



H₂

HIDROGÊNIO SEM CARBONO

UMA DEMANDA PELO BEM DA DESCARBONIZAÇÃO, E NÃO POR UMA DEMANDA DE MERCADO

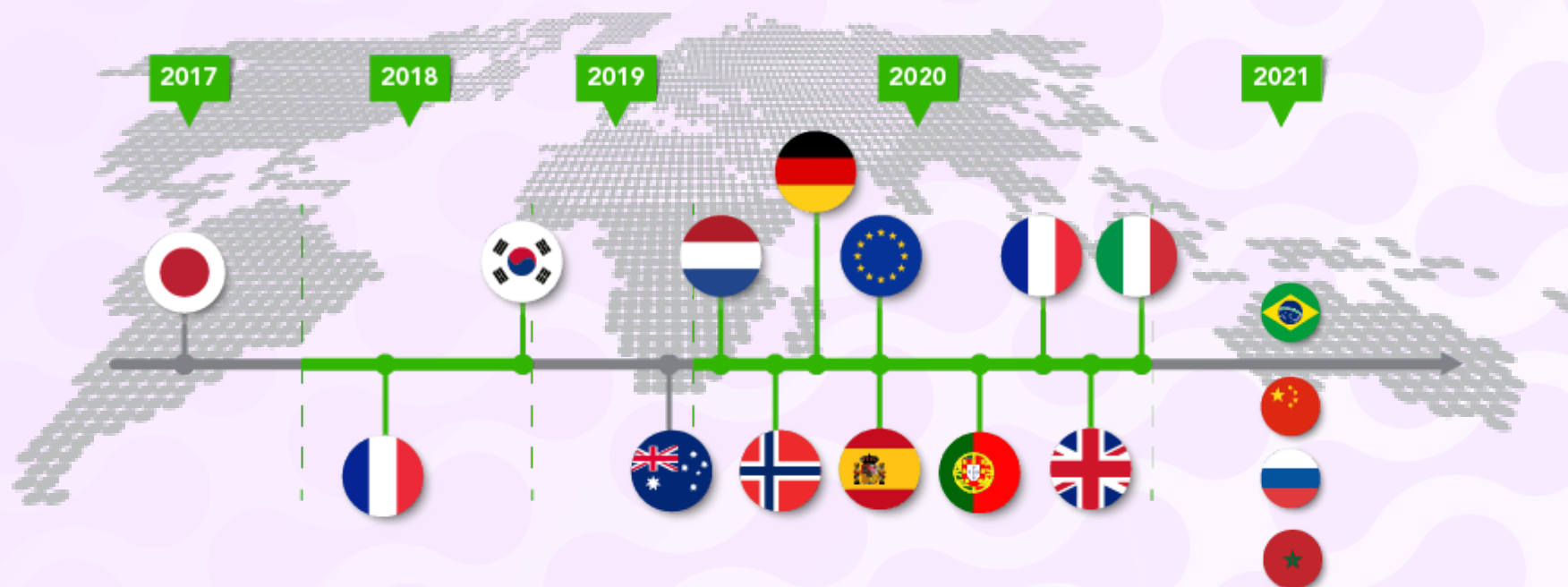
ROTEIRO PARA A ESTRUTURAÇÃO DA ECONOMIA DO HIDROGÊNIO NO BRASIL (MME 2005)

- i) A importância das diferentes rotas tecnológicas nas quais o Brasil tenha vantagens competitivas;
- ii) o papel do gás natural na transição até o predomínio do hidrogênio verde
 - **Hidrogênio Azul**
 - Foco na descarbonização e sustentabilidade a longo prazo; **Hidrogênio verde**
- iii) a difusão nos mercados de geração distribuída, regiões isoladas e ônibus urbanos.
 - Desdobramentos tecnológicos inseridos no cotidiano – Power-to-X;

“País aproveitar ao máximo suas vantagens competitivas existentes e construir novas vantagens competitivas em benefício de sua sociedade.” (EPE 2021)

DIVISOR DE ÁGUAS REGULATÓRIO GLOBAL ESTÁ A CAMINHO.

Muitos países publicaram sua estratégia de Hidrogênio



80% do PIB global com Estratégias de Hidrogênio até 2025.

Hidrogênio verde central para todas as estratégias.

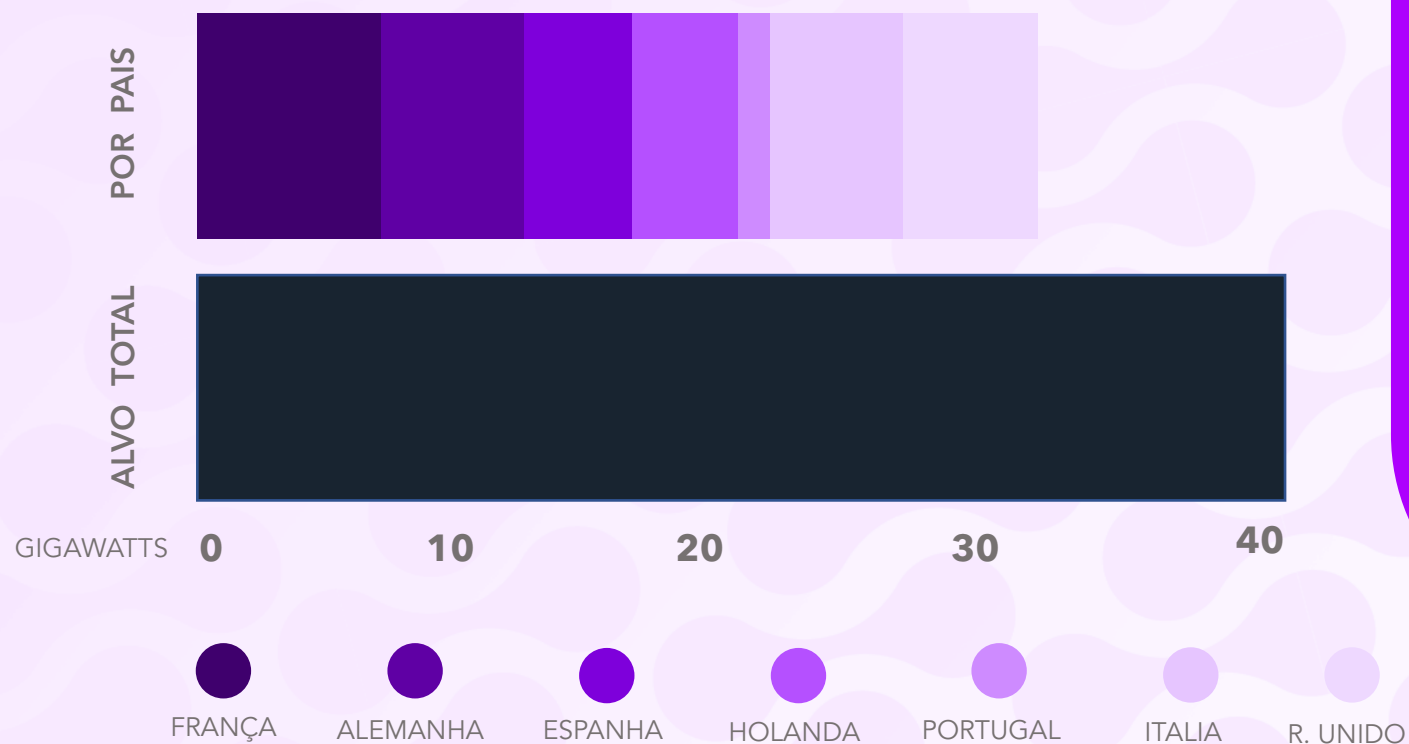
As aplicações iniciais se concentram nos setores de transporte e indústria.

