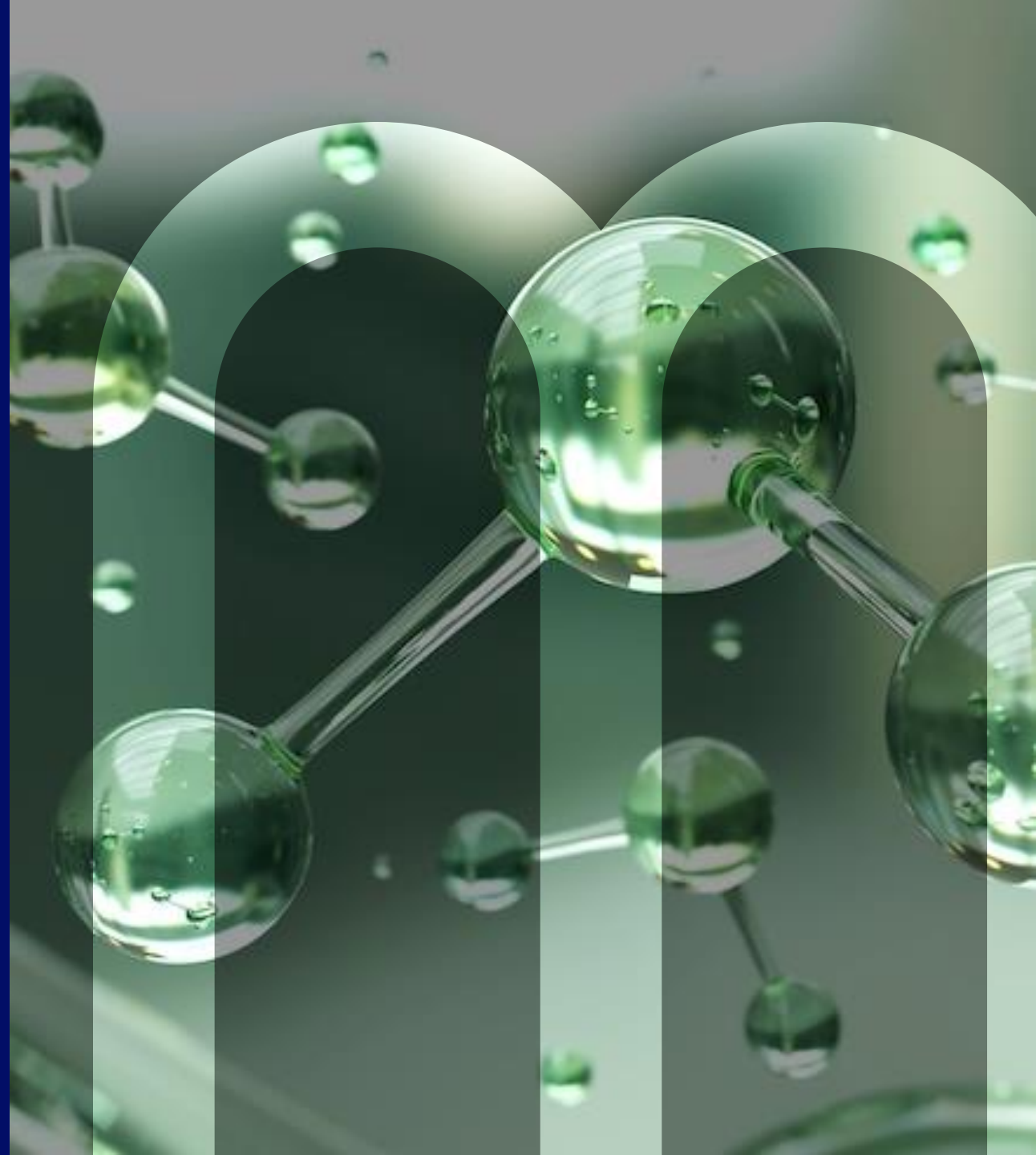


Destravando o potencial brasileiro em hidrogênio verde

Documento para discussão

Rio de Janeiro, novembro de 2023





CONTENT

Panorama do mercado global de hidrogênio

Oportunidades para o Brasil no mercado de hidrogênio

Aproveitando o rápido crescimento do mercado do hidrogênio, empresas têm a chance de se estabelecerem como líderes no processo de descarbonização global

O hidrogênio é fundamental para atingir as metas globais de descarbonização

- O cumprimento das metas de descarbonização implica no uso de matérias-primas e combustíveis limpos em setores *hard-to-abate*, como aço, fertilizantes, aviação, transporte marítimo, cimento e outros
- O hidrogênio de baixo carbono ganhou adesão global devido às suas aplicações versáteis e à sua capacidade de substituir os combustíveis fósseis onde a eletrificação não é viável
- Países que representam 80% do PIB global implementaram estratégias nacionais para promover o desenvolvimento do mercado de hidrogênio de baixo carbono – esses programas têm o objetivo promover sua expansão definindo metas de oferta e demanda, além de fornecer financiamento e incentivos. Nos EUA, o IRA oferece crédito fiscal de até 3 USD/kg

