



cognitio

CONSULTORIA

WWW.H2VERDEBRASIL.COM.BR



Avaliação do potencial da indústria brasileira para o desenvolvimento da cadeia de valor do Hidrogênio Verde com foco no Estado do Ceará

Relatório 2 - Caracterização e potencial de produção nacional dos principais componentes da cadeia produtiva de H2V

H2BRASIL

Expansão do Hidrogênio Verde

Publicado por

H2Brasil - Expansão do Hidrogênio Verde

Cooperação Brasil-Alemanha para o Desenvolvimento Sustentável

**Ministério de Minas e Energia
(MME)**

Ministro

Alexandre Silveira de Oliveira

**Secretário de Planejamento e
Desenvolvimento Energético**

Efrain Pereira da Cruz

**Deutsche Gesellschaft für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ)**

Diretor Nacional

Michael Rosenauer

Diretor do H2Brasil

Markus Francke

Coordenação geral do H2Brasil

Andrej Frizler

Elaboração Técnica

Cognitio Consultoria

Ennio Peres da Silva

Edilaine Venâncio Camillo

Izana Nadir Ribeiro Vilela

Jorge Luís Ferreira Boeira

Matheus Henrique Baesso

Apoio Técnico

Daniela Scarpa Beneli

Revisão Técnica

Aschkan Davoodi Memar

Bernardo Carneiro Doerr

Luciano da Silva

Projeto Hub do Hidrogênio Verde - Ceará

Roseane Oliveira de Medeiros - SEDET

Célio Fernando Bezerra Melo - Casa Civil

Adão Linhares - SEINFRA

Constantino Frate Junior - SEDET

Fernando Nunes Melo - UFC

Guilherme Muchale - FIEC

Joaquim Rolim - FIEC

Jurandir Picanço Júnior - FIEC

Data

Brasília/DF - Maio de 2023

Contatos

Ministério de Minas e Energia (MME)

Esplanada dos Ministérios - Bloco U - 5º andar

70065-900, Brasília - DF, Brasil

+55 61 3319-5299

Deutsche Gesellschaft für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH SCN Quadra 1
Bloco C Sala 1401 - 14º andar - Ed. Brasília
Trade Center

70711-902, Brasília - DF, Brasil

+55 61 2101-2170

Este estudo foi elaborado no âmbito do H2Brasil, programa que integra a Cooperação Brasil-Alemanha para o Desenvolvimento Sustentável e é implementado pela Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH e pelo Ministério de Minas e Energia (MME) e financiado pelo Ministério Federal da Cooperação Econômica e Desenvolvimento (BMZ) da Alemanha.

O Projeto H2Brasil tem o objetivo apoiar o aprimoramento da expansão do mercado de Hidrogênio Verde (H2V) no país como peça fundamental na redução da emissão de gases de efeito estufa na atmosfera e para contribuir para a descarbonização da economia brasileira.

Sumário

Lista de Abreviaturas.....	i
Lista de Figuras.....	iii
Lista de Quadros	iii
Lista de Tabelas.....	iv
1 Introdução	5
1.1 Metodologia Utilizada.....	7
2. Cadeia Produtiva do Hidrogênio Verde	10
2.1 Subsistema de Tratamento de Água.....	12
2.1.1 Válvulas Hidráulicas.....	13
2.1.2 Tubulações e Conexões Hidráulicas	14
2.1.3 Membranas de Osmose Reversa.....	15
2.1.4 Medidor de Condutividade da Água	15
2.1.5 Filtros de Partículas	16
2.1.6 Bombas Hidráulicas	17
2.2 Subsistema de Eletrólise	17
2.2.1 Vasos de Pressão para H ₂ e O ₂	23
2.2.2 Peneiras Moleculares	24
2.2.3 Tubulação para Gás	24
2.2.4 Válvulas para Gases.....	25
2.2.5 Conexões para Tubos	26
2.2.6 Mangueiras.....	27
2.2.7 Indicadores de Pressão.....	28
2.2.8 Indicadores de Temperatura	29
2.2.9 Nitrogênio (N ₂).....	30
2.2.10 Catalisador Deoxo	31
2.2.11 Container	31
2.3 Tanque de Armazenamento	32
2.3.1 Vasos de Pressão para H ₂	33
2.3.2 Tubulações e Conexões para Gás.....	33
2.3.3 Válvulas de Vazão e Segurança	33
2.3.4 Indicadores de Pressão.....	33
2.3.5 Indicadores de Temperatura	33
2.4 Equipamentos Ancilares e de Segurança	34

3	Análise do potencial local de produção e interfaces setoriais com a cadeia produtiva do Hidrogênio Verde	36
3.1	Estágio de desenvolvimento da indústria da eletrólise no mundo	36
3.1.1	Condicionantes para a inserção do Brasil na cadeia produtiva do Hidrogênio Verde.....	41
3.2	Capacidade industrial e competências setoriais.....	42
3.2.1	Produção industrial e interfaces setoriais.....	45
3.2.2	Produtos Químicos inorgânicos	47
3.2.3	Siderurgia do aço.....	48
3.2.4	Caldeiraria pesada	50
3.2.5	Laminados, tubos e conexões de PVC.....	51
3.2.6	Instrumentos para medição e controle.....	52
3.2.7	Equipamentos elétricos.....	54
3.2.8	Materiais elétricos de baixa tensão	56
3.2.9	Válvulas e Bombas Industriais	57
3.2.10	Containers	59
3.3	Estrutura produtiva e distribuição dos estabelecimentos por porte	60
3.4	Distribuição regional dos estabelecimentos industriais	64
3.5	Fluxos comerciais e gargalos industriais	67
4	Conclusão e Recomendações	73
5	Anexos	79
6	Bibliografia.....	82

Lista de Abreviaturas

AHK - Câmara de Comércio e Indústria Brasil-Alemanha

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás e Biocombustíveis

CNAE - Classificação Nacional de Atividades Econômicas

CO₂ - Dióxido de Carbono

EPE - Empresa de Pesquisa Energética

EPI - Equipamento de Proteção Individual

FIEC - Federação das Indústrias do Estado do Ceará

GIZ - Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH

GW - Gigawatt

H₂ - Hidrogênio

H₂V - Hidrogênio Verde

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IEA - International Energy Agency (Agência Internacional de Energia)

IRENA - International Renewable Energy Agency (Agência Internacional de Energias Renováveis)

KOH - Hidróxido de Potássio

kW – Kilowatt

ME – Ministério da Economia

MME - Ministério de Minas e Energia

MPME – Micro, Pequena e Médias Empresas

MoU - Memorandum of Understanding (Memorando de Entendimentos)

MW – Megawatt

NCM – Nomenclatura Comum do Mercosul

OEM - Original Equipment Manufacturer (Fabricante de equipamento original)

ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico

P&D - Pesquisa e Desenvolvimento

PEM - Proton Exchange Membrane ou Polymer Electrolyte Membrane (Membrana de troca de prótons ou Membrana Eletrolítica Polimérica)

PMEs – Pequenas e Médias Empresas

PIA - Pesquisa Industrial Anual

PIB – Produto Interno Bruto

PLC - Programmable Logic Controller (Controlador lógico programável)

PVC - Policloreto de Vinila

RAIS - Relação Anual de Informações Sociais

SEDET - Secretaria do Desenvolvimento Econômico e Trabalho do Ceará

SEINFRA - Secretaria da Infraestrutura do Ceará

SENAI - Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial

SOEC - Solid Oxide Electrolyser Cell (Célula Eletrolítica de Óxido Sólido)

SOFC - Solid Oxide Fuel Cell (Célula de combustível de óxido sólido)

TdR - Termo de Referência

UF – Unidade da Federação

UFC - Universidade Federal do Ceará

Lista de Figuras

Figura 1.1 - Metodologia do trabalho..	7
Figura 2.1 - Arranjo técnico geral para a produção de Hidrogênio Verde	10
Figura 2.2 - Componentes do sistema de produção de Hidrogênio Verde	11
Figura 2.4 - Exemplo de válvula hidráulica	14
Figura 2.5 - Exemplo de tubulação e conexão hidráulica	14
Figura 2.6 - Exemplo de sistema com membranas de osmose reversa.....	15
Figura 2.7 - Exemplo de medidor de condutividade da água.....	16
Figura 2.8 - Exemplo de filtro de partículas.....	16
Figura 2.9 - Exemplo de bomba hidráulica	17
Figura 2.10 - Principais tipos de eletrolisadores	18
Figura 2.11 - Exemplo de vasos de pressão.....	23
Figura 2.12 - Exemplo de peneira molecular	24
Figura 2.13 - Exemplo de tubulação para gás	25
Figura 2.14 - Exemplo de válvula do tipo macho esférico para gases.....	26
Figura 2.15 - Exemplo de conexões para tubos	27
Figura 2.16 - Exemplo de mangueiras de silicone	27

Figura 2.17 - Exemplo de indicador de pressão analógico.....	29
Figura 2.18 - Exemplo de transdutores e indicadores de pressão	29
Figura 2.19 - Exemplo de indicador de temperatura analógico.....	29
Figura 2.20 - Exemplo de transdutor .	29
Figura 2.21 - Exemplo de cilindros de gás nitrogênio.....	30
Figura 2.22 - Exemplo de container de 40 pés	32

Lista de Quadros

Quadro 1.1 - Modelo adotado para elaboração das fichas técnicas.....	8
Quadro 2.1 - Ficha técnica dos componentes do subsistema de tratamento de água	12
Quadro 2.2 - Ficha técnica dos componentes dos eletrolisadores.....	19
Quadro 2.3 - Componentes comuns aos dois eletrolisadores (alcalino e PEM).	22
Quadro 2.4 - Ficha técnica dos componentes do tanque de armazenamento de hidrogênio	33
Quadro 2.5 - Ficha técnica dos componentes ancilares e de segurança	34
Quadro 3.1- Principais fabricantes de eletrolisadores no mundo por país de origem e tipo de tecnologia	37
Quadro 3.2 - Correspondência entre componente/insumo da planta de	

hidrogênio e a Classificação Nacional de Atividades Produtivas em nível de classe (a 5 dígitos)	44
---	----

Lista de Tabelas

Tabela 3.1 - Produção industrial e receita líquida de vendas por CNAE – 2019 – em R\$ milhões.....	46
Tabela 3.2 - Estabelecimentos industriais formais disponíveis por CNAE e por porte - 2019	62
Tabela 3.3 - Estabelecimentos industriais disponíveis no Brasil por CNAE e por região - 2019.....	66
Tabela 3.4 - Exportações e importações brasileiras relacionadas à cadeia produtiva do Hidrogênio Verde - em milhões FOB (R\$) – 2019.....	68

1 Introdução

A agência oficial de desenvolvimento alemã, a Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ), é a instituição responsável pela execução de projetos em diversos temas no escopo da iniciativa de cooperação técnica entre os governos do Brasil e da Alemanha.

Em 2021, em nome do Ministério Alemão de Cooperação Econômica e Desenvolvimento (BMZ), GIZ GmbH e o Ministério de Minas e Energia (MME) criaram o projeto H2Brasil – Expansão de Hidrogênio Verde no Brasil. Cabe ressaltar que o governo brasileiro também tem buscado fomentar a produção no Brasil por meio do Programa Nacional do Hidrogênio (PNH2), o qual apresenta um conjunto de diretrizes a partir das dimensões de políticas públicas, tecnologia e mercado.

O objetivo do projeto H2Brasil é apoiar o aprimoramento da expansão do mercado de Hidrogênio Verde (H2V) no Brasil como peça fundamental na redução da emissão de gases de efeito estufa na atmosfera e para contribuir para a descarbonização da economia brasileira. Em parceria com o MME, o projeto H2Brasil realizará diversas ações, tais como:

- Elaboração de cenários de planejamento energético;
- Identificação de necessidades no marco regulatório atual;
- Análise sobre a implementação de um sistema de certificação de H2V no país;
- Divulgação de estudos, ações e campanhas sobre a importância da produção de H2V no Brasil;
- Promoção de intercâmbios de conhecimento e experiências com influenciadores, formadores de opinião e jornalistas;
- Desenvolvimento de conteúdos educacionais;
- Implantação de laboratórios com infraestrutura para aprendizagem e ações de formação profissional em tecnologias de H2V por meio do treinamento de multiplicadores – com a perspectiva de inclusão de gênero;
- Desenvolvimento de tecnologias, ideias e projetos inovadores para a produção de H2V e seus derivados PtX;
- Apoio a universidades brasileiras por meio da instalação de laboratórios e intercâmbio com instituições de pesquisa e universidades alemãs;

- Apoio ao aprimoramento da viabilidade econômica da aplicação industrial de Hidrogênio Verde (H2V) no Brasil por meio do desenvolvimento de instrumentos de financiamento para a alavancagem do mercado brasileiro de H2V e a implementação de um cluster de aplicações para projetos-piloto ao longo da cadeia de valor H2/PtX.

Além do MME, o H2Brasil conta ainda com os seguintes parceiros implementadores: Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), Agência Nacional do Petróleo, Gás e Biocombustíveis (ANP), Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI), empresas, universidades brasileiras e alemãs, empresas privadas e a Câmara de Comércio e Indústria Brasil-Alemanha (AHK) (MME, 2022).

Nesse contexto, a Cognito Consultoria foi contratada pela agência da GIZ no Brasil para desenvolver um estudo, organizado em 3 relatórios parciais, cujo objetivo é avaliar o potencial da indústria brasileira, no que se refere ao desenvolvimento de uma cadeia de valor para o Hidrogênio Verde, com foco no estado do Ceará.

O principal objetivo desse estudo é *“avaliar o potencial doméstico para fornecer os vários componentes da cadeia de abastecimento do Hidrogênio Verde no Brasil”* e, especificamente, *“identificar oportunidades para atividades da cadeia produtiva que podem ser desenvolvidas no Ceará por empresas de pequeno e médio porte”*. Nesse contexto, o presente projeto tem por objetivos específicos:

- Identificar e mapear a cadeia produtiva do Hidrogênio Verde com foco no estado do Ceará;
- Apresentar as oportunidades de investimento e exercício de atividades, no âmbito dessa cadeia produtiva, para pequenas e médias empresas do Ceará;
- E, por fim, contribuir para avançar com o tema do Hidrogênio Verde no Brasil.

Para atender a esses objetivos, serão entregues três relatórios ao longo do projeto e o presente documento corresponde ao Relatório 2, referente à caracterização e o potencial nacional de produção dos principais componentes da cadeia produtiva do Hidrogênio Verde.

De forma sucinta, o Relatório 2, além desta seção e da descrição da metodologia, está organizado em duas principais seções. A segunda seção apresenta resumos técnicos dos

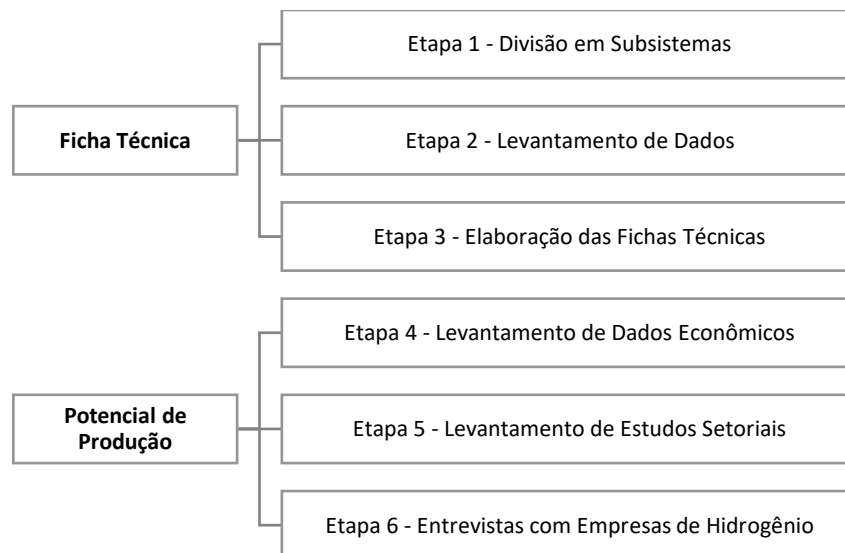
principais componentes necessários para a produção de Hidrogênio Verde, considerando a matéria-prima, características relevantes e sinergias com outros setores industriais. A terceira seção, por sua vez, apresenta uma análise econômica do potencial de produção dos principais componentes da cadeia produtiva do Hidrogênio Verde, a partir dos itens e elos da cadeia de valor já identificados (Cognitio, 2022).

1.1 Metodologia Utilizada

O Relatório 2 é composto de duas partes que se comunicam: (i) fichas técnicas, onde se apresentam os principais componentes de um sistema de produção de Hidrogênio Verde por meio da eletrólise da água; e, (ii) uma análise qualitativa do potencial de produção desses componentes no Brasil.

A partir dessas duas abordagens, as atividades serão desenvolvidas visando à obtenção dos conteúdos indicados no Termo de Referência (TDR) do projeto. Assim, a metodologia para o desenvolvimento deste trabalho é dividida em dois grupos e suas respectivas etapas, como mostra a Figura 1.1.

Figura 1.1 - Metodologia do trabalho



Fonte: elaborado pela Cognitio Consultoria

Para a parte das fichas técnicas, as três seguintes etapas foram realizadas:

- Divisão em Subsistemas: para a melhor identificação dos componentes, foi necessário delinear o sistema de produção de Hidrogênio Verde em subsistemas.
- Levantamento de Dados: após a definição dos subsistemas, levantou-se os dados e as informações sobre os principais componentes e insumos de cada subsistema.
- Elaboração da Ficha Técnica: com a identificação dos componentes principais, a partir da etapa anterior, foram elaboradas fichas técnicas com informações objetivas acerca de cada insumo. O modelo adotado é apresentado no Quadro 1.1, com a descrição de cada item.

Quadro 1.1 - Modelo adotado para elaboração das fichas técnicas

Equipamentos ou Insumo	Características	Materiais	Setores com Sinergia
Nome do equipamento ou do insumo analisado	Característica ou requisito essencial do equipamento ou insumo	Material de composição do equipamento ou insumo	Setores com os quais há sinergia e uso comum do mesmo equipamento ou insumo

Fonte: elaborado pela Cognitio Consultoria

Em relação a parte do Potencial de Produção, as outras 3 etapas são as seguintes:

- Levantamento de Dados Econômicos: Com vistas a identificar o potencial da industrial brasileira de produzir os componentes para a cadeia do hidrogênio verde, foram feitos levantamentos de dados em três bases diferentes: da Pesquisa Industrial Anual (PIA) realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Relação Anual de Informações Sociais (RAIS); da Secretaria de Comércio Exterior (SECEX).
- Levantamento de Estudos Setoriais e Entrevistas com Empresas de Hidrogênio: A análise quantitativa foi complementada por uma análise qualitativa, baseada em estudos setoriais específicos e entrevistas com dois tipos de empresas: aquelas que pretendem produzir Hidrogênio Verde no Brasil (que foram indicadas pelo Governo do Ceará) e aquelas que já produzem Hidrogênio Cinza no Brasil, mas que possuem projetos de Hidrogênio Verde em desenvolvimento no mundo.

Daquelas que pretendem produzir Hidrogênio Verde e que possuem MoU com o Estado do Ceará, foram entrevistados os representantes das seguintes empresas:

- EDP Brasil
- Engie Brasil

- Fortescue Metals Group
- Qair
- The AES Corporation
- TransHydrogen Alliance

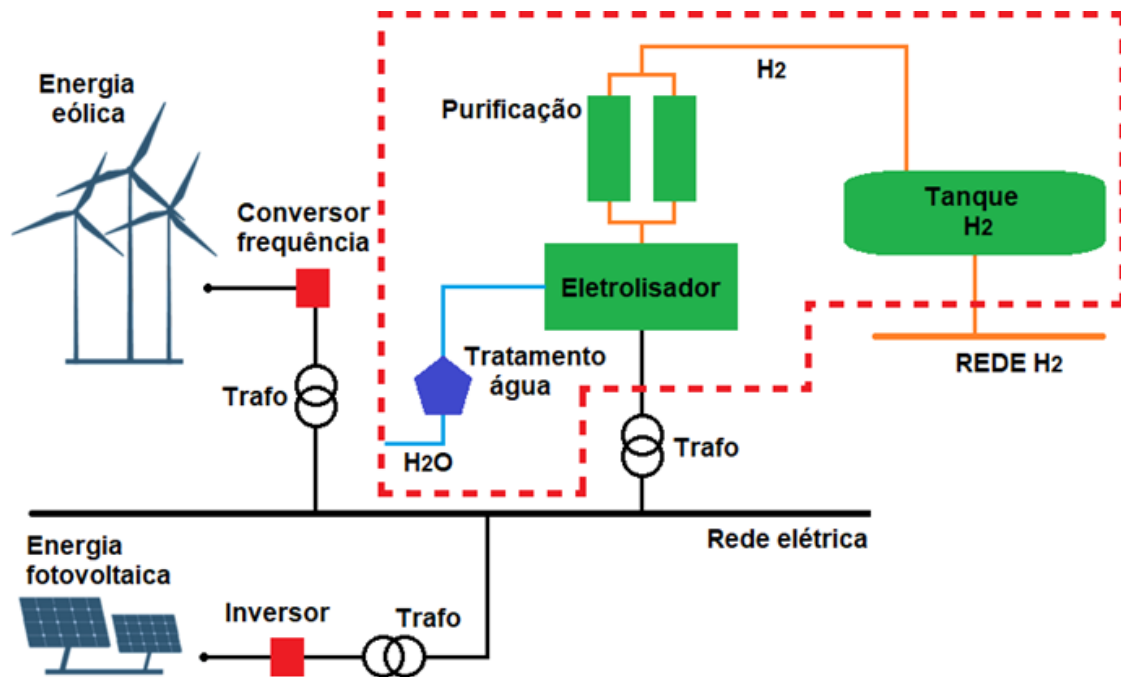
Dos produtores atuais de Hidrogênio Cinza, foram entrevistados os representantes das seguintes empresas:

- Air Products
- Air Liquide

2. Cadeia Produtiva do Hidrogênio Verde

O presente trabalho se concentra na cadeia produtiva do Hidrogênio Verde, como mostra o arranjo técnico geral da **Error! Reference source not found..1**, caracterizada pela produção do hidrogênio através do processo de eletrólise da água. A energia elétrica utilizada na eletrólise deve ser proveniente de fontes renováveis de energia, particularmente solar fotovoltaica e eólica. O equipamento responsável pela eletrólise é um eletrolisador, dispositivo que usa a eletricidade renovável para separar as moléculas de água em oxigênio e hidrogênio, liberando uma quantidade de calor ao meio ambiente.

