções das emissões nos mercados existentes, como metalurgia, transportes, fertilizantes, etc.;
- ✓ “Frutas mais baixas” na metalurgia talvez seja em atividades indiretas, como transportes de frota interna e desenvolvimento de combustíveis avançados;
- ✓ BOF→DRI longo prazo?;

BRASIL PODERÁ SER AGENTE RELEVANTE NO MERCADO DE HIDROGÊNIO DE BAIXO CARBONO

- ✓ Obter benefícios das vantagens competitivas nacionais, enquanto desenvolve novas vantagens competitivas;
- ✓ Renováveis são *blue-chip* para hidrogênio, mas gás natural e nuclear também são relevantes;
- ✓ Neutralidade tecnológica (foco em baixo carbono!);
- ✓ Desenvolvimento de novos mercados;
- ✓ Cooperações internacionais amplas!

Fontes consultadas

- ✓ Plano Nacional de Energia 2050.
- ✓ Plano Decenal de Expansão de Energia 2031.
- ✓ Nota Técnica “Bases para a Consolidação da Estratégia Brasileira de Hidrogênio”
- ✓ Nota Técnica “Hidrogênio Cinza: Produção a partir da reforma a vapor do gás natural”
- ✓ Nota Técnica “Hidrogênio Cinza: Produção a partir da reforma do gás natural com CCUS”
- ✓ Programa Nacional do Hidrogênio (PNH2): Diretrizes
- ✓ Resolução CNPE 02/2021
- ✓ Brazil | Green Hydrogen Organisation (gh2.org)
- ✓ <https://gisepeprd2.epe.gov.br/arcgisportal/apps/storymaps/stories/68332aaa3fc64524a656583e1367daa3>

Obrigado!



/epe.brasil



@epe_brasil



@epe_brasil



/EPEBrasil



**Empresa de Pesquisa
Energética**