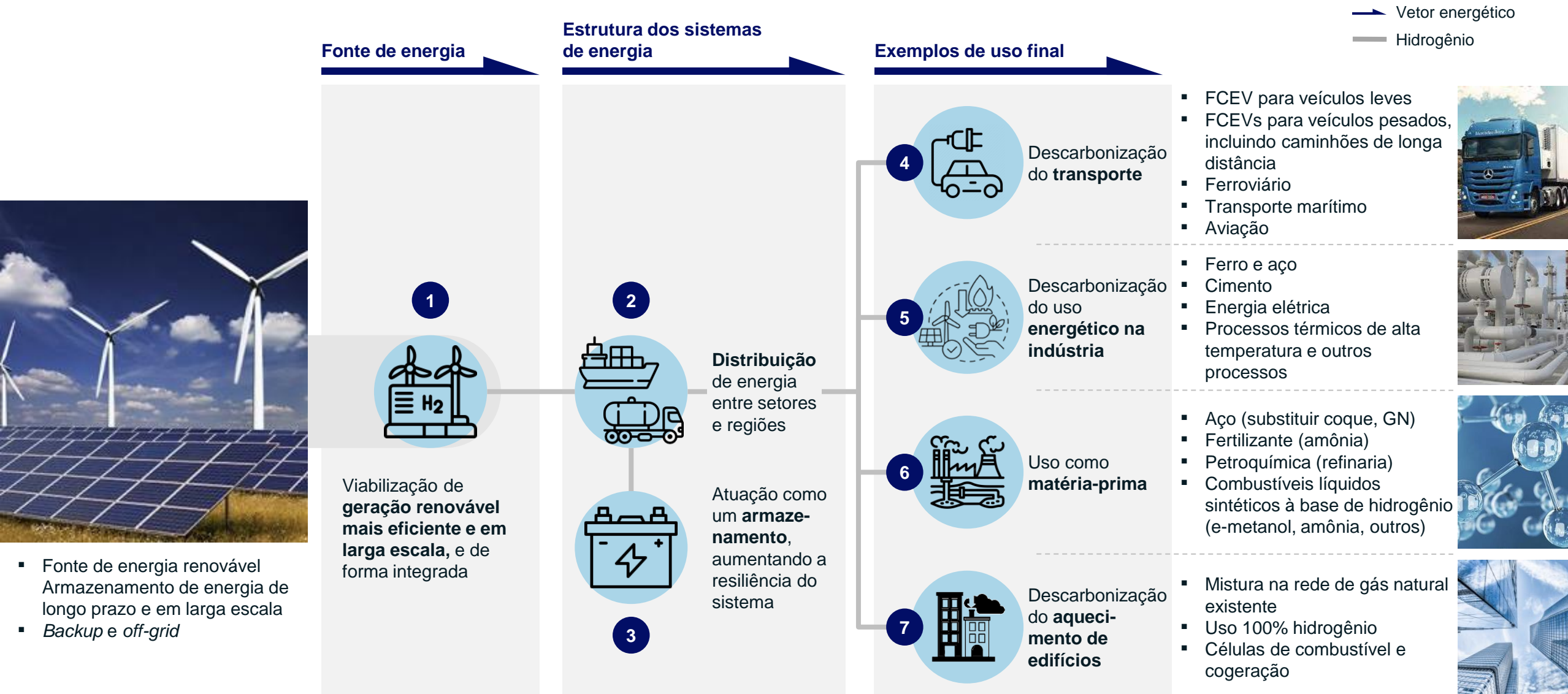
Atualmente, há um mercado em rápido crescimento com um potencial extraordinário

- Os cenários mostram que o mercado de hidrogênio de baixo carbono atingirá 225 Mt/ano até 2050 (mais do que o dobro do mercado de hidrogênio em 2020, de 88 Mt/ano), atingindo um tamanho de mercado de USD 340-450 bilhões por ano
- Os projetos estão se multiplicando pelo mundo - existem mais de 1.000 projetos de hidrogênio de baixo carbono mapeados em diferentes fases (conceitual, viabilidade, FID, construção ou operação)
- Os investimentos anunciados cresceram 53% de maio/22 a janeiro/23, atingindo um total de USD 320 bilhões potenciais, porém menos de 10% desses investimentos possuem compromisso de execução
- Os EUA e a China podem se tornar os principais centros de demanda e fornecimento de H₂ de baixo carbono, enquanto a UE, a Coreia do Sul e o Japão podem ser grandes importadores de hidrogênio de baixo carbono de regiões produtoras de baixo custo, como o Oriente Médio, o norte da África, a Austrália e a América Latina – O Brasil pode emergir como um dos principais exportadores de hidrogênio verde, devido ao seu baixo custo de energia

Agora é a oportunidade para as empresas se estabelecerem como líderes nessa indústria que emerge, apesar dos desafios

- Os principais participantes dos setores de O&G e químico estão desenvolvendo ativamente projetos para a produção de hidrogênio de baixo carbono, enquanto as principais empresas dos setores de fertilizantes e aço estão se posicionando estrategicamente como consumidores de hidrogênio de baixo carbono
- O maior desafio para o desenvolvimento do mercado de hidrogênio é se tornar competitivo em termos de custo sem subsídios, o que poderia ser alcançado já em 2030 com o hidrogênio na faixa de 1-3 USD/kg, principalmente por meio da redução do CAPEX do eletrolisador e do custo da eletricidade

