



# O potencial de deep techs em Hidrogênio Verde no Brasil

Uma análise do cenário de desenvolvimento e principais rotas tecnológicas no país

# Sumário

07    **CAPÍTULO 01**  
O cenário de desenvolvimento tecnológico  
em Hidrogênio Verde no Brasil

10    **CAPÍTULO 02**  
Análise da produção científica e  
tecnológica em Hidrogênio Verde

32    **CAPÍTULO 03**  
Relacionamento entre a ciência  
e o mercado

35    **CAPÍTULO 04**  
Considerações finais

41    **CAPÍTULO 05**  
Metodologia do estudo

# Sumário Executivo

Um dos maiores desafios globais de sustentabilidade é a transição da matriz energética para fontes renováveis, em especial a criação de alternativas às fontes de origem fóssil. Uma das alternativas de maior potencial é viabilizar a produção e utilização de Hidrogênio Verde (H2V) para diversas finalidades. O H2V vem ganhando força nos últimos anos e atraindo atores de todas as esferas e em diversos países: governos, fundos de investimentos (em especial Venture Capital), startups, grandes companhias, cientistas e universidades.

## A matriz energética renovável do Brasil

Nesse contexto, o Brasil aparece como um dos países com grande potencial para o desenvolvimento de tecnologias de H2V, tanto por possuir sua matriz energética com um perfil de fontes renováveis diverso e em percentual muito superior ao restante do mundo. Há também o destaque para a movimentação que o Brasil tem realizado para viabilizar a produção de hidrogênio verde e possibilitar sua aplicação em diversos setores, como elétrico, químico, agrônomo, entre outros. Em termos de incentivo, foram mapeados investimentos e chamadas públicas que somam 12 projetos e US\$ 28 bilhões, concentrados principalmente nos estados do Ceará, Rio de Janeiro, Pernambuco, São Paulo, Piauí e Espírito Santo.

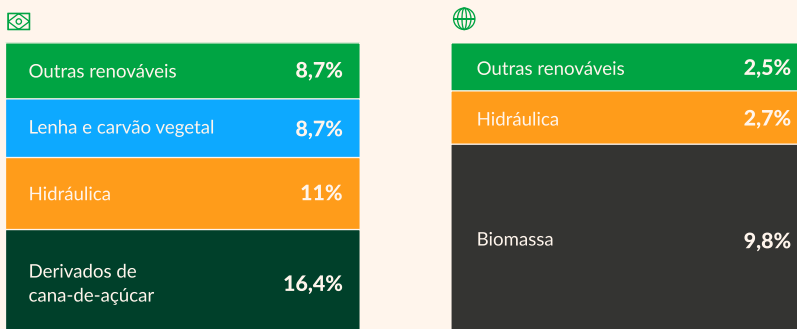
GRÁFICO 01

**A matriz energética brasileira possui um perfil muito diferente do restante do mundo, sendo 44,8% das fontes renováveis, com destaque para o uso em bioetanol e geração a partir de hidroelétricas.**

- Matriz energética do Brasil
- Matriz energética global

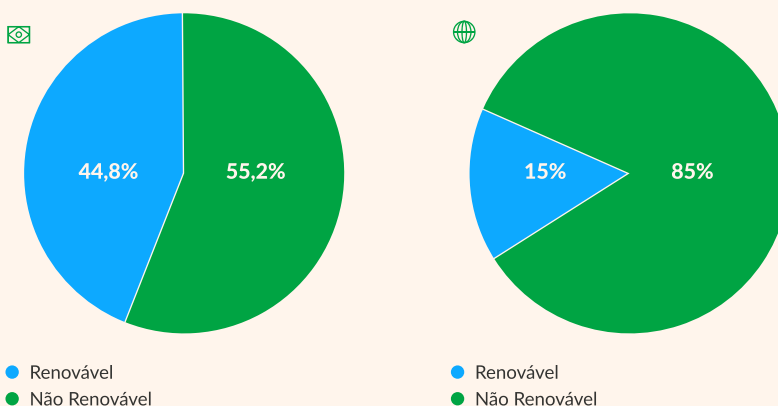
FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEL

Fonte: EPE, 2020



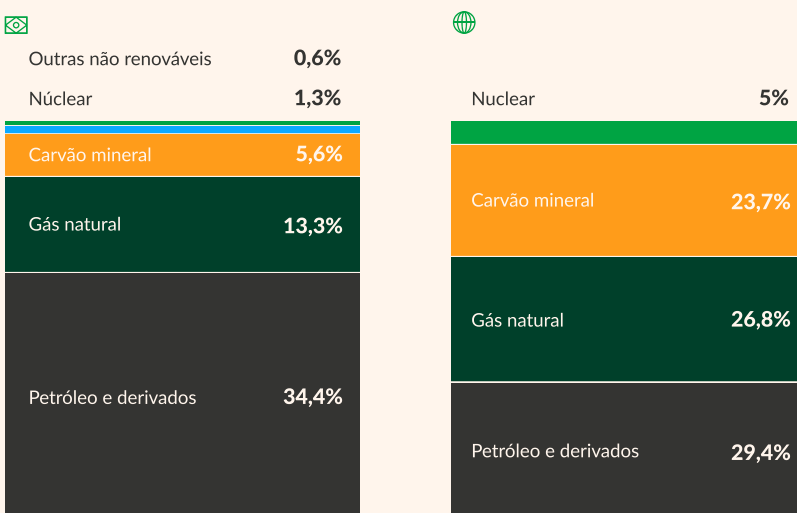
COMPOSIÇÃO DA MATRIZ ENERGÉTICA

Fonte: EPE, 2020



FONTES DE ENERGIA NÃO RENOVÁVEL

Fonte: EPE, 2020



## Produção científica e depósito de patentes crescente

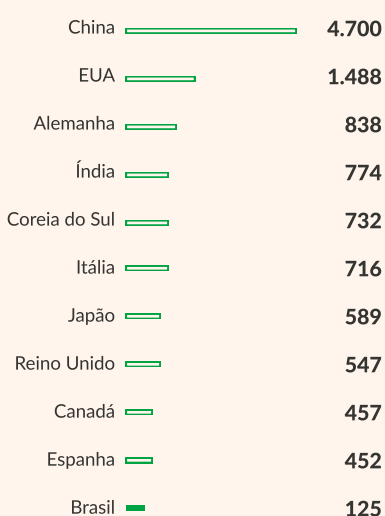
A produção de conhecimento em centros de pesquisa e laboratórios vem em uma crescente no seu volume entre 2020 e 2022 no Brasil. Ainda que o país não esteja no ranking dos 10 países com maior volume de publicações em hidrogênio verde entre 2012 e 2022, seu posicionamento atual está em 29ª lugar, com expressiva representatividade entre os países da América Latina.

Destacam-se as universidades federais do Rio Grande do Sul, Minas Gerais e Bahia, além das estaduais de São Paulo:

USP, UNESP e UNICAMP. Quando comparado ao cenário de publicações, o volume de patentes depositadas no Brasil é cerca de **70 vezes maior** e com a maioria de seus depositantes sendo **multinacionais de energia e petróleo**, indicando um grande interesse do setor no H2V. Em número de patentes depositadas, o Brasil encontra-se na 14ª posição no ranking global, sendo superior a posição do ranking de publicações. Todavia, não é possível relacionar diretamente as patentes depositadas às descobertas científicas realizadas no país, uma vez que é possível depósito de patentes em diferentes países e/ou bancos referentes a uma mesma tecnologia produzida em outra geografia.

GRÁFICO 02

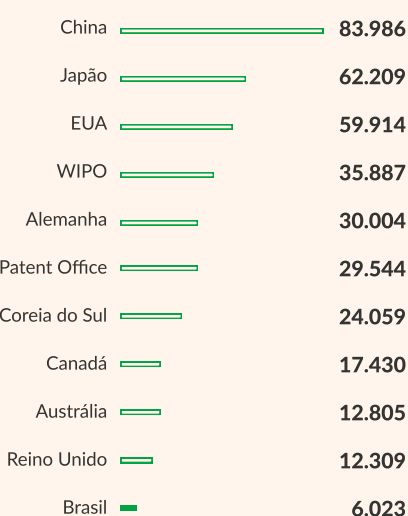
### Volume de publicações sobre hidrogênio verde por país ou organização



Fonte: Principais bases globais de publicação científica - Busca Emerge

GRÁFICO 03

### Volume de patentes sobre hidrogênio verde por país ou organização



Fonte: Patbase - Busca Emerge

## O perfil das tecnologias mapeadas no Brasil e suas oportunidades

Durante o estudo, 260 cientistas brasileiros que possuíam linhas de pesquisa em hidrogênio verde foram contatados, sendo mapeadas 45 tecnologias em diferentes frentes de produção e aplicação.

Essas tecnologias encontram-se majoritariamente em fase de desenvolvimento, sendo 56% advindas de laboratórios das universidades que apresentaram o maior número de publicações. Além disso, a maioria das tecnologias concentra-se nos aspectos de produção, transformação e aplicação final do hidrogênio verde, não tendo números expressivos quanto ao armazenamento e transporte para esse mapeamento, o que indica um aspecto relevante sobre a caminhada tecnológica do Brasil.

Em relação ao nível de maturidade das tecnologias mapeadas, **55% das tecnologias encontram-se em fase inicial de desenvol-**

**vimento de pesquisa (TRL de 1 a 3), 36% encontra-se em fase de prototipação (TRL 4 e 5) e 9% encontra-se em fase inicial de aplicação (6 e 7). Nenhuma das tecnologias mapeadas está em fase de regulamentação ou comercial (8 e 9), evidenciando, evidenciando a necessidade de suporte e direcionamento de mercado, bem como um avanço no desenvolvimento técnico a partir dos resultados em escala laboratorial.**

Deve-se destacar também que elas não apresentam estratégias definidas de proteção da propriedade intelectual, evidenciando uma oportunidade de construir essa rota em conjunto com o mercado.

Dessa forma, o desenvolvimento de hidrogênio verde no Brasil apresenta boas oportunidades, unindo incentivos e financiamento governamental; a vocação natural da matriz energética brasileira; o desenvolvimento de conhecimento e tecnologias nos centros de pesquisa do país; e a mobilização do capital privado e das indústrias.

# Prefácio

O presente relatório reúne os principais resultados do estudo realizado pela Emerge sobre o cenário nacional de pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I) em hidrogênio verde.

Por meio de levantamentos bibliográficos, entrevistas e mapeamento de tecnologias, buscou-se traçar um panorama sobre as iniciativas científicas e tecnológicas para o desenvolvimento desse vetor energético estratégico para produção e fornecimento de energia limpa. A transição energética rumo a uma matriz constituída majoritariamente por fontes renováveis de energia é, sem nenhuma dúvida, um dos grandes desafios a serem vencidos pela sociedade neste século. Além das questões técnicas inerentes à escala de tal transição, as mudanças climáticas associadas à emissão de gases de efeito estufa trazem ainda mais urgência ao tema. A implantação de possíveis soluções baseadas em fontes renováveis depende do alinhamento entre diferentes setores, o que inclui o poder público por meio de incentivos e regulações, a academia com o desenvolvimento de soluções disruptivas e aprimoramento tecnológico e, finalmente, as indústrias e empresas do setor, responsáveis por implantar tais tecnologias de forma econômica e ambientalmente viáveis.

É nesse contexto geral que diferentes ações no ambiente de inovação em nível global vêm sendo tomadas e, nele se insere, o sistema brasileiro de pesquisa e inovação. São premissas básicas a busca pela diminuição do impacto ambiental na produção, o armazenamento e a distribuição da energia, maior alcance social, além de segurança e eficiência energética.

O Brasil está entre os líderes globais em capacidade de energia renovável instalada e, por suas características geográficas, tem grande potencial de expansão. Desta forma, o país pode vir a ocupar posição de destaque no cenário mundial ao realizar tal potencial e se tornar um exportador de energia limpa, contribuindo assim para a diminuição da emissão de gases poluentes.

Num cenário de eletrificação de processos visando à diminuição do consumo/dependência de combustíveis fósseis, a energia elétrica renovável, captada por meio de usinas hidroelétricas, fotovoltaicas ou por meio de parques eólicos precisa ser eventualmente armazenada para uso em momentos de descasamento entre oferta e demanda. Há ainda setores industriais cuja eletrificação total é inviável e vetores energéticos alternativos precisam ser desenvolvidos para a promoção da descarbonização. O hidrogênio gerado a partir de fontes renováveis, conhecido como hidrogênio verde, é tido como um vetor energético estratégico para atender demandas em variadas escalas e em diferentes setores.

O Brasil está entre os líderes globais em capacidade de energia renovável instalada e, por suas características geográficas, tem grande potencial de expansão.

### Lucas Delgado

Sócio-diretor da Emerge

### Antonio Otavio de Toledo Patrocínio

Consultor técnico da Emerge no projeto

Professor Associado

Instituto de Química – Universidade Federal de Uberlândia

Coordenador do Laboratório de Fotoquímica e Ciência dos Materiais (LAFOT-CM)

No entanto, o grande desafio está na redução dos custos de produção do hidrogênio verde em relação ao gás obtido a partir de fontes fósseis. Tal redução pode ocorrer por meio de aprimoramento dos métodos de obtenção e pela expansão do mercado, o que levaria ao aumento de escala e provável redução de custos. Investimentos em PD&I são cruciais para que o potencial do hidrogênio verde se realize nos próximos anos e contribua para o desenvolvimento sustentável. O Brasil tem buscado incentivar ações nesse sentido por meio do Programa Nacional do Hidrogênio (PNH2), uma iniciativa governamental que busca desenvolver e consolidar o mercado de hidrogênio no país, além de estabelecer o tema como prioritário para investimentos em PD&I no setor de energia. O PNH2 está distribuído em seis eixos temáticos que incluem fortalecimento das bases tecnológicas, capacitação de recursos humanos, planejamento energético, arcabouço legal-regulatório, crescimento do mercado e cooperação internacional.