Figura 2.1 - Arranjo técnico geral para a produção de Hidrogênio Verde

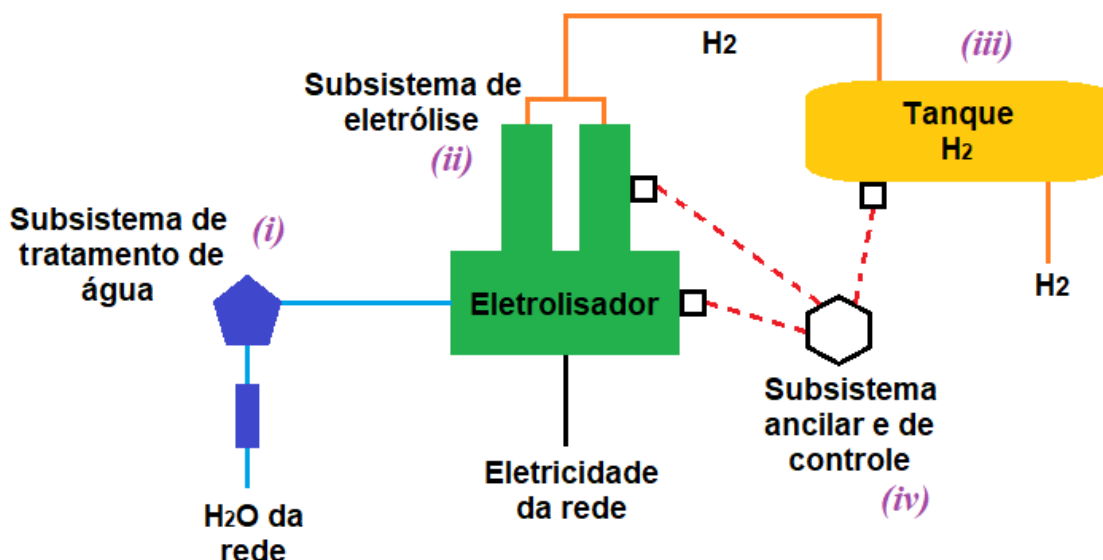


Fonte: elaborado pela Cognition Consultoria

Os sistemas de produção de Hidrogênio Verde, por meio da eletrólise da água, podem ser subdivididos em quatro subsistemas básicos de acordo com a função dos seus principais componentes, como mostra a Figura 2.2:

- (i) o subsistema de tratamento de água;
- (ii) o subsistema de eletrólise;
- (iii) o tanque de hidrogênio (H₂); e
- (iv) o subsistema ancilar e de controle.

Figura 2.2 - Componentes do sistema de produção de Hidrogênio Verde



Fonte: elaborado pela Cognition Consultoria

Considerando a esquematização simplificada dos subsistemas, o sistema de purificação integra-se ao de eletrólise. Observa-se ainda que, quando a pressão de saída do eletrolisador não é suficiente para a aplicação desejada, pode ser utilizado um compressor. No entanto, ele não será considerado neste estudo.

A seguir, cada subsistema será descrito e uma ficha técnica com os principais equipamentos relacionados será indicada. A ficha sintetiza informações técnicas e objetivas sobre os equipamentos, a matéria-prima principal utilizada na fabricação de cada um, algumas observações relevantes e a indicação dos setores com os quais há sinergia, ou seja, setores diversos cujo mesmo equipamento ou similar também seja utilizado.

É necessário observar que o recorte específico para a produção de hidrogênio se faz presente nos três primeiros subsistemas (tratamento da água, eletrólise e armazenamento de hidrogênio). Desse modo, para esses subsistemas haverá uma descrição mais detalhada de cada componente, com exemplos ilustrativos. Já o subsistema ancilar e de controle apresenta componentes gerais e não serão pormenorizados.

2.1 Subsistema de Tratamento de Água

O subsistema de tratamento de água consiste em um equipamento capaz de desmineralizar a água e os seus principais componentes são elencados no Quadro 2.1.

Quadro 2.1 - Ficha técnica dos componentes do subsistema de tratamento de água

Equipamentos ou Insumos	Características	Materiais	Setores com Sinergia
Válvulas hidráulicas	Não devem contaminar a água	PVC, nylon ou material equivalente	Indústria alimentícia, química, petroquímica, papel, farmacêutica etc.
Tubulações e conexões hidráulicas	Não devem contaminar a água	PVC, CPVC, silicone ou semelhante	Indústria alimentícia, química, petroquímica, naval, galvânica, civil, cosméticos, saneamento etc.
Membranas para osmose reversa	Para água com elevada pureza	Acetato de celulose, poliamida com polisulfona ou material equivalente	Indústria cosmética, farmacêutica, alimentícia, química, hospitalar, mineração etc.
Medidor de condutividade da água	Para auferir a qualidade da água desmineralizada (escala de 0,5 a 3,0 $\mu\text{S}/\text{cm}^1$)	Plástico injetado de alto impacto	Agricultura, indústria alimentícia, laboratórios, indústria eletrônica, química, etc.
Filtros de partículas	Não devem contaminar a água	Pré-filtros (celulose, vidro, carvão ativado) e sub-mícrons (< 0,2 mícrons)	Ind. química, farmacêutica, alimentícia, laboratórios etc.
Bombas hidráulicas	Não devem contaminar a água	Aço inoxidável, PVC, nylon ou material equivalente	Indústria automotiva, eletrônica, petroquímica, farmoquímica, tratamento de efluentes etc.

Fonte: elaborado pela Cognition Consultoria

Sabe-se que a produção de Hidrogênio Verde utiliza, como matéria-prima, a água e a eletricidade renovável para separar o hidrogênio e o oxigênio da água em um

¹ Unidade básica de medida da condutividade elétrica.

eletrolisador. A água, a mais pura possível é, portanto, um insumo essencial. Embora o nível de pureza necessário varie de acordo com a tecnologia do eletrolisador, o custo da purificação da água acaba sendo marginal (IRENA, 2020).

De acordo com De Pinho (2017), a água consumida durante a eletrólise tem que ser repostada constantemente, sendo o consumo de, aproximadamente, 1,0 L/m³ de hidrogênio produzido (levando em conta as perdas por evaporação). Outra característica importante é que essa água deve atingir alta pureza para evitar problemas de corrosão e acúmulo de substâncias indesejáveis no interior do eletrolisador. Por esse motivo, segundo Parizzi (2008), a água deve passar por um processo de desmineralização ou de ionização, sendo essa a função principal do subsistema de tratamento de água.

O desmineralizador ou deionizador, por sua vez, é o dispositivo responsável por deixar a água quimicamente pura, sem condutividade, sais minerais, cloretos e íons (cátions e ânions). No caso da produção de Hidrogênio Verde, o processo tradicional atualmente utilizado é o da osmose reversa, que contempla uma membrana capaz de separar fisicamente os sólidos dissolvidos na água. De modo geral, os eletrolisadores já possuem um sistema de osmose reversa interno, que trata a água oriunda da rede antes de utilizá-la. Caso o tratamento da água seja feito fora do eletrolisador, é necessário ter um equipamento que realize justamente a osmose reversa, tecnologia já conhecida, sobretudo no nordeste brasileiro, devido à escassez hídrica da região.

2.1.1 Válvulas Hidráulicas

As válvulas hidráulicas (Figura 2.4) regulam, direcionam e controlam o fluxo e a pressão dos fluidos e podem ser posicionadas em pontos diferentes do sistema, de acordo com os objetivos de cada aplicação (abertura, fechamento ou obstrução da passagem do fluido). Há vários tipos de válvulas no mercado, de diferentes tamanhos, tecnologias e materiais, e para o caso específico do subsistema de tratamento de água, deve-se utilizar um material que seja resistente à oxidação e que evite a contaminação da água (PVC, nylon e assemelhados).

Figura 2.3 - Exemplo de válvula hidráulica

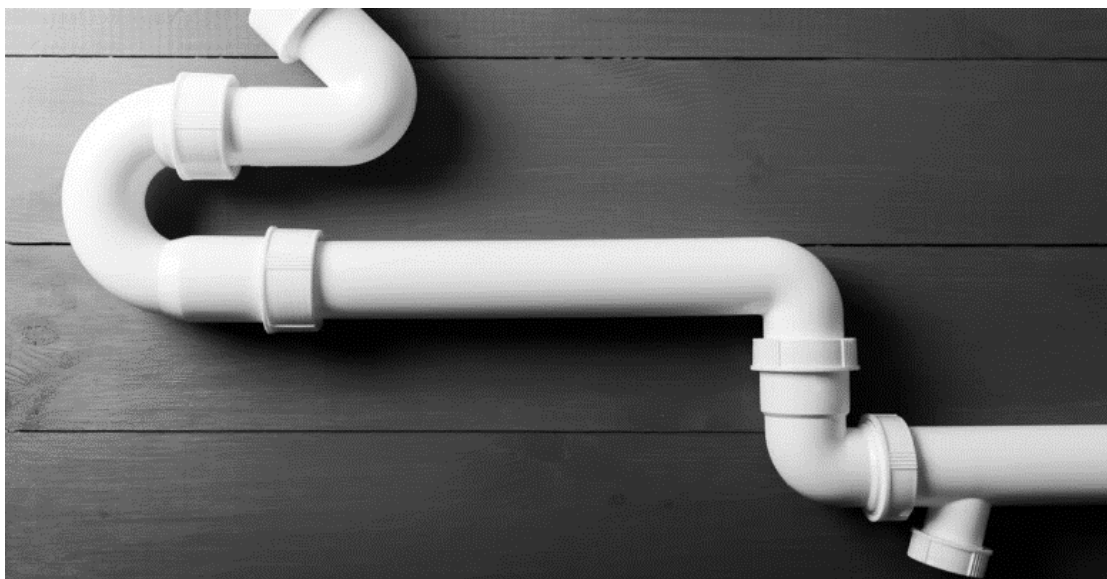


Fonte: Plastolândia Hidráulica e Plásticos Industriais (2022)

2.1.2 Tubulações e Conexões Hidráulicas

Já as tubulações hidráulicas (Figura 2.5) podem ser de PVC (Policloreto de Vinila), um termoplástico inerte, atóxico e reciclável, e que se destaca pela resistência química e à corrosão e de baixo custo. Há também o CPVC (Policloreto de Vinila Clorado), que possui alta resistência à corrosão e pode transportar água fria e quente (diferente do PVC, que é indicado para condução de água fria).

Figura 2.4 - Exemplo de tubulação e conexão hidráulica



Fonte: Himater (2022)

2.1.3 Membranas de Osmose Reversa

As membranas de osmose reversa (Figura 2.6) são os dispositivos que realizam, de fato, a filtragem e purificação da água. As membranas permitem somente a passagem da água, e o soluto (sais dissolvidos) fica retido, por isso são aplicadas quando é necessário obter um produto (água tratada) com menor conteúdo de sais presentes. No mercado, há dois tipos de membranas de osmose reversa para aplicação industrial: a de acetato de celulose, que resiste a produtos oxidantes e é utilizada na presença de cloro; e a de poliamida, mais resistente a uma faixa maior de pH, porém não resiste a oxidantes, como o cloro.

Figura 2.5 - Exemplo de sistema com membranas de osmose reversa



Fonte: Portal Tratamento De Água (2022)

2.1.4 Medidor de Condutividade da Água

O medidor de condutividade da água (Figura 2.7), também chamado de condutímetro, é o equipamento responsável por medir a quantidade de corrente elétrica em uma solução, ou o quanto essa solução é condutora. Há vários modelos e tipos de medidores de condutividade no mercado, com preços variados. No entanto, a função principal deles é controlar a qualidade da água utilizada, uma vez que a água desmineralizada precisa estar sem sais dissolvidos. Nessa aplicação são necessários equipamentos capazes de medidas entre 0,5 e 3,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Figura 2.6 - Exemplo de medidor de condutividade da água



Fonte: Gehaka (2022)

2.1.5 Filtros de Partículas

Os filtros de partículas (Figura 2.8), conhecidos como filtro cartucho, são equipamentos utilizados em indústrias, estabelecimentos comerciais e em residências. Esses filtros são aplicados para a retirada de partículas e impurezas em líquidos, e além da água, podem filtrar solventes, ácidos, bases e óleos vegetais e derivados do petróleo.

Figura 2.7 - Exemplo de filtro de partículas



Fonte: Ph.Parker (2022)

O filtro possui uma peça externa (carcaça) que pode ser azul ou transparente, e o elemento filtrante, que fica na parte interna (cartucho), é capaz de impedir que o líquido sofra contaminações. Tanto a peça externa quanto o elemento filtrante, no interior da peça, podem ser feitos de polipropileno. Há também cartuchos de carbono ativado, poliéster, nylon e polipropileno com algodão e fibra de vidro.

2.1.6 *Bombas Hidráulicas*

Por fim, tem-se as bombas hidráulicas (Figura 2.9) que convertem a energia mecânica em energia hidráulica com o objetivo de realizar ou manter o deslocamento de um líquido por escoamento. Para evitar a contaminação da água, é necessário utilizar equipamentos que considerem esse tipo de aplicação. No mercado, é possível encontrar bombas para água deionizada e ultrapura, por exemplo, e que não utilizam óleo lubrificante, e até equipamentos projetados para osmose reversa.

Figura 2.8 - Exemplo de bomba hidráulica



Fonte: Danfoss (2022)

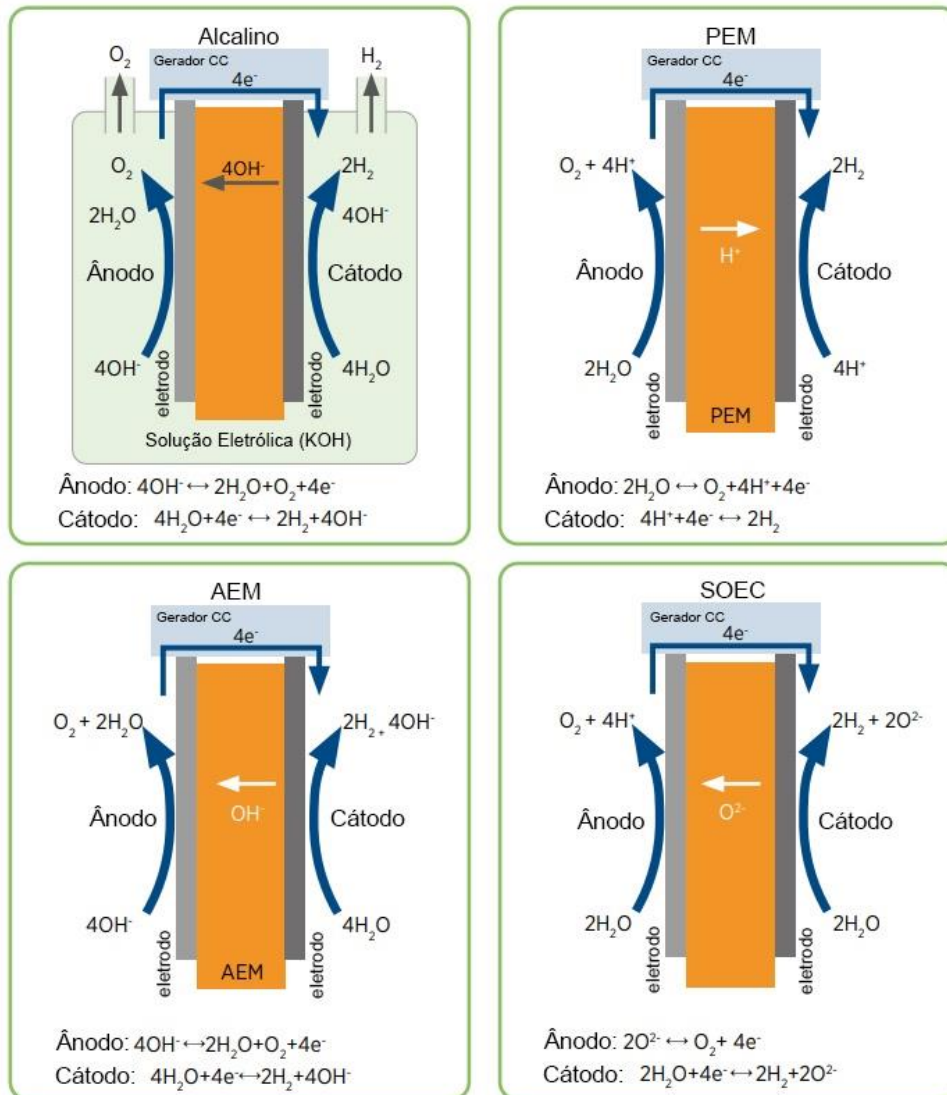
2.2 **Subsistema de Eletrólise**

O eletrolisador é o principal componente de um sistema de produção de Hidrogênio Verde, a partir da eletrólise da água, bem como do subsistema de eletrólise. De modo geral, eles são divididos em quatro tecnologias e são caracterizados pelo eletrólito. Os quatro principais tipos de eletrolisadores são (IEA, 2021):

1. Alcalino (*Alkaline ou ALK*)
2. PEM (*Proton Exchange Membrane*)
3. AEMs (*Anion Exchange Membrane*)
4. SOECs (*Solid Oxide Electrolysis Cells*)

Os dois primeiros (Alcalino e PEM), como mostra Figura 2.10, já estão em uso comercial, e os dois últimos (AEM e Solid Oxide) ainda não possuem escala comercial e estão em fase de pesquisa e aplicação laboratorial. Os eletrolisadores alcalinos predominam no mercado com 61% da capacidade instalada, em 2020, enquanto os do tipo PEM abarcam 31% do total. A potência instalada restante conta com as demais tecnologias (IEA, 2021).

Figura 2.9 - Principais tipos de eletrolisadores



Fonte: Adaptado de IRENA (2020)

Há outras características importantes que tornam esses eletrolisadores mais atrativos comercialmente, como a área necessária para a instalação do sistema. Os do tipo PEM demandam uma área relativamente pequena, sendo mais adequado que os alcalinos em áreas industriais ou de alta densidade urbana. Os materiais empregados, atualmente, são caros, no entanto, os custos totais relacionados ao do tipo PEM (US\$

1750/kW) são maiores que os eletrolisadores do tipo alcalino (US\$ 1000 – 1400/kW), e os do tipo PEM possuem uma vida útil menor (IEA, 2021). Nesse contexto, serão analisados os eletrolisadores do tipo alcalino e PEM. As principais características e especificidades dos eletrolisadores são apresentadas no Quadro 2.2.

Quadro 2.2 - Ficha técnica dos componentes dos eletrolisadores

Informação	Tipo Alcalino	Tipo PEM
Temperatura de operação	70-90 °C	50-80 °C
Pressão de operação	1-30 bar	< 70 bar
Eficiência	~ 62	~ 59
Eletrólito	KOH	Membranas PFSA
Separador (ou diafragma)	ZrO ₂ estabilizado com malha de PPs	Membranas PFSA
Eletrodo/catalisador (produzir oxigênio)	Aço inoxidável perfurado e revestido com níquel	Óxido de irídio
Eletrodo/catalisador (produzir hidrogênio)	Aço inoxidável perfurado e revestido com níquel	Nanopartículas de platina em negro de fumo
Camada porosa de transporte do ânodo	Malha de níquel (nem sempre presente)	Titânio sintetizado poroso revestido de platina
Camada porosa de transporte do cátodo	Malha de níquel	Titânio sintetizado poroso ou tecido de carbono
Placa bipolar do ânodo	Aço inoxidável revestido de níquel	Titânio revestido de platina
Placa bipolar do cátodo	Aço inoxidável revestido de níquel	Titânio revestido de ouro
Quadros e vedação	PSU, PTFE e EPDM	PFTE, PSU e ETFE

Notas: KOH (hidróxido de potássio), PFSA (ácido Perfluorosulfônico), ZrO₂ (dióxido de zircônio), PPS (Sulfureto de Polifenileno), PSU (Polisulfona), PTFE (Politetrafluoroetileno), EPDM (é um tipo de borracha sintética) e ETFE (Etileno Tetrafluoroetileno). As eficiências aproximadas são uma média simples que considerou, ao todo, 17 eletrolisadores em uso (DeepResource, 2014).

Fonte: adaptado de IRENA (2020)

A principal vantagem do eletrolisador alcalino está no fato de que esses equipamentos podem ser feitos de materiais abundantes e mais baratos. Os eletrodos, por exemplo, podem ser feitos de ferro ou ferro revestido de níquel (para produzir hidrogênio) e níquel (para produzir oxigênio) (GODULA-JOPEK, 2015).

No eletrolisador alcalino, o eletrólito responsável por fazer esse transporte (de ânions OH) é, tipicamente, uma solução aquosa de hidróxido de potássio altamente concentrada. Os eletrodos e os gases produzidos são fisicamente separados por uma camada porosa inorgânica, também chamada de separador ou diafragma, que é permeável à solução de KOH (hidróxido de potássio) (IRENA, 2020).

Atualmente, os eletrolisadores alcalinos possuem áreas de eletrodos de até 3 metros quadrados (3 m²). Eles operam com um eletrólito de alta concentração de KOH (hidróxido de potássio) (geralmente, 57 mols de soluto por litro de solução [mol*L⁻¹]), diafragmas robustos de ZrO₂ (dióxido de zircônio) e eletrodos de aço inoxidável revestidos de níquel (Ni). O transporte da carga iônica é feito pelo íon hidroxila OH⁻, com KOH, e a água flui através da estrutura porosa do diafragma, para que a reação eletroquímica ocorra (IRENA, 2020).

Em alguns sistemas, os espaçadores também podem ser utilizados por alguns fabricantes, e eles são colocados entre os eletrodos e os diafragmas para evitar a mistura dos gases (hidrogênio e oxigênio). Os diafragmas e espaçadores adicionados resultam em altas resistências ôhmicas nos dois eletrodos, reduzindo drasticamente a densidade de corrente em uma determinada tensão (IRENA, 2020).

Os eletrolisadores alcalinos requerem a recirculação do eletrólito (KOH) para dentro e para fora dos componentes do *stack*. De acordo com IRENA (2020), os eletrolisadores podem ser estruturados em dois grupos gerais: o *stack* (onde ocorre a divisão da água em hidrogênio e oxigênio) e o *balance of plant* (que compreende os demais componentes, como a parte de fornecimento de energia, abastecimento e purificação da água, buffers, compressão e processamento do hidrogênio).

Essa recirculação cria uma queda de pressão que demanda bombeamento. Alguns sistemas alcalinos podem também ser operados sem esses periféricos de bombeamento. Após deixar o *stack*, a solução do eletrólito precisa ser separada dos gases produzidos. Isso é feito em separadores de gás-água, que são colocados no lado superior do *stack*, em uma determinada altura, e KOH/água flui de volta ao *stack* (IRENA, 2020).

Nos eletrolisadores do tipo PEM, os eletrodos são separados por um eletrólito sólido e isolante de elétrons. Esse eletrólito é responsável por transportar os íons de um eletrodo a outro e, concomitantemente, por separar fisicamente os gases produzidos. Como ele possui um eletrólito sólido, não é necessário adicionar uma solução aquosa eletrolítica (IRENA, 2020). O eletrólito sólido é uma membrana de PFSA (ácido Perfluorosulfônico) fina (0,2 mm) e eletrodos que permitem alcançar maiores eficiências (ou seja, menos resistência). A membrana de ácido Perfluorosulfônico (PFSA) é, também, quimicamente e mecanicamente robusta, e suporta diferenciais de alta pressão. Assim, as células do tipo PEM podem operar com até 70 bar, com o lado do oxigênio à pressão atmosférica (IRENA, 2020).

Materiais à base de titânio, catalisadores de metais nobres e revestimentos protetores são necessários para os eletrolisadores do tipo PEM, não apenas para fornecer estabilidade a longo prazo aos componentes, mas também para fornecer condutividade ótima de elétrons e eficiência. Esses requisitos fazem com que os eletrolisadores do tipo PEM sejam mais caros do que os alcalinos. Os PEMs têm um sistema mais compacto e um design simples, mas são sensíveis às impurezas da água como ferro, cobre, cromo e sódio, e podem sofrer calcinação. Atualmente, as áreas dos eletrodos estão se aproximando dos 2000 centímetros quadrados (2000 cm²), mas isso ainda está distante dos *stack* de longa escala (MW), com o uso de um *stack* único (IRENA, 2020).

Os sistemas do tipo PEM são muito mais simples que os alcalinos. Eles normalmente demandam o uso de bombas de circulação, trocadores de calor, controles e monitoramento de pressão apenas no lado do ânodo (lado do oxigênio). Do lado do cátodo, um separador de gás, um componente de desoxigenação para remover o oxigênio remanescente (normalmente não é necessário para pressão diferencial), secador de gás e um compressor (IRENA, 2020).