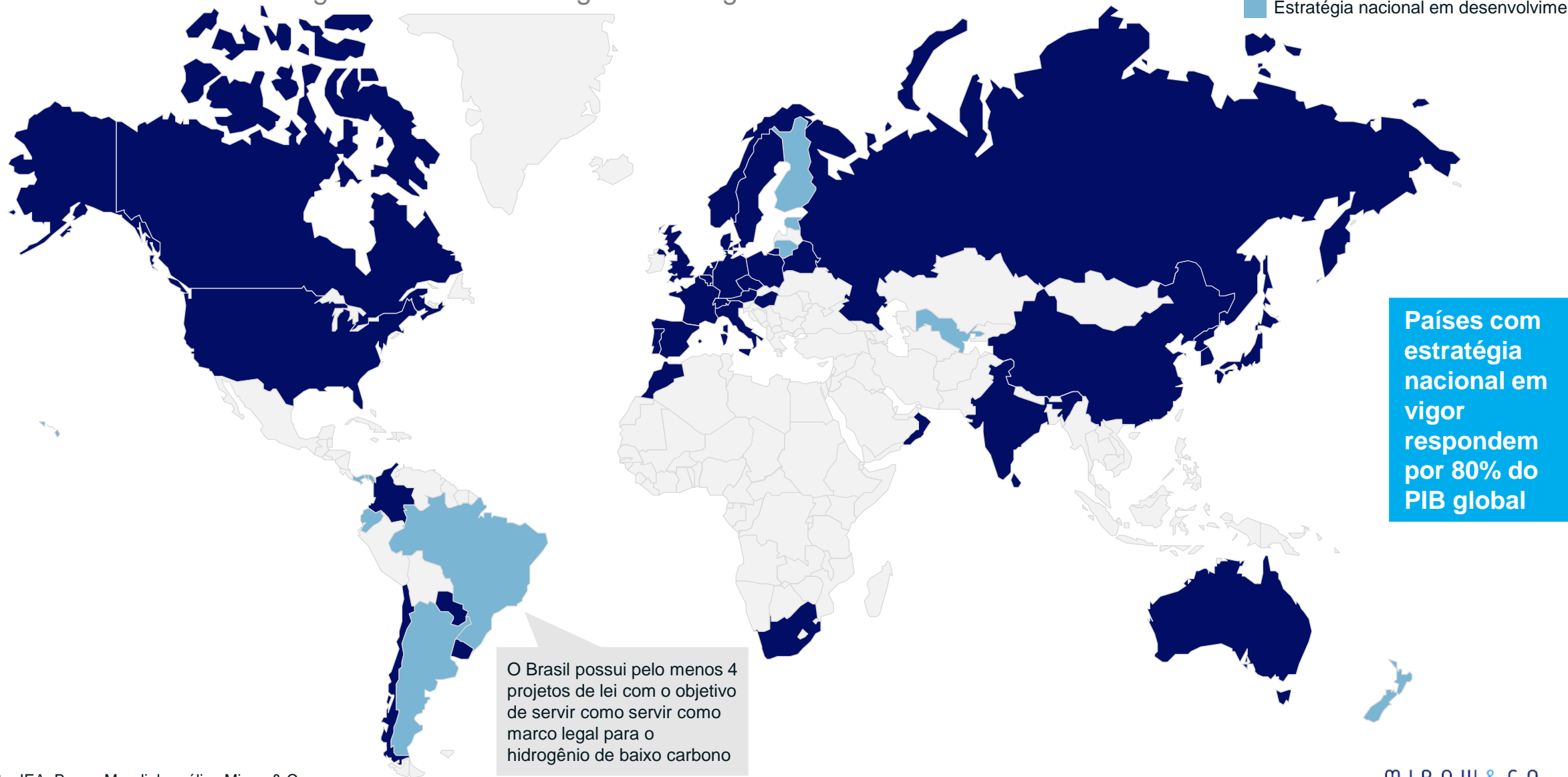
O hidrogênio pode ser utilizado para descarbonização de diversas atividades



Por essa razão, há um forte movimento global para acelerar o mercado de hidrogênio de baixo carbono...