Nesse relatório, o principal foco foi o eixo de bases tecnológicas, em que soluções disruptivas em desenvolvimento por grupos de pesquisa de todo país foram listadas e classificadas. Patentes e iniciativas de expansão do mercado e da competitividade por meio de startups também foram monitoradas. O levantamento buscou estabelecer quatro verticais em que as ações de PD&I relacionadas à cadeia de hidrogênio verde se enquadram e que se relacionam com a produção, transformação, transporte e armazenamento e, por fim, aplicação do hidrogênio verde. Para cada uma das verticais, tecnologias e artigos científicos foram comparados e classificados de forma a propiciar uma visão detalhada do cenário de PD&I não só nas Universidades e Centros de Pesquisa, mas também em startups, incubadoras e empresas do setor de energia.

O material cumpre, portanto, seu objetivo de atuar como uma ferramenta valiosa de avaliação e monitoramento do cenário nacional de PD&I voltado ao hidrogênio verde.

**01.**

O cenário de desenvolvimento tecnológico em **Hidrogênio Verde no Brasil**

# Visão Geral

Caminha-se para uma crescente de demandas e oportunidades relacionadas às questões ambientais, sociais e de governança (ESG). Atrelado a isso a descarbonização do setor energético tem movimentado o mercado e as universidades, acentuando a necessidade de pesquisar meios para armazenar energia, expandir a infraestrutura e adequar as fontes energéticas renováveis de forma eficiente. Nos últimos anos, a indústria tem demonstrado maior interesse quanto a temática de hidrogênio verde, o qual é produzido por meio de eletrolisadores alimentados por energia elétrica de fontes renováveis que dividem a molécula de água formando hidrogênio. O produto final desse processo pode ser utilizado por diferentes setores, como por exemplo de mineração, transporte pesado, indústria química e de fertilizantes. Além disso, para o setor energético se apresenta como um recurso que pode gerar um equilíbrio entre oferta e demanda de forma local e para usos específicos, conforme a possibilidade de armazenamento. Devido ao aumento do interesse sobre o tema, estima-se que o setor precisará de US\$ 200 bilhões em investimentos ao longo de 20 anos, o que inclui a geração de eletricidade renovável adicional de 180 GW, sendo mais do que a capacidade de geração instalada no país atualmente (McKinsey, 2021\*).

O Brasil possui 85% da sua matriz elétrica advinda de fontes renováveis, tornando-se um país estratégico na cadeia de

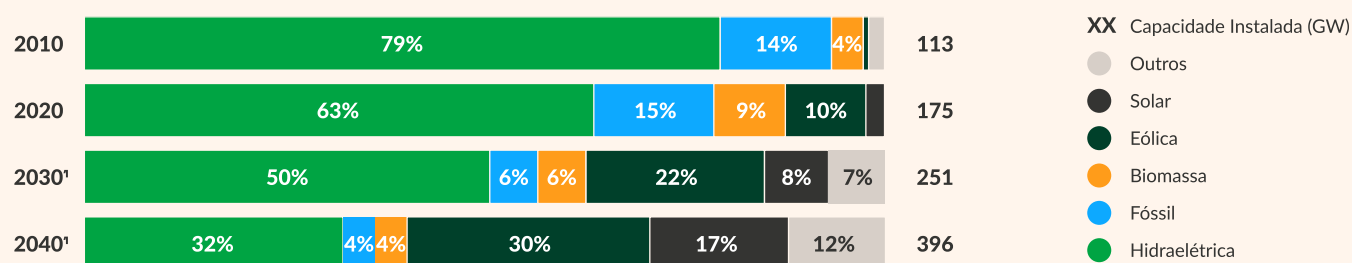
produção do hidrogênio verde. A projeção para 2040 é que não ocorra um aumento na quantidade de energia elétrica produzida por fontes fósseis (Gráfico 1), além disso, para cumprir o Acordo de Paris será necessário um corte em 60% da emissões de CO2 até 2050, sendo o Hidrogênio Verde apontado como um importante ator nesse processo.

Investimentos são necessários para tornar o preço de produção do hidrogênio verde via fontes renováveis competitivo perante a utilização de combustíveis fósseis. A exemplo disso, temos os EUA e Reino Unido que caminham para implementar medidas de subsídio ao hidrogênio verde, com a finalidade de reduzir o seu custo e torná-lo competitivo no mercado. Países como a Alemanha tem buscado direcionar recursos para importar hidrogênio verde de outros países e viabilizar projetos em outras localidades. No recebimento desses recursos por vezes Brasil e Chile são comparados na etapa de prospecção para implantação de plantas voltadas à produção do hidrogênio verde. Nesse aspecto o Chile se destaca em anunciar uma política nacional e metas para a produção de hidrogênio verde a preços competitivos, atualmente a US\$ 5, sendo que para sua viabilidade é necessário alcançar valores próximos a US\$ 2. Além disso, o país também tem caminhado para o estabelecimento de plantas produtivas no país e atraído investidores através de políticas públicas.

Os principais investimentos voltados para a cadeia do Hidrogênio Verde no Brasil se concentram nos portos de Pecém (CE), Suape(PE) e Açu (RJ) por possuírem logística para exportação, proximidade de pólos industriais e disponibilidade de fontes de energiarenovável.

## GRÁFICO 04

### Capacidade instalada de energia elétrica no Brasil por fonte (%)



<sup>1</sup> Previsão

Fonte: Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2021 - Ano base 2020

\* MCKINSEY & COMPANY. Hidrogênio verde: uma oportunidade de geração de riqueza com sustentabilidade, para o Brasil e o mundo. Disponível em: <<https://www.mckinsey.com>>

**02.**

Análise da  
**produção**  
**científica e**  
tecnológica

A demanda global por hidrogênio cresceu mais de três vezes desde 1975 e como consequência de sua produção através de combustíveis fósseis existiu um aumento nas emissões de CO<sub>2</sub> em, aproximadamente, 830 milhões de toneladas por ano (IEA, 2019\*). Nesse aspecto, a China encontra-se como a maior produtora de hidrogênio no mundo com cerca de 33 milhões de toneladas, sendo quase sua totalidade produzida a partir de matrizes de origem fósseis. O país tem como objetivo a produção de 100 a 200 mil toneladas de hidrogênio verde até 2025 e, por isso, o país tem se destacado no cenário de pesquisas sobre o tema, focados na redução das emissões, diversificação de sua matriz energética, crescimento econômico e integração de fontes renováveis, principalmente. Outros países da Ásia, como Coreia do Sul e Japão, ainda que com um destaque menor, têm despendido esforços para estabelecer uma cadeia internacional de suprimentos como é o caso do Japão e para desenvolvimento de novas tecnologias no caso da Coreia do Sul.

Nos Estados Unidos da América (EUA), o planejamento inclui quatro etapas que possuem marcos de implementação do hidrogênio em diversas aplicações e ações que viabilizem sua implementação para todos os agentes da cadeia. Tendo como um principal colaborador para o projeto o estado da Califórnia que desde 1999 busca colaborar com a meta de redução nas emissões de gases do efeito estufa.

A Europa se destaca na implantação de eletrolisadores e se apresenta como o maior mercado no curto prazo, tendo a Espanha um interesse no desenvolvimento de um mercado exportador, enquanto a Alemanha busca o desenvolvimento de tecnologias nacionais, assumindo objetivos e metas concretas para o setor de hidrogênio, além de sinalizar interesse em cooperação internacional através de parcerias para a consolidação das tecnologias e rotas globais de distribuição. A Itália reuniu esforços para superar as barreiras quanto à implementação de estações de reabastecimento de hidrogênio, melhorando a segurança, economia e aspectos sociais. Enquanto a França foi pioneira, junto com Coreia do Sul e Japão na divulgação de um planejamento estratégico para o hidrogênio no país com metas entre 2023 e 2028.

No caso das patentes, apesar da segmentação por países, no ranking é comum aparecer depósito de patentes como World Intellectual Property Organization (WIPO) e o European Patent Office, devido a priorização de depósito pelas empresas e universidades em bancos de patentes que possam englobar mais de um país. A Austrália tem se destacado e tem potencial para alcançar a Europa em alguns anos, um de seus focos é o desenvolvimento de um mercado exportador através da instalação de hubs e uma estratégia adaptativa focada em quatro princípios que buscam coordenar indústria, regulatório, parcerias, segurança e sustentabilidade, podendo servir como um exemplo para o desenvolvimento de estratégias no Brasil.

No caso do Reino Unido, o governo visa estabelecer fundos para a inovação no fornecimento e armazenamento em escala, buscando diversificar a sua matriz energética e, inicialmente, possibilitar o fornecimento residencial da tecnologia através da mistura do hidrogênio com outras fontes. Enquanto o Canadá tem se posicionado como exportador, principalmente para a Alemanha, através da assinatura de acordo de fornecimento de hidrogênio com baixa emissão de carbono, assim como os EUA. Ainda que segundo especialistas esse deve ser o modelo para a transição dos setores até alcançarem a utilização do hidrogênio verde.

No caso da América Latina e Oriente Médio, os esforços são direcionados a implementação de volume na capacidade de produção focado principalmente na exportação. O Brasil sendo líder em Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) em tecnologias de hidrogênio na América Latina apresenta diversos grupos de pesquisa em universidades, que colaboram com o cenário da pesquisa nacional.

Nesse contexto, o Brasil se destaca pela alta demanda de hidrogênio nos últimos anos, mas por ter uma posição de destaque nesse cenário tem potencial para se tornar exportador de baixo carbono devido às condições climáticas que favorecem a geração de energia através de fontes solares, hídricas e eólicas. Dentro desse cenário, o aumento dos investimentos e do interesse em hidrogênio verde ocorre mundialmente, refletindo no número de projetos anunciados, totalizando cerca de 228 projetos e um investimento total previsto de US\$ 80 bilhões (CHIAPPINI, 2021).

\* IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. The future of hydrogen. Paris: IEA, 2019. Disponível em: <[https://iea.blob.core.windows.net/assets/9e3a3493-b9a6-4b7d-b499-7ca48e357561/The\\_Future\\_of\\_Hydrogen.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/9e3a3493-b9a6-4b7d-b499-7ca48e357561/The_Future_of_Hydrogen.pdf)>.

GRÁFICO 05

**Volume de depósito de patentes sobre Hidrogênio Verde no Brasil e no Mundo (2012-2022)**

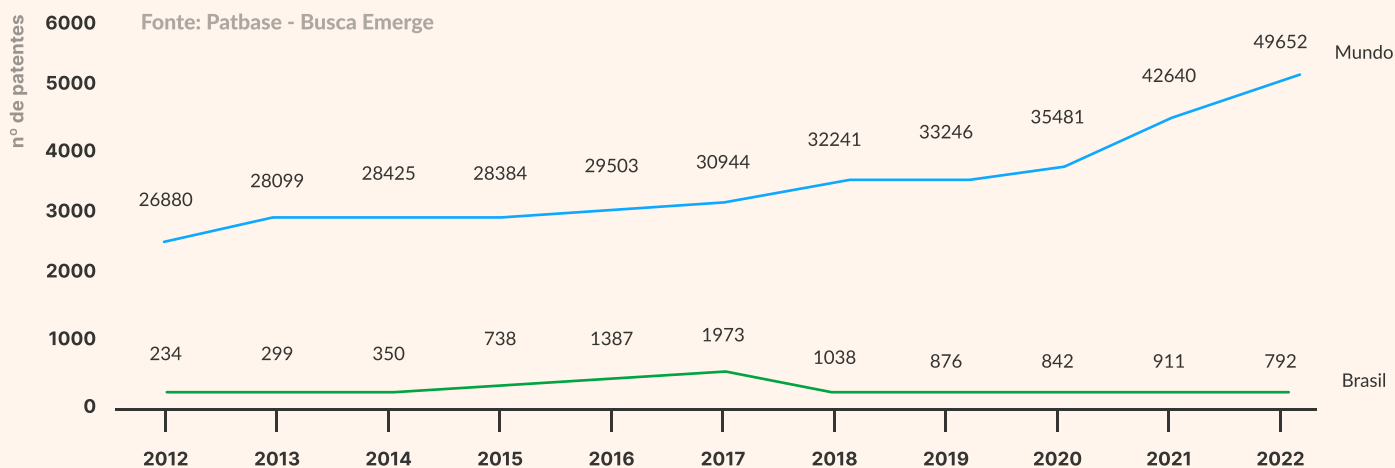


GRÁFICO 06

**Volume de publicações sobre Hidrogênio Verde no Brasil e no Mundo (2012-2022)**



De acordo com a estratégia de cada país e investimentos é possível perceber os impactos na pesquisa e sua relevância em publicações e patentes. Quando analisado dentro do contexto de hidrogênio e de forma temporal, o Brasil expressa o início do crescimento da pesquisa quanto a temática do hidrogênio verde, tendo centros de pesquisas e laboratórios como referência no país.

Enquanto para as patentes os valores superiores, quando comparada as publicações, expressam um crescimento na pesquisa que pode ser atribuído aos fatores como a

metodologia de busca nas bases de patentes ser diferentes daquelas realizadas em publicações e possibilidade de depósitos em diferentes países, além desses valores superiores ao número de publicações serem um indicativo do interesse da indústria, visto que essas são as maiores depositantes.

Nesse cenário de Pesquisa e Desenvolvimento científico em Hidrogênio Verde, existem centro de pesquisa e laboratórios que se destacam devido ao trabalho e tempo que dedicam ao desenvolvimento de tecnologias para o setor:

## 01. Laboratório de Hidrogênio (LabH2) da UFRJ

Desenvolve pesquisas fundamentais e aplicadas com o objetivo de criar novos materiais, processos e dispositivos necessários para o uso energético do hidrogênio. O laboratório trabalha com temas específicos, com base na capacitação da equipe e no interesse estratégico para o país. Esses temas abordam, para o hidrogênio: a produção ambientalmente amigável; o armazenamento seguro e eficiente; a detecção como elemento químico no interior de materiais e como gás no meio ambiente; a influência nas propriedades físico-químicas e mecânicas, quando contido na composição química de materiais; o uso, assim como de outros combustíveis que o contém em grandes quantidades, para a geração de energia elétrica, calor e produtos químicos em pilhas a combustível; e a utilização em veículo urbano de grande porte, como o ônibus híbrido a hidrogênio atualmente em desenvolvimento no LABH2.

## 02. Laboratório de Hidrogênio (LabH2) da UNICAMP

Atualmente tem atuado com consultoria no setor de hidrogênio. Segundo o Prof. Dr. Ennio Peres, a Universidade encontra-se fora do ponto de vista tecnológico para projetos de maior escala, mas tem potencial para colaborar com o processo de formação. Assim como ele acredita que os estudos existentes devem ter um foco nos aspectos não consolidados da cadeia para auxiliar a indústria que tem desenvolvido projetos em uma velocidade diferente da academia.