Por fim, tem-se os componentes gerais e comuns aos dois eletrolisadores, como mostra o Quadro 2.3.

Quadro 2.3 - Componentes comuns aos dois eletrolisadores (alcalino e PEM)

Equipamento ou Insumo	Características	Materiais	Setores com Sinergia
Vasos de pressão para H ₂ e O ₂	Para pressões moderadas, até 50 bar, na presença de vapor de KOH	Aço inox, de preferência AISI 316	Indústria química, petroquímica, mecânica, alimentícia
Tubulação para gás	Para pressões moderadas, até 50 bar, na presença de vapor de KOH	Aço inox, de preferência AISI 316	Indústria química, mecânica, alimentícia, petroquímica, papel e celulose
Válvulas para gases	Para pressões moderadas, até 50 bar, na presença de vapor de KOH	Aço inox, de preferência AISI 316	Indústria química, mecânica, alimentícia
Conexões para tubos	Para pressões moderadas, até 50 bar, na presença de vapor de KOH	Aço inox, de preferência AISI 316	Indústria química, mecânica, alimentícia, naval, montagens industriais
Mangueiras	Resistentes ao KOH e não devem contaminar a água	Silicone ou equivalente	Indústria química, farmacêutica, alimentícia, hospitalar, têxtil
Indicadores de pressão	Para pressões moderadas, até 50 bar, na presença de vapor de KOH e resistentes ao H ₂ e ao O ₂	Aço inox (para os elementos de contato com os gases), de preferência AISI 316	Indústria química, petroquímica, mecânica
Indicadores de temperatura	Para temperaturas moderadas, até 150 °C, na presença de vapor de KOH e resistentes ao H ₂ e ao O ₂	Elementos de contato com o gás de aço inox, de preferência AISI 316	Indústria química, petroquímica, mecânica
Nitrogênio (N)	Em cilindros pressurizados até 200 bar	Pureza do N ₂ superior a 99,99 %	Indústria química, petroquímica, siderurgia, metalurgia, saúde, alimentícia
Catalisador de oxo	Para eliminar o H ₂ no O ₂ , e o O ₂ no H ₂	Paládio ou liga de paládio, suportado em alumina ou material equivalente	Indústria química, petroquímica
Peneiras moleculares	Para absorção de gases e umidade	Zeólitas ou aluminas	Indústria química, petroquímica, farmacêutica
Container	Isolado termicamente	Aço carbono	Indústria e comércio em geral

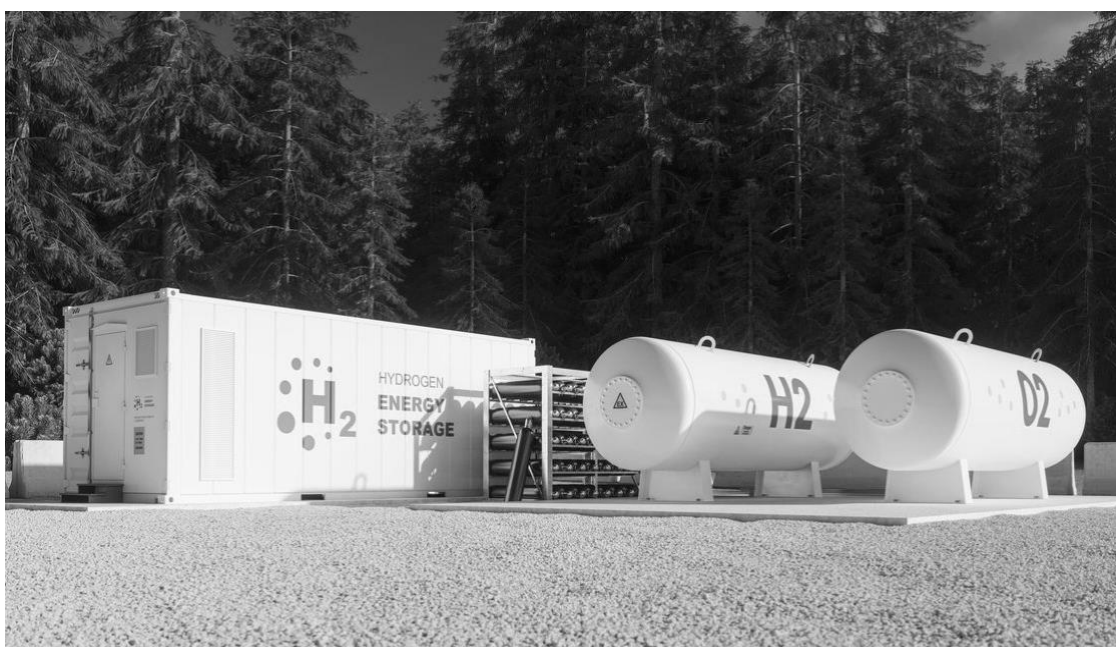
Fonte: elaborado pela Cognition Consultoria

2.2.1 Vasos de Pressão para H_2 e O_2

Os vasos de pressão (Figura 2.10) (*pressure vessel*) são reservatórios capazes de conter ou armazenar um fluido pressurizado. Logo, são utilizados em diversos processos industriais, seja na indústria química, petroquímica, alimentícia, farmacêutica etc. De modo geral, em alguma etapa dos processos de fabricação haverá a utilização de um vaso de pressão.

Os vasos de pressão mais utilizados nas indústrias são os cilíndricos (Figura 2.11), sendo a produção desses mais fácil. Além disso, eles podem ser dispostos na horizontal ou na vertical.

Figura 2.10 - Exemplo de vasos de pressão



Fonte: O Petróleo (2022)

Há diversos tipos de vasos de pressão disponíveis no mercado, sendo fabricados em aço carbono, aço inox ou materiais em ligas especiais. Como cada processo industrial é único, os vasos também possuem tipos, dimensões e finalidades específicas, e devem ser projetados para resistir com segurança a pressões internas diferentes da pressão normal ou ambiente, preservando os fluidos e gases em seu interior.

Os tanques para oxigênio podem ser construídos com aços tradicionalmente utilizados para ar, enquanto os para hidrogênio devem ser fabricados com aços especiais,

específicos para esse gás, conforme os códigos e normas vigentes (ASME Boiler Code, por exemplo).

2.2.2 Peneiras Moleculares

As peneiras moleculares (Figura 2.11) são constituídas de materiais minerais conhecidos como zeólitos, (estruturas cristalinas de alumínio-silicatos sintetizadas) e possuem diversos poros em sua superfície, com diâmetros uniformes. Desse modo, considerando a sua estrutura porosa e uniforme, os componentes menores são retidos nas porosidades e os maiores não, separando os componentes pelos seus tamanhos moleculares.

Figura 2.11 - Exemplo de peneira molecular



Fonte: Plastécnica (2022)

Para as plantas de Hidrogênio Verde, as peneiras moleculares, que estão dentro dos vasos de pressão que integram os sistemas de purificação dos gases, capturam os traços restantes de água e de outros gases contaminantes. As peneiras moleculares são compostas por um material adsorvedor, cuja função é adsorver, preferencialmente, gases e umidade residual garantindo a pureza do gás que está sendo produzido.

2.2.3 Tubulação para Gás

A tubulação para gás (Figura 2.12) é formada por tubos de condução, cuja função é conduzir o gás produzido. Os tubos de aço inoxidável, resistentes à oxidação e à corrosão, são aplicados em diferentes áreas, e podem ser redondos (com ou sem costura), quadrados ou retangulares. São fabricados em diversas dimensões, que variam com a aplicação final. Além disso, podem ser identificados como conjuntos de baixa,

média ou alta pressão, indicando a resistência em relação à pressão que serão submetidos.

Figura 2.12 - Exemplo de tubulação para gás



Fonte: Tubos ABC (2022)

O aço inox 316, ou AISI 316 apresenta uma quantidade significativa de molibdênio em sua composição, o que confere uma qualidade superior a esse tipo de aço inox, pois possui maior resistência à corrosão, sendo, portanto, uma escolha adequada para as plantas de produção de hidrogênio.

2.2.4 Válvulas para Gases

As válvulas (Figura 2.13), de forma geral, são utilizadas para estabelecer e controlar a pressão e o escoamento dos fluidos de uma tubulação (no caso, os gases que percorrem as tubulações). É possível encontrar vários tipos de válvulas no mercado, com funções e materiais diferentes, e as de aço inox possuem a capacidade de suportar a corrosão e a oxidação, alta durabilidade e não demandam manutenções com frequência elevada.

Figura 2.13 - Exemplo de válvula do tipo macho esférico para gases



Fonte: Medicalexpo (2022)

Os principais tipos para vazões moderadas e altas são: esfera (indicadas para auxiliar no controle de fluxo de fluidos), borboleta (utilizadas para interromper e controlar o fluxo dos fluidos) e globo (indicadas para o controle de fluxo de gases e líquidos mais viscosos, sendo mais aplicadas em gasodutos). Há também o tipo gaveta, no entanto, sua aplicação é direcionada para sistemas hidráulicos. As do tipo agulha são indicadas para vazões baixas e muito baixas.

2.2.5 Conexões para Tubos

As conexões para tubos (Figura 2.14) são amplamente utilizadas no setor industrial para fazer a ligação entre as tubulações, conduzir ou transferir ar, gases e líquidos.

Diversos modelos são encontrados no mercado e cada aplicação demanda um tipo de conexão (tampão, cotovelo, conexões curvas, forjadas, de retenção, tubulares entre outros). Para a planta de produção de Hidrogênio Verde, indica-se as conexões de aço inox pela resistência do material à oxidação e corrosão. Também nesse caso deve-se observar que o material de fabricação seja adequado ao hidrogênio.

Figura 2.14 - Exemplo de conexões para tubos

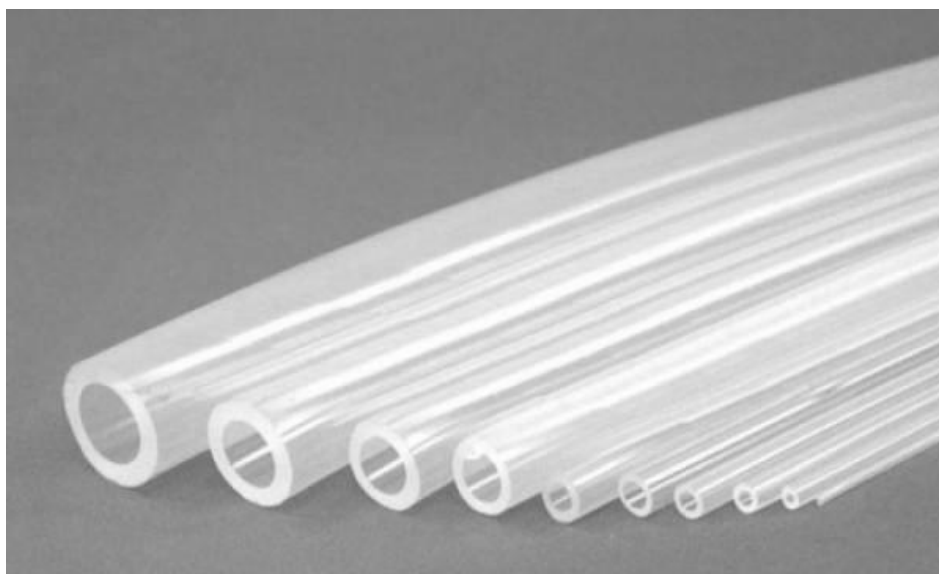


Fonte: Acepil (2022)

2.2.6 *Mangueiras*

Há muitos tipos de mangueiras (Figura 2.15) industriais que podem ser aplicadas no subsistema de eletrólise, devendo-se atentar para que o material não contamine a água e seja resistente ao KOH (hidróxido de potássio), no caso dos eletrolisadores alcalinos.

Figura 2.15 - Exemplo de mangueiras de silicone



Fonte: Soluções Industriais (2022)

A função das mangueiras é de transportar a água já tratada que será utilizada na eletrólise e na recirculação do eletrólito, e indica-se que ela seja de silicone ou material equivalente. O silicone é um material atóxico, inodoro, tem isolamento elétrico e alta resistência à agentes oxidantes, sendo ideal para esse tipo de aplicação, bem como na indústria alimentícia e hospitalar e em laboratórios.

Como um adendo, e para mostrar a abrangência do assunto, cita-se o exemplo do uso das mangueiras na indústria alimentícia, que precisam ser aprovadas pelo *Food and Drug Administration* (FDA), órgão americano de regulamentação da indústria alimentícia e farmacêutica (cujo certificado garante que as mangueiras sanitárias não irão contaminar os alimentos).

2.2.7 *Indicadores de Pressão*

Tradicionalmente, os medidores de pressão (Figura **2.16**), também chamados de manômetros, são os instrumentos utilizados para medir a pressão de gases e líquidos. O medidor exibe a diferença entre a pressão na área a ser medida e a pressão ambiente, chamada de pressão manométrica. De modo geral, os manômetros são classificados de acordo com o método de operação (mecânico ou elétrico) e o tipo de saída (digital ou analógico). Modernamente, com a difusão do uso de sistemas supervisórios computacionais, associados a controladores e atuadores eletrônicos e eletromecânicos, os medidores mecânicos foram substituídos por transdutores e indicadores de pressão (Figura **2.17**), que disponibilizam saídas de sinal digitais, adequados aos sistemas de controle.

No mercado, é possível encontrar diversos tipos indicadores e que são capazes de realizar medições que vão de 0,5 bar até 7.000 bar, por exemplo. No caso do subsistema de eletrólise, geralmente utilizam-se medidores para pressões de até 50 bar, em aço inoxidável, adequado e comumente utilizado em para aplicações industriais tanto na fabricação ou processamento de produtos químicos, combustíveis alternativos e petroquímicos.

Figura 2.16 - Exemplo de indicador de pressão analógico



Fonte: Presys (2022)

Figura 2.17 - Exemplo de transdutores e indicadores de pressão



Fonte: Mokka-Sensors (2022)

2.2.8 *Indicadores de Temperatura*

Os indicadores de temperatura (Figura 2.18) atuam em conjunto com os sensores de temperatura, que são os equipamentos utilizados para medir ou controlar a temperatura. O sensor (normalmente um termopar), em contato com um fluido, envia um sinal (informação) para o indicador que exibe a temperatura em um visor ou para o sistema de supervisão e controle.

Figura 2.18 - Exemplo de indicador de temperatura analógico



Fonte: Willtec (2022)

Figura 2.19 - Exemplo de transdutor



Fonte: Direct Industry (2022)

Os indicadores podem ser mecânicos ou digitais, e podem ser conectados diretamente aos sensores, evitando a instalação de um transdutor (Figura 2.19). Como há uma miríade de equipamentos no mercado, é importante destacar que alguns indicadores de temperatura só funcionam com determinados sensores. Em contrapartida, há os indicadores universais que se conectam a vários tipos de sensores de temperatura.

Similar ao indicador de pressão, o material do indicador de temperatura deve ser de aço inoxidável para evitar corrosão, oxidação e apresentar resistência a altas temperaturas.

2.2.9 Nitrogênio (N_2)

O nitrogênio (Figura 2.20) é um gás incolor, inodoro, insípido e inerte. É também um pouco mais leve que o ar, sendo obtido pela destilação desse. Pode ser utilizado na forma líquida ou gasosa, com diferentes graus de purezas. Sua aplicação na indústria é multifacetada, com destaque para as indústrias química, alimentar, elétrica e metalúrgica. Na indústria química é usado para diluir gases reagentes, aumentar o rendimento de algumas reações, diminuir o risco de fogo ou explosão de certas reações ou evitar a oxidação, decomposição ou hidrólise de reagentes ou produtos. Na indústria alimentar é frequentemente utilizado para evitar a oxidação ou inibir o desenvolvimento de bolores e insetos. Na indústria metalúrgica usa-se em grandes quantidades para evitar a oxidação de certos metais ou a carbonização em processos de solda.

Figura 2.20 - Exemplo de cilindros de gás nitrogênio



Fonte: Oxicoloroxigenio (2022)

No setor de energia, por ser inerte, o nitrogênio pode ser utilizado como um agente de cobertura para separar produtos sensíveis e processos do ar, como agente de purga em tubos e equipamentos para evitar a contaminação, e para evitar oxidações e reações químicas indesejáveis.

Para a planta de produção de hidrogênio, o nitrogênio utilizado é o comprimido e envasado em cilindros, com concentração de alta pureza (> 99,998%), e sua aplicação está relacionada à segurança. Os eletrolisadores já possuem equipamentos de detecção de vazamentos de hidrogênio que, integrados ao sistema de operação e controle, emitem alarmes e realizam procedimentos de segurança pré-determinados, como corte de suprimento elétrico, fechamento de válvulas, liberação dos gases e inundação das tubulações com nitrogênio. Dessa forma esse gás passa a ser requerido para a operação dos sistemas de eletrólise, uma vez que, além de ser indispensável nos casos emergenciais, diversas manobras de operação e manutenção exigem sua utilização.

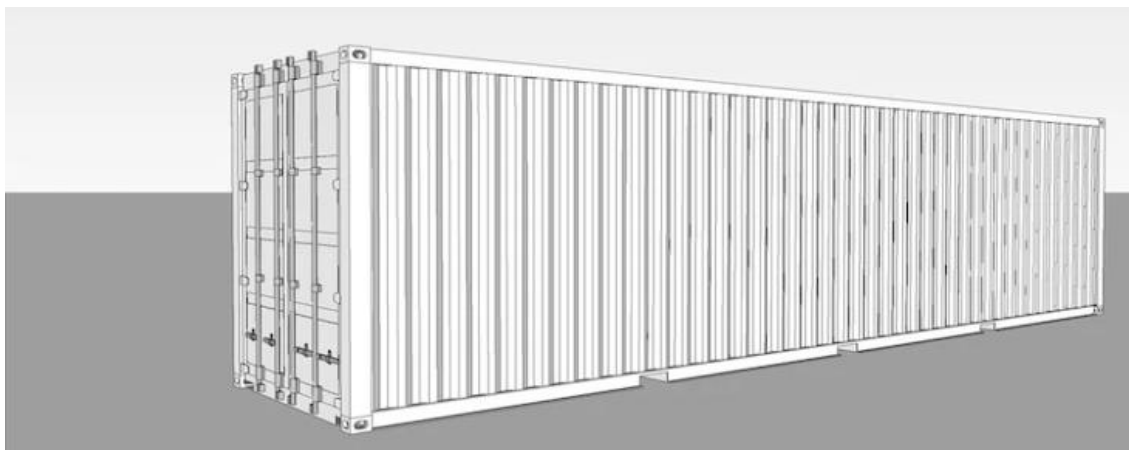
2.2.10 Catalisador Deoxo

Os subsistemas de tratamento dos gases dedicam-se, prioritariamente, ao hidrogênio, tendo como arranjo básico um reator com catalisador de paládio (ou liga contendo esse metal), de forma a eliminar os traços de oxigênio presentes no hidrogênio (reator deoxo). Após esse reator é comum ter-se um componente para a secagem do gás, retirando-se a umidade presente. Na sequência, vasos de pressão com peneiras moleculares capturam os traços restantes de água de outros gases contaminantes, como nitrogênio, CO₂ etc.

2.2.11 Container

Eletrolisadores de pequeno e médio portes, até aproximadamente 5 MW, utilizam um contêiner de até 40 pés (Figura 2.21) para abrigar todos os componentes, sendo que a partir desse valor podem ser utilizados mais de um contêiner, separando os subcomponentes, sendo que sistemas com muitos MW já demandam instalações prediais para essa finalidade. Nesse caso, empresas especializadas deverão ser contratadas, de forma a atender os requisitos que esse tipo de instalação exige. Há normas internacionais deverão ser seguidas para que haja a necessária segurança na operação dos sistemas.

Figura 2.21 - Exemplo de container de 40 pés



Fonte: 3D Warehouse (2022)

2.3 Tanque de Armazenamento

Com o hidrogênio produzido na qualidade necessária à aplicação que se destina, ele normalmente é conduzido para um tanque de armazenagem, mesmo que esse destino seja de uso imediato.

Além de armazenar, este tanque opera como um buffer, ou “pulmão”, de forma a acomodar as pequenas variações de vazão e pressão comuns ao processo de produção e tratamento do hidrogênio. Também se destina a eliminar pequenas ondas de choque que transitam pelo gás, resultantes de aberturas e fechamentos de válvulas. Normalmente, esse tanque tem a menor capacidade necessária ao cumprimento de sua função, reduzindo custos e riscos.

Igualmente ao demais vasos de pressão para hidrogênio, sua fabricação deve seguir as normas específicas, como o *ASME Boiler & Pressure Code*², por exemplo. Junto a esses tanques são utilizados medidores e transdutores de pressão e temperatura, válvulas comuns e solenoides para gases, e válvulas de segurança. Os componentes principais de um tanque armazenamento de hidrogênio são apresentados no Quadro 2.4.

² *ASME Boiler & Pressure Vessel Code* é uma padronização da Sociedade dos Engenheiros Mecânicos dos Estados Unidos que regulamenta o projeto e a construção de caldeiras e vasos de pressão.

Quadro 2.4 - Ficha técnica dos componentes do tanque de armazenamento de hidrogênio

Equipamentos ou Insumos	Características	Materiais	Setores com Sinergia
Vaso de pressão para H ₂	Para pressões de moderadas a altas, de 50 até 200 bar	Aço adequado ao hidrogênio, como o SAE 4130 ou equivalente	Indústria química, petroquímica, mecânica, mineração
Tubulações e conexões para gás	Para pressões de moderadas a altas, de 50 até 200 bar	Aço inox, de preferência AISI 316	Indústria química, petroquímica, mecânica, alimentícia
Indicadores de pressão	Para pressões de moderadas a altas, de 50 até 200 bar e resistentes ao H ₂	Elementos de contato com o H ₂ de aço inox ou resistente ao H ₂	Indústria química, petroquímica, mecânica
Indicadores de temperatura	Para temperaturas ambientes, até 50 °C e resistentes ao H ₂	Elementos de contato com o H ₂ de aço inox ou resistente ao H ₂	Indústria química, petroquímica, mecânica
Válvulas de vazão e segurança	Para pressões de moderadas a altas, de 50 até 200 bar e resistentes ao H ₂	Elementos de contato com o H ₂ de aço inox ou resistente ao H ₂	Indústria química, petroquímica, mecânica

Fonte: elaborado pela Cognition Consultoria

2.3.1 Vasos de Pressão para H₂

Vide item 1.3.1 [Vasos de Pressão para H₂ e O₂](#)

2.3.2 Tubulações e Conexões para Gás

Vide itens 1.3.3 [Tubulação para Gás](#) e 1.3.5 [Conexões para Tubos](#).

2.3.3 Válvulas de Vazão e Segurança

Vide item 1.3.4 [Válvulas para Gases](#).

2.3.4 Indicadores de Pressão

Vide item 1.3.7 [Indicadores de Pressão](#).

2.3.5 Indicadores de Temperatura

Vide item 1.3.8 [Indicadores de Temperatura](#).

2.4 Equipamentos Ancilares e de Segurança

O subsistema de equipamentos ancilares e de segurança é formado pelos componentes suplementares, estruturais e de segurança que dão suporte ao sistema como um todo. O Quadro 2.5 elenca os principais componentes auxiliares e de segurança presentes numa usina de produção de Hidrogênio Verde.