Primeiras refinarias e Químicas, o primeiro importante mercado de Hidrogênio em grande escala no médio prazo.

DIVISOR DE ÁGUAS REGULATÓRIO GLOBAL ESTÁ A CAMINHO

Previsão de 40B€ para produção
de hidrogênio verde na EU.

Promessas na Europa



Sources: BloombergNEF, H2View

2020-24 Phase 1: 6GW

2025-30 Phase 2: 40 GW

2050 Phase 3: Large-scale
use of hydrogen

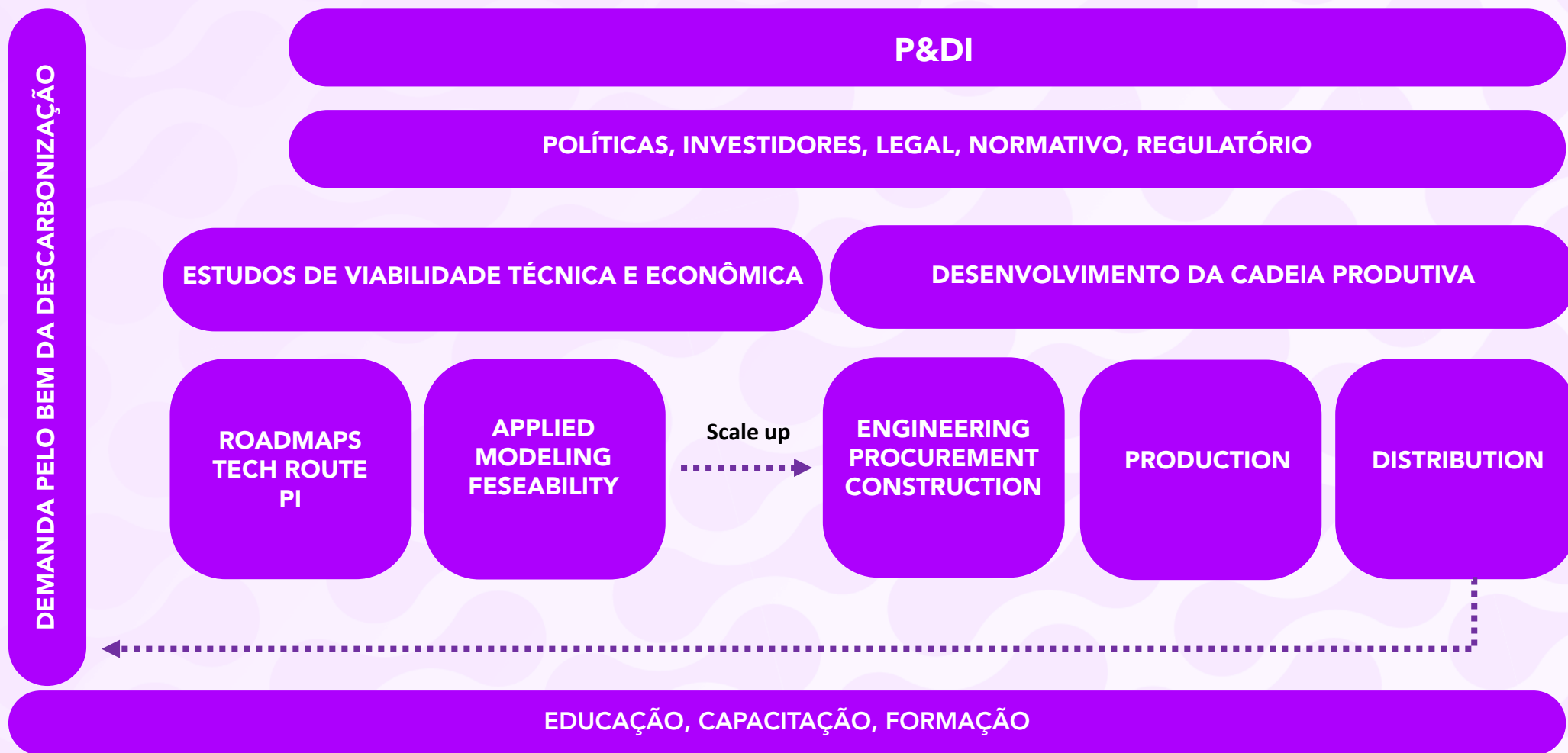
Continente promete até
agora quantidade para
>30 GW e EUR > 40 bilhões

Europa também explorando
possibilidades de
implantação de 40 GW em
regiões vizinhas e remotas.

Apoiar mudanças na
legislação (concessões,
licenças, eletricidade
tarifas) e projetos concretos
necessário para cumprir
a ambição.

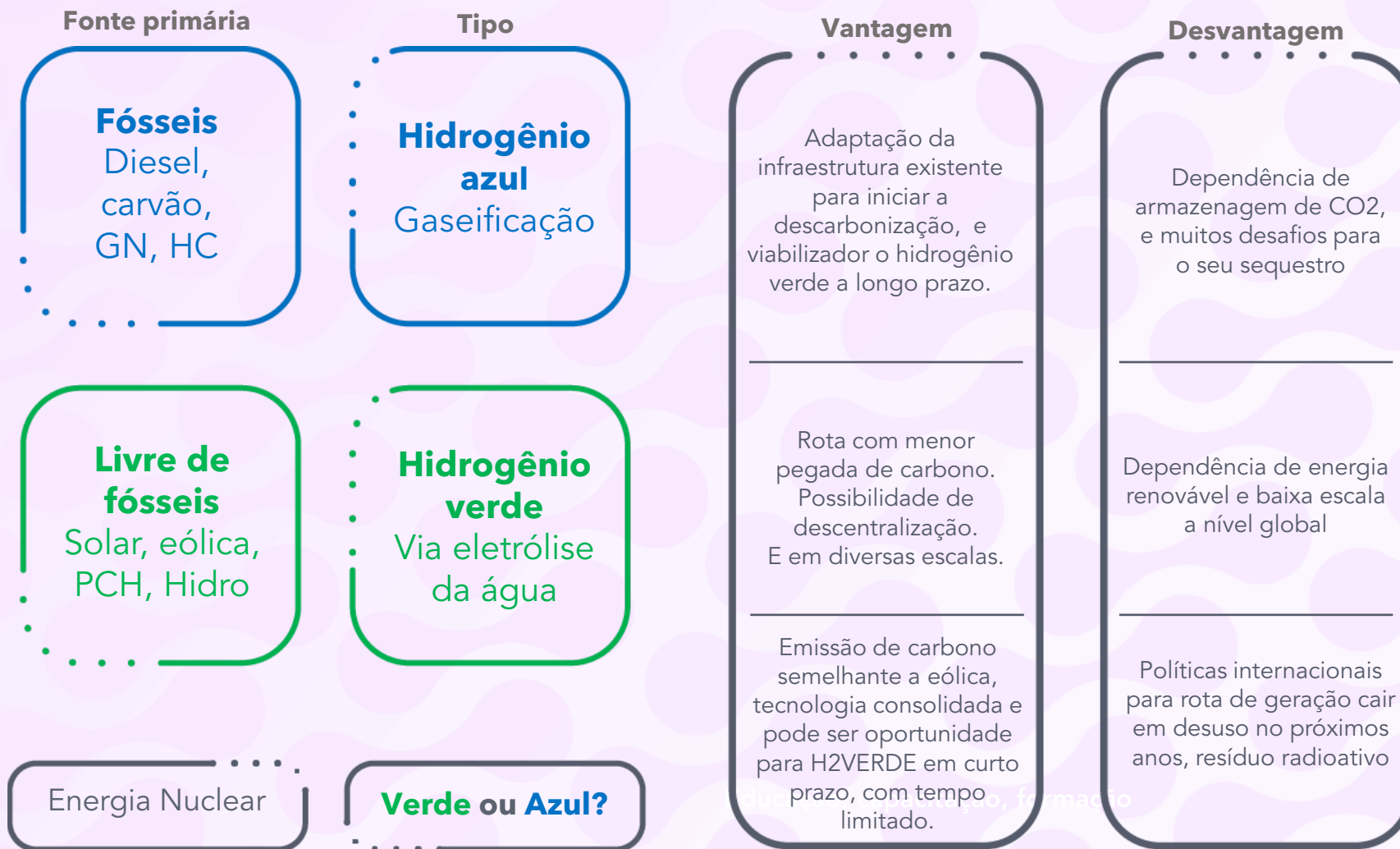
DESAFIOS DO PNH2 – UMA DEMANDA PELA DESCARBONIZAÇÃO.

