



O Hidrogênio Verde como novo protagonista energético

Ana Carolina Católico

Luiza Masseno

Maurício Moszkowicz

GESEL – Linha de Pesquisa H2



Políticas Públicas e Financiamentos

Produção

Armazenamento e Transporte

Uso Final

Tecnologia e Inovação

Eventos

Artigos e Estudos

Publicações semanais



Sumário

Introdução.....	4
Cenário Brasileiro.....	5
Cenário Internacional.....	11
Projetos de Hidrogênio.....	11
Políticas Públicas e Financiamentos.....	17
Uso Final.....	23
Tecnologia e Inovação.....	27
Artigos e Estudos.....	29
Considerações Finais.....	32

Publicações trimestrais

GESEL – Linha de Pesquisa H2

Produção acadêmica

Perspectivas da Economia do Hidrogênio no Setor Energético Brasileiro

Nivalde de Castro
Sergio Braga
Sayonara Elzário
Maurício Moszkowicz
Edvardo Serra
Ana Carolina Chaves
Adely Bragança
Florian Pradelle
Caroline Chantre
Rodrigo Campello
Vinicius Botelho

TDSE
Texto de Discussão do Setor Elétrico
Nº 100
Junho de 2021
Rio de Janeiro

Hydrogen economy development in Brazil: An analysis of stakeholders' perception

Caroline Chantre^{1,2,3}, Sayonara Andrade Elzário^{4,5}, Florian Pradelle⁶, Ana Carolina Católin⁷, Adely Maria Bragança Dos Santos⁸, Edvardo Tunes Serra⁹, Rodrigo Campello Tucumbava⁴, Vinicius Botelho Pimenta Cantarim⁴, Sergio Leal Braga⁴

ARTICLE INFO

Received: 1 May 2021
Revised: 16 August 2021
Accepted: 22 August 2021
Available online: 22 August 2021

ABSTRACT

The aim of this article is to analyze stakeholders' expectations, perceptions, and expectations in Brazilian hydrogen economy development. This is an essential input to define efficient public policies and strategy and coordinate stakeholders in order to the hydrogen chain value. In order to understand the vision of the main stakeholders of the Brazilian hydrogen economy, a literature and documental analysis, complemented by interviews and questionnaire-based surveys with 22 experts of five categories (companies, governmental entities, research centers, associations, and universities) were performed. The results showed that, in the long-term vision, interviewees highlighted decarbonization as a key strategic advantage for hydrogen economy development in Brazil. Interviewees affirmed that, as Brazil already has a high share of renewable energy in its electricity mix and potential renewable power capacity additions, production of competitive low-cost green hydrogen is possible. On the other hand, the potential of low-carbon hydrogen production from local fuels combined with carbon capture utilization and storage (CCUS) is still a limited technology in the country. Nevertheless, Brazil needs to address challenges such as scaling up, cost reduction, and adoption and sustainable growth of hydrogen-based technologies. It is expected that the interviewees' findings that a well-established Brazilian hydrogen economy would become reality in medium term (between 5 and 10 years). Expectations for green hydrogen were highlighted in the energy, mobility, and industrial sectors. Meanwhile, a strong difference can be observed among the different categories about the maturity of hydrogen in the national context. While government entities believe in the medium term (5–10 years), companies believe that industrial and economic industry will be reached in the long term (more than 10 years). In addition, economic, technical, normative, and social factors were identified. The results show that Brazilian government needs to create a long-term policy framework that could build up confidence, support innovation, create market demand with policy interventions, develop standards, and regulations to remove obstacles for the market growth and provide reduced R&D support. If the current initiatives are driven by the interaction with large players, a progress oriented in the synergy with Brazilian energy sector and long-term energy planning is recommended. In terms of R&D, the creation of specific funding programs can be considered a strong tool to support scientific study and qualify the industry in the setting through the development of all key solutions to develop the market of hydrogen commercialization.

© 2022 Institution of Chemical Engineers. Published by Elsevier Ltd. All rights reserved.

Curso Hidrogênio e Transição Energética

+ 13 eventos realizados desde abril de 2021

INTERNATIONAL WEBINAR "HYDROGEN ECONOMY: PERSPECTIVES AND POTENTIALS"

16 dez. 2021 - 9h (Brasília)
13h CET | 12h UTC

COORDINATOR: Maurício Moszkowicz (GESEL)

MODERATOR: Paulo Carlo Dos Reis (GESEL)

SPEAKERS: Barbara Jinks (IRENA), Pablo Raton (IRENA)

WEBINAR INTERNACIONAL "TECNOLOGIA E CENTROS DE EXCELÊNCIA DE HIDROGÊNIO EM PORTUGAL E BRASIL"

12|01
11h30 (Brasília) - 14h30 (Lisboa)

COORDENADOR: Nivalde de Castro (GESEL-UFRJ)

MODERADORA: Theresa Aquino (GESEL-UFRJ)

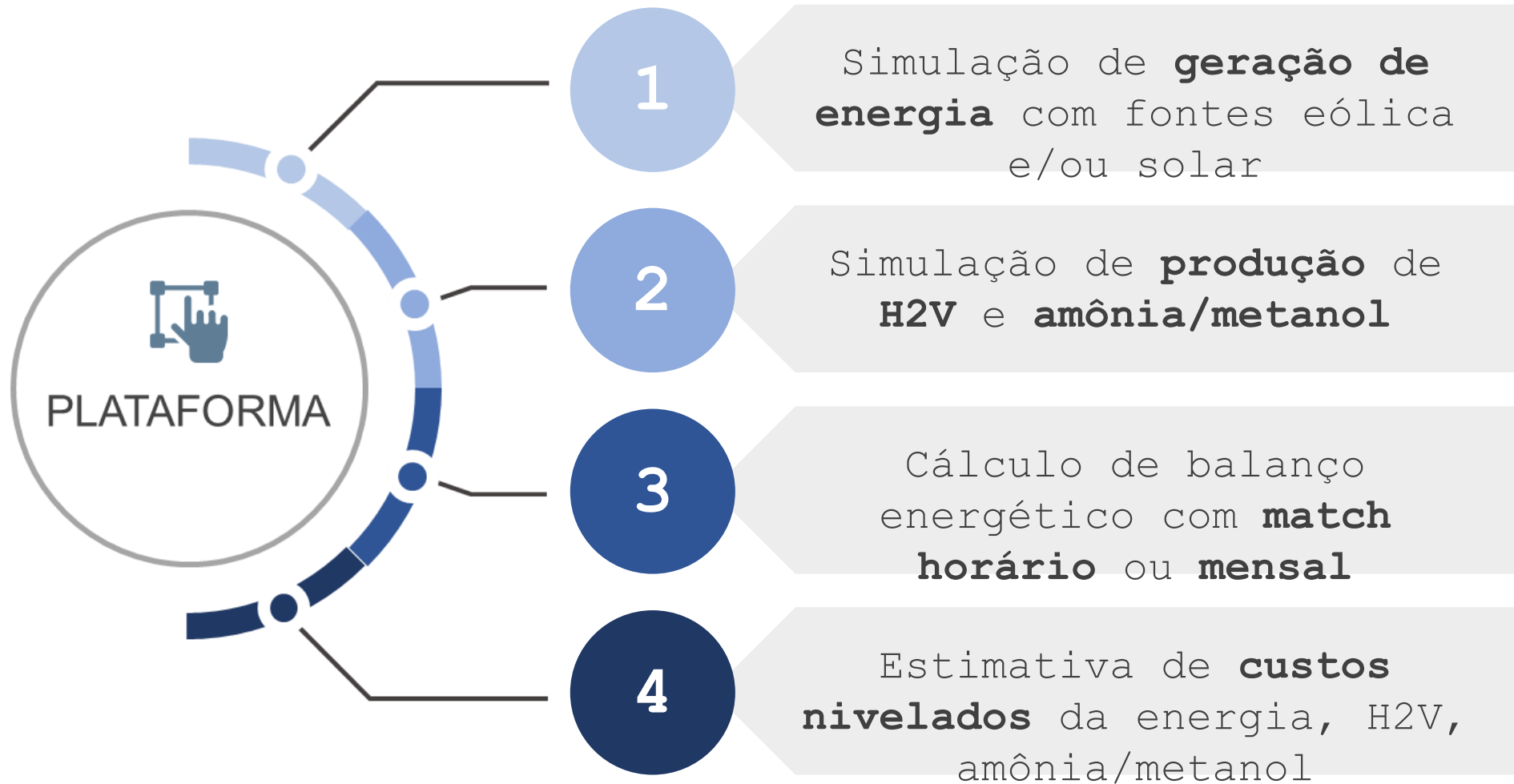
PALESTRANTES: Miguel Patena (ESEP - Portugal), Mano de Sousa e Silva (R&D Mentor), João Luis Gonçalves de Almeida (CIMATEC/USP)