Outros grupos de pesquisa em destaque no tema de hidrogênio no cenário brasileiro são: Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares da Universidade de São Paulo (IPEN/USP), Laboratório de Materiais e Energias Renováveis (Labmater) da Universidade Federal do Paraná e Instituto Nacional de Tecnologia do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações.

## 03. Núcleo de Pesquisa em Hidrogênio (Nuphi) do Parque tecnológico Itaipu

O objetivo do centro é investigar o ciclo de vida do hidrogênio, envolvendo as etapas de produção, purificação, compressão, armazenamento, controle de qualidade, transporte e uso final em células a combustível e outras aplicações.

## 04. Grupo de estudos do setor elétrico (Gesel) do Instituto de Economia da UFRJ

Desenvolve pesquisas e estudos sobre diferentes temas, mas com uma transversalidade centrada em inovações regulatórias.

## 05. Parque Tecnológico da UFC

Atua para atrair empresas de base tecnológica e estimular a inovação e o empreendedorismo. Possui estudos em andamento com foco no desenvolvimento de soluções para o hub de hidrogênio verde no Ceará. Atua para atrair empresas de base tecnológica e estimular a inovação e o empreendedorismo. Possui estudos em andamento com foco no desenvolvimento de soluções para o hub de hidrogênio verde no Ceará.

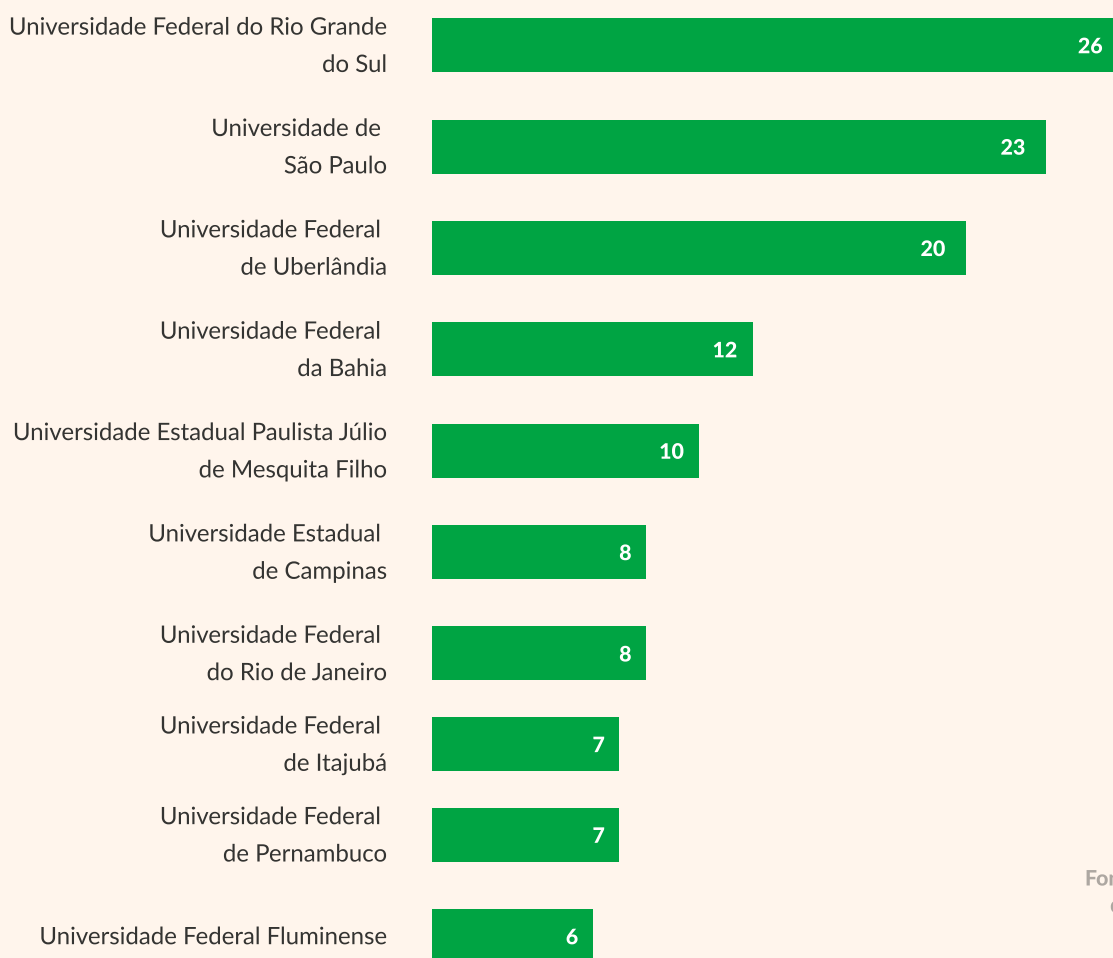
Apesar do extenso trabalho de destaque na temática do hidrogênio verde ser concentrado nos laboratórios descritos acima, ao realizar o levantamento de publicações foram destacadas as universidades UFRGS, USP, UFU, UFBA e UNESP, respectivamente nas 5 primeiras posições de acordo com a quantidade de publicações. Sendo apenas uma universidade estrangeira, JAIN (Deemed-to-be University) da Índia, configura o ranking como colaboradora em 7 artigos nacionais. Ainda que a Índia não configure entre os principais países em número de publicações e patentes, o país tem números expressivos e seu governo demonstra interesse

específico em células de combustível para o combate à poluição através de financiamento a pesquisas sobre hidrogênio e as células de combustível.

Quanto às instituições com maior número de depósito de patente no país, temos como principais: Shell Institute of Research, Exxon, Chevron USA, Bobil OIL e UOP LLC. Observando a natureza dessas organizações, podemos constatar o crescente interesse das indústrias tradicionais de Óleo & Gás em participar ativamente do cenário de transição energética, em especial de hidrogênio verde nesse caso.

#### GRÁFICO 07

### Principais instituições de pesquisa conforme volume de publicações sobre hidrogênio verde



Fonte: Principais bases globais de publicações científicas - Busca Emerge

\*Para a produção do gráfico acima é importante ressaltar que o sistema pode contabilizar mais de uma vez o mesmo artigo de forma geral a depender das instituições que constam no cadastro dos autores do artigo.

# Desenvolvimento de tecnologias no Brasil

O mapeamento de tecnologias contactou mais de 260 cientistas brasileiros que estão trabalhando com pesquisa no tema e potencialmente desenvolvendo soluções relacionadas ao mercado de Hidrogênio Verde. Após sete semanas de prospecção, foram mapeadas 45 tecnologias que foram segmentadas nas verticais detalhadas na metodologia.

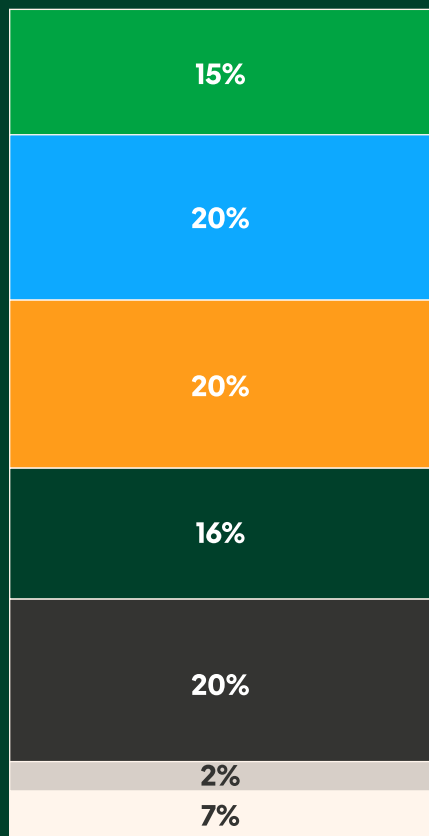
Analisando esse resultado comparativo ao estudo da evolução do tema, observa-se que o desenvolvimento de tecnologias para Hidrogênio Verde no Brasil vem crescendo nos últimos anos. Há uma forte influência do tema ser alinhado às necessidades de sustentabilidade na qual o país busca espaço e é cobrado para liderar. Soma-se ainda os investimentos recentes que fomentam o desenvolvimento de novas soluções para hidrogênio verde. Embora haja uma forte mobilização

para o tema, ele é recente. Portanto, as tecnologias mapeadas ainda apresentam um grau de maturidade baixo quando colocadas sob a perspectiva de chegada ao mercado, uma vez que o desenvolvimento foi iniciado nos últimos anos. Dentre as 45 soluções, 71% delas se encontram entre os níveis 1 e 4 da escala de TRL utilizada de 1 a 9.

Devido ao cenário apresentado, não foram encontradas tecnologias que apresentassem um nível de maturidade superior ao TRL 7. Dentre as mapeadas, 14 das tecnologias estão sendo desenvolvidas por startups e empresas e estão concentradas entre os níveis de TRL 4 e 7. Em adição a essa conjuntura, cerca de 70% das tecnologias estão sendo desenvolvidas por centros de pesquisa e universidades. Pela natureza desses atores, as etapas que buscam evoluir são focadas na esteira inicial do desenvolvimento. Tanto o recurso financeiro disponibilizado pelas próprias instituições ou por fundos públicos têm majoritariamente o objetivo de avançar até TRL 3 ou 4. Para esses atores, também há uma ausência da visão de mercado, ou seja, quais são os requisitos específicos e alvo ideal para a tecnologia que está em desenvolvimento.

GRÁFICO 08

## Maturidade



### TRL 1

Princípios básicos observados e reportados



### TRL 2

Desenvolvimento do conceito tecnológico ou formulação da aplicação (hipóteses)



### TRL 3

Demonstração analítica ou experimental dos conceitos



### TRL 4

Validação dos elementos inovadores (integrados) em ambiente laboratorial



### TRL 5

Validação dos elementos inovadores em ambiente de simulação (laboratorial ou não)



### TRL 6

Aplicação e avaliação dos elementos inovações em ambiente real



### TRL 7

Aplicação dos elementos inovadores em ambiente operacional (final) real

Fonte: Emerge Brasil - Cenário de H2V no Brasil

Logo, para alavancar o desenvolvimento dessas tecnologias até a maturidade de aplicação no mercado são necessárias parcerias com indústrias focadas nessa temática. Há diversas estratégias que podem ser utilizadas para esse vínculo que partirão essencialmente de dois modelos:

**Relacionamento com uma spin-off (startup):** diversos modelos podem ser utilizados conforme a estratégia e políticas da indústria parceira como codesenvolvimento, investimento na tecnologia ou investimento na própria startup. Inclusive, pode-se adotar a estratégia de fundação de uma spin-off para uma tecnologia que ainda esteja dentro de um laboratório, a fim de direcionar alguma das estratégias citadas.

**Relacionamento com universidades e centros de pesquisa:** também existem diversos caminhos que podem ser tomados para uma parceria direta com o centro que estiver desenvolvendo a tecnologia como convênios para codesenvolvimento e acordo de licenciamento da tecnologia.

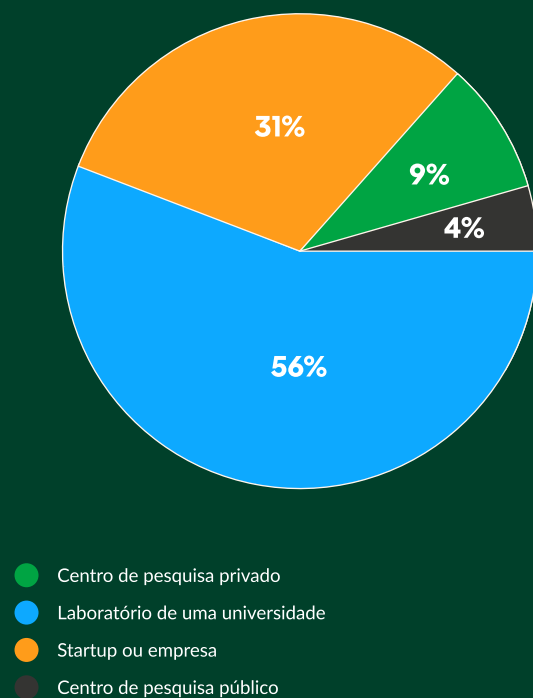
A decisão da melhor estratégia de relacionamento deve levar em consideração a estratégia da companhia, as políticas internas para parcerias, investimento disponível, políticas da instituição detentora da tecnologia, características da tecnologia e perfil da equipe.

Em relação à origem dessas tecnologias, Sudeste e Sul tiveram o maior número de tecnologias apresentadas no mapeamento com 44% e 31%, respectivamente. As demais com tecnologias mapeadas foram Nordeste (11%), Centro-Oeste (7%), Exterior (5%) e Norte (2%).

Os incentivos atuais para o desenvolvimento de alternativas que tornem a utilização do Hidrogênio Verde uma solução viável influenciam no desenvolvimento de tecnologias a fim de encontrar soluções que viabilizem o processo de produção e/ou estabeleçam novas formas de obtenção do gás por meio de rotas alternativas de produção. Além disso, existe um grande desafio em reduzir os custos e aumentar o rendimento e eficiência dos processos de produção atuais. Ao longo do cadastro de tecnologias, as equipes foram questionadas a respeito do principal elemento de geração de valor da tecnologia.

GRÁFICO 09

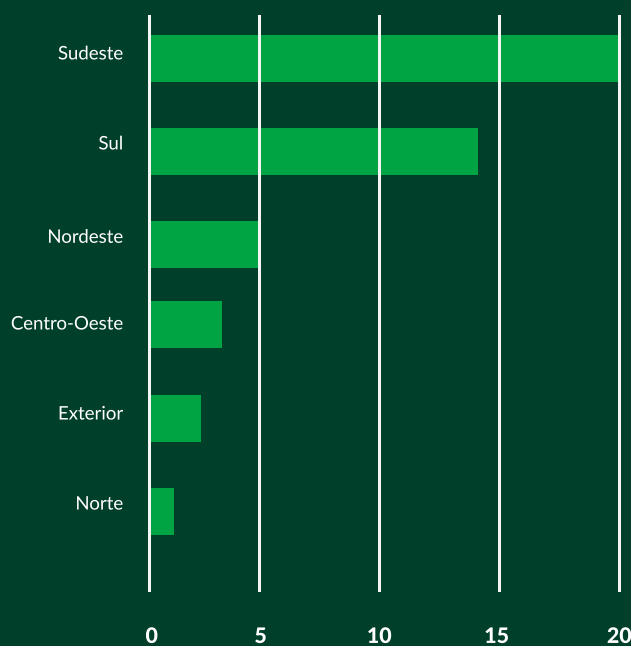
### Tipo da organização das tecnologias mapeadas



Fonte: Emerge Brasil - Cenário de H2V no Brasil

GRÁFICO 10

### Tecnologias mapeadas por região



Fonte: Emerge Brasil - Cenário de H2V no Brasil

Sendo evidenciado que a busca por aumentar a viabilidade técnica e econômica da produção e utilização do Hidrogênio Verde é o principal objetivo de 78% das tecnologias cadastradas.