A importância das diferentes rotas tecnológicas nas quais o Brasil tenha vantagens competitivas



DESAFIOS DO PNH2

As diferentes rotas da descarbonização com hidrogênio



A OPORTUNIDADE DO HIDROGÊNIO

Áreas de aplicação do hidrogênio em expansão

Aplicações na Indústria



indústria alimentar



indústria de vidro



Indústria polissilica



Laboratórios



Indústria Química



Proc. térmico



Deposição de vapor químico



Indústria de aço



Indústria de energia



suporte de vida

- Aplicações industriais de nicho representam mercados tradicionais de hidrogênio.
- Demanda constante por hidrogênio.

Power-to-X



Hidrogênio renovável

- Redução do custo de renovação e eletrólises está acelerando o mercado.
- Grandes oportunidades dentro de já existentes e novos setores.

Mobilidade



Transporte

- Mercado-chave daqui para frente - tanto dentro da produção de hidrogênio quanto no abastecimento.
- Setor pesado se desenvolvendo mais rápido do que o previsto - hidrogênio agora combustível relevante para todas as formas de mobilidade.

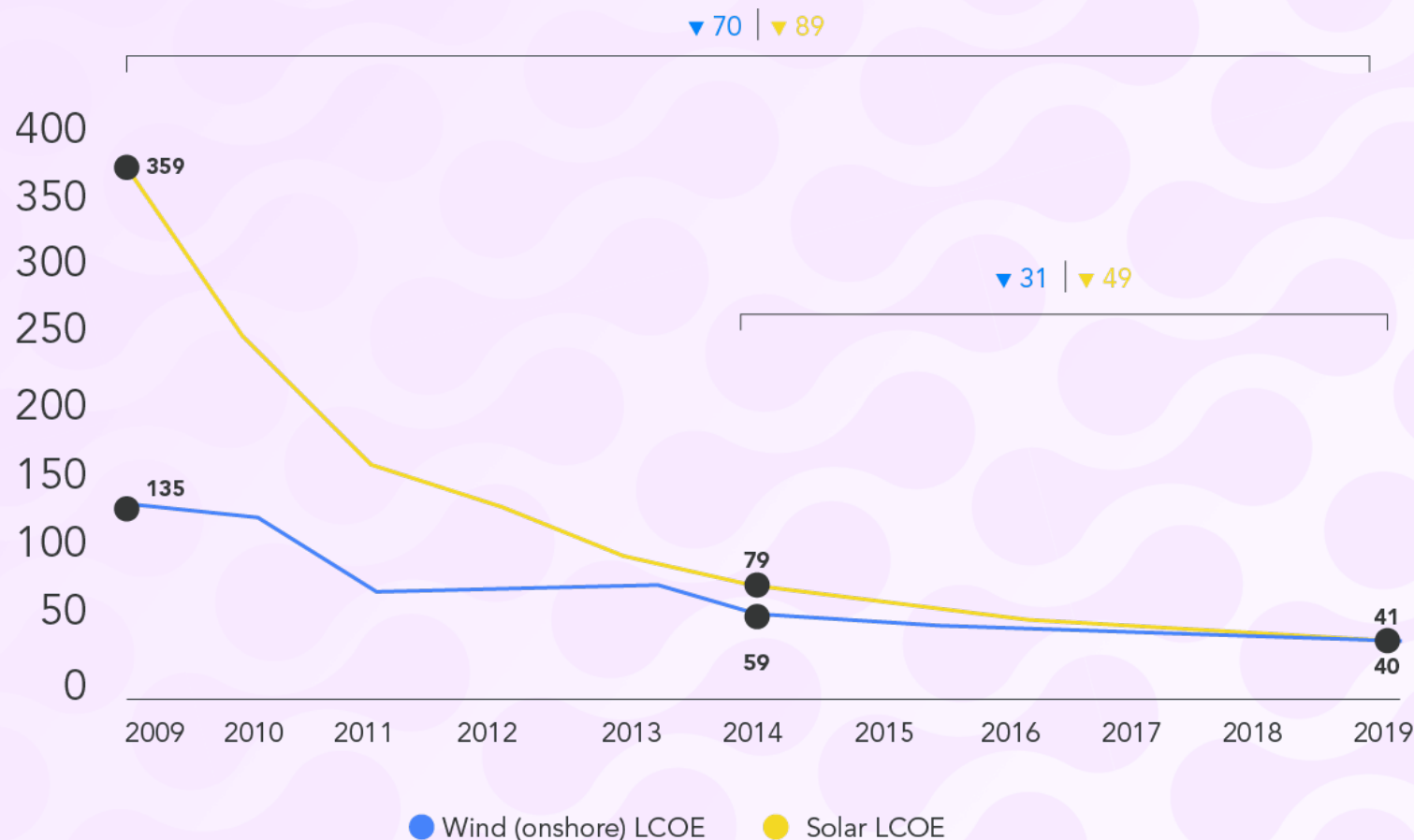
Mercado estável e existente

Mercados em franca expansão nos próximos anos

A OPORTUNIDADE DO HIDROGÊNIO.

Com custo das renováveis em queda, o hidrogênio verde também cai.

Custo médio global em USD
Custo de energia sem subsídio \$/MWh



- Já que a energia elétrica constitui **70-80%** do custo total do hidrogênio verde.
- Preços recordes de leilões baixos para solar FV e Eólica – **\$13.5/MWh** e **\$17.86/MWh**, respectivamente, 3,4
- Os preços devem cair ainda mais, LCOE de energia solar fotovoltaica e eólica on shore esperado para cair em **71%** e **58%** respectivamente
- Hidrogênio renovável competitivo com combustíveis fósseis em \$50/MWh – competitivo na maioria dos mercados a \$30/MWh

O DESAFIO DA DESCARBONIZAÇÃO

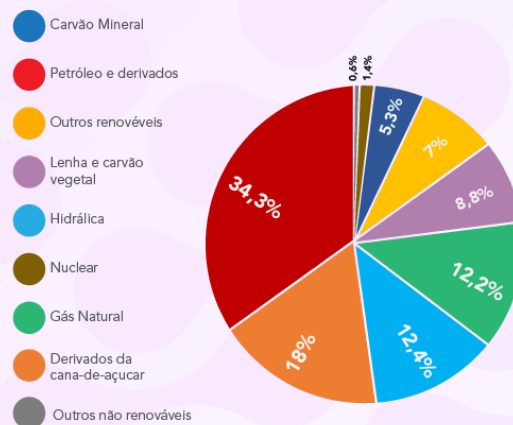
Nossa matriz energética já é diferente..