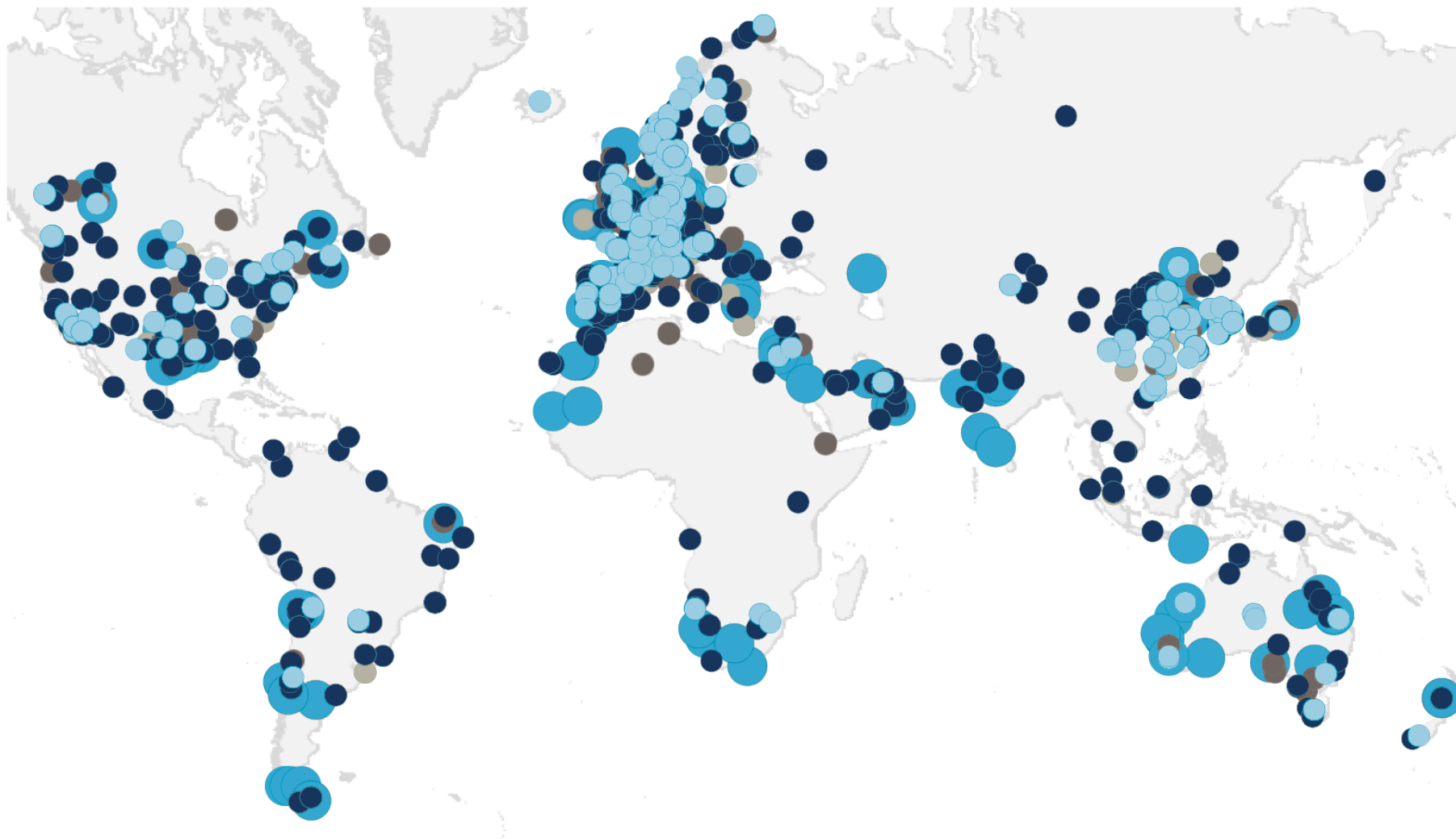
Países com uma estratégia nacional de hidrogênio em vigor ou em desenvolvimento

- Estratégia nacional em vigor
- Estratégia nacional em desenvolvimento



... que está promovendo um *boom* de projetos em todo o mundo

Quantidade de projetos de hidrogênio de baixo carbono em todo o mundo¹ em janeiro de 2023



1.046 projetos¹

684 em maio de 2022 (aumento de 53%)

112 (+80% de aumento)