No mapeamento, foram definidas quatro segmentações temáticas seguindo as etapas da cadeia do hidrogênio verde e as divisões encontradas recorrentemente em publicações e eventos sobre o tema.

#### VERTICAL 1

Tecnologias e processos direcionados à produção de Hidrogênio Verde: dentro das linhas tecnológicas abordadas nessa vertical estabelecemos tecnologias e processos que fazem parte da produção do hidrogênio e que pudessem nortear o pesquisador na melhor adequação da sua tecnologia na etapa de mapeamento, apesar de estarem correlacionadas. Logo, as linhas tecnológicas da pesquisa poderiam abordar tecnologias e processos que se referem às vias como: eletrólise alcalina, eletrólise com membrana trocadora de prótons (PEM), eletrólise de óxido sólido (SOEC ou SOE) e novas tecnologias por vias alternativas (fotoeletrólise, fotocatalise, bioprocessos, reforma de biomassa, etc).

#### VERTICAL 2

Tecnologia e processos aplicados à transformação do hidrogênio verde: na etapa seguinte da cadeia de hidrogênio verde temos a transformação, sendo o mais importante na prospecção de tecnologias garantir que aquelas que fossem mapeadas nessa vertical estejam diretamente relacionadas ao processo e produção de Hidrogênio Verde e, como no caso da reeletrificação, acompanhando os projetos ANEEL. Logo, as linhas tecnológicas de pesquisa abordaram tecnologias e processos para hidrogenação do gás carbônico, transformação do hidrogênio em combustível sintético, fixação de nitrogênio, transformação em amônia verde, reeletrificação e na produção de calor e energia elétrica.

#### VERTICAL 3

Tecnologias e processos direcionados para o transporte de hidrogênio verde: esse aspecto representa um gargalo na cadeia produtiva do hidrogênio verde, a questão do transporte ainda apresenta desafios, dificuldades e custos elevados. Logo, as linhas tecnológicas consideradas abordaram novas tecnologias e processos na purificação segura e eficiente do hidrogênio; armazenamento, pressurização e/ou liquefação, transporte marítimo, rodoviário, ferroviário e dutoviário.

#### VERTICAL 4

Tecnologias e processo para aplicação final de hidrogênio verde no mercado: essa frente de mapeamento representa um enorme interesse para diversos segmentos das indústrias, cuja a separação nesse mapeamento através de linhas tecnológicas se faz respeitando os estágios quanto ao hidrogênio em que cada uma se encontra, sendo que alguns desses segmentos apresentam tecnologias existentes e outros tornaram-se setores em potencial. Logo, essas linhas tecnológicas foram direcionadas para indústria siderúrgica, metalúrgica, petroquímica, química, agropecuária, cerâmica, vidro, cimento, refinarias, setor de transporte pesado terrestre e marítimos, conversão de uso e clusters locais.

Analisando o volume de publicações e patentes para cada vertical, foi obtido um maior resultado para a Vertical 1. No entanto, vale a observação que, em relação à base de patentes, só foi possível o levantamento relacionado às verticais de produção e transporte (verticais 1 e 4). Para as verticais 2 e 3, não foi possível segmentar a base conforme as temáticas devido à forma como essas patentes são categorizadas nas bases analisadas (como explicado na metodologia do relatório).

Outro ponto importante a ser discutido é o número superior de patentes nas verticais em relação ao número de publicações. Esse resultado ocorreu tanto na análise Brasil quanto na análise mundo devido à estruturação distinta das chaves de busca necessárias para alcançar a acurácia necessária para a realização do estudo.

A forma como isso foi construído também está apresentada em maiores detalhes na metodologia do relatório.

O volume de publicações e patentes relacionadas à produção, frente a outras verticais, mostram que o Brasil tem uma posição de destaque na matriz energética via fontes renováveis, indicando um caminho viável a produção de hidrogênio verde por diferentes vias e destinação à exportação. No caso de patentes, fica evidente a expressão de um crescimento entre 2014 e 2017 que sofre uma desaceleração nos anos seguintes, o que pode estar relacionada a fatores como: baixa participação de universidades, que pode ser atribuída a redução nos investimentos públicos em novas tecnologias;

tecnologias; baixa quantidade de linhas de financiamento e programas de desenvolvimento de um mercado de hidrogênio verde na época, concentrados em programas de P&D; elevado custo da tecnologia, barreiras de regulamentação e falta de infraestrutura. Outro aspecto que pode influenciar nos valores apresentados é a questão de segredo industrial.

O maior volume de publicações e patentes indicam um maior potencial de haver um desenvolvimento tecnológico no tema analisado. Como esperado, a vertical de produção de Hidrogênio Verde apresentou um maior volume no cadastro de tecnologias, sendo responsável por 50% das cadastradas.

GRÁFICO 11

### Volume de publicação sobre Hidrogênio Verde no Mundo (2012-2022)

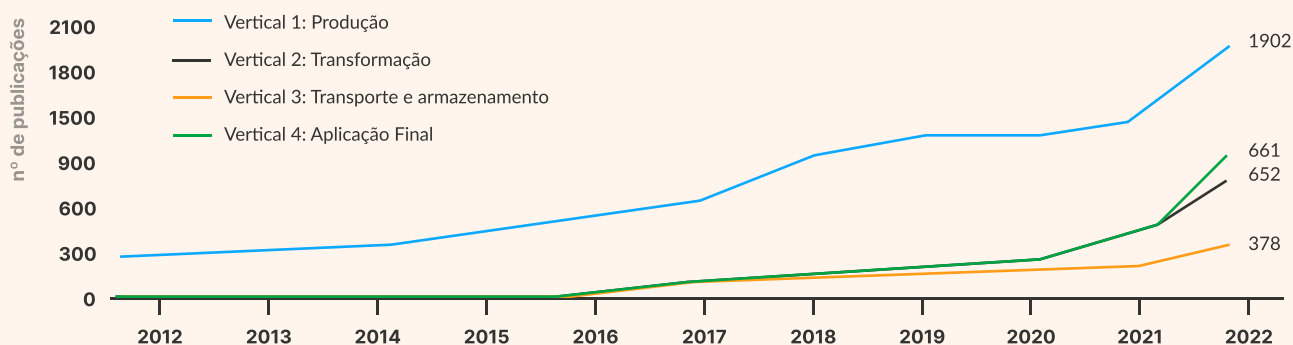
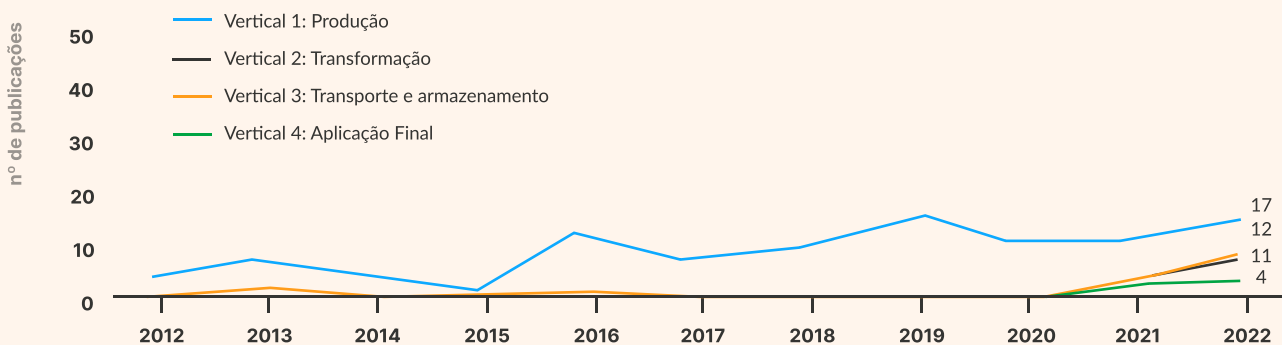


GRÁFICO 12

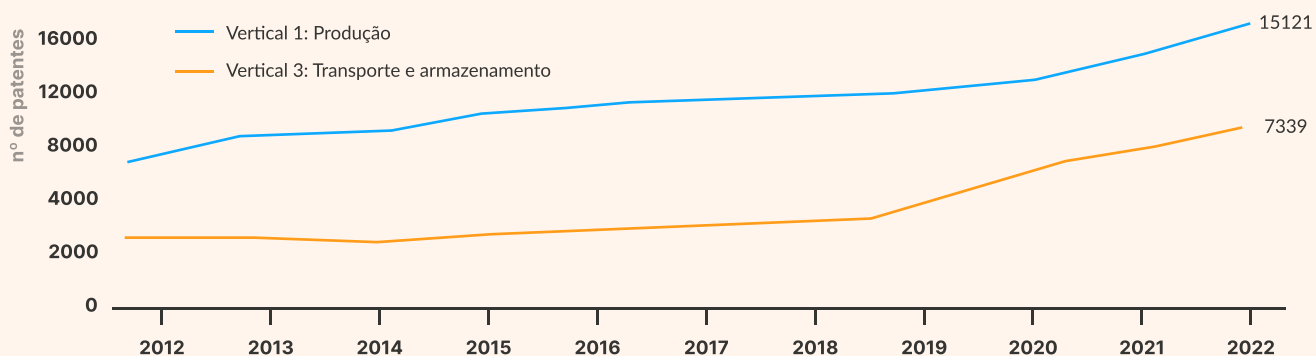
### Volume de publicação sobre Hidrogênio Verde no Brasil (2012-2022)



Fonte: Principais bases globais de publicações científicas - Busca Emerge

GRÁFICO 13

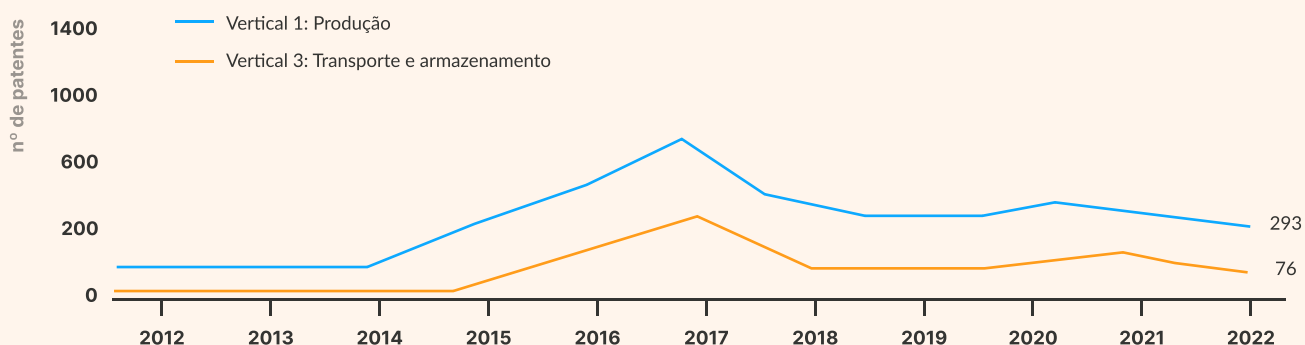
### Volume de patentes sobre Hidrogênio Verde no Mundo (2012-2022)



Fonte: Patbase - Busca Emerge

GRÁFICO 14

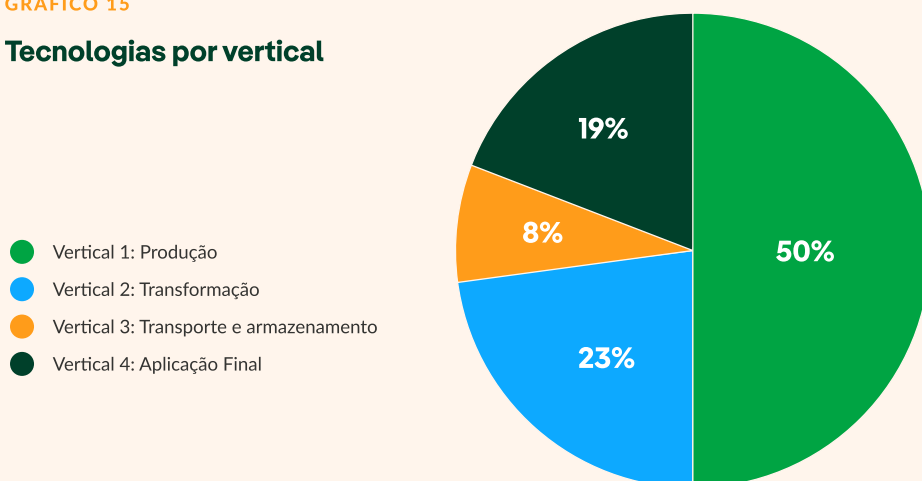
### Volume de patentes sobre Hidrogênio Verde no Brasil (2012-2022)



Fonte: Patbase - Busca Emerge

GRÁFICO 15

### Tecnologias por vertical



Fonte: Emerge Brasil - Cenário de H2V no Brasil



## Cenário Tecnológico direcionado à produção de Hidrogênio Verde

A vertical foi segmentada em quatro linhas tecnológicas:

LINHA TECNOLÓGICA 1	LINHA TECNOLÓGICA 2	LINHA TECNOLÓGICA 3	LINHA TECNOLÓGICA 4
Tecnologias e processos para a produção de Hidrogênio Verde por via de eletrólise alcalina;	Tecnologias e processos para a produção de Hidrogênio Verde por via de eletrólise com membrana trocadora de prótons (PEM);	Tecnologias e processos para a produção de Hidrogênio Verde por via de eletrólise de óxido sólido (SOEC ou SOE);	Novas tecnologias e processos para a produção de Hidrogênio Verde por vias alternativas (fotoeletrólise, fotocatalise, bioprocessos, etc.).