Matriz energética mundial

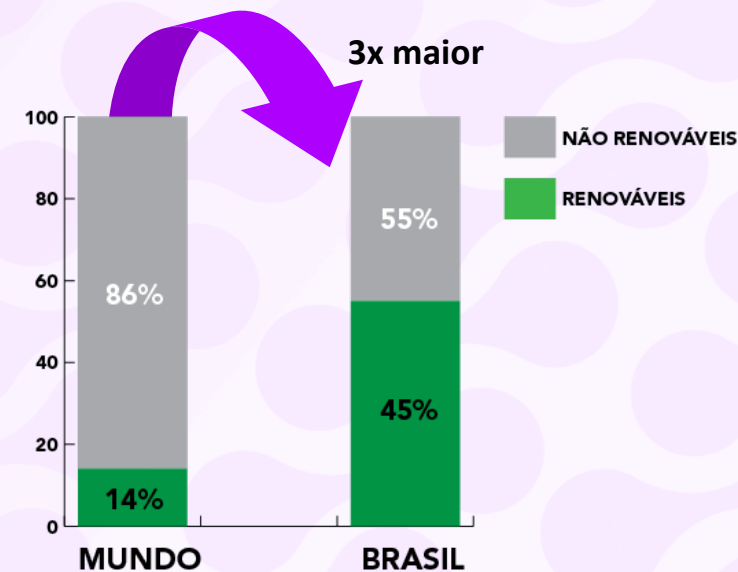


Matriz Energética Mundial 2018 (IEA, 2020)

Matriz energética Brasil



Matriz Energética Mundial 2019 (BEN, 2020)

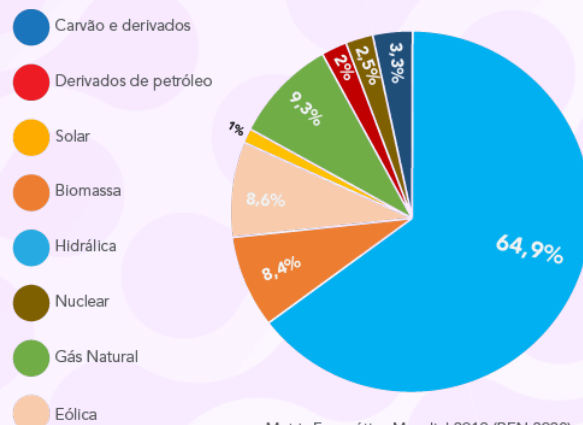


Matriz elétrica mundial

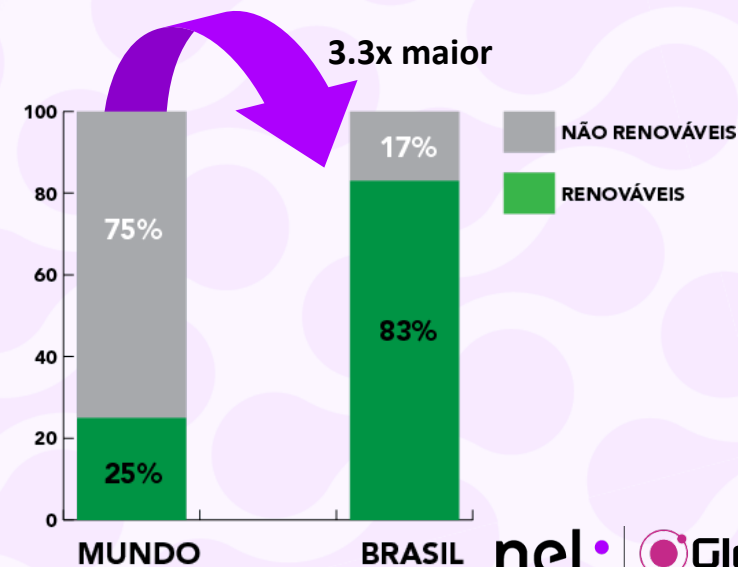


Matriz Energética Mundial 2018 (IEA, 2020)

Matriz elétrica Brasil

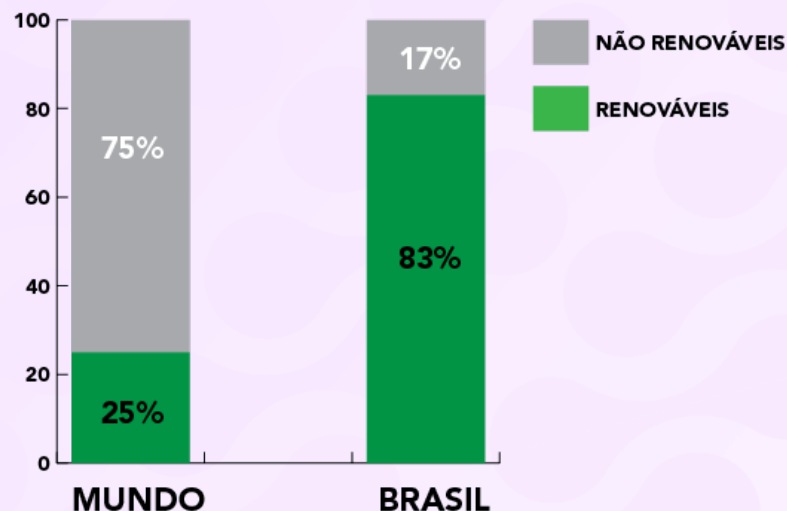


Matriz Energética Mundial 2019 (BEN, 2020)



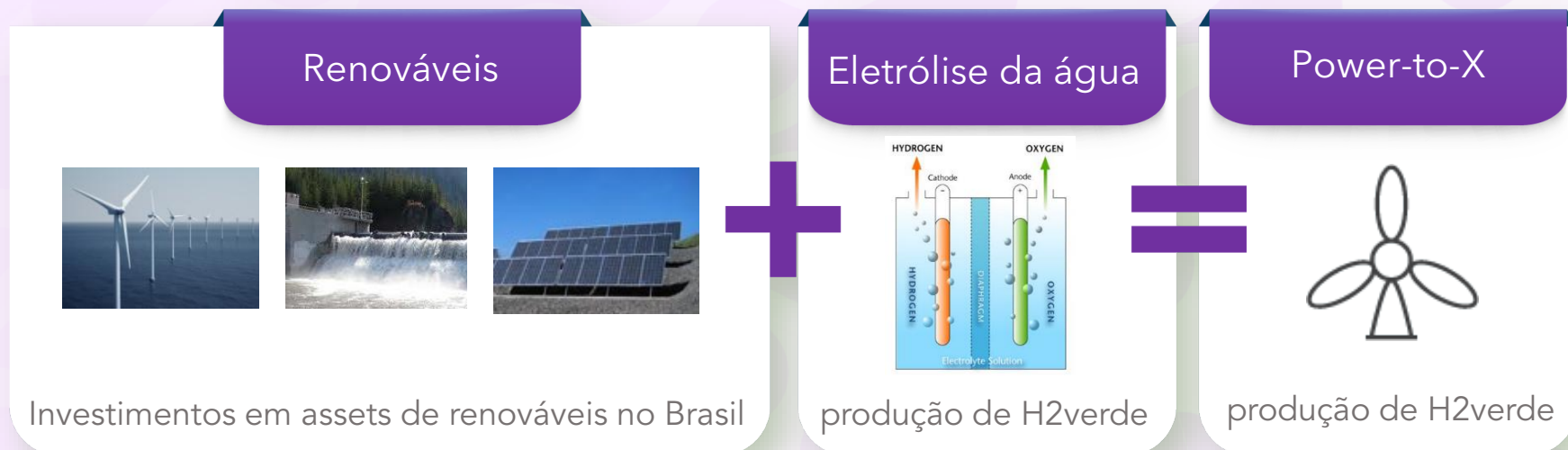
A OPORTUNIDADE DO HIDROGÊNIO VERDE NO BRASIL.

Nossa matriz elétrica pode um *game changer*.



- O desafio atual das economias desenvolvidas reside na descarbonização de sua matriz elétrica.
- Renováveis aplicadas para descarbonizar setor elétrico num horizonte de 15 a 20 anos. Com pouco excedente para **H2verde**.
- **H2azul** para iniciar a descarbonização e criar alicerce estrutural para o **H2verde**.