Produção em escala de giga

553

Uso industrial em larga escala

191

Mobilidade

94

Economia H₂ integrada

96

Projetos de infraestrutura

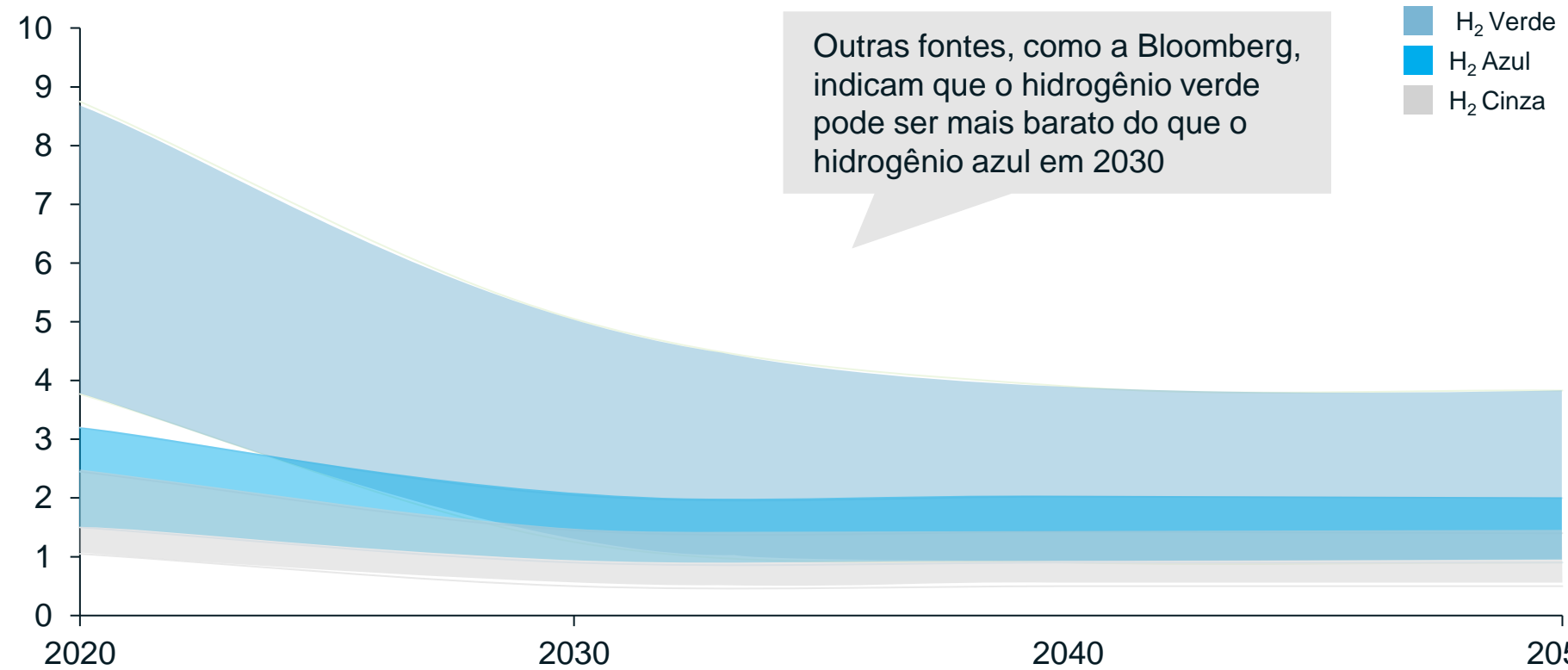
1. Foco em projetos >1MW

Fonte: Hydrogen Council, análise Mirow & Co.

O hidrogênio verde deve ganhar forte competitividade nos próximos anos, com os custos em regiões de melhor potencial caindo de US\$ 3,8 para US\$ 0,9/kg no período de 2020 a 2050

Custo nivelado da produção de hidrogênio (LCOH) por tecnologia e por ano no Cenário *Net Zero*¹

USD/kg

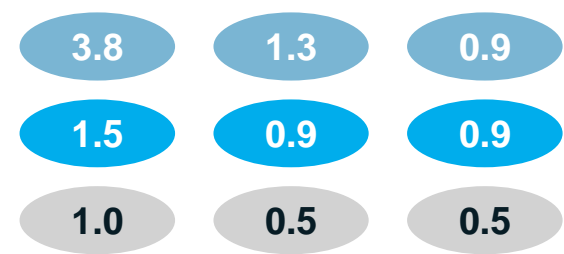


Faixa inferior de custo

USD/kg

2020 2030 2050

Espera-se que o LCOH mediano do H₂ verde caia de US\$ 6,3/kg em 2021 para US\$ 3,2/kg em 2030 e para US\$ 2,4/kg em 2050



O preço do carbono (não considerado nesta análise) poderia ter um impacto significativo na competitividade do hidrogênio cinza

1. As faixas de estimativas de custo de produção refletem as variações regionais nos custos e as condições dos recursos renováveis
 2. Fonte: IEA, análise da equipe



CONTENT

Panorama do mercado global de hidrogênio

Oportunidades para o Brasil no mercado de hidrogênio

O Brasil tem o potencial de se tornar um grande *player* de hidrogênio verde no mundo

O Brasil tem uma forte vantagem competitiva na produção de H2 devido à geração renovável de baixo custo

- O Brasil tem uma combinação favorável de fatores para produzir energia renovável de baixo custo
 - Alta qualidade e disponibilidade de recursos solares e eólicos (o Brasil está no top 10 de países em capacidade instalada)
 - Infraestrutura bem distribuída e boas condições geográficas, com mais de 175.000 quilômetros de linhas de transmissão próximas a locais de produção e potenciais regiões de consumo, além de baixo custo de terras disponíveis
- O custo da energia no Brasil está atualmente em torno de 39 USD/MWh e pode cair abaixo de 30 USD/MWh até 2030

Como resultado, o Brasil tem um dos menores custos de hidrogênio do mundo

- Com isso, o Brasil pode produzir hidrogênio verde a um custo FOB sem de impostos de 3,3 USD/kg, colocando o Brasil entre os países com os menores custos de hidrogênio do mundo
- O custo projetado até 2030 é de 1,7 USD/kg, obtido principalmente pela redução nos custos de energia, pelo capex e pela maior eficiência de eletrolisadores
- Locais promissores de produção de hidrogênio no Brasil são os portos de Pecém, Açú e Suape – entre esses, Pecém se destaca como o principal porto devido à sua menor distância da Europa e a uma ZPE que oferece benefícios fiscais

O mercado internacional deve impulsionar a demanda, uma vez que o mercado interno não parece ser significativo

- A maioria dos projetos está focada em exportações para a Europa, onde o hidrogênio brasileiro pode chegar a cerca de 3,0 USD/kg (sem impostos) em 2030
 - Outras fontes de energia e matéria-prima, como biomassa e gás natural, podem prevalecer devido aos seus custos mais baixos e à ausência de regulamentação concreta de controle de emissões para reforçar o uso do hidrogênio
 - O hidrogênio verde pode crescer em nichos de mercado, como a produção de fertilizantes, combustíveis e aço
- No longo prazo, à medida que o hidrogênio atingir a paridade de custo com outros combustíveis, ele poderá ser usado em mais aplicações, como mobilidade (caminhões e trens)