A vertical relacionada à produção de H<sub>2</sub> obteve o maior volume de resultados, com 3.435 patentes e 83 publicações entre 2012 e 2022 no Brasil, além de 73% das tecnologias presentes no mapeamento. Esse resultado demonstra, a priori, uma maior mobilização de pesquisadores, centros de pesquisa e startups no Brasil para a melhoria do processo de produção e viabilização e utilização de hidrogênio verde. Atualmente, utiliza-se as tecnologias de Eletrólise Alcalina e PEM, as quais apresentam uma frequência de publicações. Em contrapartida, é possível observar uma busca por alternativas evidenciada pelo análise das publicações (63) e do resultado do mapeamento, também destacando o crescente interesse em estudar possibilidades de redução de custos e melhoria da eficiência, focando, por

exemplo, no tamanho de pilhas e baterias, aumento da densidade de corrente, eficiência das células, aumento da pressão de saída do eletrolisador e aumento da vida útil dos equipamentos.

A maturidade das tecnologias mapeadas nessa vertical estão entre os TRL de 1 e 7, ou seja, entre o estudo dos princípios básicos e a aplicação dos elementos inovadores em ambiente operacional real. Corrobora com essa análise o fato das pesquisas dessa vertical terem iniciado há mais tempo e, portanto, serem mais maduras. Também é possível identificar as primeiras repercussões relacionadas à produção de molécula de hidrogênio verde produzida no país e o avanço de projetos para instalação de plantas produtoras.

GRÁFICO 16

Volume de publicações no Brasil para o segmento de produção de hidrogênio verde (2012-2022)

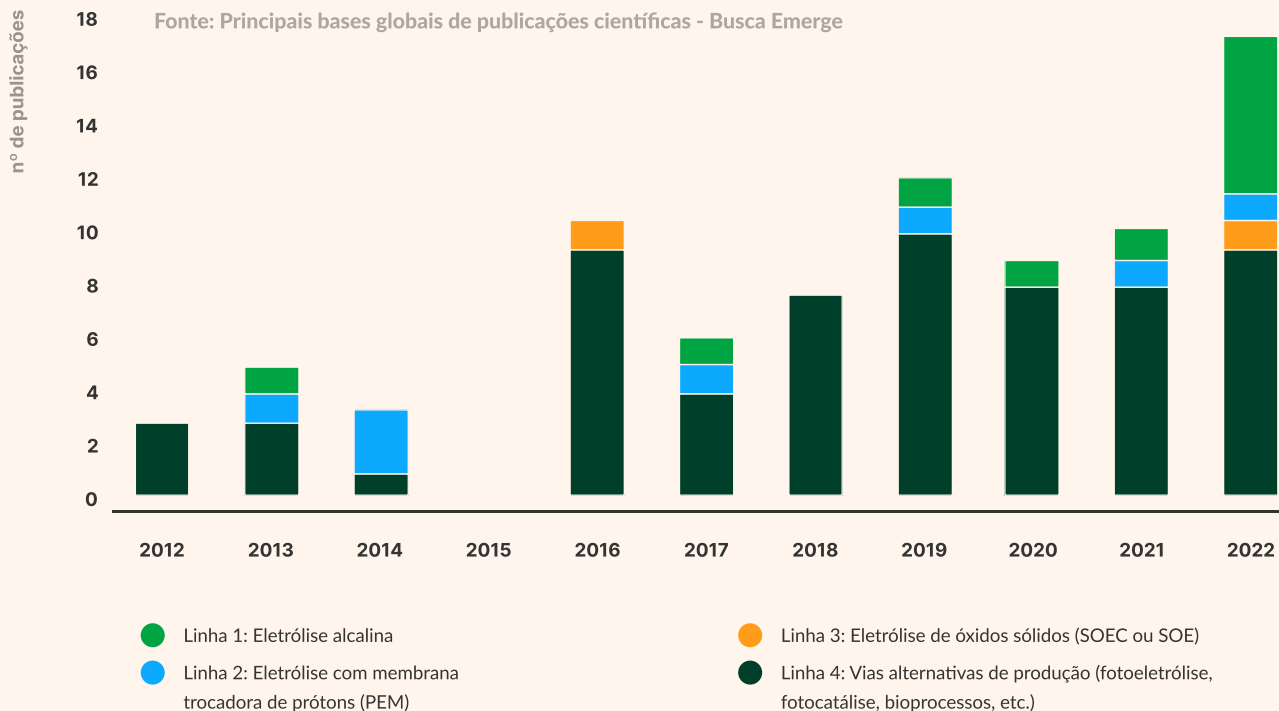
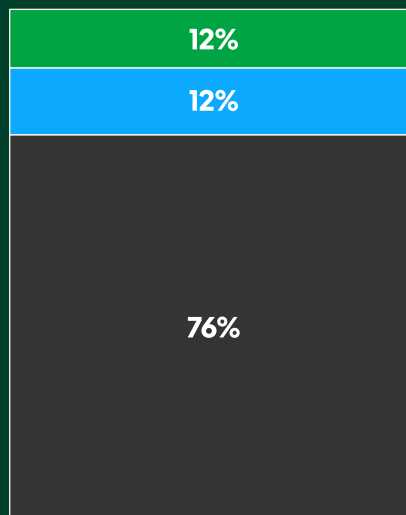


GRÁFICO 17

Linhas tecnológicas na Vertical 1

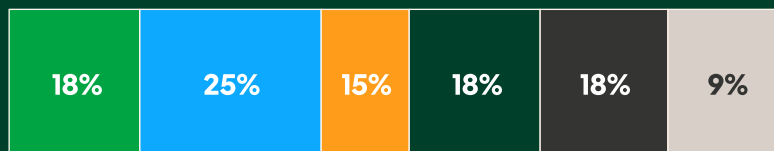


- Linha 1: Eletrólise alcalina
- Linha 2: PEM
- Linha 3: Eletrólise de óxidos sólidos
- Linha 4: Vias alternativas

Fonte: Emerge Brasil - Cenário de H2V no Brasil

GRÁFICO 18

Vertical 1: Maturidade das tecnologias



- **TRL 1**  
Princípios básicos observados e reportados
- **TRL 2**  
Desenvolvimento do conceito tecnológico ou formulação da aplicação (hipóteses)
- **TRL 3**  
Demonstração analítica ou experimental dos conceitos
- **TRL 4**  
Validação dos elementos inovadores (integrados) em ambiente laboratorial
- **TRL 5**  
Validação dos elementos inovadores em ambiente de simulação (laboratorial ou não)
- **TRL 7**  
Aplicação dos elementos inovadores em ambiente operacional (final) real

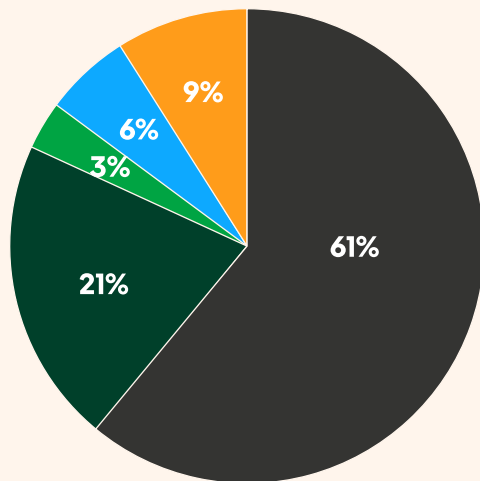


As tecnologias mapeadas na Vertical 1 trabalham com o desenvolvimento de melhorias e novas rotas para a obtenção do Hidrogênio Verde. Existe uma concentração em novas rotas

de obtenção do ativo, com uma busca em garantir a viabilidade do processo, bem como sua viabilidade financeira por meio de uma maior eficiência e um menor custo de produção do gás.

GRÁFICO 19

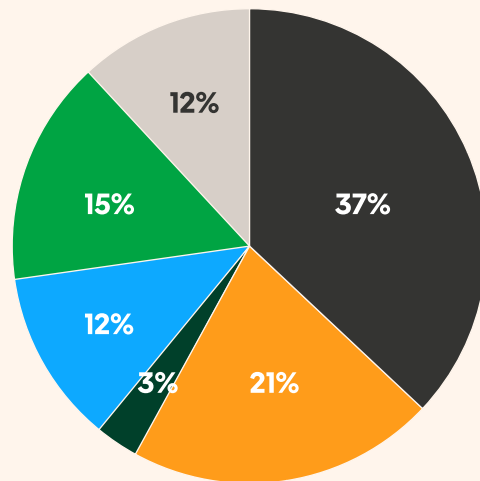
**Vertical 1: Nível de Inovação**



- Inovação incremental sem tecnologia
- Inovação na aplicação
- Inovação na matéria prima
- Inovação no equipamento
- Inovação no processo

GRÁFICO 20

**Vertical 1: Geração de valor**



- Nova aplicação para hidrogênio verde
- Eficiência
- Redução de custo
- Possibilidade de distribuição
- Viabilização de um processo
- Escalabilidade

Fonte: Emerge Brasil - Cenário de H2V no Brasil



## Cenário Tecnológico direcionado à transformação de Hidrogênio Verde

Na busca por tecnologias e processos destinadas a transformação, foram consideradas 6 linhas tecnológicas para a categorização:

<b>Linha Tecnológica 1</b>  Tecnologias e processos sustentáveis para hidrogenação do gás carbônico;	<b>Linha Tecnológica 2</b>  Tecnologias e processos para a transformação de Hidrogênio Verde em combustíveis sintéticos;	<b>Linha Tecnológica 3</b>  Novas tecnologias e processos sustentáveis para fixação de nitrogênio;
<b>Linha Tecnológica 4</b>  Tecnologias e processos para a transformação de Hidrogênio Verde em amônia verde.	<b>Linha Tecnológica 5</b>  Tecnologias e processos para re-eletrificação do Hidrogênio Verde;	<b>Linha Tecnológica 6</b>  Novas tecnologias para a aplicação do Hidrogênio Verde na produção de calor e de energia elétrica.

Nessa vertical foi possível identificar 18 publicações e 31% das tecnologias mapeadas estão no Brasil. Quanto às patentes, a Vertical não apresenta uma categoria de patente específica, não sendo possível obter um volume preciso de depósitos da temática no país. Dentre as linhas tecnológicas, destaca-se a linha de produção de calor e de energia elétrica.

Quanto à maturidade das tecnologias, foram apontadas estarem entre os TRL 1 e 7, ou seja, entre os princípios básicos observados e reportados e a aplicação dos elementos inovadores em ambiente operacional (final) real.

No entanto, faz-se necessário uma melhor diligência do desenvolvimento tecnológico, uma vez que a análise proposta foi preliminar e de apontamento da própria equipe da tecnologia. Isso pode incorrer em erro de interpretação da maturidade, uma vez que há uma ausência da perspectiva de mercado para a maioria dos grupos de pesquisa do Brasil e do mundo.

Dentre as tecnologias mapeadas na Vertical 2 trabalham com o desenvolvimento de melhorias e novos processos para a transformação do Hidrogênio Verde para a futura aplicação e utilização industrial.

GRÁFICO 21

### Volume de publicações no Brasil para o segmento de transformação de hidrogênio verde (2012 - 2022)

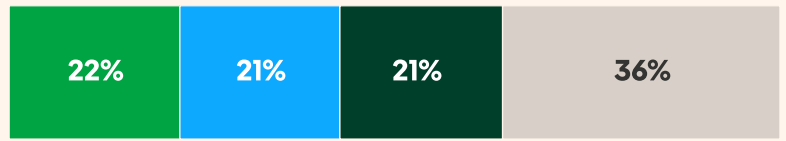


- Linha 1: Hidrogenação do gás carbônico
- Linha 2: Combustíveis sintéticos
- Linha 3: Fixação de nitrogênio
- Linha 4: Transformação de H2V em amônia verde
- Linha 5: Re-eletrificação
- Linha 6: Produção de calor e energia elétrica

Fonte: Principais bases globais de publicações científicas - Busca Emerge

GRÁFICO 22

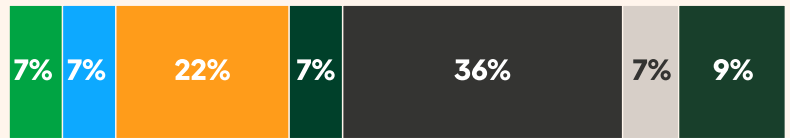
### Linhas tecnológicas na Vertical 2



- Linha 1: Hidrogenação do gás carbônico
- Linha 2: Combustíveis sintéticos
- Linha 3: Fixação de nitrogênio
- Linha 4: Amônia verde
- Linha 5: Re-eletrificação
- Linha 6: Calor e Energia Elétrica

GRÁFICO 23

### Vertical 2: Maturidade das tecnologias



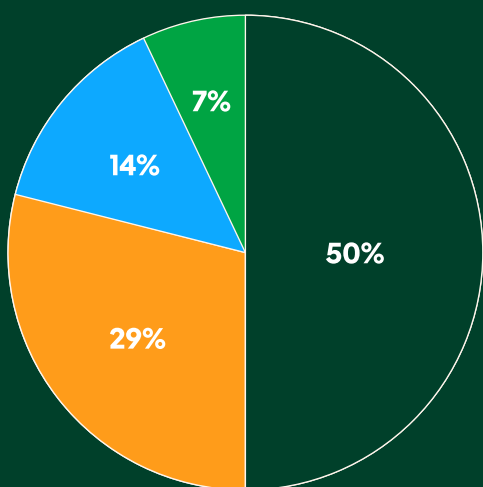
- **TRL 1**  
Princípios básicos observados e reportados
- **TRL 2**  
Desenvolvimento do conceito tecnológico ou formulação da aplicação (hipóteses)
- **TRL 3**  
Demonstração analítica ou experimental dos conceitos
- **TRL 4**  
Validação dos elementos inovadores (integrados) em ambiente laboratorial
- **TRL 5**  
Validação dos elementos inovadores em ambiente de simulação (laboratorial ou não)
- **TRL 6**  
Aplicação e avaliação dos elementos inovações em ambiente real
- **TRL 7**  
Aplicação dos elementos inovadores em ambiente operacional (final) real

Fonte: Emerge Brasil - Cenário de H2V no Brasil

Existe uma concentração de soluções que buscam desenvolver processos mais eficientes e viáveis para a utilização do gás para atender a diversos setores industriais. É perceptível o trabalho dos cientistas para o aprimoramento dos processos de transformação, bem como o desenvolvimento de equipamentos que atendam às necessidades das novas rotas.