O Brasil já está um passo a frente neste quesito.



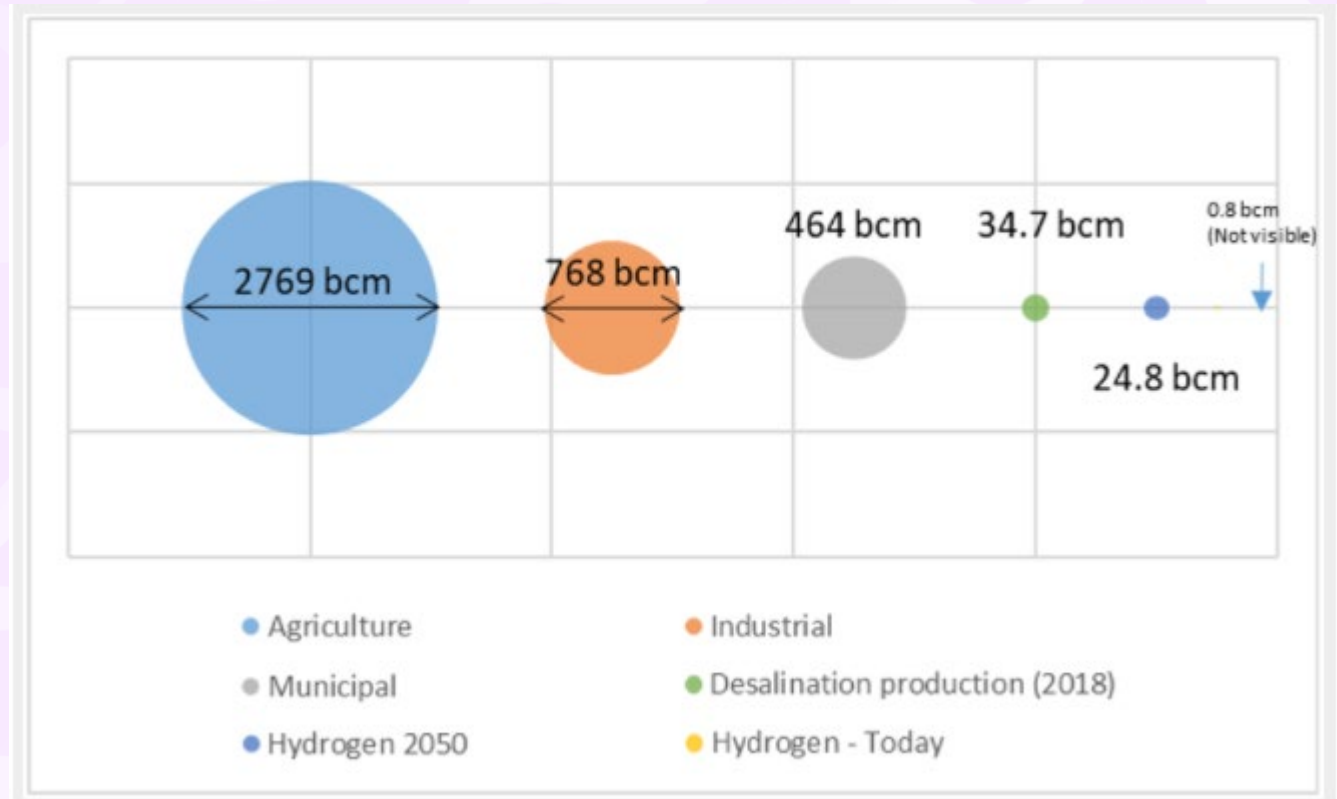
Nossos desafios são outros...

E o consumo de água?



- Demanda de hidrogênio em 2050 seja de 74 EJ ou 20.000.000 GWh/ano
- Com 2/3 via renováveis.
- Hoje o hidrogênio representa 8,7EJ
- Consumo projetado de 25bcm/ano
- Equivalente ao consumo anual de um país com 62 milhões de habitantes.

Nossos desafios são outros.

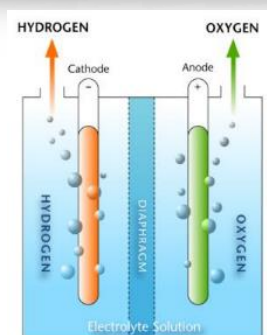




HIDROGÊNIO VERDE

TECNOLOGIAS DE ELETRÓLISE EM DESTAQUE.