+ 30 artigos de opinião publicados desde novembro de 2020



PLATAFORMA H2GLAB

Princípio Básico



PLATAFORMA H2GLAB

Princípio Básico

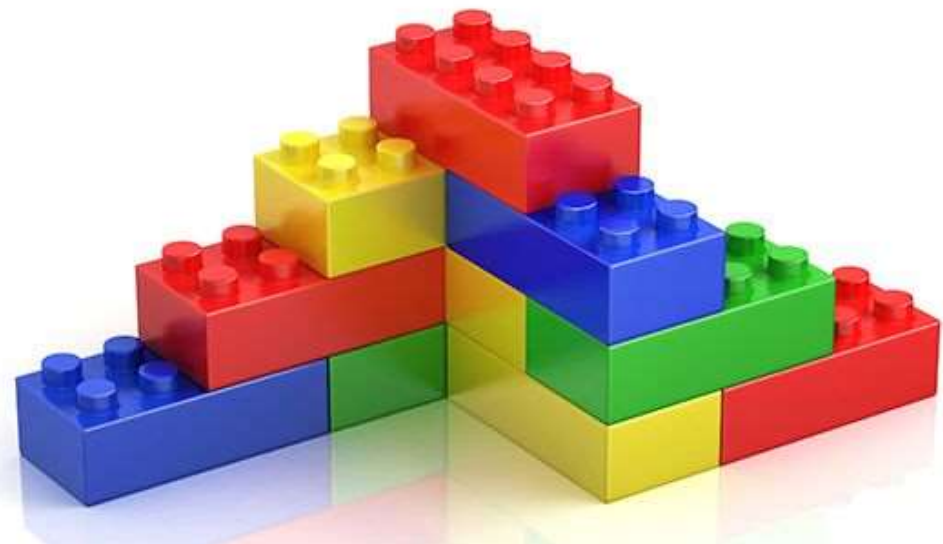
Blocos principais:

- Energia
- Técnico-operacional: H2V, amônia, metanol
- Financiamento



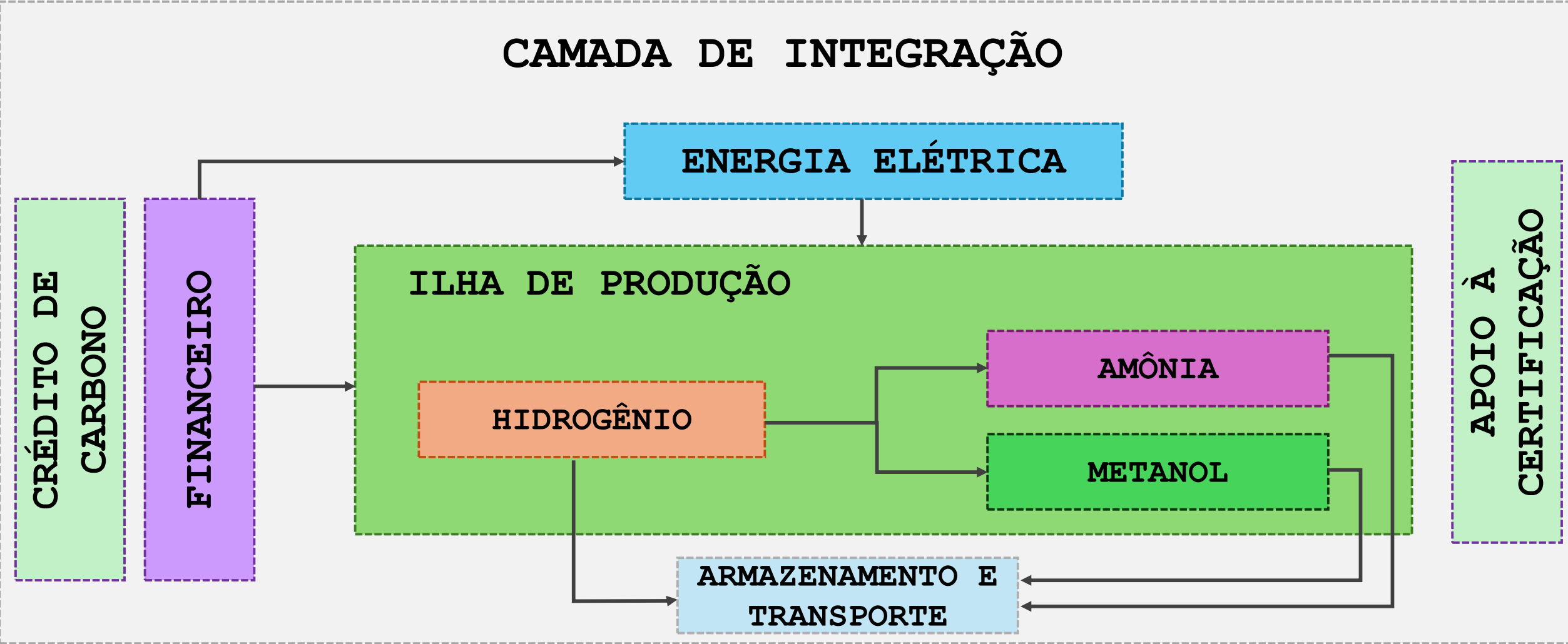
Empreendimento, compreendendo a utilização de **múltiplas peças** de cada tipo para implementar o **modelo desejado**, desde a produção da energia até a entrega do **H2 e de amônia/metanol**.

Incorporação futura de créditos de carbono e apoio à certificação.