Quadro 2.5 - Ficha técnica dos componentes ancilares e de segurança

Equipamentos ou Insumos	Características	Materiais	Setores com sinergia
Retificador de corrente	A tiristor ou <i>chopper</i>	Para elevadas correntes, acima de 100.000 A	Ind. química, galvânicas
Cabos elétricos	De baixas até altas correntes	Cobre, alumínio	Ind. do setor elétrico
Componentes elétricos (conectores, chaves, disjuntores etc.)	Para todos os tipos de cabos, tensões e correntes	Cobre, alumínio	Ind. do setor elétrico
Medidores de tensão e corrente	De baixas até altas correntes	Circuitos digitais	Ind. do setor elétrico e eletrônica
Placas eletrônicas	De comunicação, controle etc.	Circuitos digitais	Ind. do setor elétrico e eletrônica
Transformadores	Altas tensões e correntes	Cobre	Ind. do setor elétrico
EPI, roupas para trabalho com KOH	Vestuário, sapatos, óculos, capacetes etc.	PCV, borracha, fibras	Ind. do setor elétrico, ind. químicas, petroquímicas
Chuveiro com lava olhos	Para eletrolisadores alcalinos	PCV ou aço carbono	Ind. química, petroquímica, farmacêutica
Extintores de incêndio	Para todos os tipos de chamas	Água, espuma, gás carbônico, pó químico	Ind. química, petroquímica, farmacêutica
Detectores de hidrogênio	Com alarmes sonoros e luminosos	Circuitos digitais	Ind. química, petroquímica, farmacêutica, alimentos
Alarmes diversos	Para avisos de eventos	Circuitos digitais	Ind. química, petroquímica, farmacêutica, setor elétrico

Fonte: elaborado pela Cognition Consultoria

Quanto aos componentes, destaca-se o retificador de corrente, que muito se assemelha aos equipamentos utilizados em indústrias galvânicas ou outras que possuem em seus processos essa etapa de tratamento de superfícies. No Brasil existem muitos fabricantes e revendedores de retificadores de corrente, com diversas potências, de forma que, se hoje não os fabricam para essa finalidade, é porque não há demanda. Essas empresas poderão se tornar fornecedoras de fabricantes ou montadoras de eletrolisadores no Brasil, tanto de retificadores como de componentes e prestar assistência técnica, quando houver essa demanda.

Com relação às partes elétricas e eletrônicas, o controle dos eletrolisadores normalmente é feito por PLC (*Programmable Logic Controller*), que são fornecidos já integrados aos equipamentos, uma vez que necessitam de programas de propriedade das empresas fabricantes, permitindo apenas ajustes para a operação. Mesmo assim, alguns componentes eletrônicos poderão ser demandados, como placas de comunicação, circuitos de alarmes, controladores diversos etc.

3 **Análise do potencial local de produção e interfaces setoriais com a cadeia produtiva do Hidrogênio Verde**

3.1 **Estágio de desenvolvimento da indústria da eletrólise no mundo**

Analisando sob a perspectiva de estrutura produtiva, a indústria da eletrólise da água – a indústria relacionada ao processo de produção de Hidrogênio Verde –, é uma indústria nascente, na qual as atividades ainda são fragmentadas e pouco otimizadas. Ou seja, há poucos fornecedores de componentes e sistemas, especialmente aqueles que são específicos à planta de hidrogênio verde, como o eletrolisador e suas partes principais. Além disso, a demanda por equipamentos e insumos, específicos à planta de Hidrogênio Verde, ainda é baixa e as cadeias produtivas ainda têm que ser desenvolvidas (Fraunhofer ISE, 2020). Vale observar que há várias interfaces setoriais entre os equipamentos e insumos demandados por uma planta de Hidrogênio Verde, como detalhado no capítulo anterior, mas não há redes de fornecedores consolidados considerando esse vetor energético como um segmento industrial específicos.

Esse contexto reflete também na quantidade e no tipo de informações disponíveis sobre a indústria, além de dar um caráter inédito a este trabalho de identificar e detalhar os principais componentes de uma planta de produção de hidrogênio e analisar as possíveis interfaces setoriais. Ao contrário de tecnologias mais maduras, como a solar fotovoltaica, por exemplo, os sistemas que compõem a planta de Hidrogênio Verde não são ainda amplamente comercializados e não tem uma base estabelecida de fornecedores que são especializados nesse segmento. Nessas circunstâncias, não há relatórios de mercado com informações padronizadas sobre capacidades de produção e localização das empresas, por exemplo, entre outras informações necessárias que permitam entender a composição e o funcionamento da cadeia produtiva relacionada à eletrólise da água.

Atualmente, a indústria da eletrólise da água é dominada por algumas poucas empresas, em sua maioria europeias como pode ser observado no Quadro 3.1. Pelo mesmo Quadro

3.1 pode-se observar que o mercado atual de eletrolisadores combina grandes fabricantes de sistemas e equipamentos, que têm extensa experiência no setor de energia, com novas empresas (*start-ups*) que entraram recentemente no setor. Todavia, por ser uma indústria nascente, a composição do mercado pode mudar rapidamente, com a entrada de novas empresas e com as novas parcerias entre empresas que vêm sendo anunciadas frequentemente.

Quadro 3.1- Principais fabricantes de eletrolisadores no mundo por país de origem e tipo de tecnologia

Empresa	País de origem	Tecnologia
McPhy	França	Alcalina
Air Liquide	França	PEM
Siemens Energy	Alemanha	PEM
Cummins/Hydrogen	Estados Unidos	Alcalino
ITM Power	Reino Unido	PEM
NEL Hydrogen	Noruega	Alcalino e PEM
Sunfire	Alemanha	Alcalino
Teledyne Technologies Incorporates	Estados Unidos	Alcalino e PEM
Tianjin Mainland Hydrogen Equipment Co. Ltd.	China	Alcalino
Plug Power	Estados Unidos	PEM
Elogen	França	PEM
H-TEC Systems	Alemanha	PEM
AsahiKASEI	Japão	Alcalino
Green Hydrogen Sytems	Italia	Alcalino e PEM
Thyssenkrupp	Alemanha	Alcalino

Fonte: Adaptado por Cognito Consultoria de CIC energiGUNE (2022).

Dada a concentração de fabricantes, a Europa tem atualmente a maior capacidade de manufatura de eletrolisadores (IRENA, 2022), além de concentrar a maioria dos fornecedores de componentes para os sistemas de eletrólise da água. Os componentes para os eletrolisadores são em sua maioria produzidos por Pequenas e Médias Empresas (PMEs) europeias como Areva, Hygs, H-Tech, NER, Teledyne e Plug Power (Fraunhofer ISE, 2020). A capacidade de produção de eletrolisadores na Europa em 2021 foi de 1GW. O escalonamento da produção para múltiplos GWs em 2030 depende da expansão da

escala produtiva, o que deve contribuir para reduzir o custo dos eletrolisadores. Para tanto, há ainda uma série de gargalos a serem solucionados; e muito desses gargalos estão relacionados às condições de mercado e também em como as cadeias produtivas são organizadas (Fraunhofer ISE, 2020).

Atualmente, a maioria dos componentes é produzido de acordo com as especificações dos integradores de sistemas e, embora já existam alguns componentes e materiais padronizados, os integradores usam predominantemente design proprietário (FCH 2 JU, 2019). Vale observar que os fabricantes de eletrolisadores trabalham de forma muito próxima como uma pequena rede de fornecedores locais, tanto para garantir a oferta de componentes e insumos dos projetos em andamento como para proteger a propriedade intelectual das suas tecnologias. Esta dinâmica acaba delimitando a disseminação dos conhecimentos necessários para fazer a indústria avançar em aspectos fundamentais como a automação da manufatura, a otimização das plantas, a eletroquímica e a eletrônica de potência, por exemplo (Fraunhofer ISE, 2020).

Nesse contexto, os novos entrantes, sejam fabricantes de eletrolisadores ou fornecedores, mesmos os mais inovadores, podem ter dificuldades de entrar nesse mercado por desconhecer as demandas e as especificidades da indústria da eletrólise da água. Além disso, há a incerteza relacionada à variedade de tecnologias de eletrolisadores disponíveis e seus diferentes designs (PEM, Alcalina, SOE). A falta de produtos padronizados cria incerteza para os fornecedores, especialmente à jusante da cadeia (*downstream*), que pretendem investir em unidades automatizadas de produção de componentes, podendo se beneficiar de economias de escala (Fraunhofer ISE, 2020).

A variedade de tecnologias disponíveis é uma característica de indústrias nascentes. Ou seja, a trajetória da indústria ainda não foi completamente direcionada ao aprimoramento de uma tecnologia específica, no qual as inovações incrementais se tornam predominantes frente às inovações disruptivas, possibilitando, assim, a consolidação das estruturas de mercado. A indústria da eletrólise ainda não chegou neste estágio, de modo que a emergência de novas tecnologias pode mudar completamente o mercado e a estrutura de mercado em poucos anos. Logo, quando as plantas de produção de hidrogênio alcançarem a escala de gigawatt, a estrutura de

mercado pode se tornar mais concentrada como já ocorreu em outros setores de bens de capitais mais maduros.

Tomando como base a cadeia produtiva de setores mais maduros, como os que fornecem equipamentos para a produção de energia, por exemplo, é muito provável que a liderança da cadeia produtiva da indústria de eletrólise fique a cargo das *Original Equipment Manufacturer* (OEM) ou integradores de sistema. As OEMs controlam suas redes de fornecedores, o que pode incluir o design, as especificações, a otimização da produção e até mesmo o investimento e treinamento de fornecedores (FCH 2 JU, 2019).

Nos estágios iniciais de uma trajetória tecnológica, as redes de fornecedores tendem a se concentrar na região ou país e origem das OEMs, como vêm ocorrendo atualmente com a indústria da eletrólise na Europa e já ocorreu com a indústria de turbinas eólicas. Todavia, a medida em que os projetos ao redor do mundo vão ganhando escala e alcançado a casa dos gigawatts, os fornecedores estrangeiros, que estão mais próximos do local de desenvolvimento do projeto, podem ser acionados, especialmente no caso dos equipamentos auxiliares, estruturais e dos serviços de engenharia, operação e manutenção (Camillo, 2013). Os componentes de maior valor agregado e que podem ser facilmente exportados, em função do seu peso e volume e das economias de escala, geralmente ficam concentrados em poucos fornecedores no mundo, como é o caso das células de silício cristalino que compõem os painéis fotovoltaicos.

As evidências de que a cadeia produtiva pode ganhar um caráter mais deslocalizado está no fato de que a estratégia da Europa está explicitamente centrada em manter a sua competitividade na produção de eletrolisadores; e a produção dos componentes de maior valor agregado na região (Amelang, 2020; FCH 2 JU, 2019). Nesse sentido, o relatório preparado no contexto do *Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking* (FCH 2 JU, 2019) destaca que para ter chance de capturar valor no longo prazo, a Europa deve apoiar tanto o desenvolvimento da indústria quanto dos mercados locais para que as empresas dos países membros da UE tenham um mercado doméstico consistente para se expandir e se posicionar no mercado internacional.

Os Estados Unidos também vêm realizando esforços de entender a cadeia da indústria da eletrólise para identificar as oportunidades de atuação que possibilitem capturar o

valor adicionado na cadeia de suprimentos do Hidrogênio Verde. Em resposta à Ordem Executiva 14017 “*America’s Supply Chain*”, de 24 de Fevereiro de 2021, o Departamento de Energia dos Estados Unidos fez um trabalho de identificar o potencial do país para desenvolver capacidade doméstica de produção de células em resposta ao crescimento da demanda por hidrogênio no médio e longo prazo (US Department of Energy, 2022).

Com base nos planos de investimentos anunciados, IRENA (2002a) estima que metade da capacidade de manufatura de eletrolisadores deve ficar concentrada na Europa, Oriente Médio e África nas próximas duas décadas.

Todavia, é provável que, considerando o histórico de outras indústrias mais maduras, que a liderança da cadeia produtiva, assim como os domínios dos segmentos de maior valor agregado, fique a cargo dos países e das empresas que já vêm realizando os esforços tecnológicos mais relevantes; e já apresentam as estratégias mais consistentes de promoção à indústria da eletrólise.

São utilizadas duas métricas para avaliar o posicionamento dos países na corrida tecnológica pelo hidrogênio limpo: gastos públicos em pesquisa e desenvolvimento (P&D) e patentes. Os países da OCDE têm historicamente concentrado os gastos globais em P&D relacionado ao Hidrogênio Verde, embora a China também esteja incrementando seus esforços tecnológico exponencialmente (IRENA, 2021c).

A distribuição das patentes indica quais países da OCDE estão mais bem posicionados em relação aos resultados da inovação. Os países com maiores quantidades de famílias internacionais de patentes relacionadas à eletrólise da água no período de 2005-2022 foram: Japão, Estados Unidos e Alemanha, com 52% do total contabilizado no período. Outros países da OCDE que se destacam na quantidade de famílias de patentes registradas no mesmo período são a França e a República da Coreia do Sul. Nesse sentido, vale destacar que o crescimento das atividades de patenteamento em eletrólise da água, especialmente a partir de 2017, foi puxado por empresas japonesas como a Toshiba, a Panasonic e a Honda, e por empresas alemãs, como a Siemens e a Bosch (IRENA, 2022b).

Nesse sentido, IRENA (2022a) aponta que, apesar da imaturidade tecnológica e de a indústria da eletrólise ainda estar em suas primeiras etapas de desenvolvimento, as

políticas e programas de promoção, assim como as lideranças em registro internacionais de patentes, já indicam algumas lideranças claras na corrida tecnológica.

3.1.1 Condicionantes para a inserção do Brasil na cadeia produtiva do Hidrogênio Verde

Como descrito no estudo anterior "Cadeia de Valor do Hidrogênio Verde" (Cognitio, 2022), o Brasil tem alguns projetos experimentais relacionados ao Hidrogênio Verde. Em relação aos fornecedores de equipamentos específicos para a produção de Hidrogênio Verde, o país tem uma única empresa que produz eletrolisador, a Hytron Energia e Gás, com sede em Sumaré, São Paulo.

A Hytron Energia e Gás foi fundada em 2003 como spin-off do Laboratório de Hidrogênio da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) depois de ter construído o primeiro veículo movido à hidrogênio e célula combustível da América Latina. Desde então, a empresa foi aumentando seu portfólio de soluções voltadas para os setores de gases e energia, incluindo os equipamentos para a realização de eletrólise da água. Em Novembro de 2020, a empresa foi adquirida pelo NEUMAN & ESSER GROUP de Aachen da Alemanha (NEA GROUP) e integrada à NEA ENERGY SOLUTIONS como uma empresa e marca independentes (HYTRON, 2022).

Considerando o contexto da indústria no mundo, descrito na seção anterior, é possível apontar alguns fatores e tendências que podem condicionar as oportunidades de atuação do Brasil na cadeia produtiva de Hidrogênio Verde.

Em primeiro lugar, a produção de eletrolisadores está concentrada principalmente em alguns países da OCDE, que são os mesmos que estão liderando a corrida tecnológica, em termos de registro de patentes e gastos com P&D. Isto indica que já há uma liderança tecnológica no desenvolvimento da cadeia produtiva do Hidrogênio Verde e que estes países devem dominar os segmentos da cadeia de maior intensidade tecnológica e de maior valor agregado, como é o caso das células (ou *stacks*). Além disso, há um empenho por parte dos países da OCDE, como indicado na seção anterior, de desenvolver e manter internamente a capacidade doméstica de produzir os componentes que permitam capturar maior valor agregado.

Em segundo lugar, apesar de ainda ser uma indústria nascente, o conhecimento tecnológico e as expertises já estão relativamente desenvolvidas, especialmente em eletrolisadores, o que cria barreiras à entrada difíceis de superar no curto prazo. E, essas barreiras devem ficar cada vez maiores tendo em vista os esforços tecnológicos crescentes por parte dos países da OCDE e, também da China, que corre por fora partindo de equipamentos menos complexos.

Ademais, as empresas que produzem eletrolisadores atualmente já estão desenvolvendo suas próprias redes de fornecedores e devem manter-se assim até que a indústria esteja suficientemente madura e os produtos padronizados e com qualidade certificada para serem comprados em grande escala. Dada às incertezas tecnológicas e os riscos elevados dos investimentos associados ao um setor ainda em desenvolvimento, as integradoras de sistema precisam ter garantias no fornecimento de insumos e equipamentos, o que também gera barreiras à entrada.

Tendo em vista esse contexto, a análise foca-se nos insumos e componentes que já têm similares disponíveis no mercado nacional; e que já são demandados por outros setores da indústria nacional que podem ou não ter interface com indústria do Hidrogênio Verde.

3.2 Capacidade industrial e competências setoriais

A partir de uma busca aprofundada na literatura e em documentos especializados, observou-se que as análises sobre a cadeia produtiva do Hidrogênio Verde no mundo são escassas e estão concentradas essencialmente na produção de eletrolisadores e seus principais componentes, como as células (*stacks*). Nesse sentido, foi feito, primeiramente, um esforço inédito de identificar e selecionar os insumos e componentes que têm o potencial de serem produzidos pela indústria local, considerando uma planta completa de produção de Hidrogênio Verde.

No intuito de buscar uma correspondência com a estrutura industrial brasileira e, adicionalmente foi feito um trabalho de identificar o código CNAE (Classificação

Nacional das Atividades Produtivas)³ do componente ou insumo a cinco dígitos, que é o nível mais desagregado (ver Quadro 3.2).

Essa correspondência também foi necessária para realizar a compilação de dados e informações sobre os setores industriais relacionados à cadeia produtiva do Hidrogênio Verde e identificar as interfaces setoriais em termos de produção industrial e estrutura produtiva. Dessa forma, a análise do potencial da indústria brasileira é feita a partir dessa lista de CNAEs a 5 dígitos (ver Quadro 3.2). Essa lista foi utilizada como ponto de partida para a busca e análise de dados sobre a indústria brasileira disponíveis nas bases nacionais de dados com vistas a trazer evidências sobre o potencial da indústria brasileira de produzir os componentes para a cadeia produtiva do Hidrogênio Verde.

Nesse sentido, foram feitos levantamentos de dados em três bases diferentes: a Pesquisa Industrial Anual (PIA) realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE); a Relação Anual de Informações Sociais (RAIS); dados de comércio exterior do Ministério da Economia (ME).

Os dados da PIA indicam o volume da produção industrial por segmento, enquanto os dados da RAIS possibilitam observar a distribuição dos estabelecimentos por unidade da federação (UF) e por porte de empresa (a partir do número de empregados). De forma complementar, os dados de comércio exterior do ME desvelam a quantidade exportada e importada por cada CNAE selecionado e permitem fazer inferências sobre as competências e gargalos da indústria brasileira.

Em todas as bases, trabalhou-se com dados de 2019, já que este é o último ano que tem dados disponíveis para todas as três bases consultadas. Há uma vantagem de se trabalhar com os dados de 2019 porque este ano ainda não apresenta a influência da pandemia de COVID-19. No caso deste estudo, está se analisando o potencial de inserção do país na cadeia produtiva do Hidrogênio Verde e não, necessariamente, a capacidade atual de produção de um dado bem ou serviço pela indústria nacional.

³ CNAE 2.0, disponível em: <https://concla.ibge.gov.br/busca-online-cnae.html?view=estrutura>

Quadro 3.2 - Correspondência entre componente/insumo da planta de hidrogênio e a Classificação Nacional de Atividades Produtivas em nível de classe (a 5 dígitos)

Componente/Insumo	CNAE (a 5 dígitos)	Descrição
Hidróxido de potássio (KOH)	20.11-8	Fabricação de cloro e álcalis
Nitrogênio	20.14-2	Fabricação de gases industriais
Catalisador de oxo	20.94-1	Fabricação de catalisadores
Filtros partículas, mangueiras	22.21-8	Fabricação de laminados planos e tubulares de material plástico
Tubulação hidráulica	22.23-4	Fabricação de tubos e acessórios de material plástico para uso na construção
Tubulação para gás	24.23-7	Produção de laminados longos de aço
Conexões para tubos	24.39-3	Produção de outros tubos de ferro e aço
Vasos de pressão para H2 e O2	25.21-7	Fabricação de tanques, reservatórios metálicos e caldeiras para aquecimento central
Placas eletrônicas	26.10-8	Fabricação de componentes eletrônicos
Indicadores pressão, indicadores de temperatura, indicadores de corrente e tensão, medidor de alcalinidade, medidor de condutividade da água, detectores de hidrogênio, alarmes	26.51-5	Fabricação de aparelhos e equipamentos de medida, teste e controle
Retificador de corrente, transformadores	27.10-4	Fabricação de geradores, transformadores e motores elétricos
Conexões elétricas, chaves diversas, disjuntores	27.32-5	Fabricação de material elétrico para instalações em circuito de consumo
Cabos elétricos	27.33-3	Fabricação de fios, cabos e condutores elétricos isolados
Bombas hidráulicas	28.12-7	Fabricação de equipamentos hidráulicos e pneumáticos, exceto válvulas
Válvulas para gases; válvulas hidráulicas	28.13-5	Fabricação de válvulas, registros e dispositivos semelhantes
Container	29.30-1	Fabricação de cabines, carrocerias e reboques para veículos automotores

Fonte: Elaborado pela Cognition Consultoria.

Vale a ressalva que em cada CNAE, mesmo na sua forma mais desagregada em nível de classe (a 5 dígitos), congrega um conjunto amplo de bens ou componentes; e não somente o componente específico da planta de Hidrogênio Verde. As empresas que fabricam containers, por exemplo, são parte do CNAE 29.30-1 – Fabricação de cabines, carrocerias e reboques para veículos automotores.

Porém, essa abrangência é positiva pois abre a possibilidade de ser observado as interfaces da cadeia do Hidrogênio Verde com outros setores da economia brasileira, como, por exemplo, metalurgia, equipamentos elétricos, indústria química, entre outros e, com isto, observar as capacidades produtivas e tecnológicas do país a partir das interfaces setoriais.

Dessa forma, a análise quantitativa é complementada por uma análise qualitativa, baseada em estudos e levantamentos setoriais específicos e entrevistas com as com dois tipos de empresa: aquelas que pretendem produzir Hidrogênio Verde no Brasil (e assinaram MoU com o Estado do Ceará) e aquelas que já produzem hidrogênio cinza no Brasil, mas também têm projetos de Hidrogênio Verde em desenvolvimento no mundo.

O questionário elaborado para as empresas que produzem hidrogênio cinza teve como principal objetivo captar (i) as interfaces da produção de hidrogênio cinza com as atividades de produção do Hidrogênio Verde; e (ii) identificar o que é adquirido por essas empresas no mercado interno e o que é comprado no mercado externo. Dessa forma, foi possível agregar evidências sobre o potencial local de produção e os gargalos produtivos da indústria nacional nos segmentos selecionados, a partir da perspectiva de um agente que já atua há décadas na cadeia produtiva do hidrogênio. No caso do questionário direcionado às empresas que pretendem produzir Hidrogênio Verde no Ceará, foram incluídas questões sobre como a empresa seleciona seus fornecedores e as perspectivas da empresa em adquirir insumos, componentes e serviços para o desenvolvimento e a operação da planta do Hidrogênio Verde Brasil.