Uma estrutura regulatória robusta deve ser implantada para viabilizar os investimentos

- Uma estrutura regulatória que proporcione estabilidade ao ambiente de negócios é essencial para viabilizar os investimentos e deve incluir fatores críticos para a competitividade brasileira no mercado global de hidrogênio
 - Expandir os benefícios da ZPE para outros hub de exportação
 - Garantir os incentivos atuais de impostos, encargos e tarifas na geração renovável e aquisição de equipamentos

O Brasil combina fatores críticos que proporcionam vantagem comparativa na geração renovável de eletricidade

Critérios-chave para uma avaliação de custos de energia renovável

■ Requisito mínimo ■ Critérios principais ■ Vantagens adicionais



O Brasil atende aos principais requisitos para produzir energia renovável de baixo custo



- I Contexto político e regulatório**
 - Estabilidade mínima por ser como um país democrático e histórico do setor elétrico ✓
- II Recursos naturais**
 - Alta incidência solar na maioria das regiões ✓
 - Alto potencial de energia eólica *onshore* e *offshore*, especialmente no Nordeste ✓
- III Infraestrutura**
 - Existência de um sistema nacional interconectado ✓
 - Acesso rodoviário na maioria das regiões ✓
 - Existência de grandes portos ✓
- IV Geografia**
 - Grande extensão territorial, com terras disponíveis e de baixo custo com potencial em energia solar e eólica ✓
- V Indústria nacional**
 - Fabricação regional dos principais equipamentos de produção de energia renovável ✓
- VI Incentivos**
 - Políticas governamentais e subsídios relevantes oferecidos pelo governo direcionados à geração de energia limpa ✓

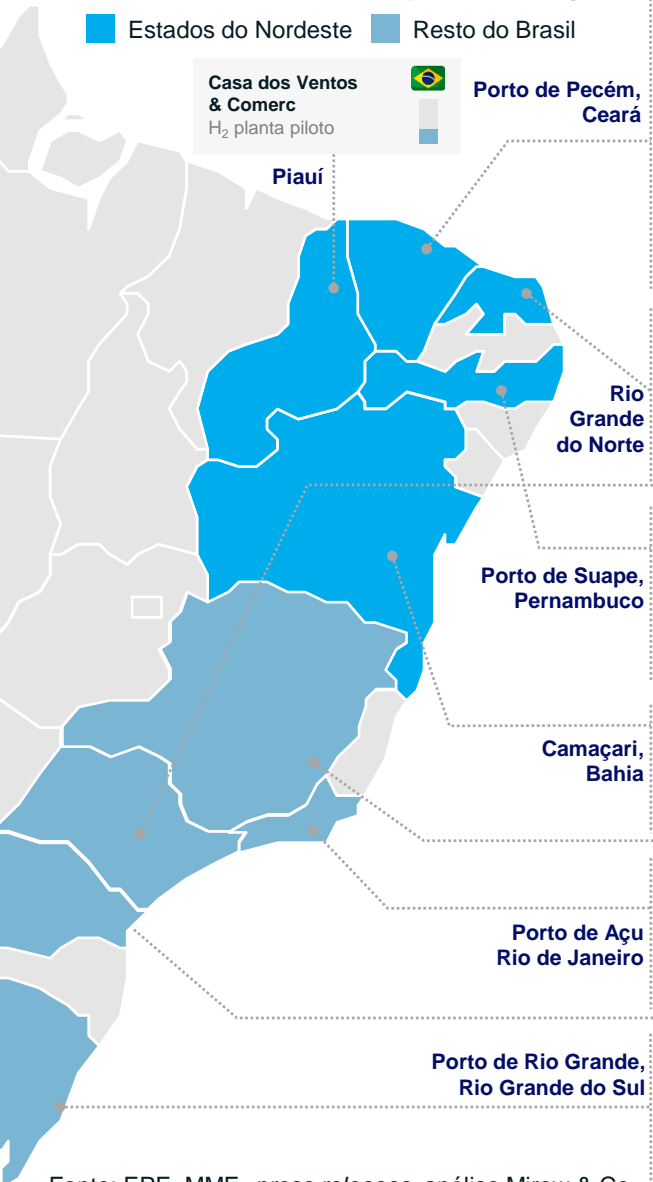
No Brasil, já há 40+ projetos anunciados, a maioria voltada para exportação