PLATAFORMA H2GLAB

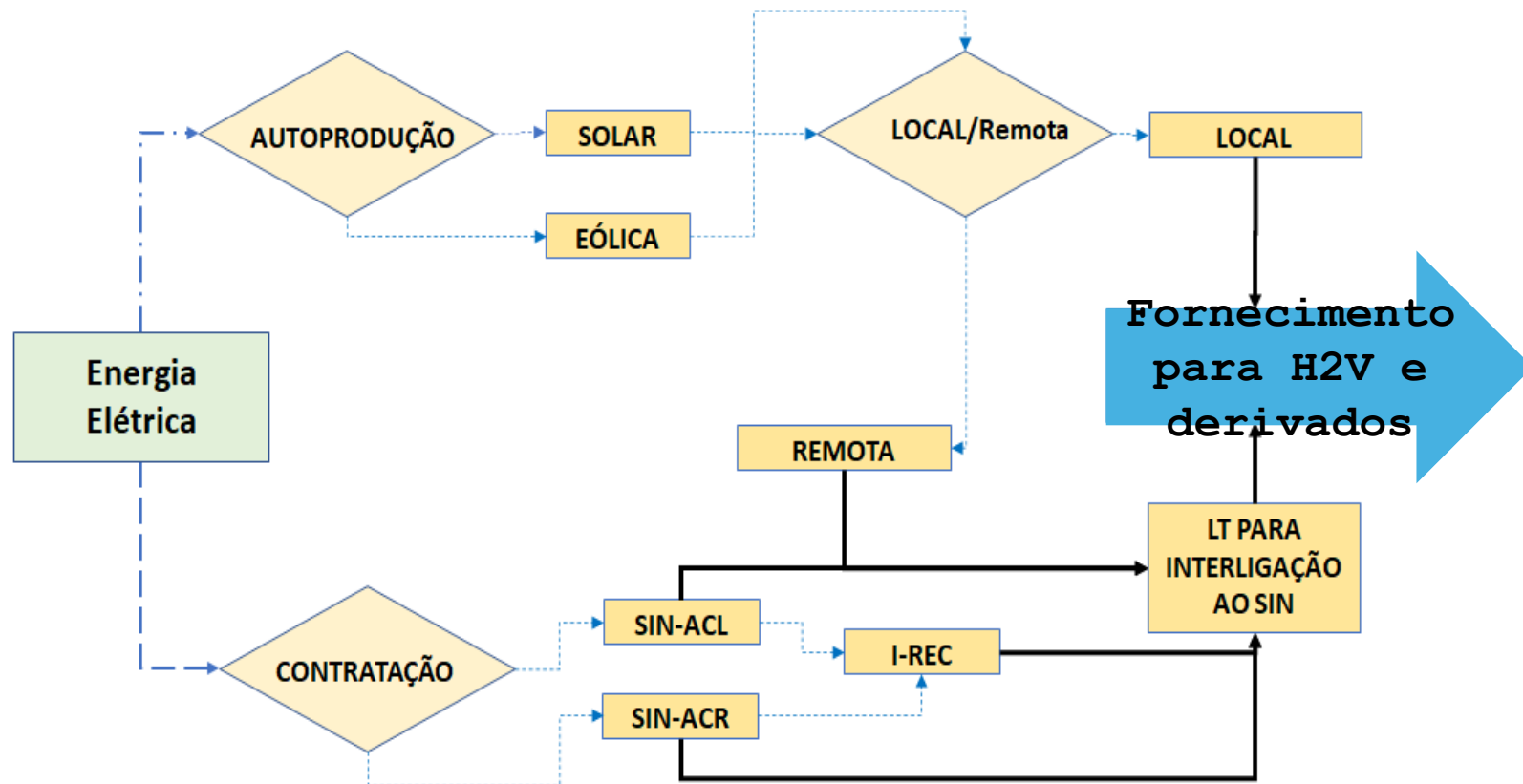
Arquitetura e integração



PLATAFORMA H2GLAB

BLOCO DE ENERGIA

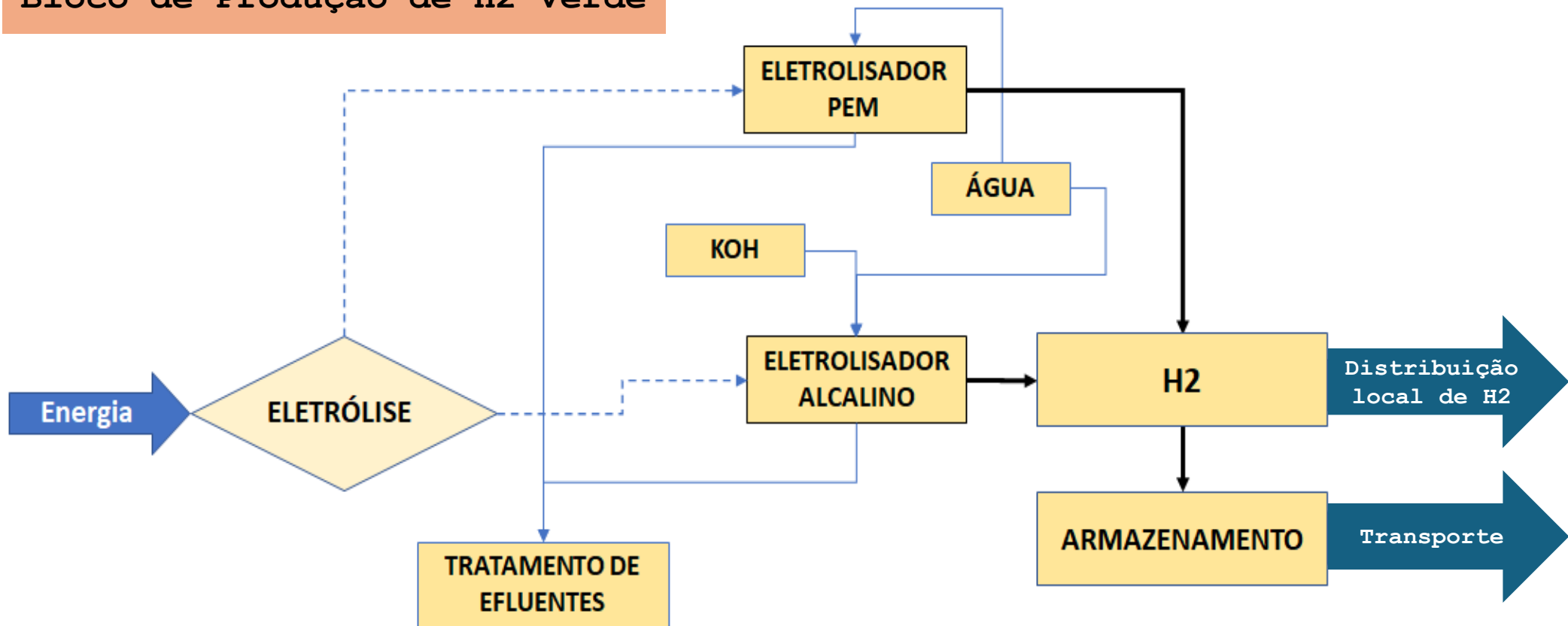
ENERGIA



PLATAFORMA H2GLAB

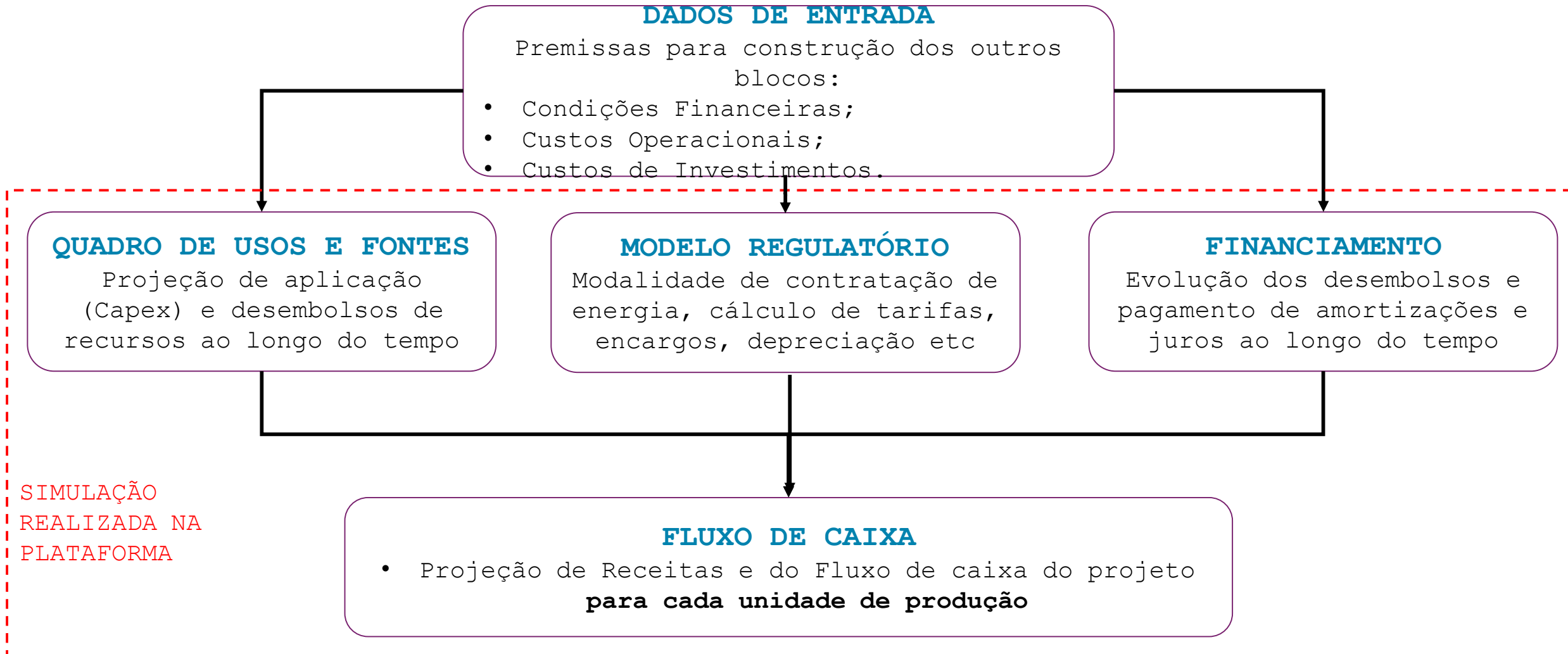
Bloco de Hidrogênio

Bloco de Produção de H2 Verde



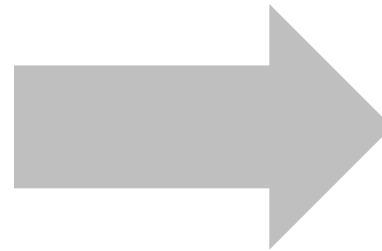