Alcalina - desde 1927

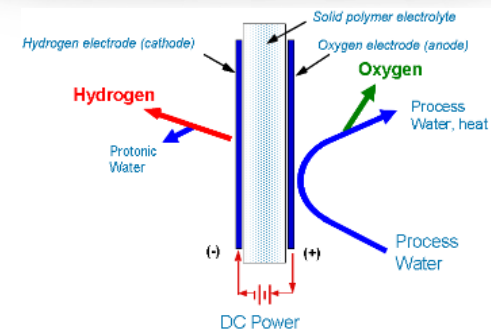


Eletrólito líquido com KOH

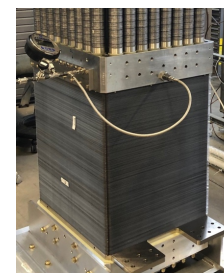


Célula alcalina 2.25 MW 43.3 kg/hr

Proton Exchange Membrane (PEM) - desde 1955



Eletrólito de polímero sólido

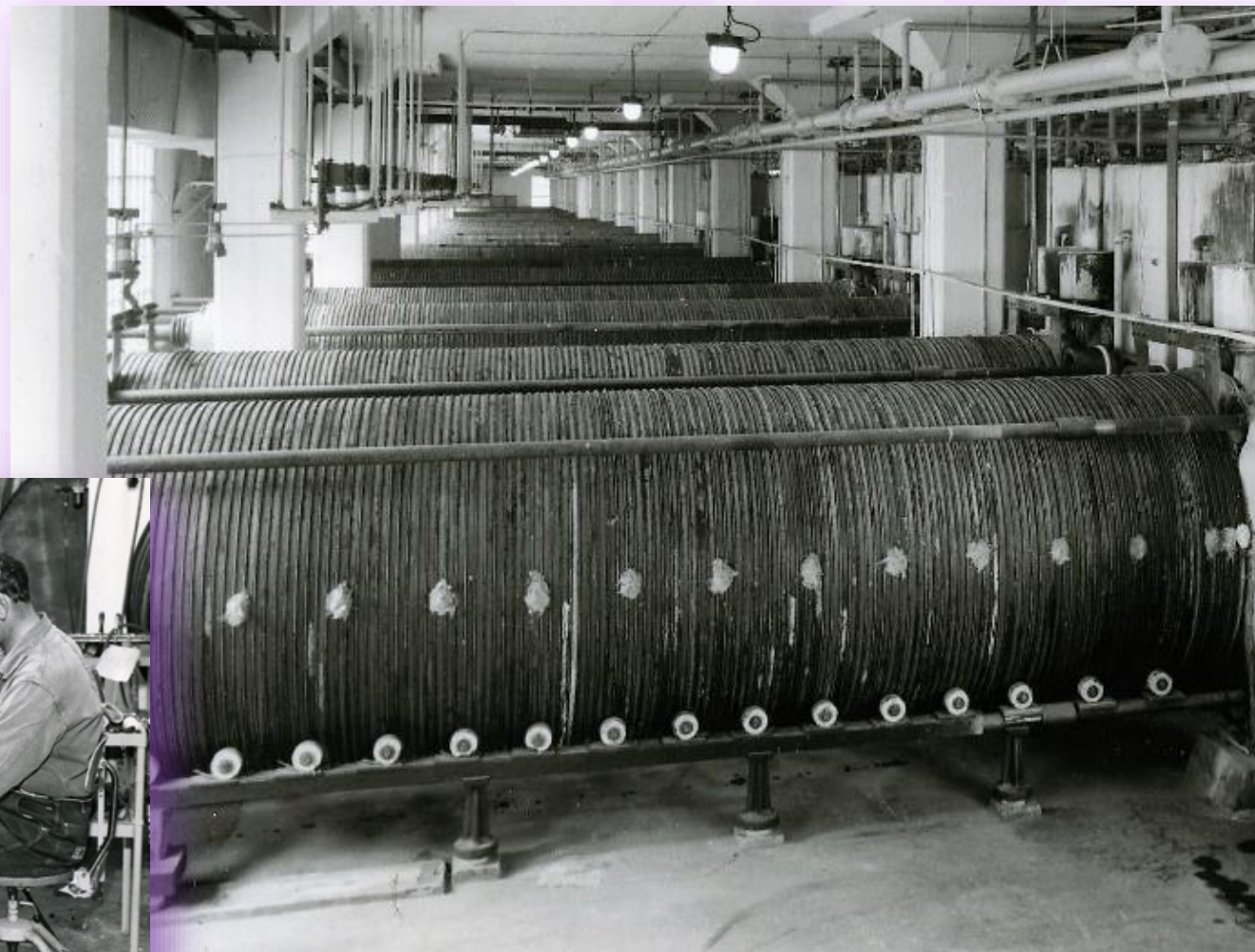


Célula PEM 1.25 MW PEM 22.125 kg/hr

Green Ammonia (Rjukan, Norway - 1929-1988).

Maior planta de eletrólise construída

- 37.000Nm³/h – 79.850kg/dia ~167MW
- Green power de hidroelétrica
- Produção de amônia em larga escala
- Operando a vazão constante



Essa é a NEL

Forte know-how na área e capacidade de fabricação.

Eletrólises PEM



Wallingford, EUA

Entrega do Sistema: 2,700+

Capacidade de produção: 50MW/Ano

Idade: 23 anos

Eletrólises alcalinos



Notodden, Noruega

Entrega do Sistema: 800+

Capacidade de produção:
40MW/Ano – 50 MW/Ano (~2 GW/Ano)

Idade: 90 anos

Estações de abastecimento H₂



Herning, Dinamarca

Entrega do Sistema: 110+

Capacidade de produção: 300 HRS/Ano

Idade: 16 anos

Essa é a NEL

Primeiro lugar dentro das tecnologias de hidrogênio.

Eletrólises PEM e Alcalinos



Conversão de água e eletricidade em hidrogênio e oxigênio - para fins industriais, mobilidade e energia

Abastecimento de Hidrogênio



Estações de abastecimento mais compactas do mundo, capazes de abastecer e tipo de veículo e simples de integrar outros combustíveis

Essa é a NEL

A empresa de hidrogênio, com presença global



Empresa de tecnologia de hydrogen puro listado na bolsa de valores de Oslo (NEL.OSE).



Instalações de fabricação na Noruega, Dinamarca e EUA, e uma rede global de vendas.



Maior fabricante de eletrólises do mundo, com > 3.500 unidades entregues em mais de 80 países desde 1927.

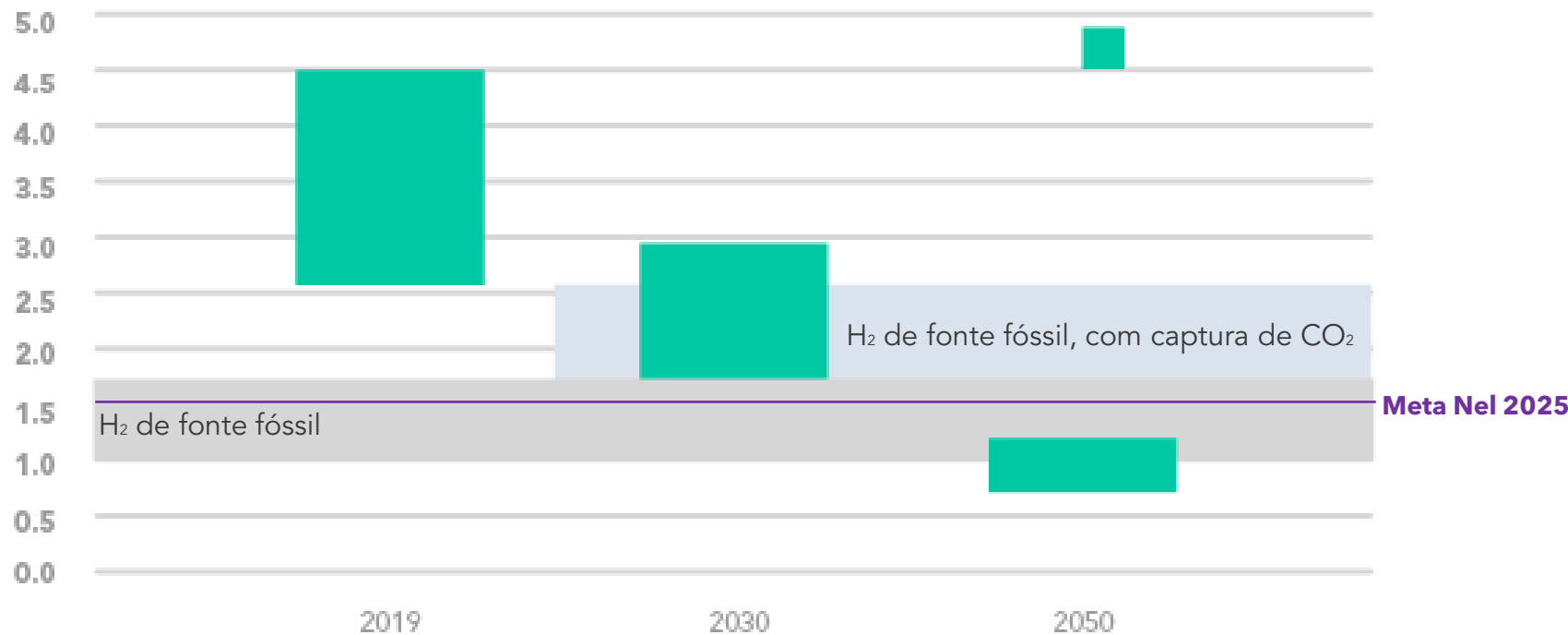


Fabricante líder de estações de abastecimento de hidrogênio, com mais de 110 soluções H2Station™ entregues/em andamento para 13 países

Escalonando a tecnologia para um mercado 10x maior

Hidrogênio verde em trajetória para superar o hidrogênio cinza e azul.

Previsão global de custo nivelado da produção de hidrogênio/TCO a partir de grandes projetos 2019 \$/kg



- Equiparação de custo de hidrogênio verde com de fontes fósseis até 2030;
- Nel espera atingir essa meta até 2025
- Foco na redução do capex, aumento da vida útil, melhoria da eficiência, aumento da densidade atual, redução de catalisadores e dimensionamento de componentes do sistema.

1.5\$ /Kg

- Meta de custo de Hidrogênio verde Nel até 2025.