3.2.1 Produção industrial e interfaces setoriais

A Pesquisa Industrial Anual – Produto – PIA Produto tem como função levantar anualmente informações de produtos e serviços produzidos por empresas com 30 ou mais pessoas ocupadas, e que estão ativas no Cadastro Central de Empresas – CEMPRE, do IBGE. A unidade de análise da PIA é o produto, sobre o qual são apresentadas informações como o valor da produção e a quantidade produzida (quando há dado disponível). A PIA segue uma amostragem nacional que pode ir de 60 a 80% do total de empresas por CNAE, dependendo do grau de concentração industrial do setor. Os dados são apresentados somente para o nível nacional e não são desagregados por UF (IBGE –

PIA Produto, 2019). Dessa forma, os dados da PIA podem ser uma boa proxy da capacidade industrial brasileira em nível nacional, conforme pode ser observado na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Produção industrial e receita líquida de vendas por CNAE – 2019 – em R\$ milhões

CNAE (a 5 dígitos)		Valor da Produção	Receita líquida de vendas
20.11-8	Fabricação de cloro e álcalis	3.742	3.089
20.14-2	Fabricação de gases industriais	5.781	5.419
20.94-1	Fabricação de catalisadores	2.053	2.056
22.21-8	Fabricação de laminados planos e tubulares de material plástico	21.842	19.993
22.23-4	Fabricação de tubos e acessórios de material plástico para uso na construção	6.355	6.010
24.23-7	Produção de laminados longos de aço	25.460	18.516
24.39-3	Produção de outros tubos de ferro e aço	5.025	4.942
25.21-7	Fabricação de tanques, reservatórios metálicos e caldeiras para aquecimento central	2.365	1.503
26.10-8	Fabricação de componentes eletrônicos	6.342	6.069
26.51-5	Fabricação de aparelhos e equipamentos de medida, teste e controle	5.787	5.181
27.10-4	Fabricação de geradores, transformadores e motores elétricos	27.750	27.572
27.32-5	Fabricação de material elétrico para instalações em circuito de consumo	3.707	3.555
27.33-3	Fabricação de fios, cabos e condutores elétricos isolados	13.786	12.282
28.12-7	Fabricação de equipamentos hidráulicos e pneumáticos, exceto válvulas	4.930	4.551
28.13-5	Fabricação de válvulas, registros e dispositivos semelhantes	6.504	4.872
29.30-1	Fabricação de cabines, carrocerias e reboques para veículos automotores	16.663	15.877
Total		196.780	175.233

Fonte: Elaborado pela Cognition Consultoria a partir de análise da PIA – Produto, IBGE.

Essa Tabela 3.1 apresenta o valor da produção industrial e a receita líquida de vendas para cada um dos CNAEs relacionados à cadeia produtiva do hidrogênio. Esses dados

são evidências de que o país tem de fato capacidade industrial em cada um dos segmentos industriais selecionados, o que indica que, em tese, o país tem potencial para produzir os insumos e componentes listados no Quadro 3.2.

Uma forma de qualificar o potencial da indústria brasileira é observando as interfaces setoriais dos segmentos relacionados à cadeia produtiva do Hidrogênio Verde e a indústria nacional, uma vez as competências locais, assim como os gargalos e as fragilidades, foram historicamente construídas. Ao observar essas interfaces, é possível analisar a dinâmica do setores, como cada setor está organizado e a capacidade de cada setor para atender a demanda nacional já existente em outros segmentos industriais.

3.2.2 Produtos Químicos inorgânicos

Na correspondência entre os equipamentos e insumos da cadeia produtiva do Hidrogênio Verde e os seus respectivos CNAEs, há três segmentos da indústria química (CNAE 20.11-8, CNAE 20.14-2, CNAE 20.94-1) de base inorgânica. Os produtos inorgânicos têm como base as substâncias de origem mineral que não apresentam cadeia de carbono em sua estrutura de origem, como o cloro, o silício e a soda cáustica. Este é caso do *hidróxido de potássio (KOH)*, um subproduto do cloro e álcalis (CNAE 20.11-8 Fabricação de cloro álcalis), que é utilizado em eletrolisadores alcalinos, do *nitrogênio*, que é um gás industrial (CNAE 20.14-2) e do *catalisador de oxo* (CNAE 20.94-1), que é um catalisador em suporte.

O cloro e álcalis e os gases industriais são commodities, ou seja, são produtos que têm especificações padronizadas, cujos preços são determinados pelo mercado internacional, sendo utilizados como insumos de outros processos industriais. Esses produtos são fabricados em grandes quantidades em plantas que requerem elevada intensidade de capital e que utilizam processos contínuos. Já os catalisadores são intermediários industriais produzidos pela indústria de química fina a partir de certas especificações, tais como o grau de pureza ou a propriedade física, determinadas pelo cliente, o que proporciona preços e margens de lucro mais elevados para o fabricante. Em razão da sua especificidade, os catalisadores podem ser produzidos em plantas com menor intensidade de capital (Pereira e Silva, 2019).

O país tem um longo histórico de desenvolvimento da indústria química. Em 2019, a participação da indústria química no PIB total do país foi de 2,3% e de 11,3% sobre o PIB industrial, sendo o terceiro principal setor da indústria nacional de transformação. Em torno de 45% da receita líquida da indústria química brasileira vem da produção de produtos químicos de uso industrial. Cloro e álcalis e os gases industriais participaram com 1 e 2% do faturamento líquido total, respectivamente, enquanto os demais produtos químicos inorgânicos participaram com 3,7%, o que demonstra que o grosso da produção de intermediários industriais no Brasil está concentrado no segmento de química orgânica de base petroquímica (ABIQUIM, 2020).

A maior concentração na fabricação de commodities reflete a baixa diversificação da produção local e a menor capacitação tecnológica, como as diversas especialidades químicas, que é o caso dos catalisadores. Nos setores baseados em commodities, há pouca demanda por inovação, mas, por outro lado, ocorre a dependência por suprimento de matérias-primas a custos competitivos, além da necessidade de financiamento e mercado em tamanho adequado para que ocorram investimentos em plantas de larga escala (Pereira e Silva, 2019).

3.2.3 Siderurgia do aço

Os CNAEs 24.23-7 Produção de laminados longos e 24.39-3 Produção de outros tubos de ferro e aço, que englobam as tubulações para gases e as conexões para tubos de aço inox a serem utilizadas na planta de Hidrogênio Verde, são parte da indústria siderúrgica.

Os aços podem ser semiacabados e consumidos diretamente pelas empresas siderúrgicas para produção de laminados ou acabados, ou podem ser utilizados pelos consumidores finais como os setores automobilístico, de máquinas e equipamentos industriais, setores agrícola e ferroviário e as forjarias. Os laminados planos se dividem em uma ampla gama produtos siderúrgicos, como laminados planos de carbono, laminados planos especiais e laminados longos especiais.

Em se tratando especificamente dos tubos de aço, os tubos sem costura (*seamless*) são considerados um produto siderúrgico, enquanto os tubos com costura, também chamados de tubos soldados, podem ser fabricados fora das usinas siderúrgicas,

configurando como um estágio subsequente da cadeia de transformação do aço. Segundo IBGE-PIA Produto (2019), a produção industrial de aços com costura no Brasil totalizou R\$ 6.991 milhões, já a produção de tubos de aço sem costura foi menor comparativamente, contabilizando R\$ 4.644 milhões, o que representou aproximadamente 18% da produção total de laminados longos em 2019.

Os tubos com costura têm um processo de fabricação mais simples e são aplicados por indústrias que transportam fluidos e líquidos, como as indústrias do petróleo e petroquímica, por exemplo. Os tubos de aço sem costura têm um processo de fabricação mais sofisticado porque demanda um material sem emendas, que tenha uma maior resistência interna e possa ser utilizado para canalizar fluidos que estejam sob pressão, como os gases industriais, por exemplo. Na planta de Hidrogênio Verde devem ser utilizados somente tubos sem costura, dada que o gás pode escapar pelas emendas. Atualmente há uma única empresa produzindo tubos sem costura no Brasil, a Vallourec Soluções Tubulares do Brasil, de origem francesa, que iniciou suas operações no Brasil em 2011.

A indústria siderúrgica é um setor de elevada intensidade de capital, com a produção concentrada em algumas poucas grandes empresas. Atualmente há doze empresas atuando no setor siderúrgico no Brasil, mas algumas delas fazem parte do mesmo grupo: a ArcelorMittal, por exemplo, opera em dois segmentos com duas empresas diferentes; a Gerdau atua em três segmentos, o que faz o setor de fato ainda mais concentrado (Instituto do Aço Brasil, 2022).

A indústria siderúrgica brasileira é historicamente competitiva, tanto no mercado nacional e mercado internacional, tendo ao longo das décadas apresentado superávits primários na balança comercial. O setor siderúrgico, pelo seu tamanho e estrutura de mercado concentrada, tem condições financeiras e tecnológicas para aumentar o volume de investimentos caso tenha novas possibilidades de mercado, mas as demandas para longo prazo precisam ser efetivamente sinalizadas para que os investimentos se concretizem, considerando o volume de capital e os riscos envolvidos.

3.2.4 Caldeiraria pesada

O CNAE 25.21-7 Fabricação de tanques, reservatórios metálicos e caldeiras compreende o segmento de caldeiraria pesada. Esta é uma atividade industrial que tem como finalidade a fabricação de equipamentos específicos que, geralmente, não são produzidos em larga escala. A fabricação exclusiva, ou seja, sob encomenda, costuma ser realizada a partir de matérias-primas como o aço, as ligas metálicas etc. Os equipamentos são classificados por tamanho, espessura da chapa e pelo tipo de aço utilizado. Usualmente, os equipamentos são fabricados com aço carbono. Em situações de elevada pressão ou para evitar contaminação são utilizados aços especiais, como é caso da indústria de hidrogênio cinza, por exemplo.

O setor de caldeiraria pesada é um setor que depende dos produtos oriundos da siderurgia como laminados planos, mas que tem uma estrutura bastante diferente comparada à estrutura da indústria siderúrgica. O setor de caldeiraria pesada é um setor que atua sob encomenda, de forma que cada produto atende às especificações do projeto industrial, fazendo com seja um setor bastante diversificado e segmentado. As empresas do segmento têm especialização distinta em diferentes linhas de produtos.

Essa diversidade fica explícita na composição da produção industrial do CNAE 25.21-7 que engloba diferentes tipos de recipientes e reservatórios. Além disso, o CNAE 25.21-5 inclui tanto as caldeiras a vapor que são equipamentos destinados a produzir e acumular vapor sob pressão superior à atmosférica, utilizando qualquer fonte de energia, quanto os vasos de pressão que são equipamentos que contêm fluidos sob pressão interna ou externa, diferente da pressão atmosférica. Em 2019, cerca de 50% da produção industrial do CNAE 25.21-7 foi referente aos recipientes de ferro e aço para o transporte ou armazenagem de gás comprimido, sendo o restante distribuído entre caldeiras, partes, peças e serviços industriais relacionados (IBGE-PIA-Produto, 2019). Ou seja, o país tem potencial relevante para atender a demanda por vasos de pressão necessários para o desenvolvimento das plantas de Hidrogênio Verde.

Porém, vale atentar para o fato que o desenvolvimento da indústria de caldeiraria pesada no Brasil está associado ao desenvolvimento da indústria do petróleo e gás, sendo que os períodos de estagnação dessa indústria vivenciados na década de 90,

levaram à reestruturação do mercado interno, à saída de empresas e à desmobilização da capacidade tecnológica, principalmente em equipamentos mais complexos que utilizam aços especiais. Nesse contexto, as empresas brasileiras deixaram, na época, de atuar em engenharia de produto e passaram a se concentrar somente na fabricação de produtos, como forma de minimizar os riscos.

No entanto, a capacidade de desenvolver projetos básicos de engenharia é fundamental para o setor de caldeiraria, uma vez que os produtos são feitos de acordo com a demanda do cliente (Oliveira & Rocha, 2008). A perda de capacidade de desenvolver projetos locais de engenharia foi bastante destacada nas entrevistas realizadas com as empresas que fabricam atualmente hidrogênio cinza no país, indicando que o país ainda não recuperou a capacidade que tinha décadas atrás de fazer projetos de engenharia de equipamentos e plantas industriais.

3.2.5 Laminados, tubos e conexões de PVC

Os CNAE 22.21-8 Fabricação de laminados planos e tubulares de material plástico e CNAES 22.23-4 Fabricação de tubos e acessórios de material plástico correspondem ao setor tubos e conexões. Ambos os segmentos estão conectados porque o CNAE 22.21-8 faz os laminados que devem ser utilizados nos processos de fabricação dos tubos e conexões.

Esse setor se caracteriza pelo uso intensivo e pela dependência do PVC como matéria-prima básica, que é complementada com outros insumos, geralmente aditivos químicos, e pela diversidade dos produtos oferecidos. Essa diversidade reflete na dinâmica e na estrutura industrial, que é composta por empresas de diferentes tamanhos e com diferentes níveis de capacidade técnica e produtiva. As barreiras à entrada são relativamente baixas, já que o setor não tira proveito de economias de escala e não dispõe de meios de diferenciar os produtos.

O setor de tubos e conexões é um setor maduro e de baixa intensidade tecnológica, no qual a competitividade está relacionada a uma combinação de preço e do cumprimento das especificações técnicas advindas da normatização derivada da ABNT, principalmente em se tratando de clientes industriais e de grandes compradores relacionados aos setores da construção civil e de saneamento básico. Não obstante a

regulamentação vigente no país e a crescente necessidade de garantir a qualidade para os consumidores, muitas empresas do setor ainda operam com padrões tecnicamente inferiores aos estabelecidos, comprometendo a rentabilidade daquelas empresas que se sujeitam às condições normativas.

O Brasil produz tubos e conexões de PVC desde a década de 1970 e tem potencial para atender as demandas das plantas de Hidrogênio Verde. A Tigre é a empresa líder do setor no país, com dez plantas produtivas no Brasil e quatorze plantas no exterior. E, com o novo Marco Legal do Saneamento, por meio do qual o governo federal estima investimentos de ao menos R\$ 600 bilhões até 2033, espera-se que as atividades produtivas e os investimentos no setor de tubos e conexões de PVC sejam incrementadas em médio prazo no país (Verotti, 2022). Porém, as fabricantes desse segmento enfrentaram recentemente dificuldades para adquirir o PVC no mercado doméstico, especialmente porque não ocorrem investimentos em novas fábricas no Brasil há quase uma década (Fontes, 2020). Então, o potencial da indústria brasileira de fornecer tubos, conexões e mangueiras (que também estão no CNAE 22.23-4) para as plantas de Hidrogênio Verde deve ser ponderado pela capacidade doméstica de fornecer PVC.

3.2.6 Instrumentos para medição e controle

O CNAE 26.51-5 Fabricação de aparelhos e equipamentos de medida, teste e controle compreende uma ampla gama de instrumentos de medição e controle que são utilizados em praticamente todos os setores da economia, passando pela indústria de transformação, o setor de serviços, o setor de infraestrutura, incluindo a geração e distribuição de energia, entre outros. Esses instrumentos são empregados na automação industrial, para cumprir normas de segurança, identificar problemas, checar parâmetros para manutenções, avaliar vida útil de componentes, entre outras tantas aplicações.

Essa amplitude de produtos e aplicações torna a dinâmica do mercado e da indústria relacionados a esses equipamentos bastante complexos e diversificados, principalmente no que concerne aos produtos voltados para a área elétrica. Como

reflexo dessa diversidade, a CNAE 26.51-5 engloba cinquenta categorias de instrumentos de medida, teste e controle.

Vale notar que a demanda e oferta compreendem desde instrumentos para pequenos monitoramentos até o controle de processos em escala industrial. Grosso modo, a oferta desses produtos se orienta para atender dois tipos de demanda: aquela voltada a produtos menos complexos e com aplicações transversais em segmentos diversos; aquela que precisa atender a um cliente específico ou a adequação a uma nova norma técnica (Bombana, 2019). Em ambos os casos não é uma indústria intensiva em escala, mas é uma indústria que em geral trabalha com pequenas unidades produtivas e as barreiras à entrada dependem mais da capacitação tecnológica do que do volume de capital.

A segmentação da demanda reflete na diversidade de empresas que compõe o setor em termos de capacitação e esforços tecnológicos, o que têm peso relevante especialmente nos segmentos de demandas específicas. Tanto que é um segmento industrial com atuação relevante de *startups* tecnológicas, sobretudo nos setores com exigências elevadas de normatização e requisitos de metrologia. Este é um setor no qual o aprimoramento quase que constante das normas e legislações acaba desencadeando o desenvolvimento de novos conhecimentos e novas tecnologias; e a substituição de produtos obsoletos pela indústria, levando ao crescimento de mercado. Nos últimos anos, a ampliação nos investimentos em automação industrial, manutenção preditiva e indústria 4.0 tem alavancado os investimentos no setor de instrumentação e controle (Bombana, 2019).

O Brasil tem uma estrutura bastante desenvolvida para garantir que as normas e certificações sejam atendidas, cuja construção vem sendo liderada, desde meados da década de 1970, pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) e seus laboratórios associados, o que garante a qualidade dos equipamentos disponíveis no mercado local.

Segundo o IBGE (IBGE PIA-Produto, 201) – e os dados da RAIS que serão apresentados na próxima seção – o país tem empresas fabricantes em cada uma das cinquenta subcategorias de instrumentos que compõe o CNAE 26.51-5. Isto inclui os dispositivos e

instrumentos necessários para o funcionamento da planta de Hidrogênio Verde (indicadores pressão, indicadores de temperatura, medidores de corrente e tensão, medidor de alcalinidade, medidor de condutividade da água, detectores de hidrogênio, alarmes). Porém, o potencial de as fabricantes locais fornecerem estes equipamentos deve ser balizado pelo fato que é um setor altamente dependente de componentes eletrônicos e semicondutores, um segmento no qual 90% da demanda brasileira é atendida por produtos importados. Além disso, 70% das empresas do setor de máquinas e equipamentos têm relado dificuldades em obter os componentes no mercado externo (França, 2022). Sendo assim, o potencial brasileiro deve ser visto com cautela porque é um setor que atua com baixo conteúdo local no Brasil.

3.2.7 Equipamentos elétricos

O CNAE 27.10-4 Fabricação de geradores, transformadores e motores elétricos é um nicho do setor de máquinas e equipamentos. Neste setor, dependendo do segmento, os produtos podem ser produzidos de forma seriada ou sob encomenda. Os primeiros são aqueles produzidos em lotes relativamente grandes, de forma padronizada, tendo, portanto, um grau de customização mais baixo. Já os bens de capital sob encomenda são aqueles que atendem às necessidades específicas de cada cliente, sendo, inclusive, apresentados normalmente sob a forma de sistemas, isto é, quando há a integração de várias máquinas. Sendo assim, os equipamentos elétricos podem tanto ser fornecidos por empresas do setor como por integradoras (empresas de engenharia especializadas que se responsabilizam por todo o projeto, desde a engenharia até a instalação dos equipamentos) (Miguez, 2013).

Do ponto de vista tecnológico, o setor de máquinas e equipamentos é caracterizado mais como um absorvedor de tecnologias do que como um inovador disruptivo. Nesse sentido, as empresas do setor funcionam como grandes integradoras, que respondem aos avanços realizados pelas empresas que compõem sua cadeia de fornecimento e vão incorporando as melhorias aos seus produtos de forma incremental (Miguez, 2013).

Motores e geradores elétricos são equipamentos muito similares – um motor elétrico transforma energia elétrica em mecânica, enquanto um gerador transforma energia mecânica em eletricidade – baseados em tecnologias maduras e que têm aplicações

amplas. A trajetória tecnológica histórica nesse segmento foi, num passado recente, ditada pela redução de peso e tamanho. Com o advento de novas alternativas de suprimento de energia, como a energia eólica e o carro elétrico, por exemplo, o setor vem se adaptando para atender às novas demandas das diferentes indústrias. Com o avanço da manufatura avançada ou indústria 4.0, o setor deve passar por novas transformações. O Brasil tem competências significativas na produção de geradores e motores elétricos, que foram historicamente desenvolvidas tendo a Eletrobrás como elemento central na construção de um sistema local de produção e inovação.

A trajetória da WEG, que é umas das principais fabricantes de motores elétricos no mundo, evidencia as capacidades nacionais. A WEG tem como principais concorrentes a alemã Siemens, a suíça ABB e a francesa Schneider Electric, que atuam no Brasil. Essas empresas também produzem transformadores de alta tensão e alta corrente, que é o equipamento utilizado na planta de Hidrogênio Verde. Os transformadores de dielétrico líquido, que são utilizados para as aplicações de alta tensão responderam por cerca de 11% da produção industrial do CNAE 27.10-4 em 2019, o restante se distribuiu em motores, compressores, peças e serviços de produção e instalação (IBGE, PIA-Produto, 2019).

A indústria de transformadores é organizada pela tensão dos equipamentos: os de alta tensão são voltados exclusivamente para o segmento de transmissão de eletricidade e os equipamentos de média e baixa tensão, além de serem utilizados pelo setor elétrico, também são instalados no interior de plantas industriais. Os sistemas elétricos são geralmente desenhados conforme a necessidade do cliente, sendo vendidos como soluções fechadas pelos integradores de sistema; e os fabricantes de transformadores participam dessas soluções como fornecedores (Oliveira & Rocha, 2008).

Nesse sentido, vale observar que aproximadamente 10% da produção industrial do CNAE 27.10-4 Fabricação de geradores, transformadores e motores elétricos refere-se a serviço de produção e serviços de instalação de geradores, motores elétricos, transformadores, conversores e semelhantes, inclusive peças e serviços industriais relacionados (IBGE, PIA-Produto, 2019), indicando a relevância dos sistemas feitos sob encomenda.

Assim como os motores e geradores, os transformadores também são baseados em tecnologias maduras, mas os fabricantes têm sido cobrados por soluções mais sustentáveis, tanto do ponto de vista ambiental quanto financeiro. A Siemens lançou recentemente em escala global um transformador do tipo seco feito à base de resina fundida que é uma alternativa mais sustentável e resistente aos transformadores à óleo, que predominam no mercado voltado para os sistemas elétricos (Revista Potência, 2022).

3.2.8 Materiais elétricos de baixa tensão

O setor de materiais elétricos é bastante diversificado uma vez que compreende todos os dispositivos e materiais elétricos empregados pela indústria de transformação, o setor de construção civil, os setores de serviços de instalação e manutenção e o próprio setor elétrico. Os condutores elétricos de baixa tensão, assim como fios, cabos e condutores elétricos isolados, constituem um material obrigatório em qualquer tipo de edificação, seja residencial, comercial ou industrial. Isto faz com seja um setor cujo desenvolvimento e dinâmica estão diretamente relacionados ao crescimento econômico do país, uma vez que os investimentos em novas plantas industriais, habitação e infraestrutura puxam a produção do setor.

Essa diversidade se reflete na própria organização da CNAE, já há 4 classes de produtos aos que compreendem a categoria “materiais elétricos”. No caso da cadeia produtiva do hidrogênio, há duas classes deles que estão diretamente relacionados: o CNAE 27.32-5 Fabricação de material elétrico para instalações em circuito de consumo e 27.33-3 Fabricação de fios, cabos e condutores elétricos isolados.

Dada a pluralidade de dispositivos e materiais e a possibilidade de operar com diferentes níveis de qualidade, certificação e padronização, o setor de materiais elétricos é bastante segmentado. Em alguns segmentos específicos, como fabricação de cabos e fios, pode operar com economias de escala, , por exemplo, mas não é um setor intensivo em capital e pode vários segmentos são economicamente viáveis trabalhando com pequenas linhas produtivas. É um setor com poucas barreiras à entrada, o que torna a competição bastante elevada em alguns segmentos e facilita, inclusive, a entrada de

fornecedores de materiais de baixa qualidade, especialmente nos produtos que não requerem certificação.

Uma parte considerável da indústria de materiais elétricos opera com exigências elevadas de qualidade e certificação, que são demandadas pelos clientes industriais e pelas concessionárias de eletricidade (Revista Potencia, 2021). Porém, no geral, o setor de materiais elétricos trabalha com produtos bastante padronizados e, assim como setor de equipamentos elétricos, é um setor de tecnologias maduras cujos esforços e adaptações tecnológicas são atualmente em parte puxados pelas demandas dos fornecedores e, em parte, puxada por iniciativas de caráter regulatório, como requisitos de normatização e certificação e aumento da eficiência energética.