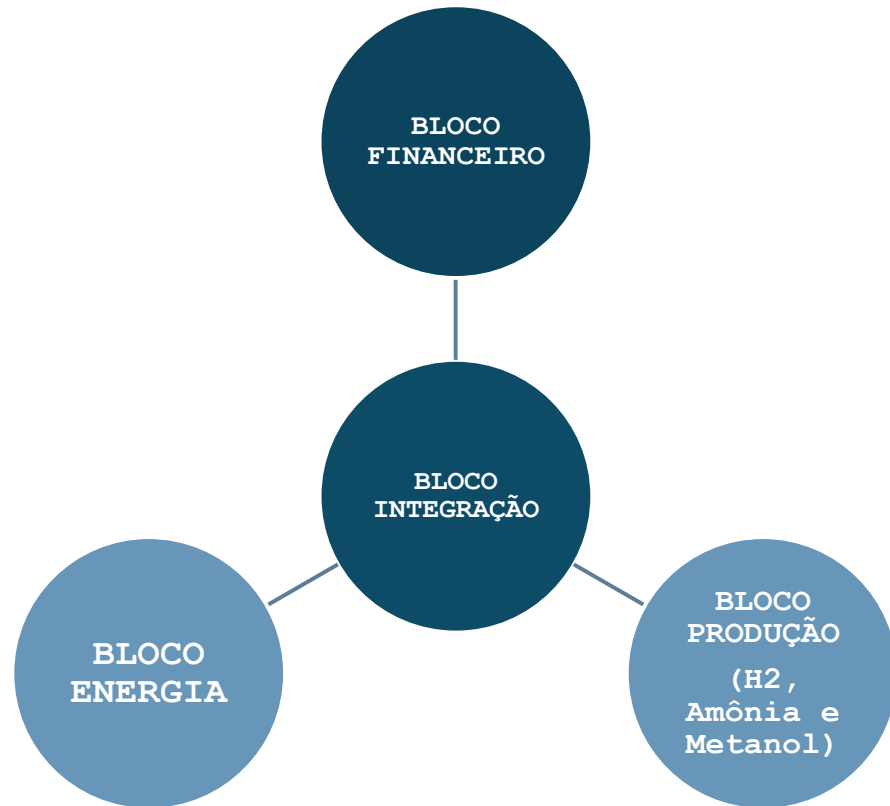
Bloco Financeiro

A análise financeira é realizada através de quatro blocos que se integram



Bloco de Integração

Arquitetura



DADOS DE SAÍDA

- Cálculo de parâmetros financeiros (TIR, VPL, ICSD, *Payback*)
- Custos Nivelados de Produção (H2V, Amônia e Metanol)