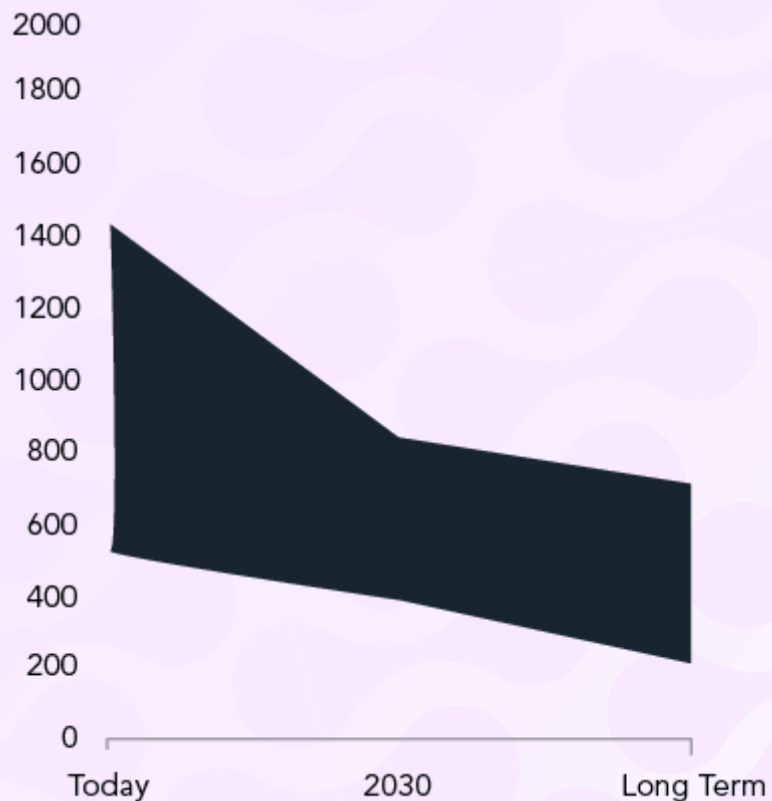
Premissas: análise Nel com base na eletricidade de 20\$/MWh, > 8% custo de capital, custo do terreno, obras civis, instalação, comissionamento, construção de água, etc, vida útil 20 anos incl. O&M, em 30 bar. (?)

Escalonando a tecnologia para um mercado 10x maior

Evolução do CAPEX dos eletrolisadores.

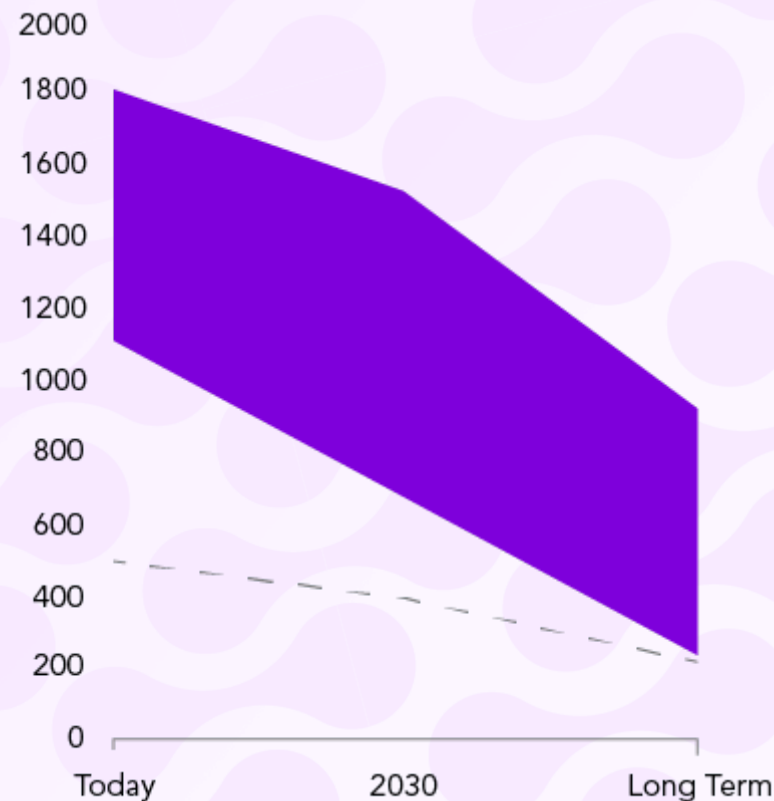
Evolução do CAPEX Alcalino

2010-2030, \$ por kW



Evolução do CAPEX PEM

2010-2030, \$ por kW



- Capex para eletrólise esperado para diminuir significativamente até 2030
- PEM seguindo alcalino anos anteriores
- Ambos convergindo para 300 \$/kW até o final da década

Tendência de Predomínio PEM a longo prazo

- Ausência de meio alcalino (KOH);
- Menor área de instalação;
- Processo Dinâmico;
- Produção de pequena escala e larga escala;
- Aplicação e desafios de cada caso

Eletrolisadores PEM e Alcalinos

Tanto os geradores PEM quanto alcalinos são aplicados em diversos segmentos de mercado – mas com foco específico.

Geradores de pequena escala



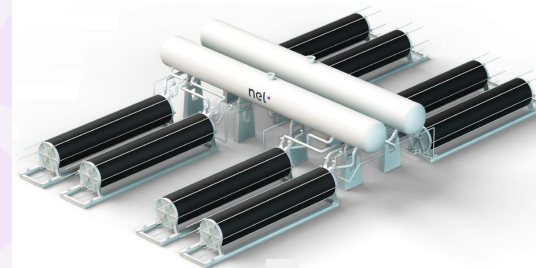
Até 65 kg/day
0.25 a 30 Nm³/hr
3 kW a 235 kW

Sistemas turn key de média escala



Até 1000 kg/day
Até 500 Nm³/hr
1.25 a 2.5 MW

Soluções em fábricas de larga escala



1000 Nm³/hr +
5 MW até qualquer capacidade



APLICAÇÕES E SISTEMAS DE ELETRÓLISE

When Power meets Industry (PtI)

PRODUTOS QUÍMICOS (RJUKAN, NORUEGA - 2006)

Produção de peróxido de Hidrogênio

- 1,940Nm³/h – 4.2T/day ~9.2MW
- Usando eletricidade 100% verde 24/7
- operação industrial
- O fornecimento de hidrogênio é fundamental para a planta



WIND TO GAS (KETCHUM, ID, USA - 2006)

1st Projeto Wind to H₂

- 2x6Nm³/h PEM electrolyser - 29kg/day 82kW
- 3,700Nm³ (130,000 Scf) produzido a cada 2 semanas
- H₂ vendido a um fornecedor de gás (NORCO)
- Aplicação comercial real
- Diretamente conectado a uma turbina eólica



WIND TO AMMONIA (MORRIS, MN, USA - 2010)

1ST Wind to Green Ammonia

- 6Nm³/h PEM eletrólise - 14kg/day 41kW
- Conexão direta com parque eólico
- N₂ e H₂ para produzir NH₃ (Haber-Bosch reator)
- H₂ usado para o veículo utilitário Toro FC
- H₂ usado em genset de combustão



USINA POLISSÍLICA (SARAWAK, MALAYSIA - 2013)

A maior usina de eletrólise do mundo em operação.

- 5,335Nm³/h – 11.5T/day ~25MW
- Usando eletricidade 100% verde da
- Hidrogênio usado para processo de deposição de vapor químico para fabricação de barras de silício. O fornecimento de hidrogênio é fundamental para a planta



FOSSIL-FREE STEEL (LULEÅ, SWEDEN - 2020)

4.5MW/910Nm³/h com eletricidade sem fósseis.

- Indústria Siderúrgica: 7% das emissões globais de CO₂ Projeto de hybrit para reduzir a pegada de carbono para 0:
- SSAB: aços de alta resistência
- LKAB: produtor de minério de ferro
- Vattenfall: produtor de eletricidade
- Substituição do carvão de coque necessário para a fabricação de aço à base de minério por H₂



Source: <http://www.hybritdevelopment.com/>



NEL 2 x A455

NEL Eletrólises de Água

CAPTURA DE CO2 PARA PRODUTOS QUÍMICOS VERDES – COMPANHIA AÉREA (NEW YORK, USA – 2019)

Primeiro produtor de vodca carbono negativa do mundo.