3.2.9 Válvulas e Bombas Industriais

O segmento de Válvulas industriais, registros e dispositivos semelhantes (CNAE 28.13-5) compreende as válvulas, componentes e acessórios ou quaisquer dispositivos que sejam utilizados para abrir e fechar, com o objetivo de controlar fluídos (líquido, gases, vapores e substâncias viscosas) e fluxos. Já o CNAE 28.12-7 Fabricação de equipamentos hidráulicos e pneumáticos abrange equipamentos para bombear fluidos e realizar a transferência deles. Tanto as bombas quanto as válvulas são instrumentos centrais para todas as indústrias que precisam controlar processos de fluxos, tais como os setores químico e petroquímico, alimentício, farmacêutico, de papel e celulose e de saneamento básico (ABIMAQ, 2022).

Em termos de organização, é um setor bastante segmentado, tanto em termos de demanda quanto de oferta, que trabalha com diferentes níveis de exigências técnicas e que opera com escalas reduzidas de produção. As empresas que atuam como fornecedoras de grandes empresas de fluxo contínuo, como a indústria de refino de petróleo, por exemplo, precisam atender padrões mais elevados de técnica e qualidade. Nesse caso, a produção geralmente é seriada, o que implica em custos mais elevados para os fabricantes. Por outro lado, há empresas que trabalham com pequenos lotes e menor escala produtiva, e que atendem a demanda de outros setores da economia, em que a exigência técnica é inferior (Oliveira & Rocha, 2008).

Considerando o valor da produção industrial do CNAE 28.13-5 Fabricação de válvulas, registros e dispositivos semelhantes, observa-se que em 2019 quase 60% do total refere-se a torneiras, registros e dispositivos semelhantes e partes e peças para torneiras e registros. O restante da produção industrial estava distribuído entre válvulas específicas como válvulas de segurança e alívio, válvulas redutoras de pressão, válvulas de retenção, válvulas solenóides, válvulas tipo borboleta, válvulas tipo esfera, válvulas, tipo globo e válvulas tipo macho (PIA Produto – IBGE, 2019). Numa planta de produção de gases industriais ou de Hidrogênio Verde podem ser aplicadas um conjunto de válvulas específicas.

No caso do CNAE 28.12-7 Fabricação de equipamentos hidráulicos e pneumáticos, aproximadamente 65% da produção industrial do setor em 2019 estava dividido entre bombas centrífugas e motores e cilindros hidráulicos. O restante da produção industrial estava distribuído entre bombas específicas e partes e peças para equipamentos hidráulicos e pneumáticos. No caso da planta de Hidrogênio Verde devem ser utilizadas as bombas para líquidos, que responderam por 16% da produção industrial do segmento em 2019 (IBGE – PIA Produto, 2019).

O segmento de válvulas e bombas industriais no Brasil começou a se desenvolver, especialmente, a partir da década de 1980, por conta das iniciativas da Petrobras de incentivar a nacionalização de peças e equipamentos para a cadeia de abastecimento, refino e petroquímica. Essa cadeia produtiva é ainda a que mais consome válvulas no país atualmente. Desde então, o setor viveu uma fase de franca expansão que foi interrompida pela retração dos investimentos no setor do petróleo, o que fez reduzir o faturamento das empresas de bombas e válvulas industriais no país em 50% (Revista Controle & Instrumentação, 2017). O setor começou a se recuperar em 2019 puxado pela demanda de outros setores como o de siderurgia, de saneamento básico e de fertilizantes (ABIMAQ, 2022).

Tradicionalmente, o aprendizado e a capacitação tecnológica nos setores de válvulas e bombas industriais são puxados pelas necessidades dos clientes. Cabe observar, no entanto, que a consolidação da indústria 4.0 vem criando a necessidade de válvulas automatizadas e bombas inteligentes com mais tecnologia embarcada, alterando o dinâmica de funcionamento do setor. Os clientes passaram a demandar soluções e não

somente os equipamentos, ou seja, os fabricantes devem fornecer soluções de controle automatizado, serviços de diagnóstico e monitoramento, além dos já tradicionais serviços de engenharia, montagem e manutenção. Essas mudanças vêm criando demandas tecnológicas e, por consequência, elevando as barreiras à entrada de novos fabricantes, principalmente nos segmentos com maior nível de exigência técnica (Revista Controle & Instrumentação, 2017).

3.2.10 Containers

Os containers participam com uma pequena parcela da produção industrial do CNAE 29.30-1 Fabricação de cabines, carrocerias e reboques para veículos automotores. Em 2019, a categoria Contêineres (contentores) e caçambas de qualquer material, especialmente concebidos para um ou vários meios de transporte, responderam por apenas 2% do total da produção industrial do CNAE 29.20-1. Este CNAE concentra principalmente a produção de carrocerias para ônibus (31% do total da produção industrial), carrocerias para caminhões (20%) e capotas metálicas ou de fibras de vidro (12%). A distribuição da produção industrial do CNAE 29.20-1 reflete a estrutura de transporte e as demandas por modais de carga no Brasil; e também as especializações da estrutura produtiva.

O Brasil responde apenas por 1% do comércio mundial regular de contêineres, devido a sua localização. As rotas mais movimentadas e mais baratas encontram-se no hemisfério norte. Ademais, o país exporta mais commodities (que são carregadas diretamente nos navios e não necessitam de containers) do que produtos manufaturados; e não tem armadores e grandes empresas de navegação que poderiam demandar esse tipo de equipamento (Revista Indústria Brasileira, 2021).

Containers podem ser feitos de aço, alumínio, polímero reforçado com fibra ou uma combinação de todos esses materiais. No caso dos containers de aço, a produção começa com um grande rolo de aço, que é cortado em várias folhas. A matéria-prima são as chapas de aço, que são laminados planos produzidos pela indústria siderúrgica como visto anteriormente. O processo de fabricação e montagem dos containers é amplamente conhecido e dominado há décadas, desde que se tornou um equipamento essencial para o transporte de cargas marítimas.

Todavia é um setor muito intensivo em escala e que requer investimentos de grande monta. Atualmente 85% dos containers são fabricados na China, que tem cinco empresas entre as dez maiores do mundo. As demais estão no Japão, no Reino Unido, na Dinamarca, em Singapura e na Índia (Shaini, 2009). A origem e a localização dos grandes fabricantes estão relacionadas às características geográficas e ao nível de participação dos seus respectivos países de origem no comercial mundial, além do perfil da pauta exportadora – o que justifica tanto a escala produtiva, quanto à logística de exportação e importação dos equipamentos que são predominantes utilizados para o transporte marítimo (Revista Indústria Brasileira, 2021).

Existe a de se fabricar containers em escalas menores se a matéria-prima tiver preços competitivos. O Brasil tem algumas poucas fabricantes locais de contêineres, mas a maioria dos produtos utilizadas pela indústria local é importada. Desde o início da pandemia, as empresas locais estão enfrentando gargalos para despachar seus produtos por falta de containers disponíveis no mercado internacional; e porque os custos aumentaram significativamente em função do crescimento da demanda (Revista Indústria Brasileira, 2021). Dada as competências do país na produção de carroceiras a partir de estruturadas metálicas e a fabricação de local de laminados planos, o Brasil tem capacidade tecnológica e matéria-prima para aumentar a produção local desse tipo de equipamento e atender a demanda da indústria do hidrogênio, mas por hora a produção nacional é restrita.

3.3 Estrutura produtiva e distribuição dos estabelecimentos por porte

A busca de dados na RAIS teve por objetivo observar se há estabelecimentos industriais no Brasil em cada um dos CNAEs selecionados e, assim, adicionar evidências sobre o potencial da indústria brasileira de participar da cadeia produtiva relacionada ao Hidrogênio Verde. Cabe atentar que o levantamento da RAIS é feito em nível de estabelecimento formal, ou seja, cada unidade da empresa que tem um endereço distinto é considerada como um estabelecimento. Já o tamanho do estabelecimento é determinado pelo número de empregos nele existente em 31 de dezembro do ano-base (RAIS).

A Tabela 3.2 apresenta a quantidade de estabelecimentos industriais formais para cada CNAE relacionado à cadeia produtiva do Hidrogênio Verde disponíveis no Brasil em 2019; e a distribuição desses estabelecimentos por porte da empresa (micro, pequena, média ou grande), o que possibilita observar a estrutura produtiva de cada segmento industrial. A base de dados da RAIS permite buscar a quantidade de funcionários por estabelecimentos e, assim, chegar-se ao porte da empresa. Nesse caso, cabe a ressalva de que a RAIS busca estabelecimentos ou unidades industriais. Então uma empresa de grande porte que tem os seus funcionários distribuídos em vários estabelecimentos pode aparecer como de médio porte. Mas no caso de empresas de pequeno e médio porte, essa distorção não ocorre.

É necessário observar que cada segmento relacionado à cadeia produtiva do Hidrogênio Verde tem a sua própria dinâmica industrial como foi destacado na seção anterior. Os segmentos relacionados à indústria de base, como é caso da indústria siderúrgica, são tradicionalmente concentrados devido às elevadas intensidades de capital e economias de escala. Contudo, mesmo nesses segmentos (CNAEs 24.23-7 e 24.39-7) ainda há alguns produtos específicos que são produzidos por empresas de micro e pequeno porte. Nesse caso, vale mais uma vez a ressalva de que o CNAE 24.23-7 engloba todos os produtos longos do aço, incluindo fios para máquina por exemplo, e qualquer outro produto de aço que pode ser produzido em pequena escala. No CNAE 24.39-3 estão incluídos acessórios para tubos ou canos de ferro fundido, que é um segmento bastante diversificado.

O segmento de Fabricação de tanques e caldeiras (CNAE 25.21-7), por outro lado, apresenta uma estrutura industrial mais segmentada pelas características diversificadas da composição da indústria. , e O setor de tanques e caldeiras engloba desde produtos mais padronizados e que podem ser produzidos por pequenas empresas, como os de uso hospitalar, por exemplo, até produtos que demandam capacidade de engenharia e estruturas produtivas maiores e mais sofisticadas como o armazenamento de petróleo ou combustíveis e entre outros. Nesse caso, as micro e pequenas empresa também atuam na fabricação de peças, partes e componentes.

Tabela 3.2 - Estabelecimentos industriais formais disponíveis por CNAE e por porte - 2019

CNAE (a 5 dígitos)		Micro		Pequena		Média		Grande		TOTAL
		Até 19	%	20 Até 99	%	100 Até 499	%	< 500	%	
20.11-8	Fabricação de cloro e álcalis	17	0,63	7	0,26	3	0,11	0	0,00	27
20.14-2	Fabricação de gases industriais	148	0,69	59	0,28	7	0,03	0	0,00	214
20.94-1	Fabricação de catalisadores	5	0,63	1	0,13	2	0,25	0	0,00	8
22.21-8	Fabricação de laminados planos e tubulares de material plástico	324	0,65	137	0,28	34	0,07	2	0,00	497
22.23-4	Fabricação de tubos e acessórios de material plástico para uso na construção	193	0,73	47	0,18	19	0,07	6	0,02	265
24.23-7	Produção de laminados longos de aço	54	0,55	18	0,18	9	0,09	18	0,18	99
24.39-3	Produção de outros tubos de ferro e aço	74	0,81	13	0,14	3	0,03	1	0,01	91
25.21-7	Fabricação de tanques, reservatórios metálicos e caldeiras para aquecimento central	368	0,80	84	0,18	8	0,02	0	0,00	460
26.10-8	Fabricação de componentes eletrônicos	570	0,72	172	0,22	46	0,06	6	0,01	794
26.51-5	Fabricação de aparelhos e equipamentos de medida, teste e controle	715	0,80	140	0,16	40	0,04	0	0,00	895
27.10-4	Fabricação de geradores, transformadores e motores elétricos	445	0,75	96	0,16	39	0,07	11	0,02	591
27.32-5	Fabricação de material elétrico para instalações em circuito de consumo	196	0,76	41	0,16	20	0,08	1	0,00	258
27.33-3	Fabricação de fios, cabos e condutores elétricos isolados	227	0,61	96	0,26	44	0,12	6	0,02	373
28.12-7	Fabricação de equipamentos hidráulicos e pneumáticos, exceto válvulas	337	0,76	76	0,17	28	0,06	0	0,00	441
28.13-5	Fabricação de válvulas, registros e dispositivos semelhantes	262	0,66	105	0,27	23	0,06	5	0,01	395
29.30-1	Fabricação de cabines, carrocerias e reboques para veículos automotores	1258	0,83	195	0,13	41	0,03	13	0,01	1507

Fonte: Elaborado pela Cognitio Consultoria a partir de análise da RAIS - Brasil: 2019

Outro setor com estrutura produtiva segmentada é o de produtos químicos orgânicos (CNAEs 20.11-8, 20.14-2 e 20.94-1): os fabricantes de commodities, como o cloro-álcalis e alguns gases industriais específicos como o hidrogênio cinza, apresentam unidades fabris maiores, e os segmentos das especialidades químicas e química fina, se organizam em torno de unidades produtivas menores.

Outros segmentos como o de Fabricação de geradores, transformadores e motores elétricos (CNAE 27.10-4) combinam estruturas mais diversificadas e concentradas, nos quais grandes empresas, nacionais ou multinacionais, dominam a maior fatia do mercado, enquanto as micro e pequenas empresas nacionais respondem pelo restante do mercado. No caso dos transformadores, especificamente, grandes empresas dominam as vendas no segmento de alta tensão, tendo o setor elétrico como principal mercado de atuação; e as empresas de menor porte, que não produzem transformadores para alta tensão, têm as plantas industriais como os clientes mais relevantes.

Os setores de materiais elétricos e de instrumentos de medida e controle (CNAEs 27.32-5 e 27.33-3), os dados da RAIS Brasil são setores com estruturas industriais similares também pela diversidade de produtos ofertado e segmentação da demanda. Em ambos os setores, predominam as micro e pequenas empresas. Contudo, a presença de médias empresas, que geralmente atendem os setores com demandas específicas, mas com escalas um pouco mais expressivas como é o caso do setor elétrico e o setor de automação industrial, por exemplo, é relevante.

Entretanto, é possível observar por meio da Tabela 2, que no conjunto de empresas formalmente constituídas nos CNAES selecionados, predominam os estabelecimentos de micro, pequeno e médio porte (MPME).

Do ponto de vista social, o porte reduzido das empresas e a difusão territorial da atividade são importantes porque favorecem a concretização do empreendedorismo individual e proporcionam oportunidades de emprego nos mais diversos subsistemas regionais de produção, até mesmo naqueles que são economicamente menos dinâmicos. Por outro lado, o porte reduzido das empresas pode criar alguns entraves, tais como a dificuldade de se obter ganhos de escala; a verticalização excessiva das

atividades produtivas, o que contribui para baixas escalas de produção de componentes e um parque industrial de fornecedores pouco desenvolvido; capacidade técnica limitada para realizar a engenharia de produto e o aprimoramento de processos produtivos; baixo nível de automação industrial e pouca integração dos produtos vendidos com os serviços e soluções acoplados (Miguez, 2013), umas das grandes demandas atuais da indústria para qualquer máquina ou equipamento que requeira manutenção, por exemplo.

Além disso, quando se trata de fornecer equipamentos e insumos para as grandes empresas, existem demandas específicas no que concerne à padrões de qualidade, especificações e outros pré-requisitos que devem ser atendidos, o que pode ser uma barreira, principalmente, para as MPEs.

A questão da pré-qualificação dos fornecedores foi bastante ressaltada durante as entrevistas com as empresas que produzem hidrogênio cinza e com as empresas que pretendem produzir Hidrogênio Verde no país. Algumas das empresas entrevistadas mencionaram que pode ter oportunidade para a contratação de novos fornecedores locais que ainda não fazem parte da rede da empresa, desde que eles sejam qualificados o suficiente para atender aos pré-requisitos globais da companhia. Outras empresas afirmaram que, por se tratar de um setor em estágios iniciais de desenvolvimento, com elevados riscos tecnológicos, a tendência é que a empresa acesse sua base já reconhecida de fornecedores quando for efetivamente instalar sua planta de Hidrogênio Verde no Brasil, ao menos até a indústria da eletrólise ganhar escala e padronização suficientes.

3.4 Distribuição regional dos estabelecimentos industriais

A Tabela 3.3 também apresenta a localização dos estabelecimentos por região do país – a quantidade de estabelecimentos por UF pode ser consultada nos ANEXOS A, B e C –, o que possibilita observar a distribuição da capacidade industrial pelo território nacional; e o potencial de cada região, tendo em vista que o estudo tem como foco o potencial do Estado do Ceará de se inserir na cadeia produtiva do Hidrogênio Verde.

Pela Tabela 3.3, observa-se que os segmentos relacionados à cadeia produtiva do Hidrogênio Verde seguem o mesmo padrão de distribuição da capacidade industrial do país: a Região Sudeste concentra pelo menos 50% dos estabelecimentos em quase todos os CNAEs selecionados, seguida pela Região Sul. O Estado de São Paulo abriga historicamente parte significativa da capacidade industrial do país e acumula também boa parte das competências e infraestrutura científica e tecnológica, o que contribui para explicar a concentração das empresas na Região Sudeste.

Isto não significa que as outras regiões não têm potencial para participar da cadeia produtiva do Hidrogênio Verde. Vantagens comparativas relacionadas à localização e a disponibilidade de infraestrutura, como portos, produção de energia renovável, além das iniciativas e políticas locais de incentivo, podem atrair projetos de produção de hidrogênio; e, com isto, desenvolver novas capacidades produtivas locais, como já ocorreu com a fabricação de equipamentos para a produção de energia eólica na Região Nordeste e como pode também ocorrer com o Estado do Ceará no caso do Hidrogênio Verde.

A região Nordeste, onde se localiza o Estado do Ceará, objeto final deste estudo, tem menos de 10% estabelecimentos na maioria dos CNAEs selecionados. A exceção fica por conta da fabricação de cloro e álcalis (CNAE 20.11-8), que apresenta quase 33% dos estabelecimentos do país localizados na Região Nordeste. A fabricação de gases industriais (CNAE 20.14-2), a fabricação de tubos e acessórios de material plástico para uso na construção (CNAE 22.23-4) e a metalurgia do alumínio e suas ligas (CNAE 24.41-5) também se destacam com 18, 19 e 15% dos estabelecimentos, respectivamente.

Tabela 3.3 - Estabelecimentos industriais disponíveis no Brasil por CNAE e por região - 2019

CNAE a 5 dígitos		Norte	%	Nordeste	%	Sudeste	%	Sul	%	Centro-Oeste	%	Total
20.11-8	Fabricação de cloro e álcalis	0	0,00	9	0,33	11	0,41	7	0,26	0	0,00	27
20.14-2	Fabricação de gases industriais	14	0,07	39	0,18	108	0,50	37	0,17	16	0,07	214
20.94-1	Fabricação de catalisadores	0	0,00	0	0,00	6	0,75	2	0,25	0	0,00	8
22.21-8	Fabricação de laminados planos e tubulares de material plástico	14	0,03	43	0,09	269	0,54	155	0,31	16	0,03	497
22.23-4	Fabricação de tubos e acessórios de material plástico para uso na construção	6	0,02	51	0,19	111	0,42	75	0,28	22	0,08	265
24.23-7	Produção de laminados longos de aço	3	0,03	8	0,08	64	0,65	20	0,20	4	0,04	99
24.39-3	Produção de outros tubos de ferro e aço	3	0,03	12	0,13	57	0,63	15	0,16	4	0,04	91
25.21-7	Fabricação de tanques, reservatórios metálicos e caldeiras para aquecimento central	13	0,03	38	0,08	236	0,51	130	0,28	43	0,09	460
26.10-8	Fabricação de componentes eletrônicos	35	0,04	21	0,03	488	0,61	235	0,30	15	0,02	794
26.51-5	Fabricação de aparelhos e equipamentos de medida, teste e controle	10	0,01	22	0,02	563	0,63	283	0,32	17	0,02	895
27.10-4	Fabricação de geradores, transformadores e motores elétricos	15	0,03	54	0,09	320	0,54	164	0,28	38	0,06	591
27.32-5	Fabricação de material elétrico para instalações em circuito de consumo	3	0,01	9	0,03	169	0,66	66	0,26	11	0,04	258
27.33-3	Fabricação de fios, cabos e condutores elétricos isolados	8	0,02	16	0,04	254	0,68	88	0,24	7	0,02	373
28.12-7	Fabricação de equipamentos hidráulicos e pneumáticos, exceto válvulas	6	0,01	30	0,07	240	0,54	139	0,32	26	0,06	441
28.13-5	Fabricação de válvulas, registros e dispositivos semelhantes	1	0,00	14	0,04	251	0,64	114	0,29	15	0,04	395
29.30-1	Fabricação de cabines, carrocerias e reboques para veículos automotores	73	0,05	184	0,12	502	0,33	612	0,41	136	0,09	1507

Fonte: Elaborado pela Cognito Consultoria a partir de análise da RAIS - Brasil: 2019

3.5 Fluxos comerciais e gargalos industriais

A busca de dados de comércio exterior teve o objetivo de levantar evidências sobre as competências e gargalos da indústria brasileira nos CNAEs selecionados. O volume exportado por um dado setor indica que país está em condições de competir no mercado internacional e, portanto, tem capacidades produtivas relevantes naquele segmento. O volume importado, por sua vez, pode indicar os gargalos produtivos do país e que o país não tem capacidade produtiva e tecnológica suficiente para suprir sua demanda interna.

Vale notar que os dados de comércio exterior não são disponibilizados por CNAE, mas por Nomenclatura Comum do MERCOSUL (NCM), que é adotada pelos países-membros do bloco desde 1997 e que tem por base o Sistema Harmonizado.

O Sistema Harmonizado de Designação e de Codificação de Mercadorias, ou simplesmente Sistema Harmonizado (SH), é um método internacional de classificação de mercadorias, baseado em uma estrutura de códigos e suas respectivas descrições, criado em 1988. Esse sistema foi criado para promover o desenvolvimento do comércio internacional, assim como aprimorar a coleta, a comparação e a análise das estatísticas, particularmente as de comércio exterior.

Sendo assim, foi necessário fazer uma correspondência entre os NCMs e o CNAEs relacionados a cadeia produtiva do Hidrogênio Verde. Além disso, os dados coletados em dólar da base do Ministério da Economia (ME) foram convertidos em reais de 2019⁴ para, assim, criar uma base comparativa com a produção industrial apresentada na subseção 3.2 [Capacidade industrial e competências setoriais](#)

Cabe neste caso mais uma vez a ressalva de que cada CNAE pode compreender diferentes tipos produtos, que não necessariamente o insumo ou componente específico que será utilizado na planta de hidrogênio. Porém, a observação dos fluxos

⁴ Para realizar a conversão, foi utilizada a taxa média do dólar de 2019 disponível no IPEA Data. De acordo com o IPEA Data, as taxas médias são calculadas para compra e venda e utilizam as cotações diárias do período de referência para realizar o cálculo, neste caso, o ano. A cotação diária utilizada para tal cálculo é denominada PTAX. Para mais informações, consultar: <http://www.ipeadata.gov.br/ExibeSerie.aspx?module=m&serid=31922&oper=view>

comerciais é uma proxy consistente das competências e gargalos da capacidade produtiva do país nos principais setores que fazem interface com a indústria da eletrólise. Pela Tabela 3.4 é possível observar que o fluxo de importação e exportação dos segmentos industriais relacionados à cadeia produtiva do Hidrogênio Verde.