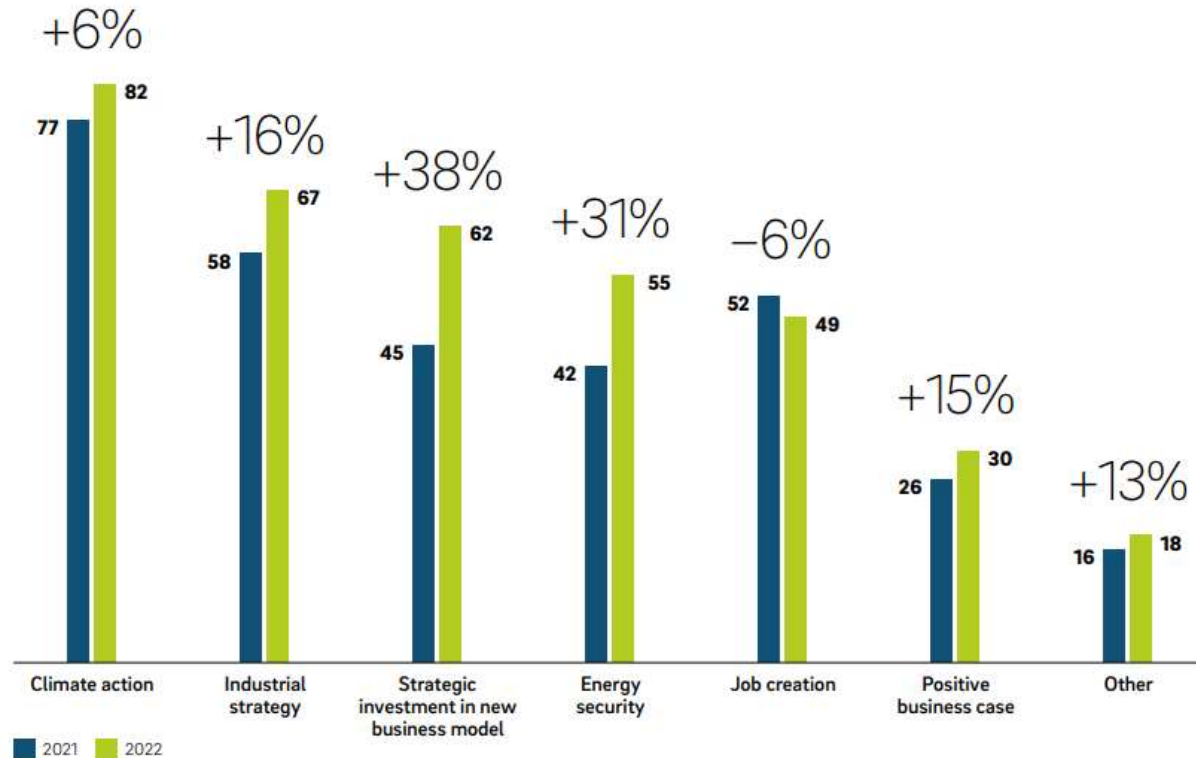


1

Drivers para o Hidrogênio

F: Underlying drivers for valley development

Question: "What are the main drivers for your project?"¹



Source: Clean Hydrogen JU, Roland Berger

1) Multiple answers possible (n₂₀₂₁=31, n₂₀₂₂=87)

Ação climática e a política industrial continuam a ser os motivadores gerais predominantes para promover os Vales do Hidrogênio;

Conflitos e incertezas geopolíticas também sublinharam a necessidade de diversificação e resiliência nas cadeias de abastecimento de energia;

Como resultado, 55% dos desenvolvedores agora veem a **segurança energética** como um projeto principal impulsionador e uma prioridade máxima, em comparação com 42 % em 2021.

A Plataforma Mission Innovation Hydrogen Valley coletou três anos de dados do projeto até o momento.

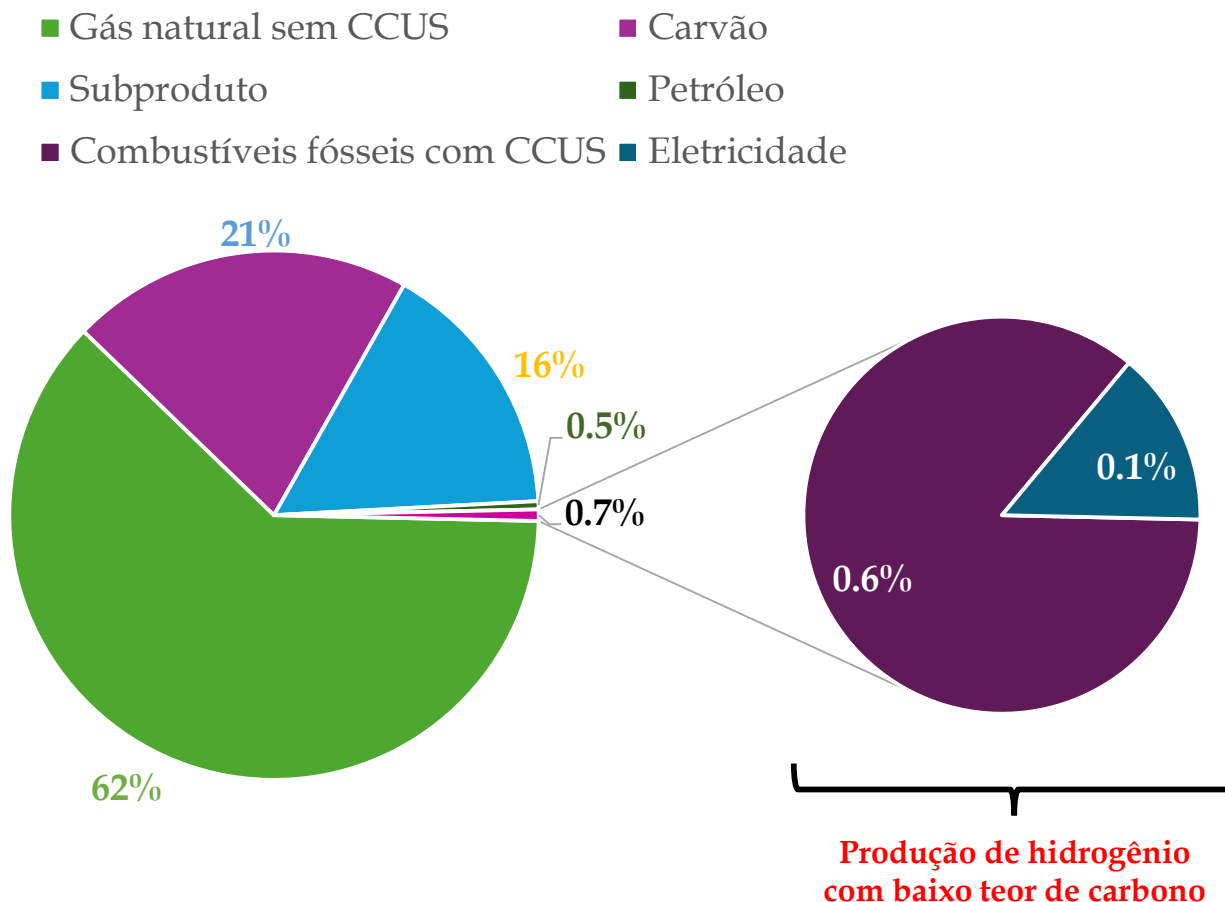
2

Produção

O consumo de H₂ pode ser estimado em 95 MM ton/ano.

Mais de **95%** da produção é de **hidrogênio fóssil (com emissões de CO₂)**;

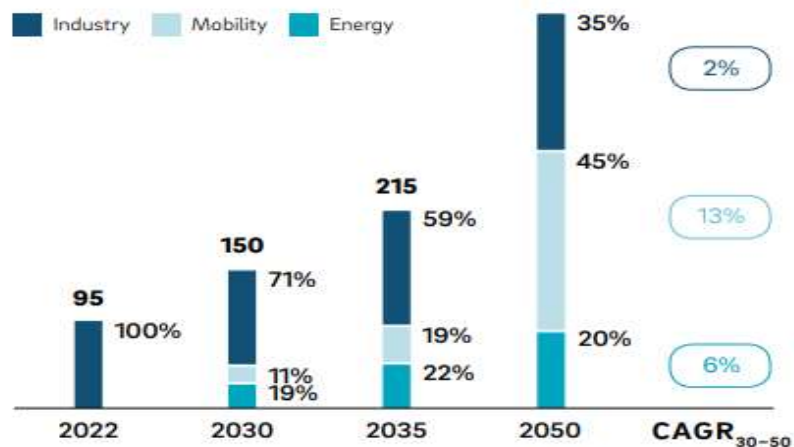
- Cerca de **91%** da produção de H₂ é *onsite*;
- **16%** o H₂ é subproduto de processos;
- A produção do H₂ com uso de carvão é feita principalmente na China