GRÁFICO 24

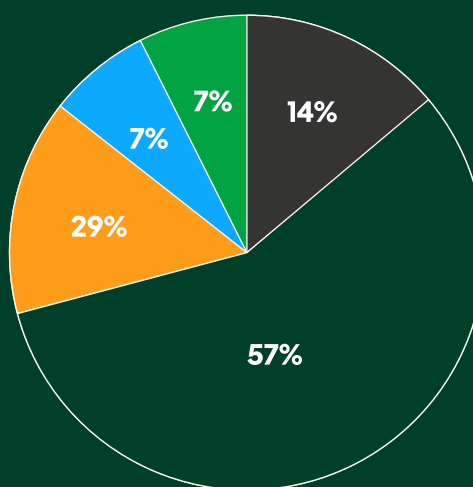
Vertical 2: Nível de inovação



- Inovação na aplicação
- Inovação na matéria prima
- Inovação no equipamento
- Inovação no processo

GRÁFICO 25

Vertical 2: Geração de valor



- Possibilidade de distribuição
- Nova aplicação para hidrogênio verde
- Redução de custo
- Viabilização de um processo
- Escalabilidade

Fonte: Emerge Brasil - Cenário de H2V no Brasil

Dentre as tecnologias mapeadas, observa-se que algumas delas são startups ou empresas voltadas para tecnologias para a transformação de hidrogênio em amônia verde e para a produção de calor e energia elétrica, podendo ser um indicativo dos assuntos de interesse das empresas. Além disso, as localidades na qual essas startups ou empresas estão instaladas indicam os principais pólos de movimentação no campo da pesquisa e desenvolvimento.



## Cenário Tecnológico direcionado ao transporte de Hidrogênio Verde

Na busca por tecnologias e processos destinadas ao transporte e armazenamento de Hidrogênio Verde, foram trabalhadas 6 linhas tecnológicas para a categorização:

<b>Linha Tecnológica 1</b>  Novas tecnologias direcionadas a purificação segura e eficiente de Hidrogênio Verde;	<b>Linha Tecnológica 2</b>  Tecnologias e processos para o armazenamento, pressurização e/ou liquefação de Hidrogênio Verde;	<b>Linha Tecnológica 3</b>  Novas tecnologias e processos para o transporte por via marítima de Hidrogênio;
<b>Linha Tecnológica 4</b>  Novas tecnologias e processos para o transporte por via rodoviária de Hidrogênio;	<b>Linha Tecnológica 5</b>  Novas tecnologias e processos para o transporte por via ferroviária de Hidrogênio;	<b>Linha Tecnológica 6</b>  Novas tecnologias e processos para o transporte por via dutoviária de Hidrogênio.

Nessa vertical foi identificado um baixo número de publicações (7) e um alto número de patentes registradas (947). Devido à análise distinta de publicações e patentes, esse resultado demanda um aprofundamento técnico para avaliar individualmente as patentes. Também há um indicativo de que algumas tecnologias que foram desenvolvidas para temas paralelos (ex.: outros tipos de hidrogênio), possam estar sendo direcionadas para a temática de hidrogênio verde. Quanto à linha tecnológica, destaca-se o tópico de armazenamento, evidenciando a necessidade de construções de novas infraestruturas direcionadas ao armazenamento de hidrogênio, devido a sua limitação quando direcionadas ao gás natural e seu potencial de utilização para o hidrogênio.

Quanto à maturidade das tecnologias presentes nessa vertical, observa-se que estão entre os TRL 1 e 4, ou seja, entre os princípios básicos observados e reportados e a validação dos elementos inovadores (integrados) em ambiente laboratorial. Diferente das verticais anteriores, a maturidade é mais baixa e reflete o ambiente de pesquisa ainda nascente no tema, com as primeiras publicações realizadas entre 2020 e 2022. Ainda, essa temática possui produções relacionadas ao armazenamento de hidrogênio, tanto na base de publicações (6), quanto em patentes (879).

GRÁFICO 26

### Volume de publicações no Brasil para o segmento de transporte de hidrogênio verde (2012-2022)

- Linha 1: Purificação segura e eficiente
- Linha 2: Armazenamento, pressurização e/ou liquefação
- Linha 3: Transporte via marítima
- Linha 4: Transporte via rodoviária
- Linha 5: Transporte via ferroviária
- Linha 6: Transporte via dutoviária

Fonte: Principais bases globais de publicações científicas - Busca Emerge

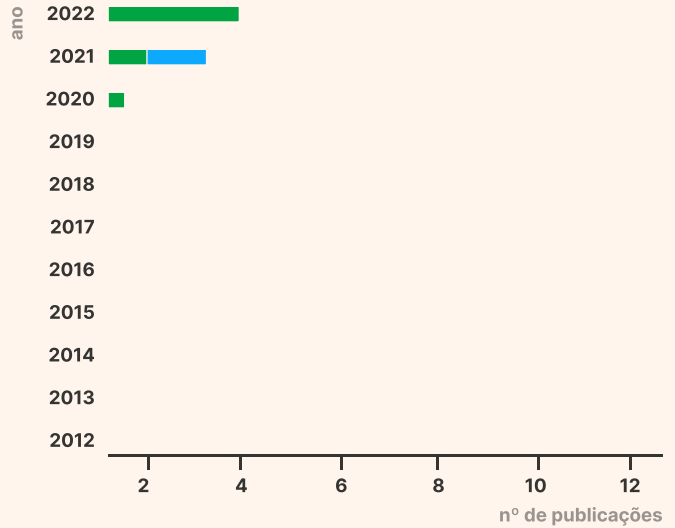
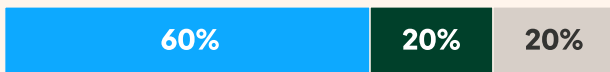


GRÁFICO 27

### Linhas tecnológicas na Vertical 2

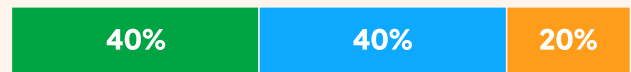


- Linha 1: Purificação
- Linha 2: Armazenamento
- Linha 3: Marítimo
- Linha 4: Rodoviário
- Linha 5: Ferroviário
- Linha 6: Dutoviário

Fonte: Emerge Brasil - Cenário de H2V no Brasil

GRÁFICO 28

### Vertical 3: Maturidade das tecnologias

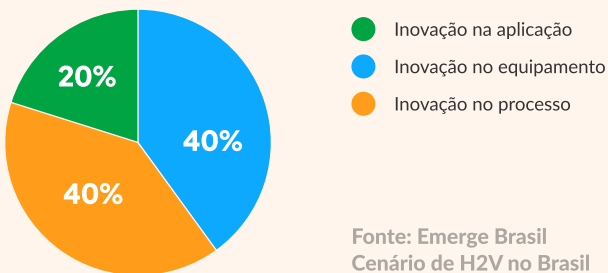


- TRL 1: Princípios básicos observados e reportados
- TRL 3: Demonstração analítica ou experimental dos conceitos
- TRL 4: Validação dos elementos inovadores (integrados) em ambiente laboratorial

Fonte: Emerge Brasil - Cenário de H2V no Brasil

GRÁFICO 29

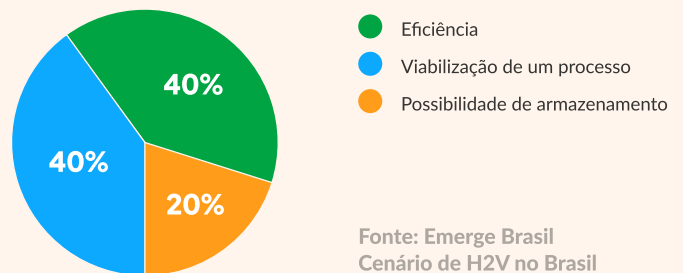
### Vertical 3: Nível de inovação



Fonte: Emerge Brasil  
Cenário de H2V no Brasil

GRÁFICO 30

### Vertical 3: Geração de valor



Fonte: Emerge Brasil  
Cenário de H2V no Brasil

A vertical 3 teve enquadrada 11% das tecnologias mapeadas, um volume reduzido comparativamente às outras verticais. Assim como na Vertical 2, existe uma concentração de soluções que buscam desenvolver processos mais eficientes

e viáveis para a utilização do gás para atender a diversos setores industriais, focado em métodos para viabilizar o armazenamento e transporte do gás.



## Cenário Tecnológico direcionado ao aplicação final de Hidrogênio Verde

Na busca por tecnologias e processos destinadas a aplicação final, foram consideradas sete linhas tecnológicas:

<b>Linha tecnológica 1</b> Novas tecnologias para a aplicação do Hidrogênio Verde na indústria siderúrgica (aço verde) e/ou metalúrgica;	
<b>Linha tecnológica 2</b> Novas tecnologias para a aplicação do Hidrogênio Verde na indústria petroquímica, química e/ou agropecuária (exceto amônia verde);	<b>Linha tecnológica 3</b> Novas tecnologias para a aplicação do Hidrogênio Verde nas indústrias cerâmicas, de vidro e/ou de cimento;
<b>Linha tecnológica 4</b> Novas tecnologias para a aplicação do Hidrogênio Verde em refinarias;	<b>Linha tecnológica 5</b> Novas tecnologias para a aplicação do hidrogênio verde em transportes pesados terrestres e marítimos;
<b>Linha tecnológica 6</b> Tecnologias e processos para a adaptação do processo de conversão de indústrias para o uso de Hidrogênio Verde;	<b>Linha tecnológica 7</b> Tecnologias e processos voltadas para o desenvolvimento de clusters locais de produção de Hidrogênio Verde.

Nessa vertical, não foi possível uma segmentação de acordo com as chaves de busca na base de patentes. A relação entre número de publicações e de tecnologia escapa à relação costumeira, sendo superior ao esperado. Esse resultado demanda uma análise crítica individual das tecnologias para melhor compreensão de sua finalidade e potencial aplicação.

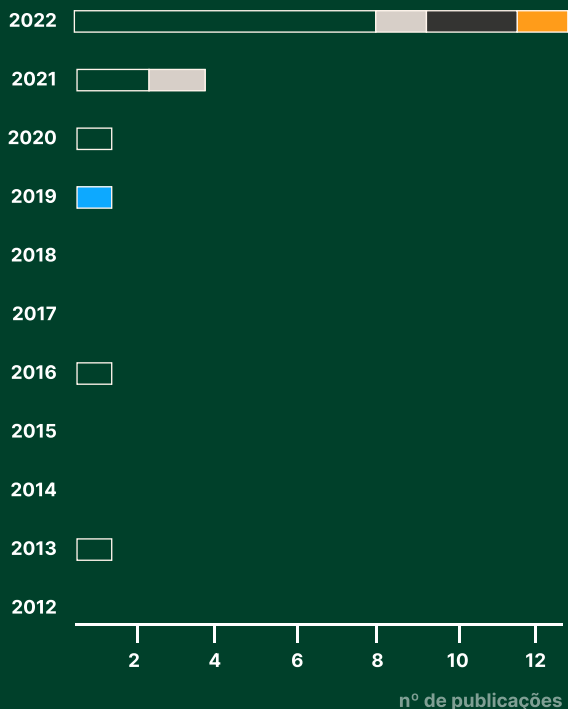
Dentre as linhas tecnológicas, destaca-se aquela direcionada ao setor petroquímico, químico e agropecuário devido a necessidade de implementação ou transição nesses setores. Como no caso do setor químico que utiliza do hidrogênio de origem fóssil e para o qual pode ser utilizada a infraestrutura existente. Quanto ao setor agropecuário, o início dessa movimentação quanto a aplicação do hidrogênio verde no setor é reforçado devido à dependência do Brasil de produtos provenientes de importação, dificultando os aspectos logísticos e encarecendo o produto final do setor.

Quanto à maturidade das tecnologias presentes nessa vertical, nota-se que estão entre os TRL 1 e 5, ou seja, entre os princípios básicos observados e reportados e a validação dos elementos inovadores em ambiente de simulação (laboratorial ou não).

Essa vertical se apresenta, em volume de publicações mundiais, como a segunda maior, estando somente atrás da vertical referente a produção. Apesar do Brasil apresentar apenas 20 publicações, é importante ressaltar o interesse mundial das indústrias em soluções para a descarbonização e instalação de clusters locais de produção demonstrando a necessidade de estratégias direcionadas para estimular esse campo de pesquisa no país.