Tabela 3.4 - Exportações e importações brasileiras relacionadas à cadeia produtiva do Hidrogênio Verde - em milhões FOB (R\$) – 2019

	CNAE (5 dígitos)	Exportações	Importações	Balança Comercial
20.11-8	Fabricação de cloro e álcalis	51,7	3.094,1	-3.042,4
20.14-2	Fabricação de gases industriais	10,7	89,3	-78,7
20.94-1	Fabricação de catalisadores	1.105,7	1.243,4	-137,7
22.21-8	Fabricação de laminados planos e tubulares de material plástico	1.545,1	3.224,8	-1.679,7
22.23-4	Fabricação de tubos e acessórios de material plástico para uso na construção	340,1	1.123,4	-783,3
24.23-7	Produção de laminados longos de aço	6.445,4	2.668,3	3.777,1
24.39-3	Produção de outros tubos de ferro e aço	359,7	3245,5	-2.885,8
25.21-7	Fabricação de tanques, reservatórios metálicos e caldeiras para aquecimento central	143,4	164,6	-21,3
26.10-8	Fabricação de componentes eletrônicos	434,6	25.230,7	-24.796,1
26.51-5	Fabricação de aparelhos e equipamentos de medida, teste e controle	2.341,1	10.284,1	-7.943,1
27.10-4	Fabricação de geradores, transformadores e motores elétricos	5.655,3	10.149,4	-4.494,1
27.32-5	Fabricação de material elétrico para instalações em circuito de consumo	600,8	3.370,7	-2.769,9
27.33-3	Fabricação de fios, cabos e condutores elétricos isolados	1.496,5	4.276,8	-2.780,3
28.12-7	Fabricação de equipamentos hidráulicos e pneumáticos, exceto válvulas	1.305,6	4.315,3	-3.009,7

Tabela 3.4 - Exportações e importações brasileiras relacionadas à cadeia produtiva do Hidrogênio Verde - em milhões FOB (R\$) – 2019 (continuação)

CNAE (5 dígitos)		Exportações	Importações	Balança Comercial
28.13-5	Fabricação de válvulas, registros e dispositivos semelhantes	1.852,8	5.191,5	-3.338,7
29.30-1	Fabricação de Cabines, Carrocerias e Reboques para Veículos Automotores	1.547,7	602,1	945,6
Total		37.293,0	85.040,3	-47.747,3

Fonte: Elaborado pela Cognitio Consultoria a partir de análise de dados da ME (2019)

Do conjunto de setores relacionados à cadeia produtiva do hidrogênio, apenas setor voltado para a siderurgia de laminados de aços planos (CNAE 24.23-7) e o setor de fabricação de implementos rodoviários (CNAE 29.30-1) apresentaram saldo positivo na balança comercial em 2019. Esses setores são tradicionalmente exportadores e têm mantido a participação positiva nos fluxos comerciais ao longo das últimas décadas.

Contudo, ainda assim há gargalos em segmentos específicos mesmo nesses setores com saldos positivos na balança comercial. Foi destacado pela Air Liquide, por exemplo, que a tubulação demanda nos projetos da empresa deve ser feita com ligas que suportam altas temperaturas (até 900 graus centígrados), que não são mais fabricadas no Brasil. A empresa já adquiriu estes equipamentos de fornecedores brasileiros no passado quando a antiga empresa nacional Villares Metal fabricava os tubos do reformador. O país já teve estrutura produtiva para produzir ligas especiais, mas com o processo de industrialização que ocorreu nas últimas duas décadas, as unidades fabris de tubos feitos com ligas especiais foram fechadas. No caso do Hidrogênio Verde, a questão da temperatura alta não se aplica e pode haver maior possibilidade de fornecimento por parte de empresas locais. Todavia, como qualquer nova atividade econômica, deve demandar adaptações do processo produtivo às demandas dos clientes.

Em se tratando do segmento de implementos rodoviários, o país também não tem produção significativa de containers que é o equipamento utilizado de fato em uma planta Hidrogênio Verde. Tomando como exemplo um eletrolisador de 1,2 MW, que é o tamanho fornecido pela Hytron no Brasil atualmente, por exemplo, considera-se que com a tecnologia atual disponível seria possível inserir até 10 MW em um único

container. Sendo assim, para cada planta de 1 GW, seriam necessários 100 contêineres, o que pode ser num futuro próximo uma demanda relevante para um mercado em que as empresas já enfrentam gargalos de suprimento como foi observado anteriormente.

Em alguns setores, como é caso da fabricação dos componentes eletrônicos (CNAE 26.10-3), o país nunca teve uma produção local significativa para atender a demanda interna, sendo altamente dependente da importação. Os componentes eletrônicos não são diretamente demandados na produção de Hidrogênio Verde, mas estão nas placas eletrônicas e em praticamente todos os instrumentos de teste e controle abarcados pela planta. A grosso modo, esses instrumentos devem ser parte de cada um dos containers que contenham os eletrolisadores.

Há setores cuja a dinâmica é voltada para o mercado interno como é caso do CNAE 25.21-7 Fabricação de tanques, reservatórios metálicos e caldeiras para aquecimento central, no qual estão incluídos os vasos de pressão demandados que, são, em geral, equipamentos de grande porte montados localmente.

Em outros setores, os déficits na balança comercial ocorrem porque a redução no ritmo de crescimento da economia impacta diretamente no uso da capacidade produtiva da indústria, que é o commodities do setor químico como o cloro álcalis (CNAE 20.11-8). A Braskem encerrou definitivamente a produção de cloro-soda em Camaçari (BA) em 2018, reduzindo a oferta nacional do produto. Em 2021, a Braskem anunciou a retomada da produção para atender as demandas do novo marco do saneamento básico (Fontes, 2021).

Já nos casos das especialidades químicas, como os catalisadores, houve fechamento de unidades produtivas e redução dos esforços tecnológicos locais nas últimas décadas. O mercado brasileiro não possui um tamanho considerável para atrair fabricantes de catalisadores, mas já apresentou capacidades produtivas e tecnológicas locais mais significativas do que aquelas que existem atualmente no país. A Oxiteno, por exemplo, pioneira na produção de catalisadores no Brasil na década 1980, se especializou em catalisadores para produção de hidrogênio. Ademais, até o início dos anos de 1990, várias empresas nacionais mantinham centros de P&D, onde eram estudados os processos catalíticos. Esses centros foram desativados após a abertura do mercado

brasileiro (Bernardo-Gusmão, Pergher e Santos, 2017). Atualmente, as empresas que produzem hidrogênio cinza importam esse insumo, como foi relatado nas entrevistas.

O processo de desindustrialização ocorrido nas últimas décadas também afetou outros setores que tinham competências e base industrial já constituídas no país. Este é caso do setor de válvulas e bombas industriais.

No caso das válvulas, o representante da Air Liquide afirmou que era possível, a cerca de duas décadas atrás, adquirir algumas válvulas de bloqueio com corpo de aço inox comum que não precisam de usinagem de precisão. As válvulas que precisam de usinagem de precisão (para que não haja fuga de gás) sempre foram importadas. Atualmente as válvulas de segurança, válvulas de processo e outros tipos de válvulas que utilizam controladores lógicos programáveis são todas importadas pela Air Liquid. Já o representante da Air Products afirmou que consegue comprar atualmente apenas alguns tipos de válvulas de fabricantes locais. Este contexto reflete a desindustrialização do setor de válvulas industriais que vêm ocorrendo desde 2005 em função concorrência com as válvulas importadas da China, que tem um preço até 40% menor do que os similares nacionais, sendo um dos fatores que vêm contribuindo a redução da produção local e o aumento das importações de válvulas industriais (Almeida, 2022).

O setor de bombas industriais também enfrenta a competição com os produtos importados há mais de uma década, o que contribuiu para reduzir a margem de lucro das fabricantes locais e levou ao fechamento das empresas menos competitivas. O setor de óleo e gás, que era um grande demandante de bombas nos anos de 1990 e anos 2000, atualmente importa sistemas completos com as bombas incluídas; e o processo de importação considera o conjunto sem identificar cada componente (Fairbanks, 2019).

Além dos gargalos identificados na capacidade produtiva atual nos segmentos relacionados à cadeia produtiva do Hidrogênio Verde, com base na análise dos fluxos comerciais, é necessário também atentar para as possíveis demandas futuras. A escalada da produção de Hidrogênio Verde no Brasil pode ter gargalos adicionais como foram destacadas pelos representantes das empresas que produzem Hidrogênio Cinza no país. Foi observado, por exemplo, que o país não tem capacidade industrial para produzir tubos de grande porte (até 300 quilos) para transportar hidrogênio – esses

tubos devem ser sem costura e demandam técnicas e equipamentos especializados. Ademais, o país não dispõe de fabricantes de compressores de hidrogênio, não conta com um liquefator de hidrogênio e não tem tecnologia disponível para fazer a liquefação do hidrogênio.

Logo, é essencial pensar não somente no possível potencial de produção e competências da indústria brasileira, mas também no fato de que se não houver capacidade industrial local suficiente, a demanda por insumos e componentes advinda das plantas de Hidrogênio Verde pode acentuar os déficits da balança comercial nos segmentos industriais relacionados .

4 Conclusão e Recomendações

O Hidrogênio Verde tem sido considerado um vetor fundamental para o processo de transição energética. O aumento de projetos em operação e já anunciados, e o lançamento de estratégias para hidrogênio em diversos países e regiões são evidências que confirmam o interesse no desenvolvimento da economia do hidrogênio em todo o mundo. A produção no Brasil, por sua vez, tem sido incentivada em âmbito federal por meio do Programa Nacional do Hidrogênio (PNH2), que apresenta um conjunto de diretrizes a partir das dimensões políticas públicas, tecnologia e mercado. Em âmbito subnacional (estadual e municipal), há várias iniciativas sendo desenvolvidas também.

No contexto deste projeto, que tem como principal objetivo avaliar o potencial da indústria brasileira na cadeia de valor para a produção do Hidrogênio Verde, com destaque especial ao estado do Ceará, este segundo relatório teve dois focos principais: (i) a elaboração de fichas técnicas dos insumos e componentes de uma planta de Hidrogênio Verde; e, (ii) a análise do potencial de produção dos principais componentes relacionados à cadeia produtiva do Hidrogênio Verde. Esses dois focos orientaram o desenvolvimento das atividades de pesquisa e a estruturação do relatório em duas partes principais que são interdependentes.

Na primeira parte do relatório foram detalhados, a partir da elaboração de fichas técnicas, os principais insumos e componentes do sistema de eletrólise da água, e por consequência, a cadeia produtiva do Hidrogênio Verde. O esforço preliminar de identificar a cadeia de valor e os principais componentes de uma planta de Hidrogênio Verde, realizado no primeiro estudo deste projeto, foi enriquecido neste segundo relatório por meio de um maior detalhamento técnico de cada um dos insumos e componentes daquela planta.

As fichas técnicas, que foram estruturadas em quatro subsistemas, se desmembraram em 33 componentes essenciais para a concepção de uma planta de Hidrogênio Verde. Esse elencar de equipamentos mostrou a abrangência da cadeia de produção e a multiplicidade de oportunidades que podem surgir para dar suporte a cada insumo indicado.

A sinergia com outras indústrias, também tratada no estudo, indica que para o suprimento dos subsistemas já existe uma indústria desenvolvida, sendo possível que a economia do hidrogênio aproveite a infraestrutura e os próprios produtos já disponíveis no mercado. De qualquer modo, é importante destacar ainda que cada componente possui as suas especificidades técnicas, bem como normas e padronizações que precisam ser respeitadas em suas fabricações e aplicações. Um estudo mais detalhado de engenharia de projeto para uma planta de produção de Hidrogênio Verde, necessariamente, deverá lidar com todos esses aspectos, os quais não foram contemplados nesse estudo em particular.

A partir de uma busca na literatura e em documentos especializados, observou-se que são escassas as análises sobre a cadeia produtiva do Hidrogênio Verde no mundo. De modo geral, as análises existentes se concentram, essencialmente, na produção de eletrolisadores e seus principais componentes, como as células eletroquímicas (*stacks*). Nesse sentido, identificar e selecionar os insumos e componentes principais e ancilares de todo o sistema de produção de Hidrogênio Verde, e que têm potencial de ser produzidos no Brasil, apresenta um caráter inédito.

Sendo assim, a partir da elaboração e apresentação das fichas técnicas para cada componente e insumo, podem ser destacadas as seguintes contribuições deste trabalho:

- ampliação do conhecimento sobre os processos e a técnica de produção de Hidrogênio Verde. Destaca-se que um primeiro passo para a difusão de uma nova tecnologia é a disseminação de conhecimento e a conscientização da sociedade sobre a sua relevância;
- apresentação detalhada, de forma didática e organizada, de um material de consulta com os principais componentes e insumos de uma planta de Hidrogênio Verde, que pode ser distribuída, em caráter informativo, aos agentes mais relevantes do sistema local de inovação.
- as fichas técnicas podem informar os *stakeholders* mais relevantes desse sistema, como empresas, associações de classe e sindicatos, universidades, centros de pesquisa, agências e bancos de desenvolvimento, dentre outros,

sobre as demandas e oportunidades relacionadas à produção de Hidrogênio Verde e sua respectiva cadeia produtiva;

- consolidação de informações relevantes que podem ser disseminadas entre os *policy makers* e outros agentes públicos dos governos federal e estadual, que têm poder de ação e decisão sobre a formulação de políticas e implementação de mecanismos de incentivo para o desenvolvimento da indústria local.

A partir da elaboração das fichas técnicas foi possível identificar e apontar quais insumos e componentes podem, em potencial, ser produzidos localmente, considerando como referência as competências tecnológicas e capacidades produtivas atuais da indústria brasileira. Ou seja, foi apresentado um retrato dos componentes e insumos relacionados à cadeia produtiva do Hidrogênio Verde que o Brasil teria condições de produzir no curto e médio prazo, a partir de capacidades produtivas e tecnológicas já constituídas no país.

A partir desse esforço, é possível identificar, de maneira específica, quais insumos são necessários para o desenvolvimento de uma indústria nacional que dê suporte à economia do hidrogênio. Indo além, é igualmente possível analisar quais insumos e componentes já são produzidos e quais podem ser, futuramente, produzidos pela indústria local.

Esta delimitação teve com ponto de partida a análise do contexto atual da indústria da eletrólise. Essa análise indicou que é provável que a produção do conjunto de células eletroquímicas (*stacks*) fique concentrada em alguns grandes fornecedores mundiais; e que as barreiras à entrada nesse segmento da cadeia de valor sejam cada vez maiores, tanto em função das economias de escala quanto pelo fato de ser uma etapa produtiva de alta intensidade tecnológica que requer elevados investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D). Porém, para os demais componentes necessários para colocar uma planta de Hidrogênio Verde em operação, podem ter oportunidades para os países e regiões que tenham condições e planos concretos de se inserir na cadeia produtiva da indústria da eletrólise, o que pode ser o caso do Brasil.

Logo, conclui-se que se ao menos parte dos projetos de Hidrogênio Verde anunciados no país se concretizarem no médio prazo (em torno de 5 anos), o potencial de inserção da indústria nacional – e da indústria cearense – na cadeia produtiva do Hidrogênio

Verde deve ser delimitado por aquilo que o país já tem competência para fazer atualmente. Com isso não se descarta os possíveis esforços tecnológicos que podem ser realizados em médio e longo prazo para expandir as oportunidades de inserção do país nesse novo setor emergente. Mas para tanto será necessário a estruturação de uma estratégia local de desenvolvimento, com metas gradativas e incentivos para adensamento da cadeia produtiva local.

As entrevistas realizadas no contexto deste projeto – com as empresas que assinaram Memorandos de Entendimento (MoU) com o Estado do Ceará e com as empresas que já produzem hidrogênio cinza no Brasil – adicionam evidências que corroboram essa perspectiva. Segundo as empresas entrevistadas, os países com os programas de incentivo e estratégias de promoção mais estruturadas voltados para o desenvolvimento do Hidrogênio Verde têm prioridade de investimento na corporação.

O levantamento e a sistematização de dados econômicos demonstraram que há de fato produção industrial e estabelecimentos industriais operando no país em cada um dos segmentos selecionados que tem potencial de fornecer insumos e componentes para a cadeia produtiva do Hidrogênio Verde. Além disso, ao observar as interfaces setoriais desses segmentos, foi possível analisar a dinâmica específica do setor, como ele está organizado e distribuído pelo país e sua atual capacidade para atender a demanda já existente em outros setores da economia, como a indústria de transformação, infraestrutura e serviços, por exemplo.

Dessa análise, concluiu-se que a estrutura produtiva e a maturidade tecnológica de cada setor podem interferir na sua capacidade de se adaptar rapidamente ou não às demandas da indústria da eletrólise. Os setores mais intensivos em escala, dominados por grandes empresas, podem atender facilmente a demanda se tiverem margem adicional de capacidade instalada. Por outro lado, esses mesmos setores não vão investir em novas unidades industriais somente para atender a demandas dos projetos de Hidrogênio Verde porque os projetos devem ser implementados gradativamente e de forma escalonada, não havendo demanda suficiente para um investimento de grande monta nessa conjuntura.

Os setores que não são intensivos em escala podem ter mais espaço para adaptação às demandas dos projetos do Hidrogênio Verde, mas, provavelmente, precisarão de suporte para adaptar produtos e ampliar suas capacidades tecnológicas. Nesse caso, há também a questão da qualidade e exigências técnicas dos componentes. Em setores muito segmentados, não são todas as empresas que estão devidamente qualificadas para atender elevados níveis de exigência.

Os dados também demonstraram que a maioria dos estabelecimentos comerciais relacionados à cadeia produtiva do Hidrogênio Verde são de micro, pequeno e médio porte, com algumas grandes empresas dominando o mercado em alguns setores específicos, o que reflete a estrutura da indústria brasileira como um todo. Do ponto de vista do desenvolvimento econômico e social, seria extremamente relevante que essas empresas pudessem ser orientadas sobre as oportunidades de inserção na cadeia produtiva do Hidrogênio Verde. Mas considerando o contexto atual de desenvolvimento da indústria da eletrólise, é fundamental entender as barreiras e as possibilidades de inserção das PMEs brasileiras nas redes de fornecedores de um setor com elevados riscos tecnológicos.

Outro fato apontado pelos dados é que os estabelecimentos industriais estão concentrados principalmente nas regiões Sul e Sudeste. Nesse caso, conclui-se que as outras regiões do país que abrigarem projetos de Hidrogênio Verde em função das suas vantagens comparativas locais (disponibilidade de energia renovável, infraestrutura etc.) devem observar as capacidades e competências das empresas locais para entender quais são as possibilidades regionais de inserção nessa nova cadeia produtiva, como está sendo feito pelo Estado do Ceará.

Outra forma utilizada para qualificar e ponderar este potencial foi a análise dos fluxos de exportação e importação nos segmentos selecionados que têm relação com a cadeia produtiva do Hidrogênio Verde. Dessa análise, constatou-se que a balança comercial da maioria dos segmentos selecionados é deficitária e que não há capacidade produtiva local suficiente para atender a demanda atual da economia brasileira pelos produtos e insumos relacionados à cadeia produtiva do Hidrogênio Verde. Evidentemente será necessário aprofundar esse ponto para uma melhor compreensão de como um conjunto coordenado de iniciativas públicas e privadas poderá criar um ambiente propício para a

inserção das empresas daqueles setores/segmentos na cadeia de produção de Hidrogênio Verde.

As entrevistas com as empresas fabricantes do Hidrogênio Cinza, que tem interfaces significativas com os insumos e componentes demandados na construção das plantas de Hidrogênio Verde, reforçaram a percepção da existência de lacunas produtivas. Logo, é possível concluir que há potencial de inserção da indústria brasileira na cadeia produtiva do Hidrogênio Verde com a ressalva de que se não houver capacidade industrial suficiente, a demanda por insumos e componentes pode acentuar os déficits comerciais em vários segmentos. Por outro lado, o país exporta volumes significativos em quase todos os segmentos relacionados à cadeia produtiva do Hidrogênio Verde, o que evidencia que o país tem capacidades e competências para competir no mercado internacional.

Nesse sentido, os próximos passos desse projeto, além de fazer uma análise do potencial do Estado do Ceará de produzir insumos e componentes, deve trazer indicativos para o aprimoramento dos incentivos e de políticas públicas para o desenvolvimento da cadeia produtiva local.