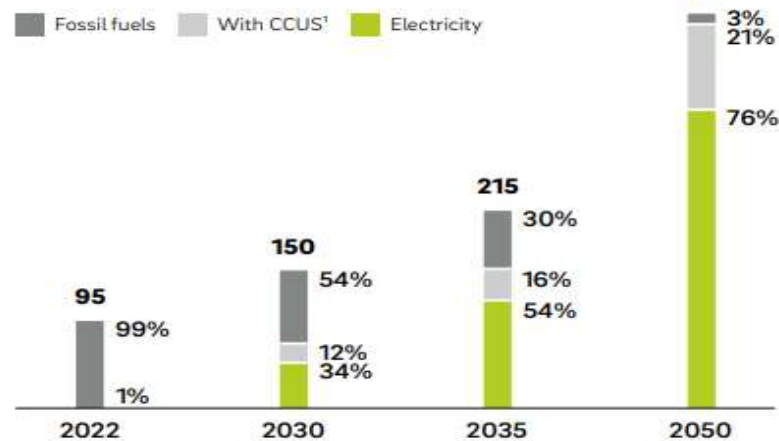
3

Principais usos H2

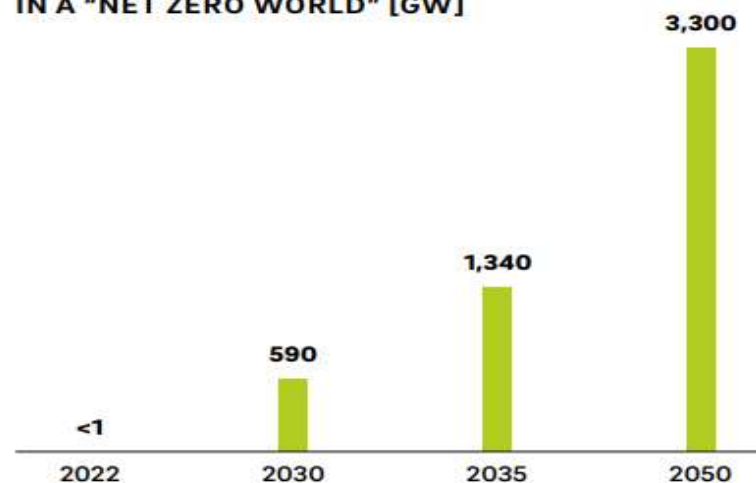
GLOBAL HYDROGEN DEMAND IN A "NET ZERO WORLD" [Mt]



GLOBAL HYDROGEN SUPPLY IN A "NET ZERO WORLD" [Mt]



REQUIRED ELECTROLYSER CAPACITY IN A "NET ZERO WORLD" [GW]



Source: IFA

¹ Carbon Capture, Utilisation and Storage

3

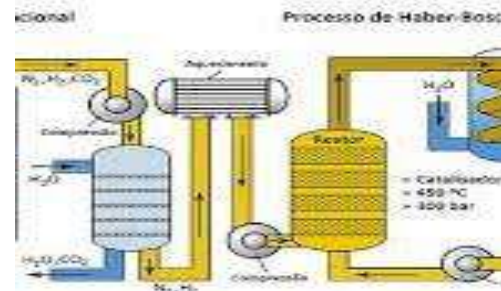
Principais usos H2

Refino



Industrial

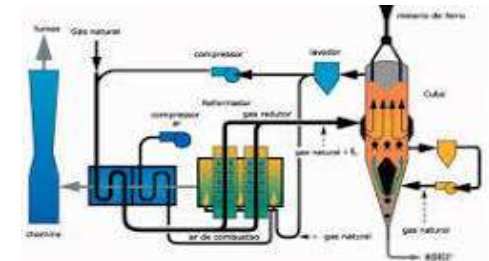
Amônia



Metanol



DRI



Transportes

Navios



Laura Maersk primeiro porta contêiner do mundo movido a metanol. Navio batizado em 14 de Setembro 2023 em Copenhague.



<https://www.h2stations.org/>

Edificações



Geração de Energia

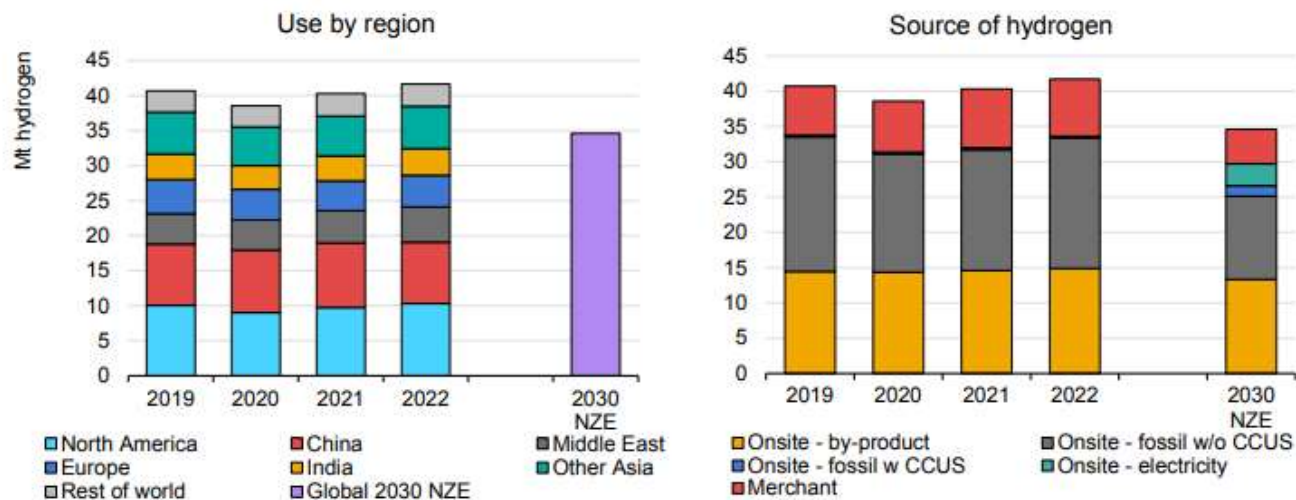


3

Principais usos H2 - Refino

Do total de 95Mt de H2 utilizado em 2023, 41Mt foram utilizado na área de refino, sendo:

- 80% produzidos nas plantas de refino
 - 55% produzido por plantas dedicadas
 - 35% por subprodutos de diferentes processos (craqueamento de Nafta);
- 1% de H2 de baixo carbono;
- 20% suprido por H2 Merchant.



IEA. CC BY 4.0.

Notes: NZE = Net Zero Emissions by 2050 Scenario. Fossil w/o CCUS = fossil fuels without carbon capture, utilisation and storage; Fossil w CCUS = fossil fuels with carbon capture, utilisation and storage. Onsite refers to the production of hydrogen inside refineries, including dedicated captive production and as a by-product of catalytic reformers.