GRÁFICO 31

### Volume de publicações no Brasil para o segmento de aplicação final de hidrogênio verde (2012-2022)



- Linha 1: Indústria siderúrgica e/ou metalúrgica
- Linha 2: Indústria petroquímica, química e/ou agropecuária
- Linha 3: Indústria cerâmica, de vidro e/ou cimento
- Linha 4: Refinarias
- Linha 5: transportes pesados terrestres e marítimos
- Linha 6: Adaptação no processo de conversão de indústria para uso
- Linha 7: Clusters locais de produção

Fonte: Principais bases globais de publicações científicas - Busca Emerge

GRÁFICO 32

### Linhas tecnológicas na Vertical 4



- Linha 1: Siderurgia e/ou Metalurgia
- Linha 2: Petroquímica, química e/ou agropecuária
- Linha 3: Ind. Cerâmica, Vidro e/ou Cimento
- Linha 4: Refinarias
- Linha 5: Transportes pesados terrestres e marítimos
- Linha 6: Conversão industrial
- Linha 7: Clusters de produção

Fonte: Emerge Brasil - Cenário de H2V no Brasil

As tecnologias cadastradas na Vertical 4 trabalham com o desenvolvimento de novos processos e aplicações para a utilização industrial do Hidrogênio Verde. Existe uma concentração de soluções que buscam desenvolver processos inovadores e viáveis para a aplicação do gás para atender a diversos setores industriais, com o destaque para o setores de transporte pesado; siderúrgico e metalúrgico; químico, petroquímico e agropecuário. Dentre as tecnologias mapeadas, destaca-se a presença de centros de pesquisas privados, laboratórios de universidades e startups que buscam inovação e viabilidade do processo, principalmente. Entre as startups presentes no mapeamento que estão desenvolvendo tecnologias com a finalidade de aplicação final, temos:

GRÁFICO 33

### Vertical 4: Maturidade das tecnologias



- TRL 1: Princípios básicos observados e reportados
- TRL 3: Demonstração analítica ou experimental dos conceitos
- TRL 4: Validação dos elementos inovadores (integrados) em ambiente laboratorial
- TRL 5: Validação dos elementos inovadores em ambiente de simulação (laboratorial ou não)

GRÁFICO 34

### Vertical 4: Nível de inovação

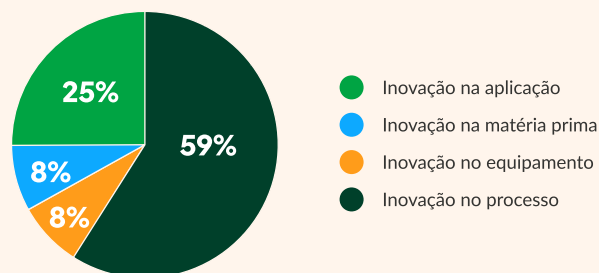
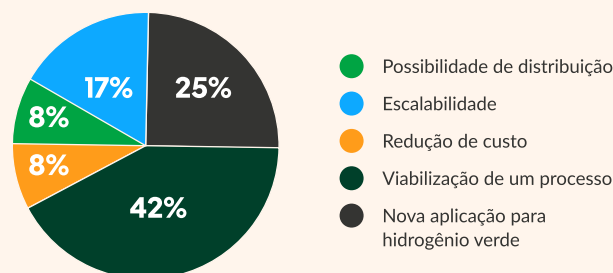


GRÁFICO 35

### Vertical 4: Geração de valor



Fonte: Emerge Brasil - Cenário de H2V no Brasil

**03.**

Relacionamento  
entre a **ciência**  
e o **mercado**

A conexão e integração de tecnologias de base científica por parte de grandes corporações é um passo necessário para garantir o avanço e o direcionamento de mercado adequado para as etapas centrais do desenvolvimento tecnológico. No entanto, existem desafios neste processo relacionados a geração de valor e modelagem de acordos junto às organizações em que as tecnologias estão sendo desenvolvidas. A maturidade da tecnologia auxilia na visualização das possibilidades de modelos para o estabelecimento de parcerias. Porém, outro fator importante é a avaliação da propriedade intelectual (PI) da inovação desenvolvida. Tratando-se de tecnologias de baixa maturidade (entre os TRLs 1 e 5), é esperado que não exista uma estratégia de PI bem definida. Nesse aspecto, dentre as tecnologias mapeadas, foi identificado que não

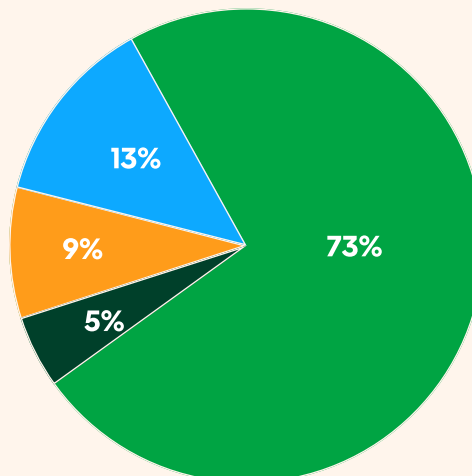
possuem um direcionamento de uma patente. Já aquelas que possuem uma estratégia definida, estão primordialmente buscando a proteção via patente. Do total, apenas 9% têm direcionado para uma proteção via segredo industrial.

Vale ressaltar que mesmo as tecnologias que já apresentam uma estratégia definida ou direcionada precisam passar por uma análise com maior profundidade, visto que essa decisão costuma apoiar-se apenas no hábito de proteção via patente e/ou orientação dos núcleos de inovação das universidades. Esses, apesar de serem a via para escoar a inovação das instituições, são raros aqueles que possuem a experiência necessária para uma boa estruturação dessa estratégia.

GRÁFICO 36

### Estágio da Propriedade Intelectual

- A tecnologia ainda não possui estratégia definida de PI
- Patente em elaboração para depósito
- PI protegida por segredo industrial
- Patente concedida

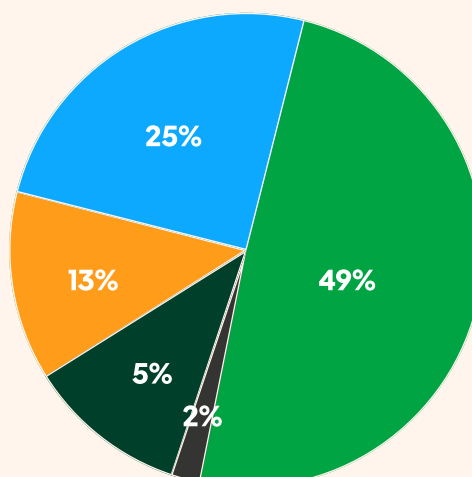


Fonte: Emerge Brasil - Cenário de H2V no Brasil

GRÁFICO 37

### Nível de inovação

- Inovação no processo
- Inovação no equipamento
- Inovação na aplicação
- Inovação na matéria prima
- Inovação incremental sem tecnologia



Fonte: Emerge Brasil - Cenário de H2V no Brasil

Outro fator que contribui para a ausência de uma estratégia de PI por parte dos cientistas é o fato das tecnologias estarem trabalhando para promover melhorias incrementais às tecnologias hoje empregadas, visando garantir a viabilidade da produção e aplicação do Hidrogênio Verde no mercado. Dessa forma, a estratégia de relacionamento junto às tecnologias deve ser estabelecida considerando os desafios específicos de cada uma das propostas, bem como às políticas das instituições de origem.

Ao analisar os diferentes mecanismos e programas disponíveis para integrar e desenvolver as soluções identificadas, alguns se destacam como opções viáveis para estabelecer parcerias por meio de projetos de incentivo à pesquisa e desenvolvimento. Para aproveitar as oportunidades relacionadas às tecnologias identificadas como estrategicamente importantes para a empresa, é necessário avaliar se cada uma delas está alinhada tematicamente com as teses e requisitos de cada área da empresa.

As tecnologias de menor nível de maturidade (TRL 1 a 5) precisam de um suporte de direcionamento de mercado, bem como aprofundar no desenvolvimento técnico e resultados em escalas laboratoriais e simuladas. Dessa forma, para este grupo é recomendado o desenvolvimento de projetos de P&D que se enquadrem nos programas de incentivo. Essa via permitirá o estabelecimento de parcerias de codesenvolvimento e/ou licenciamento de tecnologias de universidades, abrindo espaço para a adição de um vasto leque de competências externas de doutores e doutoras. Seu resultado poderá ser o direito de explorar uma tecnologia licenciada ou até o depósito conjunto de uma patente, dando a cotitularidade para a empresa. O mesmo se aplica caso seja uma startup, tendo as vantagens de agilidade e dinâmica do relacionamento, porém a desvantagem de não contar com a estrutura física e intelectual de uma universidade.

Aquelas tecnologias que apresentam uma maturidade mais avançada necessitarão de um suporte financeiro e mercadológico para o escalonamento e desenvolvimentos finais (TRL 6 e 7). Assim, faz-se necessário um direcionamento para a fundação de spin-offs acadêmicas das tecnologias que ainda estão internalizadas em universidades e centros de pesquisa, bem como a modelagem do plano de negócio para a avaliação de fundos de investimento. Aqui também abre-se a oportunidade de negociar um licenciamento de tecnologia. No entanto, é raro uma tecnologia que realmente se encontra nesse estágio de maturidade ainda estar em desenvolvimento dentro de uma universidade e não tenha uma parceria já consolidada com alguma corporação.

A estratégia de relacionamento junto às tecnologias deve ser estabelecida considerando os desafios específicos de cada uma das propostas, bem como às políticas das instituições de origem.

A modelagem e direcionamento das tecnologias para o mercado de energia exige habilidades e competências das equipes responsáveis por seu desenvolvimento que não necessariamente são encontradas pelos integrantes. Isso deve-se ao foco da formação e estudo desses grupos serem voltadas ao aprofundamento técnico, o que é natural para tal dinâmica de desenvolvimento. Logo, é necessário que exista um suporte para o direcionamento adequado do desenvolvimento e foco de geração de valor das tecnologias. Dessa forma, a chance de sucesso será maior, o custo proporcional será menor e o tempo de desenvolvimento será adequado aos desafios e necessidades do mercado brasileiro.

**04.**

Considerações  
**Finais**

Devido ao expressivo potencial de liderança do Brasil na agenda de sustentabilidade, especialmente na produção de energia limpa e renovável, o país já está empenhado em desenvolver conhecimento e, por conseguinte, tecnologias próprias nessa área. Ainda que não esteja entre os principais países que lideram as discussões acadêmicas sobre o assunto, como China, EUA, Alemanha e Coreia do Sul, o Brasil está dando passos significativos.

Os estímulos vindos tanto do setor privado quanto do governo fortalecem essa vocação, mesmo que exista espaço para aumentar sua amplitude. Nesse sentido, torna-se evidente que a comunidade científica brasileira, em colaboração com esforços de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) provenientes do setor privado, está acompanhando a tendência global de impulsionar a expansão do conhecimento acerca do hidrogênio verde.

Analisando com maior profundidade o cenário Brasil, observa-se que as principais universidades brasileiras que realizam pesquisa no tema de H2V concentram-se nas regiões Sul e Sudeste. No entanto, há uma forte mobilização de capital e esforços públicos e privados para projetos de hidrogênio na região Nordeste, o que pode criar uma oportunidade para alavancar centros referência de estudo na região. Para alavancar a transformação nesse setor é necessário enfrentar as barreiras técnicas e econômicas, aumentando o investimento para o desenvolvimento de tecnologias que agreguem um melhor custo-benefício à produção do hidrogênio, seja por meio de um vínculo com startups ou parcerias com universidades e centros de pesquisas.

Analisando a perspectiva dos dados de publicações e patentes, além de tecnologias cadastradas no mapeamento, a vertical 1 (produção) indica um maior potencial tecnológico em curto prazo devido a necessidade de viabilizar a produção do hidrogênio verde. Enquanto, as verticais 2 (transformação) e 4 (aplicação final) apresentam um desenvolvimento tecnológico acelerado nos últimos anos, mas ainda será necessário ampliação dos estudos e investimento, se destacando para possibilidade de médio prazo. Por fim, ainda com um volume reduzido de publicações e tecnologias mapeadas, a vertical 3 direcionada ao armazenamento e transporte demonstra ser uma alternativa que requer investimento e conexão entre as universidades e a indústria para validação das necessidades do mercado e orientar os esforços de pesquisa. Portanto, embora o Brasil ainda não esteja entre os principais países no desenvolvimento de tecnologias de Hidrogênio Verde, o país está em pleno aquecimento de projetos e recursos públicos e privados para o tema. Já há soluções em processo de pesquisa e desenvolvimento de tecnologias locais passíveis de se tornarem iniciativas pioneiras no país.



**05.**

**Metodologia  
do estudo**

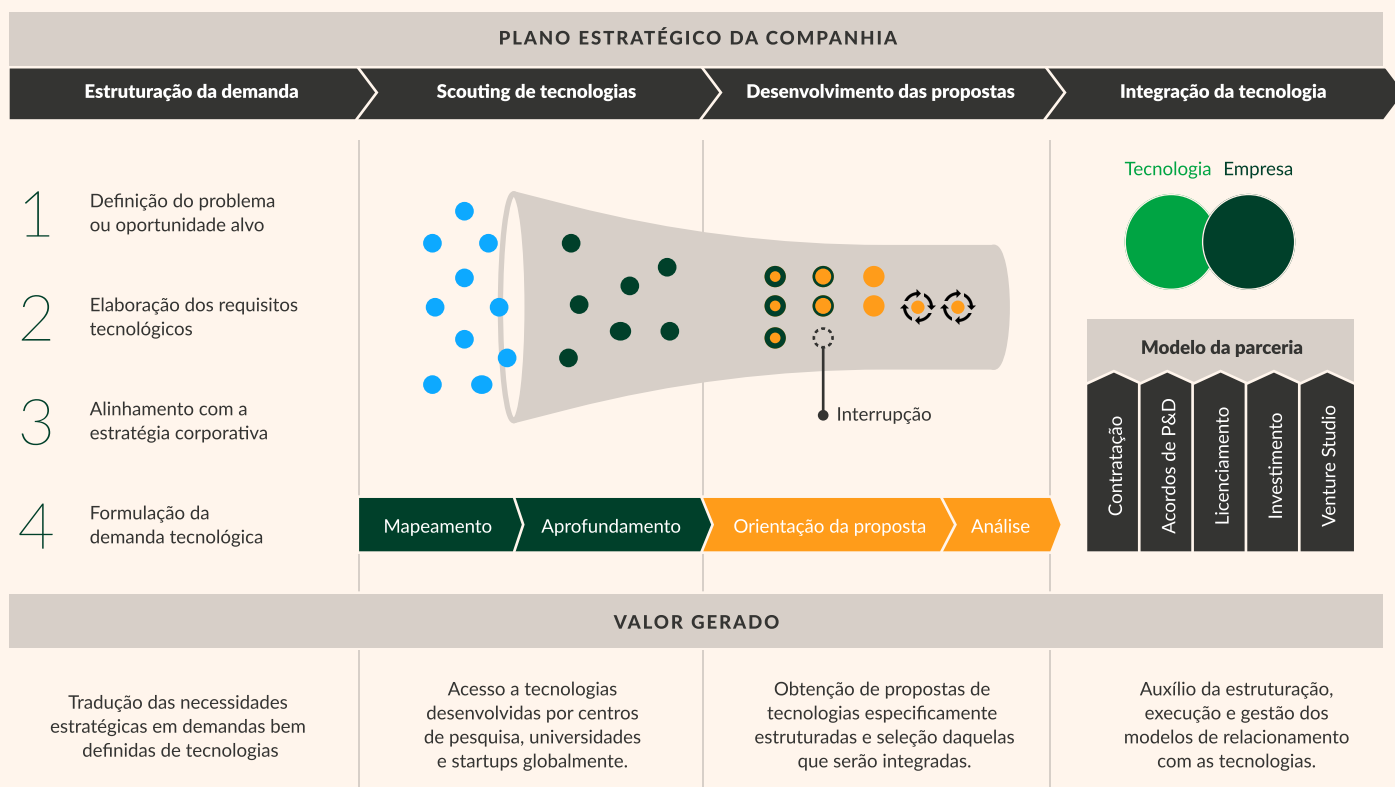
O projeto de Estudo de Cenário tecnológico e Mapeamento de tecnologias teve como base a metodologia de Inovação Corporativa da Emerge: o Open Deep Tech Innovation Model®.