NÃO EXAUSTIVO

Fase de Projeto
 ■ Em operação ■ Estudo de viabilidade ■ Conceito

Estados brasileiros com projetos de hidrogênio

■ Estados do Nordeste ■ Resto do Brasil



Localização	Empresa	Investimento	Produção	Potência	Fase
Ceará	EDP	USD 8 Mi em investimento	200 t/ano de H2	3 MW de potência	Conceito
	Eneix Energy	USD 5.4 Bi em investimento	615.000 t/ano de H2	3,4 GW de potência	Estudo de viabilidade
Rio Grande do Norte	Qair	USD 6.95 Bi em investimento	296.000 t/ano de H2	2,2 GW de potência	Estudo de viabilidade
	Casa dos ventos & Comerc	USD 6 Bi em investimento	345.000 t/ano de H2	2,4 GW de potência	Estudo de viabilidade
Rio Grande do Sul	Enterprize Energy	Assinado memorando para usina eólica offshore e hidrogênio verde com produção de amônia			Conceito
	Internacional Energias Renováveis	US\$ 3,2 bilhões em investimentos usina eólica offshore solar e hidrogênio verde			Conceito
Bahia	Unigel	USD 1.5 Bi em investimento	100.000 t/ano de H2	240 MW de potência	Estudo de viabilidade
	CGN Brazil Energy	Usina eólica e solar de 14GW fornecerá energia para produção de H2			Estudo de viabilidade
Paraná	Engie	Assinado memorando para hidrogênio verde como parte de projeto para produzir globalmente 4 GW de hidrogênio verde até 2030			Conceito
	Linde group (White Martins)	Memorando para hidrogênio verde assinado			Conceito
Pernambuco	Linde group (White Martins)	156 t/ano de H2 verde	1,6 MW de potência		Conceito
	Qair	USD 3.8 Bi em investimento	488.000 t/ano de H2 verde	190.000 t/ano de H2 azul	1 GW de potência
Minas Gerais	Atlas Agro	USD 850 Mi em investimento	500.000 t/ano de amônia		Estudo de viabilidade
	Uberaba				Estudo de viabilidade
São Paulo	Shell	Até 39 t/ano de H2			Estudo de viabilidade
	Neoenergia/Iberdrola	Memorando para hidrogênio verde assinado			Conceito
Rio de Janeiro	Fortescue Future Industries	250.000 t/ano de amônia	300 MW de potência		Estudo de viabilidade
	Shell	Até USD 40 Mi em investimento	10 MW de potência em 2025 com expansão até 100 MW no futuro		Estudo de viabilidade
Ceará	Fortescue Future Industries	USD 6 Bi em investimento	900.000 t/ano de H2	2,1 GW de potência	Estudo de viabilidade
	Neoenergia/Iberdrola	Memorando para analisar o uso de hidrogênio verde no transporte público			Conceito
Ceará	MingYang	USD 1 Bi em investimento (estimado)			Conceito
	Eneva, Differential, Hytron	Memorando para hidrogênio verde assinado			Conceito
Ceará	AES Brasil	USD 2 Bi em investimento	240 t/ano de H2	2 GW de potência	Estudo de viabilidade
	Transhydrogen Alliance	USD 2 Bi	500.000 t/ano de H2		Estudo de viabilidade
Ceará	Linde (White Martins)	Memorando para hidrogênio verde assinado			Conceito
	Engie	Memorando para hidrogênio verde assinado			Conceito
Ceará	Neoenergia/Iberdrola	Memorando para hidrogênio verde assinado			Conceito
	CTG Brasil	Até USD 9 Mi em investimento			Conceito
Ceará	Engie	Assinado memorando para hidrogênio verde assinado			Conceito
	Neoenergia/Iberdrola	Memorando para hidrogênio verde assinado			Conceito
Ceará	Engie	Assinado memorando para hidrogênio verde assinado			Conceito
	Neoenergia/Iberdrola	Memorando para hidrogênio verde assinado			Conceito

+17 projetos com empresas de indústrias de energia e petroquímica

80%+ dos projetos anunciados estão no nordeste e 60% de todo o investimento anunciado é no Ceará

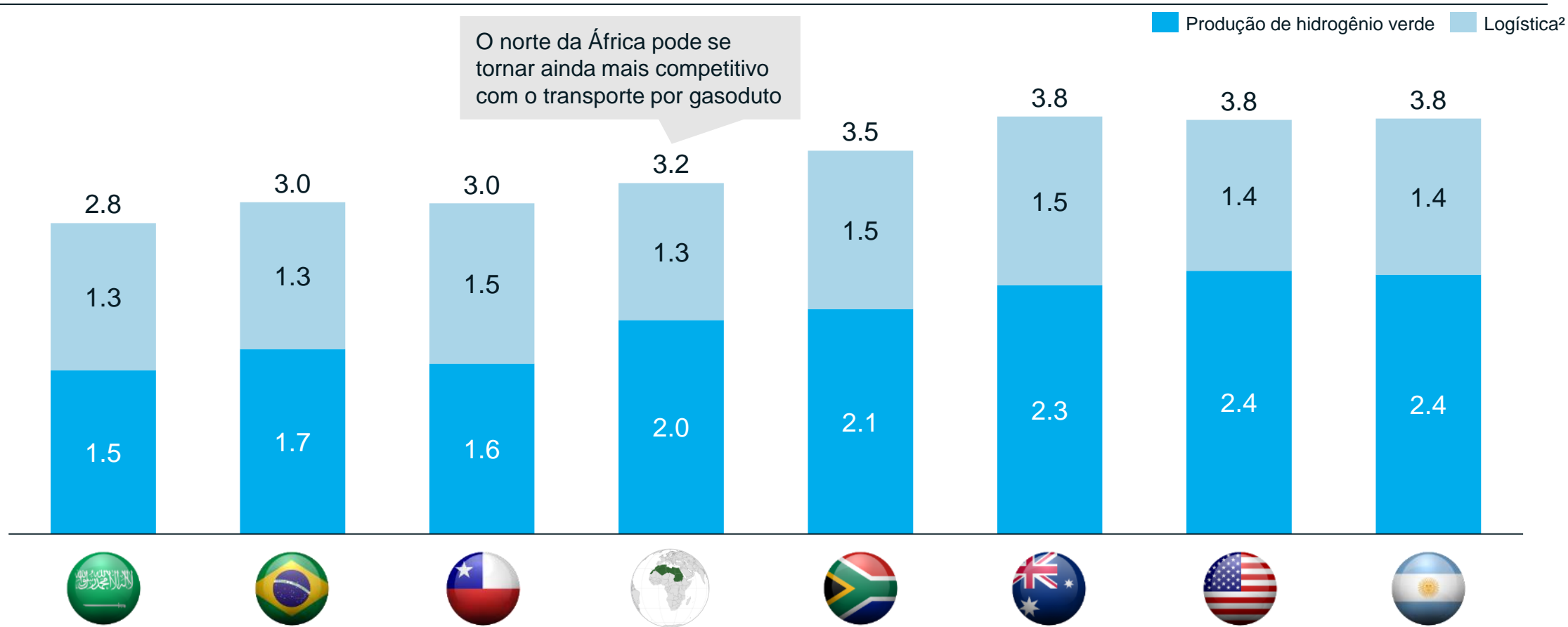
60%+ dos projetos anunciados no Brasil são lideradas por empresas de energia com o objetivo de exportação