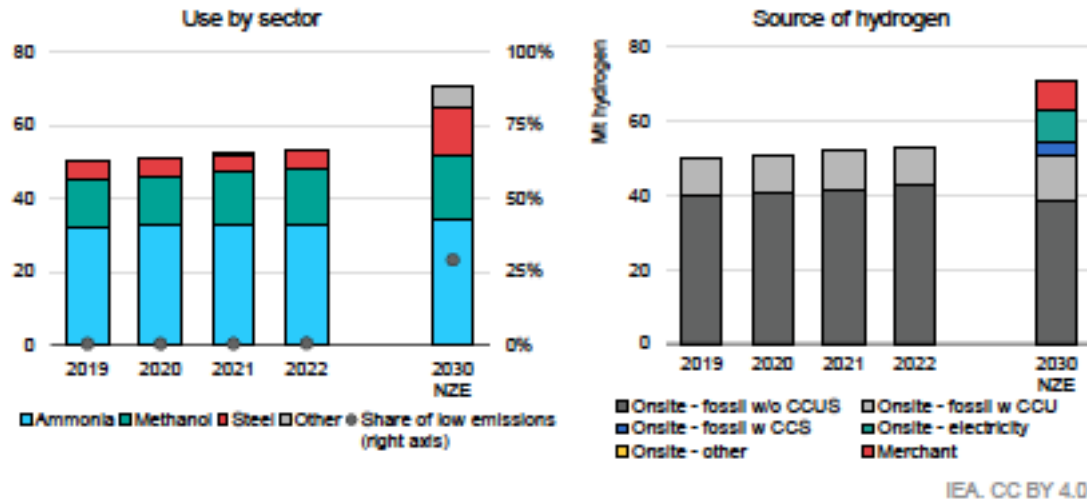
- No cenário de NZE, a quantidade de H2 decresce em 2030 dos atuais 41Mt/ano para 35Mt/ano, fruto da **redução do consumo de produtos do refino**.
- O uso de H2 de baixo carbono em refino é uma grande **oportunidade para estimular a demanda, pois não envolve mudanças de processo**.
- Principais obstáculos: **custo e ausência de políticas de estímulo** ao uso de H2 de baixo carbono e de penalização das emissões.

3

Principais usos H2 - Indústria

Do total de 95Mt de H2 utilizado em 2023, 53Mt foram utilizado pela indústria, sendo:

- 60% para a produção de amônia;
- 30% para a produção de metanol;
- 10% para a produção de DRI (*Direct Reduction Iron*).



IEA. CC BY 4.0.

Notes: DRI = Direct Reduced Iron; Fossil w/ CCS = fossil fuels with carbon capture and storage; Fossil w/ CCU = fossil fuels with carbon capture and use; Fossil w/o CCUS = fossil fuels without carbon capture, utilisation and storage; NZE = Net Zero Emissions by 2050 Scenario. Ammonia and methanol exclude fuel applications. 'Other' includes dedicated hydrogen production for high-temperature heat applications.

Sources: IEA analysis based on data from [International Fertilizer Association](#), [World Steel Association](#) and [Wood Mackenzie](#).

- No cenário de NZE a quantidade de H2 cresce em 2030 dos atuais 53 Mt/ano para 70Mt/ano.
- Para atender aos requisitos de emissão do cenário NZE um terço do H2 utilizado deverá ser de baixo carbono.
- A produção de H2 de baixo carbono em aplicações industriais é de aproximadamente 285kt/ano, sendo 90% utilizando CCUS.
- Vários projetos estão anunciados alcançando 3 Mt/ano: 1,3 Mt/ano de CCUS e 1,8Mt/ano de eletrolise.

4

Mercado Potencial para o Brasil

Exportação: O Brasil tem potencial para ser competitivo e competir por parte dos mercados de importação dos EUA e da UE, capturando de US\$ 1 a 2 bilhões até 2030. Até 2040, as exportações podem chegar a US\$ 4-6 bilhões, ou 2-4 milhões de toneladas de hidrogênio verde.

O mercado interno é a maior oportunidade para o Brasil. Até 2040, pode chegar a US\$ 10-12 bilhões (7-9 milhões de toneladas), impulsionado principalmente por caminhões (~3 milhões de toneladas), aço verde (~2 milhões de toneladas) e outros usos de energia industrial (~1 milhão de toneladas).

5 Potenciais usos no Brasil

Siderurgia e Metalurgia

1º

Maior produtor de aço da América Latina

9º

Produtor no mundo

10 estados

Produção de aço. Maior concentração em Minas Gerais, Rio de Janeiro e Espírito Santo.

51 milhões de ton/ano
Capacidade instalada

12 grupos empresariais

90% da produção é realizada por apenas 6 empresas: ArcelorMittal, Gerdau, Ternium, Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), Usiminas e Companhia Siderúrgica do Pecém (CSP).

O H₂V pode ser utilizado para:

Substituir o gás natural como matéria-prima no processo DRI em combinação com o EAF.
Cerca de 25% do aço produzido no Brasil é produzido pelo processo EAF.

O H₂ também pode ser utilizado na produção de ferro briquetado a quente (HBI).

5

Potenciais usos no Brasil

Indústria de Cimento

6º

Maior produtor e consumidor de cimento do mundo

93

Plantas de produção, distribuídas por todas as regiões do país *.

O H₂V pode ser utilizado para:

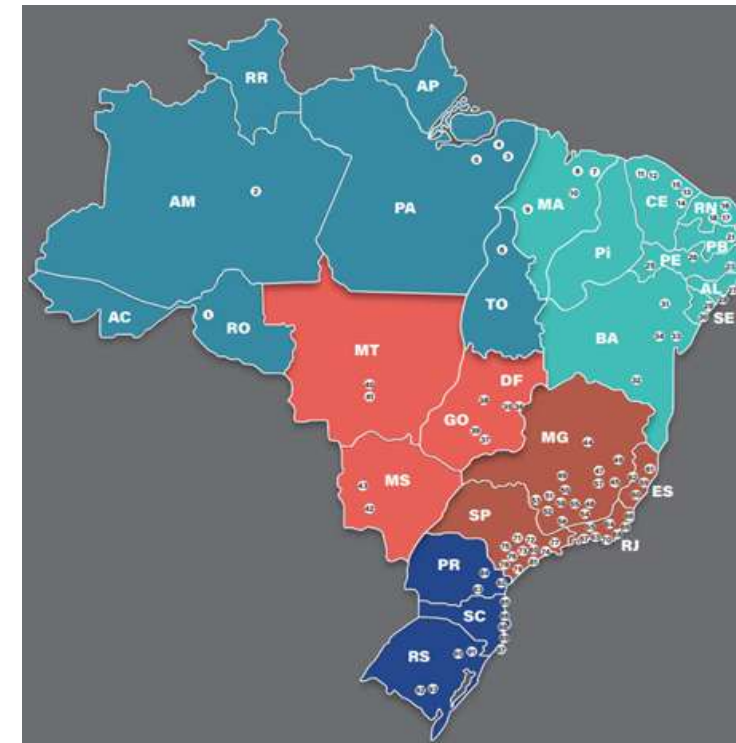
Combustível para processos de alta temperatura

2º

Maior produtor e consumidor de cimento das Américas
94 milhões de toneladas por ano.

* Concentrado em regiões costeiras devido ao maior mercado consumidor.

Fábricas de cimento no Brasil



Entre os grupos industriais do setor, destacam-se Votorantim, Mizu, CSN e Intercement.