A metodologia utilizada parte do Plano Estratégico da companhia para alavancar resultados estratégicos por meio da conexão com tecnologias de base científica (Deep Techs).

GRÁFICO 38

### Open Deep Tech Innovation Model®

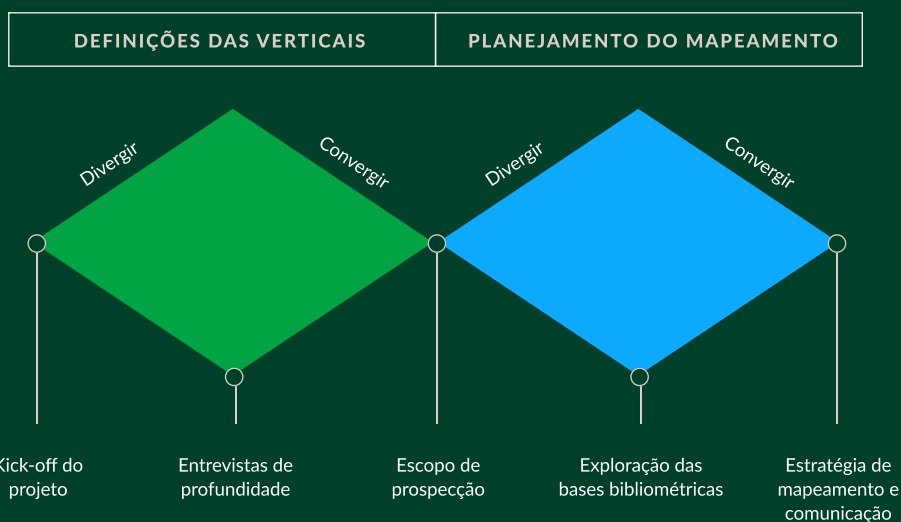
Como utilizar deep techs para alavancar os resultados estratégicos



O objetivo do processo definido é atender às necessidades de companhias que buscam conhecimento externo e encontrar soluções técnicas para integrarem a seus produtos/serviços (inovação outside-in). Por isso, o Open Deep Tech Innovation Model® conta com quatro etapas que norteiam a construção de planos de trabalho junto às companhias parceiras para a exploração do ecossistema científico-empresarial.

GRÁFICO 38

### Representação da metodologia utilizada



Na primeira etapa realiza-se a tradução das necessidades estratégicas e obtém-se como resultado as verticais temáticas e suas respectivas linhas tecnológicas que delimitam o escopo de atuação do estudo e da prospecção. Para esse projeto

segmentado em 4 verticais tecnológicas e 23 linhas tecnológicas divididas entre as diferentes verticais que delimitam o processo de produção do hidrogênio verde.

# Verticais tecnológicas

## 01. Tecnologias e processos direcionados para a produção de Hidrogênio Verde

Linhas tecnológicas:

- Tecnologias e processos para a produção de Hidrogênio Verde por via de eletrólise alcalina;
- Tecnologias e processos para a produção de Hidrogênio Verde por via de eletrólise com membrana trocadora de prótons (PEM);
- Tecnologias e processos para a produção de Hidrogênio Verde por via de eletrólise de óxido sólido (SOEC ou SOE);
- Novas tecnologias e processos para a produção de Hidrogênio Verde por vias alternativas (fotoeletrólise, fotocatalise, bioprocessos, reforma de biomassa, etc.).

## 02. Tecnologias e processos aplicados à transformação do Hidrogênio Verde

Linhas tecnológicas:

- Tecnologias e processos sustentáveis para hidrogenação do gás carbônico;
- Tecnologias e processos para a transformação de Hidrogênio Verde em combustíveis sintéticos;
- Novas tecnologias e processos sustentáveis para fixação de nitrogênio;
- Tecnologias e processos para a transformação de Hidrogênio Verde em amônia verde.
- Tecnologias e processos para re-eletrificação do hidrogênio verde;
- Novas tecnologias para a aplicação do Hidrogênio Verde na produção de calor e de energia elétrica.

## 03. Tecnologias e processos direcionados para o transporte de Hidrogênio Verde

Linhas tecnológicas:

- Novas tecnologias direcionadas a purificação segura e eficiente de Hidrogênio Verde;
- Tecnologias e processos para a armazenamento, pressurização e/ou liquefação de Hidrogênio Verde;
- Novas tecnologias e processos para o transporte marítimo de Hidrogênio;
- Novas tecnologias e processos para o transporte rodoviário de Hidrogênio;
- Novas tecnologias e processos para o transporte ferroviário de Hidrogênio;
- Novas tecnologias e processos para o transporte dutoviário de Hidrogênio.

## 04. Tecnologias e processos para a aplicação final de Hidrogênio Verde no mercado

Linhas tecnológicas:

- Novas tecnologias para a aplicação do Hidrogênio Verde na indústria siderúrgica (aço verde) e/ou metalúrgica;
- Novas tecnologias para a aplicação do Hidrogênio Verde na indústria petroquímica, química e/ou agropecuária (exceto amônia verde);
- Novas tecnologias para a aplicação do Hidrogênio Verde nas indústrias cerâmicas, de vidro e/ou de cimento;
- Novas tecnologias para a aplicação do Hidrogênio Verde em refinarias;
- Novas tecnologias para a aplicação do hidrogênio verde em transportes pesados terrestres e marítimos;
- Tecnologias e processos para a adaptação do processo de conversão de indústrias para o uso de Hidrogênio Verde;
- Tecnologias e processos voltadas para o desenvolvimento de clusters locais de produção de Hidrogênio Verde.

A partir desse escopo, foram realizados os levantamentos bibliométricos de artigos publicados e de patentes nas principais bases globais e nacionais para a investigação do potencial e do histórico de desenvolvimento tecnológico do tema.

O levantamento bibliométrico de publicações utilizou como principal termo de busca a expressão “hidrogênio verde” e suas variações, visando ter mais assertividade no recorte das informações. Assim, foram obtidas 128 publicações entre 2012 e 2022 no Brasil. Em adição, foram analisados termos similares como “hidrogênio sustentável” obtendo um total de 891 publicações. Dentro do conceito de sustentável, para o contexto de hidrogênio, existem outras categorizações que não estão no objeto do presente estudo. Dessa forma, as informações analisadas e consideradas estão exclusivamente ligadas às tecnologias relacionadas ao conceito de hidrogênio verde.

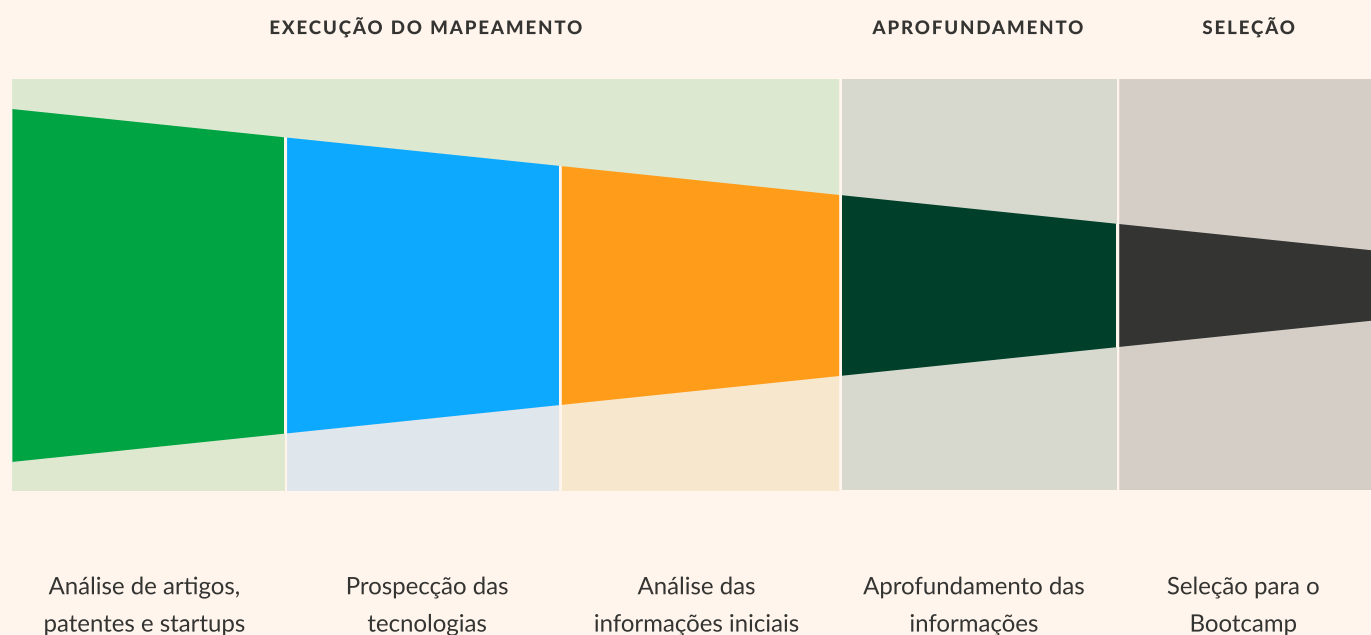
Seguindo um processo similar dos artigos e publicações, o levantamento de patentes foi apoiado por consultores em propriedade intelectual de um escritório especializado no tema. Para essa análise, algumas alterações na divisão temática dentro das verticais foram feitas a partir da

classificação de famílias de patentes já existentes. Na Vertical 1 de produção de hidrogênio verde, foram analisadas as famílias de patentes relacionadas a: eletrólise, conversão de combustíveis fósseis, conversão de biomassas e resíduos, produção biológica de hidrogênio e tecnologias fotoquímicas e fotocatalíticas. As verticais 2 e 4 foram agrupadas, sendo analisadas de acordo com as famílias de patentes relacionadas a: mistura de gases, ao transporte de hidrogênio, geração de energia elétrica a partir de hidrogênio, utilização industrial de hidrogênio, exportação de hidrogênio e armazenamento de calor utilizando hidrogênio, não sendo possível desvinculação dessas verticais. Por fim, na Vertical 3 de armazenamento e distribuição foram analisadas duas famílias de patentes: a de compressão ou liquefação de hidrogênio para o transporte e distribuição; e a de armazenamento e transporte de hidrogênio por meio de um carregador químico.

A partir da análise bibliométrica, foram mapeados os cientistas e grupos de pesquisa com maior potencial para possuírem tecnologias com os objetivos e resultados alinhados ao alvo do estudo e com ímpeto de se conectar ao mercado.

#### GRÁFICO 40

### Representação da metodologia de prospecção de tecnologias



As tecnologias cadastradas passaram por uma análise cuidadosa para verificar se estavam de acordo com os critérios do mapeamento e estavam alinhadas à estratégia da empresa. Assim, algumas tecnologias foram reposicionadas em outras verticais, bem como foi realizada uma revisão inicial do nível de maturidade declarado pela equipe junto ao consultor técnico do projeto.

Para a confecção do relatório, realizou-se um estudo prévio que envolveu leitura de artigos, publicações e relatórios, além de entrevistas com diferentes profissionais relacionados à cadeia produtiva do hidrogênio, em especial aqueles que se destacam na temática de hidrogênio verde.

Conforme o levantamento do volume de publicações, patentes e dados do mapeamento segmentou-se essas informações de

acordo com o país de origem do pesquisador ou depósito da patente e de forma temporal para que fosse possível verificar o cenário brasileiro de desenvolvimento em PD&I e o seu posicionamento perante ao cenário global, assim como a evolução dos temas nos últimos anos. Além disso, aprofundou-se na relação entre o estudo e iniciativas mapeadas voltadas para o desenvolvimento de tecnologias.

Na definição quanto ao modo de apresentação dos dados considerou a necessidade de entender o posicionamento do Brasil quanto ao desenvolvimento de pesquisa e tecnologias voltadas ao hidrogênio verde. Enquanto as entrevistas foram desenvolvidas com diferentes profissionais com o intuito de captar a visão das Universidades, Instituições Governamentais e Indústria quanto ao cenário e posicionamento nacional.



## Equipe

### LUCAS SILVA DELGADO

Sócio-diretor da Emerge Brasil

### YURI OLIVEIRA TRIGO

Gerente de Projetos e Novos Negócios da Emerge Brasil

### CAROLINE URENHA SILVA

Consultora de Projetos da Emerge Brasil

### FERNANDA FRANCESCHI GUEDES

Consultora de Projetos da Emerge Brasil

### ALVARO MACHADO MOREIRA SILVA

Gerente de Comunicação da Emerge Brasil

### ANTONIO OTAVIO DE TOLEDO PATROCÍNIO

Professor Associado do Instituto de Química – Universidade Federal de Uberlândia  
Consultor técnico da Emerge Brasil para o projeto

### MARINA GALDINO DA SILVA

Edição e Diagramação

## Referências

**MCKINSEY & COMPANY.** Hidrogênio verde: uma oportunidade de geração de riqueza com sustentabilidade, para o Brasil e o mundo. Disponível em: <hidrogenio\_verde-por.pdf (mckinsey.com)>

**EPE.** Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2021 - ano base 2020, 2021. Disponível em: <Anuário\_2021.pdf (epe.gov.br)>

**IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY.** The future of hydrogen. 2019. Disponível em: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/9e3a3493-b9a-6-4b7d-b499-7ca48e357561/The\_Future\_of\_Hydrogen.pdf>.

**CHIAPPINI.** Projetos de hidrogênio verde anunciados pelo mundo somam mais de US\$ 80 bi. 2021. Disponível em: <Projetos de hidrogênio verde pelo mundo somam mais de US\$ 80 bi (epbr.com.br)>

**EPE.** Matriz Energética e Elétrica. 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica#:~:text=A%20matriz%20el%C3%A9trica%20brasileira%20%C3%A9,em%20sua%20maior%20parte%20renov%C3%A-1vel>