Fonte: EPE, MME, press releases, análise Mirow & Co.

O Brasil tem o potencial de estar entre os produtores de hidrogênio mais competitivos do mundo

Custo nivelado do hidrogênio verde no porto de Roterdã, por países exportadores seleccionados, 2030¹

US\$/kgH₂



1. A fonte de dados para o Brasil é o modelo de hidrogênio da Mirow. Para outros países, foram considerados os dados da IEA sem impostos e subsídios

2. Inclui custos de conversão, armazenamento, transporte (por navio cargueiro) e reconversão usando amônia como meio de transporte

Fonte: Searoutes, IEA, Goldman Sachs, Bloomberg, modelo de hidrogênio Mirow, análise da equipe

No mercado doméstico, o uso nas indústrias de aço e fertilizantes são as aplicações mais promissoras do hidrogênio verde no Brasil

		Racional para aplicação de H2 verde	Probabilidade de adoção	Tempo estimado para atingir o breakeven	Insights de off-takers
Indústria	Aço	<ul style="list-style-type: none"> Siderúrgicas no Brasil podem aplicar hidrogênio de baixo custo para produzir e exportar aço verde 	Provável	Longo prazo (+10 anos)	<p>"O custo do hidrogênio verde ainda é muito alto e, embora estejamos vendo interesse em fertilizantes verdes, nenhum cliente fez um compromisso real de comprá-lo. À medida que o custo do hidrogênio diminui nos próximos anos, estaremos interessados em converter para hidrogênio verde porque é uma fonte mais limpa do que o biometano." Produtor de fertilizantes</p>
	Fertilizante	<ul style="list-style-type: none"> O Brasil pode produzir fertilizantes verdes para a agricultura 	Provável	Médio prazo (5-10 anos)	
	Refino	<ul style="list-style-type: none"> Substituição do hidrogênio cinza atualmente utilizado nos processos de hidrotreamento e hidrocrackeamento em refino 	Possível	Médio prazo (5-10 anos)	
	Geração de energia	<ul style="list-style-type: none"> A matriz energética brasileira já é altamente limpa e outras fontes de energia devem ser prioritárias (eólica, solar) Gás natural também pode ganhar relevância 	Muito improvável	Longo prazo (+10 anos)	
Mobilidade	Caminhões	<p>Caminhões e trens de longa distância são difíceis de eletrificar devido a baterias caras e limitação de oferta de biocombustíveis</p>	Possível	Curto prazo (até 5 anos)	<p>"Produzir um veículo movido a hidrogênio hoje custa aproximadamente três vezes mais do que um veículo a diesel. Diante dos desafios atuais, acreditamos mais no uso de hidrogênio verde em motores a combustão do que em células de combustível. Mesmo assim, seria adequado para casos de uso muito específicos, como rotas rodoviárias de longa distância com alta demanda, particularmente para veículos pesados." OEM</p>
	Trens		Possível	Curto prazo (até 5 anos)	
	Carros	<ul style="list-style-type: none"> Os carros elétricos são provavelmente a principal tecnologia para a descarbonização, juntamente com o etanol usado atualmente 	Improvável	Médio prazo (5-10 anos)	<p>"Embora nossa empresa não tenha pressão financeira para se tornar verde, temos nossa própria meta de descarbonização e faremos a transição energética assim que o hidrogênio atingir um custo competitivo." Mineradora</p>
	Navios	<ul style="list-style-type: none"> Necessária viabilidade técnica e baixo breakeven Maior potencial está no uso de e-combustíveis (por exemplo, SAF, e-metanol) 	Muito improvável	Longo prazo (+10 anos)	
	Aviões		Muito improvável	Longo prazo (+10 anos)	

Além do uso direto nesses setores, o hidrogênio verde também pode ser usado para produzir e-combustíveis

M I R O W & C O.