5 Potenciais usos no Brasil

Mercado de Amônia no Brasil

4^o

Maior consumidor mundial

8%

Participação do Brasil no consumo global de fertilizantes

~80%

Demanda do país é atendida por importações

- **Exportação**

Em 2023, a UE importou cerca de 4,8 milhões de toneladas de amônia pura (anhídrida) e 13 mil toneladas de amônia em solução aquosa.

O Governo do Estado do Ceará firmou uma parceria com o Porto de Roterdã para criar um corredor de H₂V entre o Porto do Pecém e Roterdã, com o objetivo de viabilizar a exportação por meio da amônia.

Plano Nacional de Fertilizantes 2050

Aumentar a capacidade nacional de fertilizantes nitrogenados

2030: 2,4 milhões de toneladas por ano

2050: 3,2 milhões de toneladas anualmente

Plano para adicionar 5% em massa de amônia verde equivalente por ano a partir de 2027, com o objetivo de alcançar 20% em 2030.

5

Potenciais usos no Brasil

Mercado de Amônia e Metanol no Brasil

A Petrobras foi mais uma vez a maior produtora de amônia e ureia no Brasil.

No entanto, em 2018, a empresa iniciou um processo de hibernação e arrendamento de suas fábricas de fertilizantes nitrogenados.

- **A produção de metanol tornou-se insignificante** desde 2016, com a maior parte sendo importada.
- **O consumo de metanol** no país é destinado principalmente à **produção de formaldeído (35%) e biodiesel (27%)**.
- O metanol utilizado na produção de biodiesel foi consumido principalmente nas Regiões Sul e Centro-Oeste..

Impacto na Balança Comercial

A importação de amônia e metanol representa mais de US\$ 1 bilhão por ano em saída de moeda estrangeira, impactando a balança comercial brasileira.

Potencial de Produção Local

Forte potencial para substituir as importações de amônia e metanol por produção local, apresentando uma oportunidade para o desenvolvimento da indústria de hidrogênio renovável.

6

Chamada Estratégica de P&D

Chamada Estratégica de H2 Diretrizes

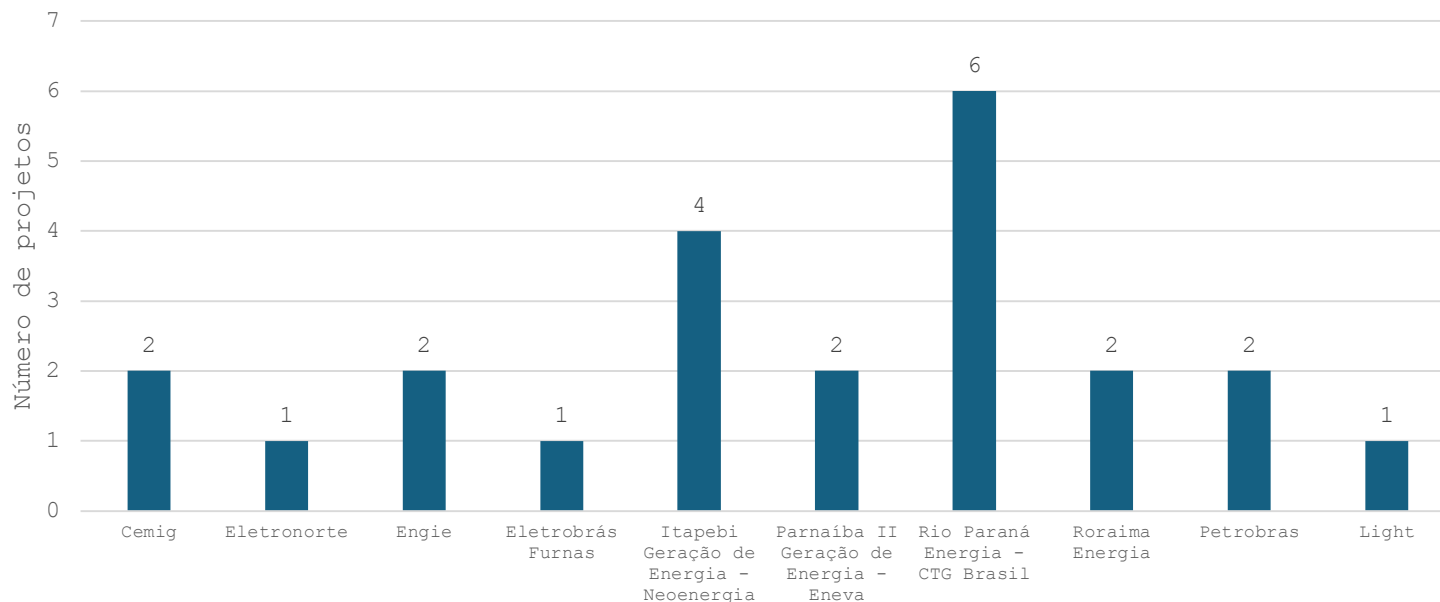
-  *Estudo dos impactos no Setor Elétrico e Externalidades*
-  *Identificar as oportunidades para o Setor Elétrico Brasileiro no âmbito da produção de H₂*
-  *Proposição de melhorias regulatórias*
-  *Desenvolvimento de tecnologia e soluções nacionais*
-  *Criação de redes de inovação em Hidrogênio*
-  *Criação de novas oportunidades de negócios*

- Implantação de sistema de produção de Hidrogênio utilizando a eletricidade oriunda das seguintes fontes: hidráulica, solar, eólica, biomassa, nuclear, geotérmica, marinha e/ou termelétrica com captura, armazenamento e utilização de carbono

6

Chamada Estratégica de P&D

Projetos selecionados para avaliação na Chamada Estratégica da ANEEL.



- 23 Projetos → 19 (modalidade de planta piloto) 1 – Planta de 10 MW
- Os projetos em análise envolvem investimentos de R\$2,7 bilhões, representando o maior volume já investido em uma chamada para projetos estratégicos.
- As iniciativas foram propostas por 10 empresas, 40 cooperativas, 33 entidades executoras e 23 instituições parceiras em todo o país.

- Parcerias em projetos do mercado doméstico serão essenciais para reduzir riscos comerciais, adquirir conhecimento e know-how e aprimorar a capacidade financeira dos projetos;
- Indústrias de gases industriais como parceiras estratégicas na adoção do modelo de comercialização, aproveitando sua expertise e portfólio de clients;
- Projetos no local e brownfield – reduzindo custos de transporte e construção para novas infraestruturas.

7

Oportunidades para o Brasil

Grande disponibilidade de recursos naturais, como energia eólica, solar e biomassa, para a produção de H2V

O custo de energia representa de 70% a 80% do custo de produção do H2V e o Brasil apresenta um dos custos mais baixos

Potencial de geração renovável é diferencial, considerando critério de adicionalidade

Ampla rede de transmissão de energia elétrica, que conecta grande parte do território brasileiro

Infraestrutura robusta, incluindo logística e portos

Potencial de internalização na economia os efeitos positivos que o H2 trará (cadeia de valor)

Potencial para exportar derivados de H2 para países com menor potencial para produção do H2V

Descarbonização do setor industrial de difícil eletrificação

Potencial imediato para o uso do H2 em indústrias

Vantagens competitivas a partir do desenvolvimento de mecanismos de taxaço de carbono

Capital humano cada vez mais qualificado

Amplo acesso a financiamento e histórico positivo de implantação de grandes projetos de infraestrutura

OBRIGADO!