- 6Nm3/h Proton® eletrólise PEM.
- A Companhia desenvolveu um novo processo catalítico para converter hidrogênio verde e capturou CO2 em produtos úteis de commodities
- O processo é negativo em carbono porque a energia solar é usada para produzir o hidrogênio via eletrólise e o CO2 é consumido.
- O produto inicial é uma vodca premium que está sendo comercializada como uma opção sustentável para a produção tradicional de destilaria.
- Pode fazer uma ampla gama de produtos de commodities de alto valor que fornecem uma redução líquida nas emissões de carbono





When Power meets Transport (PtT)

ESTAÇÃO DE ABASTECIMENTO DE ÔNIBUS (EMERYVILLE, CA AND OAKLAND, USA - 2011)

H₂ Produzido diretamente a partir do dossel solar fotovoltaico.

- 30Nm³/h PEM eletrólise - 65kg/day ~175kW
- One electrolyser at each site + Fornecimento de H₂ líquido
- 12 Ônibus (35MPa) e Carros (70MPa) Reabastecimento



ESTAÇÃO DE ABASTECIMENTO (FREIBURG IN BRISGAU, ALEMANHA - 2012)

H₂ Produzido diretamente a partir
de um telhado solar.

- 1x30Nm³/h eletrólise PEM - 65kg/day ~180kW
- Pannel solar de telhado com capacidade nominal de 100Wp3,2M3
armazenamento em 44MPa



RUN-OF-RIVER H₂ (HUNZENSCHWIL, AG, SWITZERLAND - 2017)

H₂ Directly Produced from a Solar Roof

- 30Nm³/h PEM electrolyser - 65kg/day ~175kW
- Electricity from a IBAarau Run-of-the-river Hydro
- Uses surplus power (2% of total)
- H₂ is produced at Hydro Plant
- 200barg transport to fueling station
- 900barg storage at station
- Public Station for Trucks (35MPa) & Cars (70MPa)



H₂ TRUCKS FUELING NETWORK (USA - 2019)

The biggest H₂ fueling Network Globally

- Milhares de pré-ordens
- 70kg at 700barg, up to 1'900km, refuel in 20 min
- Strategic contract: 1GW electrolyzers & fueling capacity for 28 sites across the US from 2020
- 8T H₂/day per station



Electrolyser



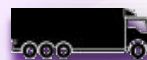
Hydrogen storage



Station modules



Dispensers



BUSES H2 STATION® (PALM SPRINGS, CA, USA - 2019)

World's Largest Bus Fueling Station w Onsite Production

- SunLine Transit Agency
- Turn-key solution including civil works & permitting.
- Proton® PEM electrolyser - 900kg/day.
- Two H2Station® for fueling of two busses simultaneously.
- Capacity for up to 26 H2 fuel cell buses per day.



Electrolyser



Hydrogen storage



Station modules



Dispensers



35MPa

35MPa

H₂ TRUCKS FUELING NETWORK (SWITZERLAND - 2020)

Nationwide Network to Refill 1,000 Hyundai Trucks (1st in Niedergösgen, ZH)

- Acordo para 15 x 2MW com a Hydrosponder
- 2MW – 860kg/d Proton® PEM Electrolyser per site
- 350barg H₂ compression for decentralized dispatch to station
- Phase 1 of the 60 – 80 MW electrolysis needed
- Network will also be used for cars



CAR FUELING STATION (CANBERRA, ACT, AUSTRALIA - 2020)

1st H₂ Public Fueling Station in Australia

- Complete integrated fueling station by ENGV
- 30Nm³/h PEM electrolyser - 65kg/day ~175kW
- Installed at an existing CNG station
- 700barg refueling according to SAEJ2601 T40
- 20 Hyundai cars part of the ACT government fleet
- 700barg dispensing integrated in existing infrastructure



CASA AUTO SUFICIENTE (Brütten, ZH, Switzerland - 2016)

Casa de família CO₂ free, auto sustentável com 9 quartos

- 2Nm³/h PEM electrolyser - 4.3kg/day ~15kW
- Completely off-grid (electrical and gas)
- PV covering entire roof and façade
- Short-term (batteries)
- Long-term (H₂ for 25 days) excess energy stored
- Fuel cell provides heat and power



MICROGRID (APPLETON, WI, USA - 2018)

Nature center clean energy education facility

- 10Nm³/h PEM electrolyser - 22kg/day - 62kW
- Microgrid controller to optimize each power source
- Store energy with H₂ including:
 - Solar (200kWAC / 240kWDC)
 - Microturbine (65kW + Heat)
 - Fuel Cell (25kW)
 - Battery (100kW/7420kWh)





When Power meets Gas (PtG)

POWER TO GAS (FREIBURG, GERMANY - 2014)

“Kommunaler Energieverbund” PtG Project

- 20Nm³/h PEM electrolyser - 43kg/day ~120kW
- Long-term storage of energy by means of H₂ injection in the NG grid
- Feed H₂ into the communal distribution network
- Operation management algorithms for PtG to optimize operation of the electrolyser



METHANATION (ALLENDORF, GERMANY - 2015)

Biological Methanation Plant

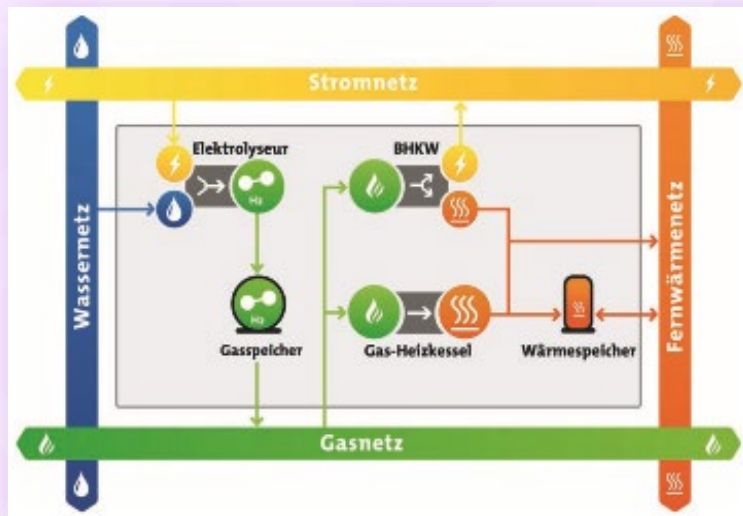
- 30Nm³/h PEM electrolyser - 65kg/day ~175kW
- Store energy producing synthetic methane
- Combines CO₂ and H₂ using microorganisms
- Upgrade biogas with H₂ (50% CH₄ 50% CO₂)
- Bio-methane injection in natural gas grid
- Decarbonization of the NG supply chain



POWER TO GAS (AARMATT, SO, SWITZERLAND – 2015)

H₂ Injetado diretamente no Grid Suiço de Gás Natural

- 2x30Nm³/h PEM electrolyser - 130kg/d ~350kW
- H₂ injected directly in the NG grid
- 180Nm³ storage at 30barg (long-term storage)
- Project extended in 2019 with methanation plant from Electrochaea (STORE&GO project)



POWER TO GAS MICROGRID (CALIFORNIA, USA - 2016)

Blending H₂ Directly in the NG Network

- 10Nm³/h PEM electrolyser - 22kg/day ~62kW
- Project with Univ. of California Irvine – SoCalGas
- Using excess power from 4MW peak campus PV
- Stores energy producing H₂
- H₂ Injected in the campus NG pipeline and burned in the campus combined cycle plant



Juntos pela descarbonização da economia!



OBRIGADO

PEDRO HENRIQUE KOOL

www.geradoresdehidrogenio.com