5 Anexos

ANEXO A - Estabelecimentos industriais disponíveis no Brasil por CNAE e por UF (região Norte) - 2019

Classificação das atividades econômicas a 5 dígitos		Norte							Total
		RO	AC	AM	RR	PA	AP	TO	
20.11-8	Fabricação de cloro e álcalis	0	0	0	0	0	0	0	0
20.14-2	Fabricação de gases industriais	2	0	5	0	7	0	0	14
20.94-1	Fabricação de catalisadores	0	0	0	0	0	0	0	0
22.21-8	Fabricação de laminados planos e tubulares de material plástico	2	0	10	0	1	0	1	14
22.23-4	Fabricação de tubos e acessórios de material plástico para uso na construção	0	1	2	0	3	0	0	6
24.23-7	Produção de laminados longos de aço	0	0	1	0	2	0	0	3
24.39-3	Produção de outros tubos de ferro e aço	1	0	1	0	1	0	0	3
24.41-5	Metalurgia do alumínio e suas ligas	0	0	1	0	2	0	0	3
25.21-7	Fabricação de tanques, reservatórios metálicos e caldeiras para aquecimento central	8	2	0	0	1	0	2	13
26.10-8	Fabricação de componentes eletrônicos	0	0	34	0	0	0	1	35
26.51-5	Fabricação de aparelhos e equipamentos de medida, teste e controle	2	0	6	0	2	0	0	10
27.10-4	Fabricação de geradores, transformadores e motores elétricos	1	2	6	0	4	1	1	15
27.32-5	Fabricação de material elétrico para instalações em circuito de consumo	0	0	2	0	1	0	0	3
27.33-3	Fabricação de fios, cabos e condutores elétricos isolados	0	0	7	0	1	0	0	8
28.12-7	Fabricação de equipamentos hidráulicos e pneumáticos, exceto válvulas	2	0	0	0	3	0	1	6
28.13-5	Fabricação de válvulas, registros e dispositivos semelhantes	0	0	0	0	1	0	0	1
29.30-1	Fabricação de cabines, carrocerias e reboques para veículos automotores	27	4	7	1	24	0	10	73

Fonte: adaptado pela Cognitio Consultoria a partir de RAIS (2019)

ANEXO B - Estabelecimentos industriais disponíveis no Brasil por CNAE e por UF (região Nordeste) - 2019

<i>Classificação das atividades econômicas a 5 dígitos</i>	Nordeste									
	MA	PI	CE	RN	PB	PE	AL	SE	BA	Total
20.11-8 Fabricação de cloro e álcalis	1	0	2	1	0	3	1	0	1	9
20.14-2 Fabricação de gases industriais	2	1	6	2	1	11	3	1	12	39
20.94-1 Fabricação de catalisadores	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22.21-8 Fabricação de laminados planos e tubulares de material plástico	2	0	6	2	3	10	3	1	16	43
22.23-4 Fabricação de tubos e acessórios de material plástico para uso na construção	0	0	7	3	10	15	7	1	8	51
24.23-7 Produção de laminados longos de aço	1	1	1	1	0	3	0	0	1	8
24.39-3 Produção de outros tubos de ferro e aço	1	0	2	0	1	7	0	0	1	12
24.41-5 Metalurgia do alumínio e suas ligas	3	0	30	4	2	10	2	0	8	59
25.21-7 Fabricação de tanques, reservatórios metálicos e caldeiras para aquecimento central	1	1	7	4	1	10	6	1	7	38
26.10-8 Fabricação de componentes eletrônicos	1	0	3	1	3	4	1	1	7	21
26.51-5 Fabricação de aparelhos e equipamentos de medida, teste e controle	0	1	1	2	2	6	1	2	7	22
27.10-4 Fabricação de geradores, transformadores e motores elétricos	0	0	12	8	2	15	1	1	15	54
27.32-5 Fabricação de material elétrico para instalações em circuito de consumo	0	0	1	0	2	1	0	0	5	9
27.33-3 Fabricação de fios, cabos e condutores elétricos isolados	1	4	2	1	1	3	1	0	3	16
28.12-7 Fabricação de equipamentos hidráulicos e pneumáticos, exceto válvulas	2	2	9	0	1	4	0	1	11	30
28.13-5 Fabricação de válvulas, registros e dispositivos semelhantes	0	0	3	0	0	4	2	0	5	14
29.30-1 Fabricação de cabines, carrocerias e reboques para veículos automotores	15	11	30	14	4	37	10	15	48	184

Fonte: adaptado pela Cognitio Consultoria a partir de RAIS (2019)

ANEXO C - Estabelecimentos industriais disponíveis no Brasil por CNAE e por UF (região Sudeste, Sul e Centro-Oeste) - 2019

<i>Classificação das atividades econômicas a 5 dígitos</i>	Sudeste					Sul				Centro-Oeste				
	MG	ES	RJ	SP	Total	PR	SC	RS	Total	MS	MT	GO	DF	Total
20.11-8 Fabricação de cloro e álcalis	1	1	3	6	11	1	3	3	7	0	0	0	0	0
20.14-2 Fabricação de gases industriais	25	7	16	60	108	11	13	13	37	3	3	7	3	16
20.94-1 Fabricação de catalisadores	1	0	2	3	6	1	1	0	2	0	0	0	0	0
22.21-8 Fabricação de laminados planos e tubulares de material plástico	29	4	14	222	269	51	41	63	155	4	2	9	1	16
22.23-4 Fabricação de tubos e acessórios de material plástico para uso na construção	22	2	14	73	111	21	40	14	75	4	3	15	0	22
24.23-7 Produção de laminados longos de aço	15	5	7	37	64	3	5	12	20	1	0	3	0	4
24.39-3 Produção de outros tubos de ferro e aço	4	0	3	50	57	6	1	8	15	2	0	2	0	4
24.41-5 Metalurgia do alumínio e suas ligas	34	2	28	145	209	64	31	26	121	2	5	7	0	14
25.21-7 Fabricação de tanques, reservatórios metálicos e caldeiras para aquecimento central	50	3	13	170	236	42	29	59	130	5	9	29	0	43
26.10-8 Fabricação de componentes eletrônicos	101	2	23	362	488	81	45	109	235	2	3	8	2	15
26.51-5 Fabricação de aparelhos e equipamentos de medida, teste e controle	80	7	18	458	563	66	98	119	283	0	2	10	5	17
27.10-4 Fabricação de geradores, transformadores e motores elétricos	63	6	22	229	320	45	62	57	164	4	6	24	4	38
27.32-5 Fabricação de material elétrico para instalações em circuito de consumo	23	0	12	134	169	11	15	40	66	2	0	9	0	11
27.33-3 Fabricação de fios, cabos e condutores elétricos isolados	31	4	10	209	254	46	22	20	88	1	1	4	1	7
28.12-7 Fabricação de equipamentos hidráulicos e pneumáticos, exceto válvulas	34	7	18	181	240	25	46	68	139	1	4	21	0	26
28.13-5 Fabricação de válvulas, registros e dispositivos semelhantes	15	1	8	227	251	67	16	31	114	1	0	13	1	15
29.30-1 Fabricação de cabines, carrocerias e reboques para veículos automotores	145	42	54	261	502	235	159	218	612	18	31	79	8	136

Fonte: adaptado pela Cognition Consultoria a partir de RAIS (2019)

6 Bibliografia

3D WAREHOUSE. **Container Dry 40 pés HC**. Site. Disponível em: <https://3dwarehouse.sketchup.com/model/u699def7b-b52f-4443-aba4-217a2bd34408/CONTAINER-DRY-40-p%C3%A9s-HC?hl=pt-br>. Acesso em 21 jun 2022.

ABC FERRAZ. **Vasos de pressão**. Site. Disponível em: <https://abcferraz.com.br/tudo-sobre-vasos-de-pressao/>. Acesso em 21 jun. 2022.

ABERKO. **Vasos de Pressão**. Site. Disponível em: <https://www.vasosdepressao.com.br/vasos-pressao.php>. Acesso em 21 jun. 2022.

ABIMAQ. **Válvulas industriais - Demanda pela atualização dos equipamentos**. Site, Associação Brasileira de Máquinas e Equipamentos, 07 jan. 2022. Disponível em: <https://abimaq.org.br/blogmaq/736/valvulas-industriais-demanda-pela-atualizacao-dos-equipamentos>. Acesso em 20 jun. 2022.

ABIQUIM. **O desempenho da indústria química brasileira**. Site, Associação Brasileira das Indústrias Químicas, 2020. Disponível em: <https://abiquim.org.br/industriaQuimica>. Acesso em 20 jun. 2022.

ACEPIL. **Conexões de aço inox**. Site. Disponível em: <https://acepil.com.br/conexoes-de-aco-inox/>. Acesso em 21 jun. 2022.

ACQUACONTROLL. **Filtro cartucho pode ser usado nas indústrias, comércios e residências**. Site. Disponível em: <https://www.acquacontroll.com.br/filtro-cartucho>. Acesso em 21 jun. 2022.

AIR GAS. **Nitrogênio**. Site. Disponível em: <https://airgas.com.br/nitrogenio.shtml>. Acesso em 21 jun. 2022.

AIR LIQUIDE. **FLOXAL - Produção de gás on-site**. Site. Disponível em: <https://industrial.airliquide.com.br/floxal-producao-gas-site>. Acesso em 21 jun. 2022.

ALMEIDA, H. **Válvulas – fabricantes nacionais investem para enfrentar importação**. Site, Portal Petróleo e Energia, 09 jul. 2022. Disponível em: <https://www.petroleoenergia.com.br/valvulas-fabricantes-nacionais-investem-para-enfrentar-importacoes/>. Acesso em 20 jul. 2022.

AMELANG, S. **Europe vies with China for clean hydrogen superpower status**. Site, Clean Energy Wire, 2020. Disponível em: www.cleanenergywire.org/news/europe-vies-china-clean-hydrogen-superpower-status. Acesso em 20 jun. 2022.

BERNARDO-GUSMÃO, K.B. PERGHERB, S.B.C, SANTOS. E. N. **Um panorama da catálise no Brasil nos últimos 40 anos**. Química Nova, v. 40, n. 6, p. 650-655, 2017.

BOMBANA, C. **Um universo à parte**. Site, Revista Potência, 11 set. 2019. Disponível em: <https://revistapotencia.com.br/portal-potencia/mercado/um-universo-a-parte/>. Acesso em 20 jul. 2022.

CIC ENERGIGUNE. **Electrolysers: a manufacturing industry that everyone wants to lead**. Site, 22 mar. 2022, Disponível em: <https://cicenergigune.com/en/blog/electrolysers-manufacturing-industry-everyone-lead> Acesso em 20 jul. 2022.

COGNITIO. **Relatório 1 - Cadeia de Valor do Hidrogênio Verde**. Avaliação do potencial da indústria brasileira para o desenvolvimento da cadeia de valor do Hidrogênio Verde com foco no Estado do Ceará. PROJETO H2Brasil - Expansão do Hidrogênio Verde. GIZ/MME: Brasília, 2022.

COTANET. **Válvula Esfera Hidráulica**. Site. Disponível em: <http://www.cotanet.com.br/valvulas-esferas/valvula-esfera-hidraulica>. Acesso em 21 jun. 2022.

DANFOSS. Site. Disponível em: <https://www.danfoss.com>. Acesso em 21 jun. 2022.

DEEPRESOURCE. State of Electrolysis in Europe. 2014. Site. Disponível em: <https://deepresource.wordpress.com/2019/01/29/state-of-electrolysis-in-europe-2014/>. Acesso em 26 jul. 2022

DE PINHO, L. L. R. **Avaliação da produção de hidrogênio a partir de excedentes de energia eólica utilizando algoritmos evolucionários multiobjetivo**. 2017. 234 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

DETRON INSTRUMENTAÇÃO E CONEXÕES. **Conexão aço inox**. Site. Disponível em: <https://www.detron.com.br/conexao-aco-inox>. Acesso em 21 jun. 2022.

DETRON. **Tubos de aço inox**. Site. Disponível em: <https://www.detron.com.br/tubos-aco-inox#:~:text=Os%20tubos%20de%20a%C3%A7o%20inox%20ASTM%20A269%2C%20pode m%20ser%20com,forneido%20de%206mm%20a%20203mm>. Acesso em 21 jun. 2022.

DIRECT INDUSTRY. **Transmissor de temperatura Pt100 850**. Site. Disponível em: <https://www.directindustry.com/pt/prod/noshok/product-26191-462508.html>. Acesso em 21 jun 2011.

EXÔDOCIENTÍFICA. **Peneiras moleculares**. Site. Disponível em: <http://exodocientifica.com.br/588-2/>. Acesso em 21 jun. 2022.

FAIRBANKS. **Fabricantes mantêm produtos atualizados – Bombas**. Site, Revista Química e Derivados, 7 jan. 2019. Disponível em: <https://www.quimica.com.br/fabricantes-mantem-produtos-atualizados-bombas/4/>. Acesso em 21 jun. 2022.

FCH 2 JU. **Study on Value Chain and Manufacturing Competitiveness Analysis for Hydrogen and Fuel Cells Technologies**. Evidence Report, Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking, 2019. Disponível em: <https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/Findings%20Report%20v4.pdf>. Acesso em 20 jul. 2022.

FONTES, S. **Com volta da Braskem, oferta de cloro deve subir.** Valor Econômico, 6 jan. 2021. Disponível em: <https://aesbe.org.br/novo/com-volta-da-braskem-oferta-de-cloro-deve-subir/>. Acesso em 23 jun. 2022.

FONTES, S. **Falta de PVC atinge os fabricantes de plásticos.** Valor Econômico, 24 ago. de 2020. Disponível em: <https://aesbe.org.br/novo/falta-de-pvc-atinge-os-fabricantes-de-plasticos/>. Acesso em 23 jun. 2022.

FRANÇA, C. A. F. **O desafio e a oportunidade dos semicondutores.** Política Externa Brasileira - 2022, Fundação Alexandre Gusmão (FUNAG), 03 maio. 2022. Disponível em <https://www.gov.br/funag/pt-br/centrais-de-conteudo/politica-externa-brasileira/o-desafio-e-a-oportunidade-dos-semicondutores-o-globo-24-de-abril-de-2022>. Acesso em 20 jul. 2022.

FRAUNHOFER ISE. **HySpeedInnovation: A joint action plan for innovation and upscaling in the field of water electrolysis technology.** 2020. Disponível em: www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/en/documents/News/PositionPaper-HySpeedInnovation.pdf. Acesso em 20 jul. 2022.

GEHAKA. **Condutímetro de bancada CG2000.** Site. Disponível em: <https://www.gehaka.com.br/produtos/linha-analitica/condutivimetro-de-bancada/cg2000>. Acesso em 21 jun. 2022.

GODULA-JOPEK, A. **Hydrogen production: by electrolysis.** John Wiley & Sons, 1ª ed. 2015.

HIDRAIL VÁLVULAS E CONEXÕES. **Conexões Hidráulicas.** Site. Disponível em: <https://www.hidrail.com.br/conexoes>. Acesso em 21 jun. 2022.

HIMATER. **Como escolher os tubos de PVC ideais?** Site. Disponível em: <https://himater.com.br/como-escolher-os-tubos-de-pvc-ideais/>. Acesso em 21 jun. 2022.

HYTRON. A aquisição da HYTRON Energia e Gás fortalece a posição de liderança do GRUPO NEA no campo de soluções de hidrogênio. Site. Disponível em: <https://www.hytron.com.br/c%C3%B3pia-quem-somos>. Acesso em 25 jul. 2022

INDUSTRIAL 4.0. **Válvulas Hidráulicas.** Site. Disponível em: <https://industrial4-0.com.br/valvulas-hidraulicas/>. Acesso em 21 jun. 2022.

INSTITUTO AÇO BRASIL. **Mini anuário: a Siderurgia em Números,** 2022. Disponível em: https://acobrasil.org.br/site/wp-content/uploads/2021/06/Mini_anuario_2022_AcoBrasil-1.pdf. Acesso em 20 jul. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **PIA-Produto (2019) - Pesquisa Industrial Anual.** Site, IBGE, 2019 (ano-base). Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/industria/9044-pesquisa-industrial-anual-produto.html?=&t=destaques>. Acesso em 15 jun. 2022.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. **Geopolitics of the Energy Transformation: The Hydrogen Factor.** IRENA, 2022a, Abu Dhabi. Disponível em: <https://www.irena.org/publications/2022/Jan/Geopolitics-of-the-Energy-Transformation-Hydrogen>. Acesso em 15 jun. 2022.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. **Innovation trends in electrolysers for hydrogen production: Patent insight report**. IRENA, 2022b, Abu Dhabi. Disponível em: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/May/IRENA_EPO_Electrolysers_H2_production_2022.pdf. Acesso em 26 jun. 2022.

IONIX. **Conheça 4 Tipos De Válvulas De Aço Inox**. Site. Disponível em: <https://ionix.ind.br/noticias-e-eventos/noticias/conheca-4-tipos-de-valvulas-de-aco-inox>. Acesso em 21 jun. 2022.

JEFFERSON ENGENHARIA DE PROCESSOS INDUSTRIAIS. **Válvula Solenoide**. Site. Disponível em: <https://www.jefferson.ind.br/conteudo/valvula-solenoide.html>. Acesso em 21 jun. 2022.

LFCINOX. **Devo utilizar mangueira atóxica na indústria de alimentos?** Site. Disponível em: <https://lfcinox.com.br/devo-utilizar-mangueira-atoxica-na-industria-de-alimentos/>. Acesso em 21 jun. 2022.

MEDICALEXPO. **Válvula para gases medicinais**. Site. Disponível em: <https://www.medicalexpo.com/pt/prod/delta-p/product-68177-938713.html>. Acesso em 21 jun 2022.

MIGUES, T. **Bens de Capital - Agendas setoriais para o desenvolvimento**. 2013. Visão 2035: Brasil, país desenvolvido, p. 159-182. BNDES. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/16240/1/PRCapLiv214165_bens%20de%20capital_compl_P.pdf. Acesso em 15 jun. 2022.

MINISTÉRIO DA ECONOMIA. **Estatísticas de comércio exterior - Comex Stat**. Site, Brasília: ME, 2019. Disponível em: <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/home>. Acesso em 15 jul. 2022.

MOKKA-SENSORS. **Transdutor de Pressão**. Site. Disponível: <https://www.mokka-sensors.com.br/product-detail/transdutor-de-pessao-3500b0010g01e000/>. Acesso em 21 jun 2022.

NIAGARA INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE VÁLVULAS LTDA. **Válvula Globo Aço Inox**. Site. Disponível em: <https://www.niagara.com.br/produto/fig-654-valvula-globo-aco-inox-classe-150-flange-ansi>. Acesso em 21 jun. 2022.

O PETRÓLEO. **Hidrogênio Verde: Uma nova alavanca para o desenvolvimento do Brasil**. 2021. Site. Disponível em: <https://opetroleo.com.br/hidrogenio-verde-uma-nova-alavanca-para-o-desenvolvimento-do-brasil/>. Acesso em 21 jun. 2022.

OLIVEIRA, A. D.; ROCHA, F. **Estudo da competitividade da indústria brasileira de bens e serviços do setor de P&G – IND-P&G-28: conclusões e recomendações de políticas**. 2008. Acesso em 15 jun. 2022.

OXICOLOROXIGENIO. **Recarga de cilindro de nitrogênio**. Site. Disponível em: https://www.oxicoloroxigenio.com.br/produtos/img_g/recarga-de-cilindro-de-nitrogenio-15.jpg. Acesso em 21 jun. 2022.

PARIZZI, J. B. *et al.* **Utilização avançada da capacidade excedente de sistemas de transmissão CCAT para produção de oxigênio e hidrogênio.** 2008. 208 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

PCEMEDIDORES. **Indicadores de Temperatura.** Site. Disponível em: <https://www.pce-medidores.com.pt/sistemas/indicadores-temperatura.htm>. Acesso em 21 jun. 2022.

PEREIRA, F. S.; SILVA, M.F.O. **Panorama Setorial 2015-2018: Indústria Química. Perspectivas do investimento 2015-2018 e panoramas setoriais.** 2019, Rio de Janeiro, Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2014. p. 109-119 BNDES. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/14377>. Acesso em 21 jun. 2022.

PERFITÉCNICA. **Mangueiras de Silicone.** Site. Disponível em: <https://www.perfitecnica.com.br/mangueiras-de-silicone>. Acesso em 21 jun. 2022.

PH.PARKER. **Trufluor Plus Single Cartridge Filter Housing | Pfa & PvdF Design For High-Purity Filtration With Maximum Chemical Resistance.** Site. Disponível em: <https://ph.parker.com/br/en/trufluor-single-cartridge-filter-housing-pfa-design-for-maximum-chemical-resistance-and-high-purity>. Acesso em 21 jun. 2022.

PLASTÉCNICA. **Peneira molecular preço.** Site. Disponível em: <https://www.plastecnicaltda.com.br/peneira-molecular-preco>. Acesso em 21 jun. 2022.

PLASTOLÂNDIA HIDRÁULICA E PLÁSTICOS INDUSTRIAIS. **Válvula esfera PVC-U schedule 80 1/2" solda/rosca tigre.** Site. Disponível em: <https://www.plastolandia.com.br/valvula-esfera-pvc-sch80-1-2-sold-r-tigre>. Acesso em 21 jun. 2022.

PORTAL TRATAMENTO DE ÁGUA. **Mercado de membrana de osmose reversa deverá atingir US \$ 13,5 bilhões em 2025.** Site. Disponível em: <https://tratamentodeagua.com.br/membrana-osmose-reversa-atingira-bilhoes-2025/>. Acesso em 21 jun. 2022.

PRESYS. **Manômetros de Pressão.** Site. Disponível em: <http://www.presys.com.br/blog/calibracao-manometros-de-pressao/>. Acesso em 21 jun. 2022.

REVISTA CONTROLE & INSTRUMENTAÇÃO. **Válvulas industriais.** Site, 2017, 232 ed. Disponível em: http://www.controleinstrumentacao.com.br/arquivo/ed_232/cp.html. Acesso em 15 jun. 2022.

REVISTA INDÚSTRIA BRASILEIRA. **Contêineres cinco vezes mais caros.** Portal da Indústria, 21 dez. 2021, Disponível em: <https://noticias.portaldaindustria.com.br/noticias/economia/conteineres-cinco-vezes-mais-caros/>. Acesso em 15 jul. 2022.

REVISTA POTÊNCIA. **Fios e cabos: momento de expectativa.** Site, Programa Eletricista Consciente, 15 mar. 2021. Disponível em: <https://revistapotencia.com.br/eletricista-consciente/artigos-tecnicos/fios-e-cabos-momento-de-expectativa/>. Acesso em 16 jun. 2022.

REVISTA POTÊNCIA. **Siemens Energy apresenta transformador a seco inovador.** Site, 31 maio. 2022. Disponível em: <https://revistapotencia.com.br/portal-potencia/energia/siemens-energy-apresenta-transformador-a-seco-inovador/>. Acesso em 15 jun. 2022.

SHAINI. **Best Shipping Container Manufacturers [Global Top List 2022].** Site, Container Trading, Container Exange, 09 out. 2019. Disponível em: <https://www.container-xchange.com/blog/container-manufacturers-new-built-and-used-containers/>. Acesso em 15 jul. 2022.

SOLUÇÕES INDUSTRIAIS. **Tubo de silicone industrial.** Site. Disponível em: <https://www.solucoesindustriais.com.br/empresa/borracha/bmj-borrachas/produtos/borracha/tubo-de-silicone-industrial>. Acesso em 21 jun. 2022.

TAVIFLEX. **Mangueira de Silicone.** Site. Disponível em: <https://www.taviflex.com.br/mangueira-de-silicone.php>. Acesso em 21 jun. 2022.

THERMA AUTMAÇÃO E PROJETOS. **Sensores e indicadores de temperatura.** Disponível em: <https://therma.com.br/sensores-e-indicadores-de-temperatura/>. Acesso em 21 jun. 2022.

TUBOS ABC. **Aço Inox 304 ou 316, qual devo escolher para o Tubo Inox?** Site. Disponível em: https://www.tubosabc.com.br/tubos/aco-inox-304-ou-316-qual-devo-escolher/?doing_wp_cron=1657125678.4377911090850830078125. Acesso em 21 jun. 2022.

TUBOS ABC. **Conexões Aço Inox da Tubos ABC.** Site. Disponível em: https://www.tubosabc.com.br/produtos/conexoes-aco-inox-da-tubos-abc/?doing_wp_cron=1657132379.839469909667968750000#:~:text=As%20conex%C3%B5es%20a%C3%A7o%20inox%20s%C3%A3o,e%20l%C3%ADquidos%20em%20sistemas%20industriais. Acesso em 21 jun. 2022.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **Water Electrolyzers and Fuel Cells Supply Chain: Supply Chain Deep Dive Assessment.** U.S. Department of Energy Response to Executive Order 14017, America's Supply Chains, 24 fev. 2022. Disponível em: <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/water-electrolyzers-and-fuel-cells-supply-chain-deep-dive-assessment#:~:text=The%20Water%20Electrolyzers%20and%20Fuel,hydrogen%20produce d%20by%20electrolysis%20and>. Acesso em 24 jun. 2022.

ULTRA TUBOS E CONEXÕES. **Válvula Aço Inox.** Site. Disponível em: <https://www.casadostubos.com.br/valvula-aco-inox>. Acesso em 21 jun. 2022.

VEROTTI, A. **Tigre deixa de ser familiar e vende 25% da empresa para avançar no mercado do saneamento.** Isto é Dinheiro, 25 fev. de 2022, n. 1262. Disponível em: <https://www.istoedinheiro.com.br/tigre-deixa-de-ser-familiar-e-vende-25-da-empresa-para-avancar-no-mercado-do-saneamento/#:~:text=O%20roteiro%2C%20no%20entanto%2C%20sofreu,se%20desenham%20nacional%20e%20internacionalmente>. Acesso em 21 jun. 2022.

WHITE MARTINS. **Nitrogênio**. Site. Disponível em: <https://www.praxair.com.br/gases/buy-liquid-nitrogen-or-compressed-nitrogen-gas?tab=pureza-e-misturas>. Acesso em 21 jun. 2022.

WIKA. **Manômetro**. Site. Disponível em: https://www.wika.com.br/landingpage_pressure_gauge_pt_br.WIKA#start. Acesso em 21 jun. 2022.

WILLTEC. **Termômetro Total Inox**. Site. Disponível em: <https://www.willtec.com.br/imagens/informacoes/termometro-total-inox-01.jpg>. Acesso em 21 jun. 2022.



cognitio

CONSULTORIA

www.h2verdebrasil.com.br/

H2BRASIL

Expansão do Hidrogênio Verde



@h2_brasil



/showcase/h2brasil-hidrogenioverde/



Por meio de

giz Deutscher Geschäftsbund für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

H2BRASIL Expansão do Hidrogênio Verde

MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA

